

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

на тему:

**Геоінформаційне моделювання зон доступності екстрених служб  
міста Києва**

Стаховський Єгор Євгенійович

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет геоінформаційних систем і управління територіями

Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

проф., д.т.н. Карпінський Ю.О.

“ ” 2025 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

**Геоінформаційне моделювання зон доступності екстрених служб  
міста Києва**

Виконала студентка групи ГІСТм-24  
193 «Геодезія та землеустрій»

(спеціальність)

Геоінформаційні системи і технології

(спеціалізація)

Стаховський Єгор Євгенійович

Керівник: Лященко А.А., проф., д.т.н.

Ідентичність підтверджую

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями

Кафедра: Геоінформатики і фотограмметрії

Освітній рівень: «магістр за ОПБ»

Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»

Спеціалізація: Геоінформаційні системи і технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ГІФ

\_\_\_\_\_ проф., д.т.н. Карпінський Ю.О.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я  
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Стаховський Єгор Євгенійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Геоінформаційне моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва

затверджена наказом ректора КНУБА № 1844/22/25 від «31»\_жовтня\_2025 року

**2. Керівник роботи** Лященко Анатолій Антонович, д.т.н., проф.

( прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**3. Строк подання студентом роботи до захисту:** 10 грудня 2025 р.

**4. Зміст пояснювальної записки за розділами:**

Вступ

Розділ 1. Стан і тенденції розвитку засобів моделювання зон доступності в ГІС

Розділ 2. Методичні засади геоінформаційного моделювання зон доступності в середовищі баз геопросторових даних

Розділ 3. Результати моделювання зон доступності екстрених служб міста Київ в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS

Висновки

Список використаної літератури

**5. Графічний матеріал за розділами**

Розділ 1: Завдання, структура та обмеження проекту. Case-діаграма використання моделей зон доступності екстрених служб міста. Аналіз засобів моделювання зон доступності екстрених служб міста в сучасних ГІС та базах геопросторових даних (таблиця).

Розділ 2: Структурно-функціональна схема ГІС моделювання зон доступності з використанням баз геопросторових даних. Класифікація засобів моделювання зон доступності в середовищі СКБД PostgreSQL. Концептуальна модель бази геопросторових даних ГІС моделювання зон доступності екстрених служб.

Розділ 3: Технологічна схема моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва в середовищі СКБД PostgreSQL. Структурна схема наборів вихідних даних для моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва. Картографічні зображення геопросторових об'єктів вихідних наборів даних. Логічна модель бази геопросторових даних моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва. Схеми алгоритмів типових SQL-запитів та прикладних SQL-функцій

для моделювання зон доступності в середовищі СКБД PostgreSQL. Результати геоінформаційного моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва.

### 7. Календарний план виконання роботи:

Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту
Розділ 1. Стан і тенденції розвитку засобів моделювання зон доступності в ГІС. Основні визначення та сфери використання моделей зон доступності екстрених служб. Огляд публікацій з геоінформаційного моделювання зон доступності. Аналіз засобів моделювання зон доступності в сучасних ГІС та базах геопросторових даних. Структура, завдання та обмеження проекту. Висновки до розділу 1.	27.10.2025
Розділ 2. Методичні засади геоінформаційного моделювання зон доступності в середовищі баз геопросторових даних. Структурно-функціональна схема ГІС моделювання зон доступності з використанням баз геопросторових даних. Концептуальна модель бази геопросторових даних ГІС моделювання зон доступності екстрених служб. Методика використання засобів моделювання зон доступності в середовищі СКБД PostgreSQL. Висновки до розділу 2.	10.11.2025
Розділ 3 Результати моделювання зон доступності екстрених служб міста Київ в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS. Вхідні дані моделювання та стисла характеристика екстрених служб міста Києва. Технологічна схема моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва в середовищі СКБД PostgreSQL. Реалізація прикладних SQL-функцій для моделювання зон доступності в середовищі СКБД PostgreSQL. Результати геоінформаційного моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва.. Висновки до розділу 3. Загальні висновки.	24.11.2025
Складання резюме, підготовка презентації та доповіді, попередній захист	27. 11.2025
Подання роботи на перевірку на плагіат	8.12.2025
Подання роботи на рецензування	15.12.2025
Захист роботи на засіданні екзаменаційної комісії	23.12.2025

### 8. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			

9. Дата видачі завдання\_ 08 жовтня 2025 р.

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ Карпінський Ю.О.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Лященко Лященко А.А.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Студент \_\_\_\_\_ Стаховський Є.Є.

(підпис) (прізвище та ініціали)

<b>РЕЗЮМЕ (summary)</b>		<b>Стаховський Єгор Євгенійович</b>	
<i>до кваліфікаційної випускної роботи студента:</i>			
<i>Назва ВНЗ</i>	Київський національний університет будівництва і архітектури		
<i>Тема</i>	Геоінформаційне моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва		
<i>Освітній ступінь</i>	Магістр за освітньо-професійною програмою навчання		
<i>Факультет</i>	Геоінформаційних систем та управління територіями		
<i>Кафедри</i>	Геоінформатики і фотограмметрії		
<i>Спеціальність</i>	193 Геодезія та землеустрій		
<i>Спеціалізація</i>	Геоінформаційні системи і технології		
<i>Керівник</i>	Лященко Анатолій Антонович, д.т.н, професор		
<i>Обсяг роботи</i>	<i>пояснювальна записка, стор.</i>	<i>розділів</i>	<i>креслень формату А4</i>
	92	3	25
<i>Розділ 1</i>	Визначено основні поняття, класифікацію, призначення та сфери використання просторових моделей зон доступності. Виконано порівняльний аналіз програмних засобів моделювання зон доступності в ГІС та базах геопросторових даних. Приведено структуру, завдання та обмеження проєкту.		
<i>Розділ 2</i>	Розроблено концептуальну та структурно-функціональну моделі ГІС моделювання зон доступності підрозділів екстрених служб міста (ЕСМ) з використанням СКБД PostgreSQL/PostGIS. Розроблено концептуальну модель бази геопросторових даних ГІС моделювання зон доступності та узагальнено методику їх моделювання з використанням функцій мережного аналізу програмного розширення pgRouting СКБД PostgreSQL/PostGIS.		
<i>Розділ 3</i>	Розроблено технологічну схему моделювання зон доступності ЕСМ в ГІС з використанням СКБД PostgreSQL/PostGIS та мережного розширення pgRouting. Створено базу геопросторових даних для моделювання зон доступності ЕСМ м. Києва у складі моделі вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста, місць дислокації підрозділів ЕСМ та цифрову топографічну основу території міста. Розроблено прикладні SQL функції для автоматизації моделювання зон доступності підрозділів ЕСМ з використанням базових функцій спеціальних розширень PostGIS та pgRouting в середовищі СКБД PostgreSQL. Приведено результати використання розроблених прикладних функцій для моделювання зон 5-ти, 10-ти і 15-ти хвилинної доступності для підрозділів ЕСМ м. Києва. Складено тематичні карти цих зон та проведено просторовий аналіз охоплення забудованої території м. Києва зонами доступності екстрених служб міста.		
<i>Висновки по роботі:</i>	Підтверджено ефективність використання засобів СКБД PostgreSQL з функціональними розширеннями PostGIS та pgRouting для геоінформаційного моделювання зон доступності екстрених служб великого міста. Апробація розроблених прикладних SQL функцій на даних про реальні місця дислокації підрозділів екстрених служб міста та геометричної моделі ВДМ в масштабі 1: 10 000 показала їх високу швидкодію на рівні 3 – 5 секунд витрат часу на моделювання різночасових зон доступності для усіх підрозділів пожежно-рятувальної служби та станцій екстреної медичної допомоги м. Києва. Результати просторового аналізу охоплення території м. Києва зонами 10-хвилинної нормативної доступності для екстрених служб міста засвідчують про 81 – 89% охопленість забудованих кварталів зонами доступності підрозділів ЕСМ, 100% охопленість центральних та інших районів міста та неохопленість цими зонами забудованих кварталів на північних та південних околицях міста.		
<b>Ключові слова:</b> зони доступності, зони обслуговування, ізохрони, база геопросторових даних, СКБД PostgreSQL, PostGIS, pgRouting			
<b>Keywords:</b> availability zones, service zones, isochrones, geospatial database, PostgreSQL, PostGIS, pgRouting			

Укладач: \_\_\_\_\_ / Стаховський Є.Є./

Керівник:  /Лященко А.А./

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ В ГІС .....	11
1.1 Основні визначення та сфери використання моделей зон доступності екстрених служб.....	11
1.1.1 Основні визначення та класифікація зон доступності .....	11
1.1.2 Основні сфери використання результатів моделювання зон доступності.....	15
1.1.3 Нормативні вимоги до зон доступності міських екстрених служб	19
1.2 Огляд публікацій з моделювання зон доступності .....	22
1.3 Аналіз програмних засобів моделювання зон доступності в ГІС .....	24
1.4 Структура, завдання та обмеження проекту .....	30
Висновки до розділу 1 .....	31
2 МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ В СЕРЕДОВИЩІ БАЗ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ .....	33
2.1 Структурно-функціональна модель ГІС моделювання зон доступності з використанням бази геопросторових даних .....	33
2.2 Концептуальна модель бази геопросторових даних ГІС моделювання зон доступності екстрених служб .....	36
2.3 Методика використання засобів моделювання зон доступності в середовищі СКБД PostgreSQL.....	40
2.3.1 Програмні розширення СКБД PostgreSQL для моделювання зон доступності.....	40
2.3.2 Завантаження та налаштування топологічної моделі вулично-дорожньої мережі для використання функцій pgRouting.....	41
2.3.3 Типові SQL запити для обчислення ізохрон з використанням функцій pgRouting.....	46
2.3.4 Типовий SQL запит для обчислення серії ізохрон.....	50
Висновки до розділу 2 .....	52
3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ ЕКСТРЕНИХ СЛУЖБ МІСТА КИЇВ В СЕРЕДОВИЩІ СКБД POSTGRES/POSTGIS .....	55
3.1 Вхідні дані моделювання та стисла характеристика екстрених служб міста Києва .....	55
3.2 Технологічна схема моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва в середовищі СКБД PostgreSQL .....	58
3.3 Реалізація прикладних SQL-функцій для моделювання зон доступності екстрених служб міста в середовищі СКБД PostgreSQL .....	61

3.4 Результати геоінформаційного моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва.....	67
3.4.1 Тематичні карти зона доступності екстрених служб міста .....	67
3.4.2 Просторовий аналіз покриття території м. Києва зонами доступності екстрених служб міста .....	72
Висновки до розділу 3 .....	75
ВИСНОВКИ .....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	78
ДОДАТОК А. ТЕКСТИ РОЗРОБЛЕНИХ SQL ЗАПИТІВ ТА ПРИКЛАДНИХ ФУНКЦІЙ.....	82
A.1 Запити для створення таблиць наборів геопросторових даних та видів View місць дислокації екстрених служб м. Києва .....	82
A.1.1 Запити на створення таблиць наборів геопросторових даних.....	82
A.1.2 Запити на створення видів для обчислення найближчих вузлів до місць дислокації підрозділів екстрених служб .....	83
A.1.3 Запити введення та оновлення даних в таблицях дислокації підрозділів екстрених служб .....	84
A.2 Функції побудови ізохрон зон доступності екстрених служб м. Києва	89
A.2.1 Функція побудови ізохрон доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби .....	89
A.2.2 Функція побудови серії різночасових ізохрон доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби .....	91
A.2.3 Функція побудови ізохрон доступності для станцій екстреної медичної допомоги .....	92
A.2.4 Функція побудови серії різночасових ізохрон доступності для станцій екстреної медичної допомоги .....	94
A.3 Запити просторового аналізу охоплення території м. Києва зонами доступності екстрених служб міста .....	95
A.3.1 SQL запити створення видів об'єднаних зон доступності .....	95
A.3.2 SQL запити просторового аналізу охоплення території м. Києва зонами доступності екстрених служб міста .....	96
ДОДАТОК Б. СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	100

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Оперативне реагування служб екстреної допомоги (СЕД) є критично важливим для забезпечення безпеки та збереження життів мешканців великих міст. Ключовим фактором у цьому процесі є аналіз та оптимізація зон доступності – територій, мешканці яких можуть отримати екстрену допомогу за нормативно визначений час після звернення до відповідних спеціалізованих СЕД (швидкої медичної допомоги, пожежної охорони, поліції тощо). Геоінформаційне моделювання таких зон дозволяє проводити об'єктивну оцінку існуючої мережі розташування СЕД, виявляти проблемні ділянки з недостатнім покриттям надання екстреної допомоги та приймати обґрунтовані рішення щодо вдосконалення просторового планування дислокації та організації роботи СЕД, безпосередньо впливаючи на їх здатність швидко та ефективно реагувати на виклики зменшення матеріальних збитків, запобігання травмам та загибелі людей.

Геоінформаційного моделювання зон доступності в сучасних ГІС ґрунтується на засобах мережного аналізу зокрема для побудови ізохрон – ліній або областей території, що мають однаковий час доступності транспортною мережею до контрольної точки (у нашому разі місця дислокації СЕД). Моделювання ізохрон натепер забезпечується в багатьох як відкритих, так і пропріетарних інструментальних ГІС та у геоінформаційних вебсервісах. Але нині спостерігається тенденція до розвитку ГІС на основі використання технології баз геопросторових даних (БГД) в середовищі універсальних систем керування базами даних, що забезпечує ряд переваг, таких як: централізоване зберігання великих обсягів просторової та атрибутивної інформації, багатокористувацький доступ, висока надійність та незалежність даних від конкретних програмних засобів ГІС. Дослідження можливостей використання СКБД для мережного аналізу та моделювання ізохрон є актуальним завданням, оскільки технологія БГД відкриває можливості не лише ефективно інтегрувати дані з різних джерел для побудови зон доступності, а й використовувати

результати моделювання для просторового аналізу в системах прийняття рішень щодо планування розвитку мережі СЕД та поліпшення організації їх діяльності.

Об'єктно-реляційна СКБД PostgreSQL з просторовим розширенням PostGIS належить до найпоширеніших поміж СКБД з відкритим кодом, що використовуються в сучасних ГІС. PostgreSQL/PostGIS відповідає вимогам міжнародних стандартів і специфікацій в сфері географічної інформації, зокрема стандартам відкритого геопросторового консорціуму OGC (Open Geospatial Consortium) та міжнародним стандартам серії ISO 19100 «Географічна інформація/геоматика», і надає потужний інструментарій для мережевого аналізу в спеціальному розширенні pgRouting.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є розробка та реалізація геоінформаційної моделі для визначення та аналізу зон доступності міських екстрених служб на прикладі м. Києва з використанням засобів мережного аналізу в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS.

Для досягнення цієї мети в роботі сформульовано та вирішено такі основні завдання:

- аналіз сучасних методів та підходів до геоінформаційного моделювання зон доступності в міському середовищі;
- аналіз функціональних можливостей СКБД PostgreSQL/PostGIS для виконання мережного аналізу та побудови ізохрон;
- збір, підготовка та структуризація вхідних геопросторових даних для моделювання зон доступності СЕД міста Києва;
- розроблення моделі бази геопросторових даних та алгоритмів для побудови зон обслуговування СЕД з використанням функцій PostGIS та мережного розширення pgRouting;
- реалізація прикладних SQL-скриптів та функцій для автоматизації обчислення ізохрон зон доступності СЕД ;
- візуалізація та аналіз отриманих результатів, формування висновків щодо ефективності розташування екстрених служб м. Києва.

**Об'єкт дослідження:** процес геоінформаційного моделювання зон доступності об'єктів та послуг на основі мережного аналізу.

**Предмет дослідження:** моделі, методи та засоби побудови зон доступності екстрених служб міста Києва з використанням мережного аналізу в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS.

**Методи дослідження.** Методологічну основу роботи складають: монографічний метод опрацювання наукових публікацій та нормативних документів, що стосуються встановлення та моделювання меж зон доступності; методи формалізації для розроблення моделей даних, алгоритмів та технологічних схем з використанням UML; методи реалізації прикладних SQL-функцій та запитів в середовищі об'єктно-реляційної СКБД; методи мережного аналізу для побудови зон доступності (ізохрон); методи моделювання, аналізу та візуалізації геопросторових даних в ГІС.

**Новизна одержаних результатів.** У роботі на реальних наборах даних м. Києва розроблено та впроваджено геоінформаційну модель для побудови зон доступності служб екстреної в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS. Розроблено та реалізовано прикладні SQL-функції для вирішення таких завдань: 1) підготовка транспортної мережі для мережного аналізу (створення топології, задання атрибутів вартості доступності); 2) автоматизований розрахунок ізохрон доступності для заданих точкових об'єктів (станцій служб екстреної допомоги) з урахуванням заданих часових інтервалів; 3) агрегація та аналіз отриманих зон доступності для оцінки покриття території міста.

З практичної точки зору в роботі встановлено, що:

1) засоби мережного аналізу pgRouting та PostGIS надають достатній функціонал для ефективного розрахунку зон доступності на великих обсягах даних;

2) інтеграція всіх етапів моделювання (від підготовки даних до аналітичних результатів) в єдиному середовищі СКБД дозволяє створити масштабоване та ефективне рішення для моніторингу та аналізу доступності служб екстреної

допомоги, що може бути використане в практичній діяльності відповідних департаментів цивільного захисту та просторового планування міста.

**Вхідні інформаційні ресурси роботи.** Для виконання роботи як вхідні дані були використані такі інформаційні ресурси:

- відкриті дані щодо розташування СЕД (швидкої медичної допомоги, пожежних депо) на території м. Києва на геопорталах Google Maps [21, 22] Wikimapia [35, 36];

- векторні моделі транспортної мережі міста Києва із набору даних OpenStreetMap (OSM) [27, 28] та набір даних геометрії сегментної моделі вулично-дорожньої мережі м. Києва в масштабі 1:10 000, створений в Науково-дослідному інституті геодезії і картографії, що надавався для виконання лабораторних робіт в КНУБА з курсу «Транспортно-навігаційні ГІС» [15];

- векторні набори геопросторових даних OSM базової цифрової карти на територію м. Києва з адміністративними межами районів міста [27, 28].

Як нормативи для обчислення зон доступності станцій швидкої медичної допомоги, пожежних та пожежно-рятувальних частин використовувалися:

Постанова КМУ від 16 грудня 2020 р. № 1271 Про норматив прибуття бригад екстреної (швидкої) медичної допомоги на місце події [3];

ДСТУ 8767:2018 «Пожежно-рятувальні частини. Вимоги до дислокації та району виїзду, комплектування пожежними автомобілями та проектування» [4];

Державні будівельні норми Планування і забудова територій: ДБН А.2.2-12:2019 [5].

Методичні засади використання СКБД PostgreSQL/PostGIS з мережним розширенням pgRouting для моделювання зон доступності СЕД ґрунтуються на лекціях та методичних вказівках до виконання лабораторних робіт, розроблених в КНУБА проф. Лященко А.А. для курсу «Транспортно-навігаційні ГІС» [15], а також документації для відповідних програмних засобів [28, 31 – 34] та на навчальних прикладах типових сценаріїв використання засобів PostgreSQL, PostGIS та pgRouting, що доступні в Інтернеті, зокрема [16, 17].

## Розділ 1

**СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ  
МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ В ГІС**

					ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Стаховський Є.Є.			Геоінформаційне моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Лященко А.А.	<i>Лященко</i>				1	20
Керівник		Лященко А.А.	<i>Лященко</i>			КНУБА, група ГСТм-24		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.						

## РОЗДІЛ 1. СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ В ГІС

### 1.1 Основні визначення та сфери використання моделей зон доступності екстрених служб

#### 1.1.1 Основні визначення та класифікація зон доступності

У контексті геоінформаційного моделювання для СЕД ключовим є поняття *зона доступності, зона досяжності або зона обслуговування (service area)*. Це територія, яка може бути охоплена обслуговуванням з певного об'єкта (наприклад, пожежно-рятувальної частини або станції швидкої медичної допомоги) за заданий проміжок часу або відстань, з урахуванням структури та обмежень транспортної мережі.

Фундаментальними для цієї теми є такі нижченаведені визначення.

*Ізохрона (isochrone)* – це лінія на карті, що з'єднує точки, досяжні з певного центру за однаковий проміжок часу. Замкнута лінія ізохрони утворює багатокутник/полігон множини точок, час досяжності яких не перевищує граничний час лінії ізохрони (рис.1.1). Різномасштабні ізохрони утворюють полігони доступності для різних часових інтервалів.

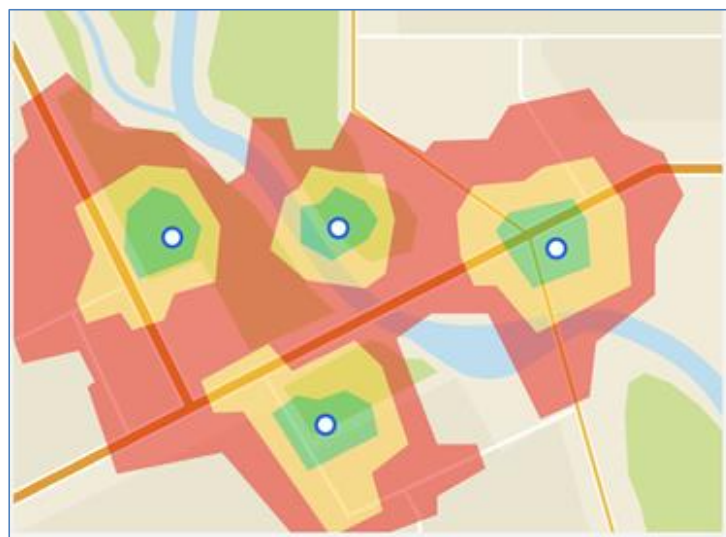


Рис. 1.1. Фрагмент карти ізохрон з полігонами доступності для різних проміжків часу

Саме цей тип аналізу є найкориснішим для оцінки ефективності роботи СЕД, оскільки нормативні показники їх реагування на виклики зазвичай вимірюються в хвилинах [3 – 5].

**Ізодистанція** (*isodistance*) – це лінія, що з'єднує точки, розташовані на однаковій відстані вздовж шляхів транспортної мережі.

**Граф** (*graph*) – це математична структура  $G$ , що формально представляє мережу як пару пов'язаних множин  $G = (V, E)$ , де  $V$  – непорожня множина вершин (вузлів);  $E$  – це множина ребер графа  $G$ . Ребро з  $E$  – це двоелементна підмножина вершин з  $V$ , між якими існує зв'язок [14].

До основних характеристик графів належать: порядок графу – це число його вершин; розмір графу – це число його ребер; орієнтовані та неорієнтовані графи залежно від наявності обмежень щодо напрямку дозволеного переходу від однієї до іншої вершини по ребрах графу. В неорієнтованих графах перехід можливий по ребрах в будь-якому напрямку, в орієнтованих – лише в напрямку від початкових до кінцевих вершин.

**Евклідовий граф** — це граф, вершини якого представляють точки в Евклідовому просторі (наприклад, на площині або в тривимірному просторі), а кожному ребру присвоюється вага (довжина), що дорівнює точній евклідовій відстані між його кінцевими точками.

В контексті транспортного аналізу вершини/вузли (*nodes / vertices*) графу відповідають перехрестям або кінцевим точкам шляхів, а ребра/дуги (*edges / arcs*) графу – ділянкам шляхів або вулиць. Для кожного ребра може бути визначена вага або вартість витрат проїзду (*weights* або *cost*), наприклад довжина ділянки вулиці, середній час проїзду або швидкість руху, які є основою для розрахунку часу подорожі при побудові ізохрон.

**Геоінформаційна модель транспортної мережі** подається осьовими лініями ділянок доріг (рис. 1.2) у відповідності до принципів топології непланарного графу у спосіб, який забезпечую мережний аналіз в ГІС з урахуванням вузлів розв'язки доріг у різних рівнях [16].

Геометрична модель мережі доріг ґрунтується на сегментації їх осьових ліній з просторовим збігом у вузлових точках, що визначають пограничні точки ділянок/сегментів осьової лінії дороги та створюються у:

- місцях перетину, розгалуження або з'єднання доріг і транспортних розв'язок;
- місцях розміщення дорожніх сервісів у смузі відведення дороги;
- місцях зміни будь-якого поміж основних атрибутів дороги, що описують її класифікаційні, функціональні та/або фізичні властивості.

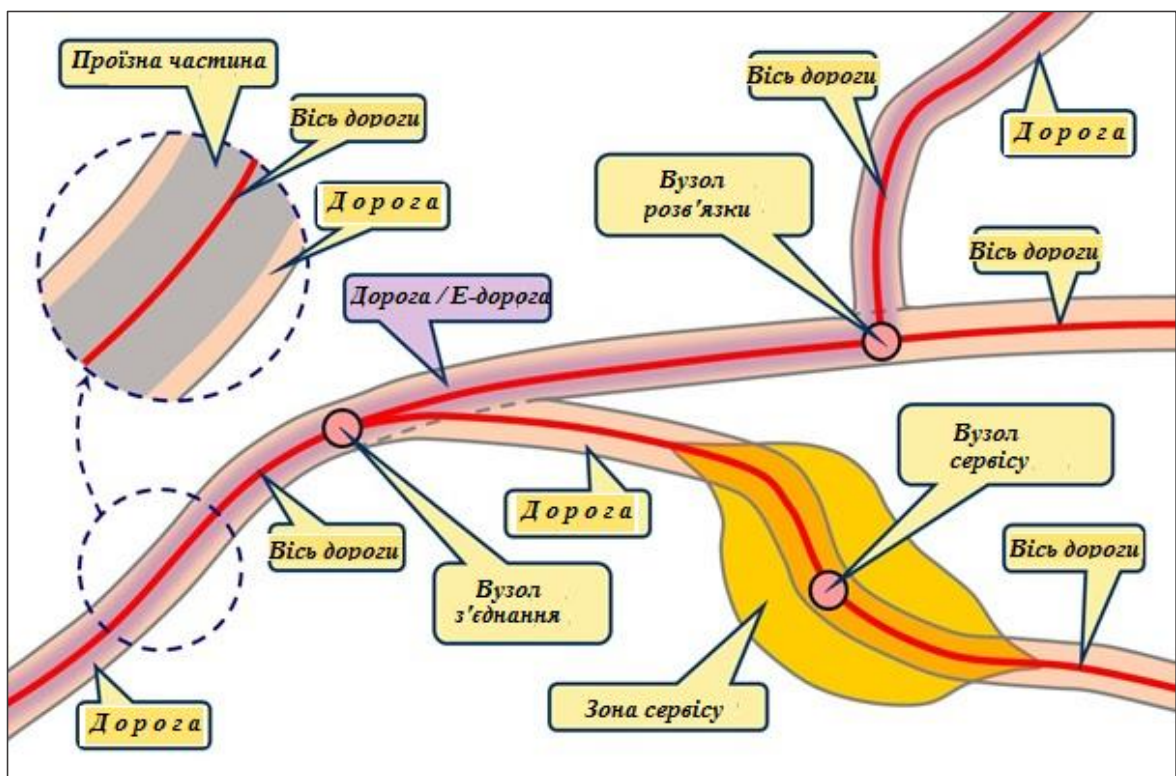


Рис. 1.2. Огляд основних об'єктів мережі автомобільних доріг ([16] та специфікація даних транспортних мереж INSPIRE [22])

Така узгоджена геометрична модель дорожньої мережі забезпечує створення її топологічної моделі, що придатна для використання у ГІС застосунках мережного аналізу, маршрутизації та побудови ізохрон.

**Класифікація геоінформаційних моделей зон доступності.** Зони доступності (обслуговування) зазвичай розрізняють за типом використаної моделі та рівнем врахування особливостей транспортних мереж (рис. 1.3).

В моделях, що засновані на евклідовій відстані, ігнорується реальна відстань між об'єктами по транспортній мережі.



Рис. 1.3. Класифікація геоінформаційних моделей зон доступності

**Кругові буферні зони (Euclidean Buffer).** Найпростіша модель, що представляє собою коло заданого радіусу навколо об'єкта. Її основний недолік – невідповідність реальній ситуації, оскільки при її побудові не враховується наявність транспортної мережі, перешкод (річок, залізниць) та рельєфу місцевості.

**Діаграми Вороного** на множині місць розташування центрів обслуговування розділяють простір на полігональні області (локуси Вороного) за принципом найближчого сусідства до центрів обслуговування, але без урахування сполучень по транспортній мережі.

**Мережні зони обслуговування (Network Service Area)** будуються на основі аналізу графа транспортної мережі для визначення ділянок вулиць і доріг, які можна досягти, не перевищуючи задану відстань або час подорожі. Цей метод враховує такі реальні обмеження, як односторонній рух, заборонені повороти та обмеження швидкості.

**Динамічні зони обслуговування (Traffic-Aware Service Areas):** Розширена модель мережевого аналізу, яка інтегрує дані про поточну або статистичну швидкість руху на різних ділянках доріг. Це дозволяє будувати ізохрони, що відображають реальну ситуацію на дорогах у різний час доби, що є критично важливим для точного планування.

*Зони обслуговування з урахуванням перешкод (Barrier-Aware Service Areas).* Модель, що дозволяє враховувати вплив тимчасових (затори, ремонтні роботи) або постійних (мости, тунелі) перешкод на форму та розмір зони доступності.

Кожна поміж мережних моделей доступності може бути одноmodalною або мультимodalною залежно від числа видів транспорту, які враховуються при обчислення часу мережної доступності.

### *1.1.2 Основні сфери використання результатів моделювання зон доступності*

Моделювання зон доступності на основі ізохрон для служб екстреної допомоги має важливе значення, оскільки це ключовий інструмент для оптимізації реагування, планування ресурсів та, зрештою, порятунку життя громадян. Це зумовлено такими основними чинниками значимості моделювання ізохрон доступності для служб екстреної допомоги (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Чинники значимості моделювання ізохрон доступності для служб екстреної допомоги

*Критично важливий час реагування.* У багатьох надзвичайних ситуаціях, особливо при загрозі життю кожна хвилина має вирішальне значення. На рис. 1.5

узагальнено оцінку розмірів збитків залежно від часу реагування екстрених служб на надзвичайні події.

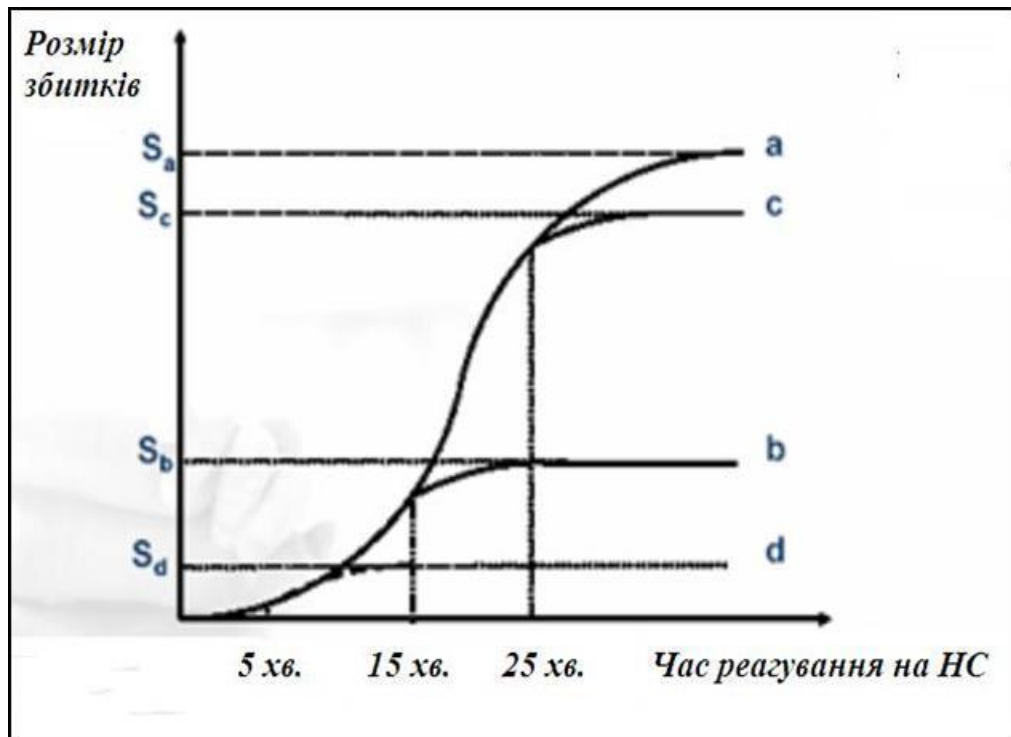


Рис. 1.5. Узагальнений графік залежності збитків від часу реагування екстрених служб на надзвичайні події [15]

За експертними оцінками кожних заощаджених 5 хвилин для пожежного автомобіля в місті з 3 млн. населенням та рівнем статків громадян України економить для суспільства 17 млн. євро на рік [15].

Моделювання ізохрон дозволяє візуалізувати та оцінити, які саме території можуть бути охоплені службами допомоги в межах встановлених нормативів часу, які складають відправну точку для дотримання стандартів охорони здоров'я та громадської безпеки.

**Оптимізація розміщення ресурсів.** Ізохронний аналіз допомагає визначити оптимальне розташування станцій СЕД інших критичних об'єктів інфраструктури екстрених служб. Це дозволяє уникнути "білих плям" або територій з недостатнім покриттям, забезпечуючи рівномірний доступ до допомоги для всього населення (просторову справедливість).

**Підвищення ефективності диспетчеризації.** В режимі реального часу ізохрони можуть використовуватися для швидкого визначення найближчого

доступного транспортного засобу екстреної допомоги до місця події, враховуючи поточну дорожню ситуацію та затори. Це мінімізує час у дорозі та підвищує загальну ефективність системи реагування.

**Планування у разі надзвичайних ситуацій.** Моделювання ізохрон використовується для оцінки вразливості територій під час стихійних лих або інших кризових подій, допомагаючи планувати шляхи евакуації та пріоритети розподілу ресурсів в умовах погіршеної прохідності доріг.

**Обґрунтування рішень та інвестицій.** Результати ізохронного аналізу надають об'єктивні дані для прийняття управлінських рішень, обґрунтування необхідності закупівлі додаткового транспорту, будівництва нових станцій або впровадження нових технологій (наприклад, використання дронів для доставки екстрених наборів).

**Динамічний аналіз.** Сучасні технології дозволяють будувати динамічні ізохрони, які враховують змінні фактори, такі як час доби, погодні умови, наявність заторів, що забезпечує ще більшу точність та адаптивність планування.

Узагальнюючи роль геоінформаційного моделювання для діяльності служб екстреної допомоги великих міст, можна сказати, що його використання охоплює три основні напрями: оперативне планування, стратегічне управління, соціальний аналіз забезпечення рівного доступу мешканців міста до допомоги екстрених служб.

В оперативному плануванні та аналізі ефективності з використанням моделювання зон доступності забезпечується:

- оцінювання відповідності нормативам: визначення територій, де час досягнення екстреними службами перевищує законодавчо встановлені з нормативи (наприклад, 10 хвилин для екстреної швидкої медичної допомоги у містах);

- оптимізація розгортання сил та засобів: моделювання зон доступності дозволяє визначати оптимальні точки розміщення патрулів, пожежних розрахунків або станцій швидкої допомоги для максимального покриття території в пікові години або в районах з високим ризиком;

- аналітична підтримка при надзвичайних ситуаціях: оперативне моделювання зон доступності з урахуванням тимчасових перешкод (ДТП, ремонтні роботи тощо) для перенаправлення ресурсів екстрених служб по альтернативних маршрутах.

В стратегічному управлінні та розвитку інфраструктури завдяки моделюванню зон доступності підтримуються рішення щодо:

- планування розміщення нових об'єктів: визначення оптимальних місць для будівництва нових пожежних депо, станцій швидкої допомоги або відділків поліції для ліквідації "сірих зон" – територій з незадовільним рівнем покриття;

- обґрунтування інвестицій в інфраструктуру: аналіз того, як будівництво нової дороги, мостів або розв'язок може поліпшити доступність екстрених служб для окремих районів міста, що є одним поміж ключових аргументів для планування бюджету;

- сценарне моделювання: проведення аналізу "що, якщо" для оцінки впливу майбутніх містобудівних проектів (наприклад, великих житлових масивів) на навантаження існуючої мережі екстрених служб.

В напрямі соціального аналізу та забезпечення рівності доступу забезпечується підтримка:

- аналізу соціально-просторової нерівності: виявлення зв'язку між доступністю екстрених служб і соціально-економічними характеристиками районів міста (доходів населення, щільність забудови, демографією), що дозволяє здійснювати цільову підтримку вразливих груп;

- прозорості та інформування громадськості: публікація карт зон доступності для інформування мешканців про рівень захищеності їх мікрорайону, що може підвищити довіру до місцевої влади;

- інтеграції з іншими соціальними сервісами: комплексний аналіз доступності не лише екстрених, але і соціальних служб (наприклад, для літніх людей або людей з обмеженими можливостями) для створення цілісної карти безпеки міста.

Таким чином, геоінформаційне моделювання зон доступності для міських служб екстреної допомоги трансформується з технічного інструменту в стратегічний ресурс для прийняття обґрунтованих рішень, спрямованих на підвищення якості життя та безпеки мешканців міста.

### ***1.1.3 Нормативні вимоги до зон доступності міських екстрених служб***

В роботі моделюються та аналізуються зони доступності підрозділів двох ключових екстрених служб м. Києва:

1) служби екстреної медичної допомоги, організацію діяльності якої здійснює Комунальне некомерційне підприємство «Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф м. Києва» виконавчого органу Київської міської ради (Київської міської державної адміністрації) (Центру ЕМД та МК) <https://med.kyivcity.gov.ua/medportal/medview/149.html> ;

2) оперативно-рятувальної служби цивільного захисту Головного управління ДСНС України у м. Києві: <https://kyiv.dsns.gov.ua> ;

Діяльність цих служб регулюється відповідними профільними Законами України, зокрема: Кодексом цивільного захисту України [1] та Законом України «Про екстрену медичну допомогу» [2].

Нормативи часу прибуття бригад / підрозділів служб на місце події визначено у відповідних технічних регламентах і стандартах, а саме:

Постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2020 р. № 1271 Про норматив прибуття бригад екстреної (швидкої) медичної допомоги на місце події <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1271-2020-п#Text> [3];

ДСТУ 8767:2018 «Пожежно-рятувальні частини. Вимоги до дислокації та району виїзду, комплектування пожежними автомобілями та проектування» [3].

Ці нормативи гармонізовані з технічними регламентами Європейського Союзу та рекомендаціями відповідних міжнародних організацій. Зокрема, Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) рекомендує, щоб час реагування служб швидкої медичної допомоги на невідкладну медичну допомогу становив 8 хвилин щонайменше для 90% викликів.

Тим не менш, як констатується в статті [38] час реагування відрізняється не лише між країнами та регіонами світу, але й між сільськими, приміськими та міськими секторами в межах одного регіону. Наприклад, медіана часу реагування в масштабах штату Техас, США, становила 7 хвилин у 2021 році, а час реагування в Японії – 7,5 хвилини у 2016 році. Середній час реагування на виклики, що загрожують життю, становив 10,5 хвилини у 2023 році, а час реагування в Греції – 28,9 хвилини у 2016 році. У Китаї регіональні відмінності є яскраво вираженими, причому відмінності в часі реагування між містами та передмістями залишаються суттєвими навіть в межах одного міста. У Пекіні, столиці Китаю, час реагування у 2020 році все ще становив 16,41 хвилини [34], що значно відстає від рекомендованих ВООЗ 8 хвилин.

Постановою КМУ від 16 грудня 2020 р. № 1271 «Про норматив прибуття бригади екстреної (швидкої) медичної допомоги на місце події» встановлено такі нормативи прибуття бригад екстреної медичної допомоги за зверненнями, що належать до:

а) **категорії критичних – 10 хвилин** з моменту надходження звернення до диспетчера прийому виклику оперативно-диспетчерської служби центру екстреної медичної допомоги, а з огляду на можливість виникнення обставин, які не залежать від організації системи надання екстреної медичної допомоги (ускладнений дорожній рух, метеорологічні умови, сезонні особливості, епідеміологічна ситуація тощо), допускається перевищення зазначеного нормативу, але не більше ніж у 25 відсотках випадків;

б) **категорії екстрених – 20 хвилин** з моменту надходження звернення до диспетчера прийому виклику оперативно-диспетчерської служби центру екстреної медичної допомоги, а з огляду на можливість виникнення обставин, які не залежать від організації системи надання екстреної медичної допомоги, допускається перевищення зазначеного нормативу, але не більше ніж у 15 відсотках випадків.

Нормативи часу реагування на надзвичайні події оперативно-рятувальними службами цивільного захисту опосередковано визначено в ДСТУ

8767:2018 «Пожежно-рятувальні частини. Вимоги до дислокації та району виїзду, комплектування пожежними автомобілями та проектування» [4] .

Згідно із вимогами ДСТУ 8767 та гармонізованими з ними Державними будівельними нормами ДБН А.2.2-12:2019 Планування і забудова територій [5] пожежно-рятувальні підрозділи (частини) розміщуються із розрахунку прибуття пожежно-рятувальних підрозділів (ПРП) до місця виклику за час , що не перевищує:

для території міст та селищ міського типу – 10 хв;

для сільських населених пунктів та за межами населених пунктів – 20 хв.

Дислокація та райони виїзду ПРП визначають із застосуванням одного із критеріїв розрахунку радіуса обслуговування або розрахунку часу прибуття ПРП до місця виклику відповідно до стандарту. Межі району виїзду ПРП за критерієм часу прибуття, визначають залежно від групи населеного пункту та граничної швидкості руху пожежного автомобіля [4]:

Група населених пунктів за чисельністю населення, тис. чол.							
малі				середні	великі	крупні	найкрупніші
до 5	5 - 10	10-20	20-50	50-100	100-250	250-800	понад 800
Гранична швидкість пожежного автомобіля, км/год							
31,0	32,0	31,0	35,0	35,0	35,0	39,0	26,0
Примітка. Якщо район виїзду охоплює населені пункти, які належать до різних груп, для розрахунку приймається середня швидкість від граничних швидкостей руху для цих населених пунктів.							

Згідно із ДБН А.2.2-12:2019 [4] район виїзду пожежно-рятувального підрозділу повинен визначатися по шляху слідування до найбільш віддаленої будівлі або споруди підприємства по дорогах загального користування або проїздах. У разі перевищення довжини і вказаного шляху слідування на майданчику підприємства необхідно передбачати додаткові пожежні депо III типу, з урахуванням визначених радіусів обслуговування.

За наявності на майданчику підприємства будівель і споруд III, IIIб, IV , IVа, V ступенів вогнестійкості з площею забудови, що становить більше 50 % площі забудови підприємства, довжину шляху слідування необхідно зменшувати на 40 %.

У науковій статті [7] зазначено, що в Україні нормативно врегульовані і використовуються "старий" і "новий" підходи щодо визначення місць дислокації пожежно-рятувальних підрозділів які засновані на реалізації механізмів просторового і часового критеріїв. Наголошено також, що нормативне врегулювання місць дислокації пожежно-рятувальних підрозділів є вагомим інструментом державного регулювання у сфері цивільного захисту України, який пов'язаний із запровадження нормативно-правових змін однієї із його складових — реагування на надзвичайні ситуації та ліквідації їх наслідків, що направлений на вирішення нагальних проблем забезпечення безпеки громадян на місцевому, регіональному та державному рівнях.

## **1.2 Огляд публікацій з моделювання зон доступності**

Публікації, що містять огляди засобів моделювання ізохрон (зон досяжності за певний час) для екстрених служб, зазвичай зосереджуються на використанні ГІС та спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу часу реагування [19, 20, 25, 26, 38].

Аналіз зон обслуговування часто проводиться в академічних та прикладних дослідженнях з використанням різних ГІС засобів, найчастіше це :

ArcGIS (ESRI) як комплекс рішень для просторового аналізу, включаючи створення ізохрон на основі потужних засобів аналізу мереж (Network Analyst) для розрахунку часу руху на основі дорожньої мережі, швидкості руху та заторів;

QGIS (з відкритим кодом) як безкоштовна альтернатива, яка підтримує плагіни, що дозволяють генерувати ізохрони та ізодистанції та популярним вибором для дослідників та муніципалітетів з обмеженим бюджетом;

спеціалізоване програмне забезпечення для пожежних служб (Fire RMS): деякі комплексні системи управління ресурсами пожежних служб, такі як ESO Fire RMS, First Due або APX Fire RMS, включають модулі для аналізу покриття та часу реагування, які використовують ізохронні моделі для оцінки ефективності розміщення підрозділів екстрених служб;

засоби на основі веб-карт/API, наприклад, MAPOG [20], використовують API картографічних служб (Google Maps API, OpenStreetMap тощо) для створення ізохрон, доступності підрозділів екстрених служб та аналізу прогалин у покритті.

В наукових статтях аналізують методики розрахунку ізохрон, порівнюють різні моделі та оцінюють їхню ефективність для конкретних міст. Наприклад, в дослідженні [38] оцінювалася просторова доступність закладів екстреної медичної допомоги в центральних районах Пекіну за допомогою ізохронного аналізу, що дало змогу виявити прогалини в 8-хвилинному покритті території великого міста.

В багатьох публікаціях порівнюються можливості різних програм, заснованих на конкретних варіантах використання, наприклад, для аналізу доступності транспорту чи міського планування. Ці статті часто містять опис використаних інструментів та їхніх сильних і слабких сторін.. Деякі огляди зосереджуються на відмінностях між комерційними рішеннями, такими як ArcGIS (з його модулем Network Analyst), і відкритими інструментами, такими як QGIS (з плагінами AwaP, ORS Tools, тощо) та PostGIS/PgRouting, наприклад [19]. Зазначається, що комерційні програми часто мають більше готових функцій, тоді як відкриті рішення пропонують більшу гнучкість та можливість налаштування алгоритмів .

На спеціалізованих форумах та в публікаціях обговорюються та порівнюються різні API (програмні інтерфейси), які використовуються для генерації ізохрон, наприклад, для веброзробок.

Можна навести кілька прикладів публікацій (переважно англомовних), які віддзеркалюють викладені вище загальні тенденції.

В статті [24] розглянуто 25 програмних засобів з відкритим кодом для транспортного планування, включаючи генерацію ізохрон, та обговорюється їхній потенціал.

В статтях [18, 26] на основі геоінформаційного моделювання ізохрон оцінюється доступність до різних сервісів у великих містах засобами

громадського транспорту, включно з методикою розрахунку ізохрон для мультимодальних транспортних мереж (автобусні, метро, залізниця тощо).

Найбільш близьким до напряму магістерської роботи є дослідження [25] в якому аналізується достатність пожежних станцій з точки зору їх розподілу в районі Джакарта Пусат відповідно до умов міста. За допомогою інструментів аналізу доступності на основі ГІС створюється карта часу проїзду пожежних машин та визначається територія обслуговування для кожної пожежної станції. Використовуючи кількість населення та будівель як параметри ймовірності пожежі, оцінюється розподіл навантаження по всій території. Також пропонується метод оцінки навантаження, щоб полегшити розмежування недостатньо або перевантаженої території. Встановлено, що, більшість районів Джакарта Пусат вже відповідають стандартним критеріям щодо часу проїзду. Однак, все ще існує велика нерівність навантаження між пожежними станціями, кілька станцій все ще вважаються недостатньо або перевантаженими. Обґрунтовано рекомендації щодо змінити розподілу пожежних станцій у місті, щоб створити ефективнішу систему реагування на пожежі.

### **1.3 Аналіз програмних засобів моделювання зон доступності в ГІС**

Методології моделювання зон доступності знаходять свою практичну реалізацію через спектр спеціалізованого програмного забезпечення. Вибір конкретного засобу визначає не лише технологічний стек проекту, але й його масштабованість, продуктивність, вартість та потенціал для інтеграції в системи прийняття управлінських рішень. Сучасний ринок пропонує рішення, що варіюються від зручних графічних інтерфейсів настільних ГІС до потужних програмних бібліотек та сервісів, орієнтованих на розробників.

Аналіз програмних засобів є критично важливим етапом, оскільки саме вони виступають «виконавчим механізмом», що перетворює вихідні геопросторові дані, моделі транспортних мереж та нормативні вимоги на конкретні просторові об'єкти – зони доступності. Умови використання цих

моделей – чи то разовий аналіз, чи створення автоматизованої системи моніторингу в реальному часі – безпосередньо впливають на вибір технології.

Далі представлено огляд ключових категорій програмного забезпечення для моделювання зон доступності: від потужних комерційних та відкритих ГІС-платформ до спеціалізованих розширень для систем керування базами даних, веб-сервісів та інструментів для програмістів. Кожен поміж підходів має свої унікальні переваги, обмеження та область найефективнішого застосування, що дозволить обґрунтовано визначитися з інструментарієм для реалізації практичної частини цього дослідження, зосередженого на використанні середовища СКБД PostgreSQL/PostGIS з мережним розширенням pgRouting.

**В ArcGIS** реалізовано найбільш комплексне рішення. Робота відбувається в спеціальному вікні "Network Analyst", де створюється новий шар "Service Area". Віджет "Service Area" – основний інструмент, який дозволяє налаштувати:

- пороги відстані/часу;
- обрізку полігонів (для більш акуратного вигляду);
- врахування одностороннього руху, обмежень поворотів;
- врахування трафіку в реальному часі при наявності відповідних даних.

Мережні набори даних (Network Dataset): Основа для аналізу. Може включати кілька режимів транспорту (пішки, автомобіль) та складні атрибути.

В онлайн-документації програмного засобу зазначено, що програма визначає зони обслуговування навколо об'єктів за відстанню або часом. Програма пропонує багато параметрів, які можна налаштувати для створення полігонів часу руху з високою точністю.

**В QGIS** моделювання виконується через вбудовані інструменти та спеціалізовані плагіни. Найпотужнішим рішенням є плагін QNEAT3, в якому для побудови ізохрон використовуються алгоритми:

- Shortest Path (Layer to Point);
- Iso-Area as Contour (from Point);
- Iso-Area as Polygon (from Point).

Вбудований засіб "Service Area (from Layer)": доступний в меню "Processing" -> "Network Analysis". Менш гнучкий, ніж QNEAT3, але працює без встановлення додаткових плагінів.

GRASS GIS (v.net.iso): Можна викликати через Processing Toolbox. Потужний, але складніший у налаштуванні.

***pgrRouting*** – ***мережне розширення СКБД PostgreSQL***. Моделювання виконується шляхом написання SQL-запитів до бази даних. Це програмний підхід, який ідеально підходить для автоматизації та вбудовування в веб-застосунки. Засоби моделювання та мережного аналізу – це функції, що доступні для виклику в SQL-запитах. Для побудови ізохрон використовуються такі функції:

- `pgr_drivingDistance` - обчислює зону доступності як множину вершин транспортної мережі, які досяжні в межах заданої відстані або часу;
- `pgr_alphaShape` - перетворює результати `pgr_drivingDistance` (набір вершин) на полігон, який і є візуальною зоною доступності;
- `pgr_dijkstra` – функція, що реалізує класичний алгоритм пошуку найкоротшого шляху, який може бути використаний як основа для побудови ізохрон.

***Вебсервіси та API (Valhalla, GraphHopper, OSRM тощо)*** засновані на взаємодії клієнтської програми із прикладними вебсервісами на серверах, що доступні в Інтернеті переважно на платній основі. Результати обчислень ізохрон можуть повертатися у форматі GeoJSON. Зо цієї групи засобів належать:

- Valhalla / Isochrone API: дуже потужний і швидкий рушій. Дозволяє будувати ізохрони для авто, велосипеда, пішки, враховувати багато точок одночасно;
- GraphHopper Isochrone API: аналогічний сервіс з хорошою документацією;
- OpenRouteService: користувацький вебінтерфейс та API, побудований на основі відкритих даних і прикладного вебсервісу.

*Python з API до засобів мережного аналізу* призначений для розроблення скриптів, що забезпечує максимальну гнучкість і контроль над процесом з використанням таких засобів/програмних бібліотек:

- OSMnx + NetworkX: OSMnx завантажує мережі з OpenStreetMap, а NetworkX виконує мережевий аналіз. Можна реалізувати власний алгоритм побудови ізохрон на основі пошуку в ширину;

- Pandas + GeoPandas: для обробки та маніпуляції даними;

- Folium / Matplotlib: для візуалізації результатів.

В табл. 1.1 узагальнено результати порівняння вищенаведених програмних засобів моделювання зон доступності.

Підсумовуючи огляд публікацій в п.1.2 та результати вищенаведеного аналізу програмних засобів геоінформаційного моделювання зон доступності, можна зробити такі висновки щодо застосовності найпоширеніших програмних засобів:

ArcGIS/Network Analyst – лідер для корпоративного використання з підтримкою засобів урахування трафіку транспортної мережі;

PostgreSQL/pgRouting – найкраща технологія для створення масштабованих, кросплатформних та інтегрованих рішень;

QGIS — найкращий вибір для ознайомлення та реалізації невеликих проектів з обмеженим бюджетом;

вебсервіси + API – ідеальні для швидкої реалізації без власної інфраструктури;

Python+ API – надає максимальну свободу для дослідників і розробників.

Таблиця № 1.1

## Порівняння програмних засобів моделювання зон доступності

Критерії порівняння	Вербальна оцінка програмних засобів за критеріями порівнянь				
	ArcGIS Network Analyst	QGIS з плагінами мережного аналізу	PostgreSQL/pgRouting	Веб-сервіси (Valhalla, 2GIS тощо)	Python з API до засобів мережного аналізу
Тип ліцензії	Комерційна	Відкрита / Безкоштовна	Відкрита / Безкоштовна	Платна (без функціональних обмежень) / Безкоштовна (з обмеженнями)	Відкрита / Безкоштовна
Складність освоєння	Легка	Середня	Висока	Низька	Висока
Гнучкість та контроль	Висока	Висока	Дуже висока	Обмежена API	Максимальна
Можливість автоматизації	Середня (ModelBuilder, Python)	Середня (на основі Processing)	Висока (SQL-скрипти)	Висока (HTTP-запити)	Максимальна (скрипти)
Підтримка трафіку в реальному часі	Так	Обмежена	Ні (потрібна зовнішня обробка)	Так	Так (через інтеграцію)
Масштабованість	Висока	Середня (залежить від ПК)	Дуже висока (серверна архітектура)	Дуже висока	Залежить від реалізації
Інтеграція з веб-додатками	Складна	Складна	Висока (через API до БД)	Ідеальна(через API)	Висока
Ідеально підходить для	Корпоративного середовища, комплексних проектів "під ключ"	Навчання, реалізації невеликих проектів, підготовки даних	Розроблення систем, автоматизації, веб-ГІС	Швидкої розробки, мобільних додатків	Досліджень, алгоритмів, створення прототипів

Зважаючи на значну кількість інструментальних засобів геоінформаційного моделювання зон доступності, великі обсяги геопросторових даних про транспортні мережі, що потребують підтримки їх постійного оновлення, велике число зацікавлених користувачів та різних предметних сфер використання результатів моделювання можна говорити про формування екосистеми цифрової платформи геоінформаційного моделювання зон доступності (обслуговування, досяжності) (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Складові екосистеми цифрової платформи геоінформаційного моделювання зон доступності

У сучасному контексті "екосистема" означає динамічну структуру, що складається з різноманітних, взаємопов'язаних елементів, які взаємодіють між собою та із зовнішнім середовищем. Основна мета існування екосистеми — створити цінність (продукти, послуги, інновації), яку жоден з учасників не міг би створити самостійно з такою ж ефективністю. Цифрова платформа геоінформаційного моделювання зон доступності належить до інноваційних екосистем, що включає університети, дослідницькі центри, стартапи, інвесторів та державні установи, які взаємодіють для стимулювання інноваційного розвитку, підприємництва та широкого використання результатів для сталого розвитку суспільства.

#### 1.4 Структура, завдання та обмеження проекту

Структура дипломної роботи логічно витікає з поставлених завдань. Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану питання моделювання зон доступності, вимогам до нормативів часу прибуття екстрених служб на місце виклику та аналізу програмних засобів геоінформаційного моделювання зон доступності.

У другому розділі детально розглянуто методичні засади геоінформаційного моделювання зон доступності в ГІС з використанням технології баз геопросторових даних в середовищі ОРСКБД PostgreSQL із спеціальними розширеннями PostGIS та pgRouting відповідно для підтримки геопросторових типів даних і мережного аналізу в середовищі СКБД. Розроблено структурно-функціональну схему ГІС моделювання зон доступності з використанням ОРСКБД (ГІС МЗД), концептуальну модель бази геопросторових даних ГІС МЗД та методику геоінформаційного моделювання зон доступності з використанням функцій мережного розширення pgRouting. включає методи підготовки транспортної мережі м. Києва для аналізу, огляд алгоритмів мережевого аналізу та принципи їх реалізації в середовищі СКБД засобами PostGIS та pgRouting..

Третій, практичний розділ, містить характеристику цільових об'єктів та вхідних даних на територію м. Києва, а саме: мережа станцій екстреної медичної допомоги (СЕМД) міста, дислокація підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ГУ ДСНС України у м. Києві, геометрична модель вулично-дорожньої мережі міста. Приведено логічні схеми таблиць цільових об'єктів БГД, схеми алгоритмів та тексти розроблених прикладних SQL функцій геоінформаційного моделювання зон доступності а також результати використання розроблених прикладних SQL функцій для геоінформаційного моделювання зон доступності станцій екстреної медичної допомоги та пожежних і пожежно-рятувальних частин (ПЧ/ПРЧ) м. Києва. Виконано картографування результатів моделювання зон доступності та просторового аналізу покриття території міста зонами з дотриманням нормативного часу

прибуття екстрених служб на місця викликів та ідентифіковано межі «сірих зон», в яких ці нормативні показники не досягаються.

### ***Обмеження проекту***

Як джерела моделі транспортної мережі міста Києва використовуються набори даних, які потребують попередньої валідації та корекції атрибутів щодо організацію руху (обмеження швидкості, односторонній рух тощо).

Моделювання ґрунтується на усереднених значеннях швидкості руху для різних типів доріг без урахування рельєфу місцевості та добових змін в трафіку руху транспорту.

Розроблені SQL-функції використовують статичну структуру БД, що обумовлено часовими рамками проєкту. Вони розроблялися для демонстрації можливості реалізації запропонованих алгоритмів та дослідження покриття зонами нормативної доступності екстрених служб м. Києва.

### **Висновки до розділу 1**

Сучасні інструментальні ГІС та розширення СКБД надають широкий спектр засобів для моделювання зон доступності, від простих буферних зон до складних мережеских ізохрон, що враховують трафік. Найбільш комплексні рішення щодо мережного аналізу надаються в програмних засобах ArcGIS (Network Analyst).

Спостерігається загальна тенденція до використання відкритих технологій та хмарних рішень для створення систем оперативного моніторингу та планування роботи екстрених служб.

Для завдань, що вимагають високої продуктивності, масштабованості та інтеграції в інформаційні системи підтримки прийняття управлінських рішень, перспективним є використання технології баз геопросторових даних на основі ОРСКБД PostgreSQL/PostGIS з мережними розширенням pgRouting.



## 2 МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ В СЕРЕДОВИЩІ БАЗ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

### 2.1 Структурно-функціональна модель ГІС моделювання зон доступності з використанням бази геопросторових даних

Зони доступності екстрених служб в ГІС моделюються полігонами, що обмежені лініями ізохрон, які відповідають нормативному часу прибуття підрозділів екстрених служб із місць дислокації екстрених служб до місця виклику по вулично-дорожній мережі міста (ВДМ). Процес побудови ізохрон належить до класичних задач мережного аналізу в ГІС, який можна формально подати як систему  $S$  опрацювання геопросторових даних в ГІС з використанням функцій мережного аналізу:

$$S = \{SNGM, SNTM, GM2TM, ESD, ISOCHRON \Rightarrow FNET (ESD, SNTM, NormT)\},$$

де:  $SNGM$  – геометрична модель ВДМ як сукупності геометрично узгоджених ділянок осьових ліній проїзних частин вулиць і автодоріг міста (див. п.1.1.1, рис. 1.2);

$SNTM$  – топологічна модель ВДМ, що містить координати ідентифікованих вузлів в місцях з'єднання ділянок осьових ліній ВДМ та геометричну модель ВДМ  $SNGM$  посиланнями на ідентифікатори початкового і кінцевого вузлів кожної ділянки ВДМ; топологічна модель за своїм змістом відповідає математичній графовій моделі ВДМ на множині вузлів і ребер (ділянок) мережі;

$GM2TM$  – функція створення топологічної моделі ВДМ  $SNTM$  на основі її геометричної моделі  $SNGM$ ;

$ESD$  – набір даних цифрової моделі з точками розміщення (дислокації) підрозділів екстрених служб міста;

$ISOCHRON$  – цифрові векторні моделі полігонів ізохрон для кожного підрозділу екстрених служб із набору даних  $ESD$ , які обчислюються спеціальними функціями мережного аналізу  $FNET$  інструментальної ГІС або

просторових розширення універсальних СКБД з урахуванням нормативного часу прибуття підрозділів екстрених служб до місця виклику по вулично-дорожній мережі міста, що описана топологічною моделлю *SNTM*.

Системі *S* відповідає операційний граф опрацювання даних (рис. 2.1), а структурно-функціональна модель її реалізації в ГІС з використанням бази геопросторових даних в середовищі СКБД PostgreSQL подано на рис. 2.2.

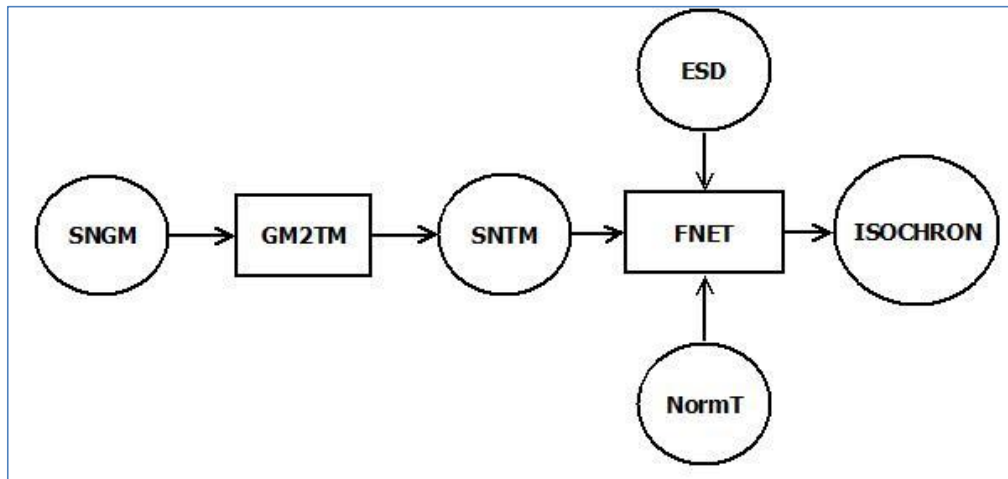


Рис. 2.1. Операційний граф системи *S* геоінформаційного моделювання зон доступності для підрозділів екстрених служб

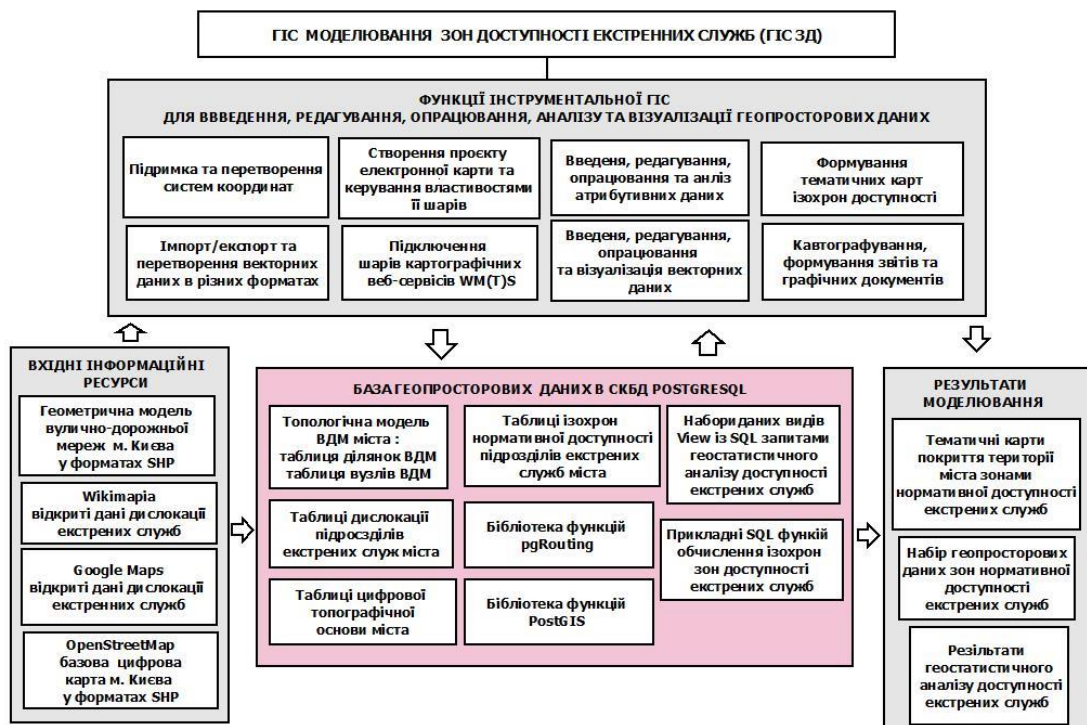


Рис. 2.2. Структурно-функціональна модель ГІС моделювання зон доступності екстрених служб міста з використанням БД в СКБД PostgreSQL

В структурно-функціональній моделі ГІС моделювання зон доступності екстрених служб міста (ГІС МЗД) деталізовано склад компонентів системи, які забезпечують автоматизацію усіх етапів моделювання зон доступності в середовищі СКБД бази геопросторових даних – від введення вхідних даних про місця дислокації підрозділів екстрених служб міста (ЕСМ), геометричну модель вулично-дорожньої мережі (ВДМ) до власне геоінформаційного моделювання нормативних зон доступності ЕСМ та геостатистичного аналізу рівня охоплення території міста цими зонами для підтримки прийняття рішень щодо удосконалення системи цивільного захисту населення та надання екстреної медичної допомоги міста.

ГІС МЗД ґрунтується на використанні базових функцій інструментальної ГІС, ОР СКБД PostgreSQL з розширеннями PostGIS та pgRouting відповідно для підтримки геопросторових типів даних та аналізу транспортних мереж в середовищі універсальної СКБД, а її прикладна орієнтація визначається вмістом бази даних, прикладними SQL функціями моделювання зон нормативної доступності ЕСМ, розроблення яких належить до основних завдань цієї роботи, а також технологічними схемами застосування функцій інструментальної ГІС та СКБД щодо створення, наповнення та використання бази даних для вирішення прикладної задачі моделювання зон доступності ЕСМ, геостатистичного аналізу та документування результатів цього моделювання.

До основних компонентів бази даних ГІС МЗД належать:

- векторні дані цифрової топографічної основи (ЦТО), яка використовується як координатна основа моделювання та визначення просторової локалізації місць дислокації підрозділів ЕСМ;
- геопросторові дані реєстру вулиць і адрес міста для геокодування місць дислокації підрозділів ЕСМ на основі їх адрес;
- геопросторові дані місць дислокації підрозділів ЕСМ;
- геопросторові дані топологічної моделі ВДМ, що подається в таблиці ділянок ВДМ і таблиці вузлів з'єднання цих ділянок в мережі;

- геопросторові дані таблиць ізохрон нормативного часу доступності підрозділів СЕМ до місць викликів;
- набори даних, що створюються в результаті виконання SQL запитів видів View для геостатистичного аналізу доступності СЕМ на території міста.

До основних результатів моделювання зон доступності СЕМ, які можна отримати за допомогою ГІС МЗД належать:

тематичні карти покриття території міста зонами нормативної доступності підрозділів СЕМ;

набори геопросторових даних зон нормативної доступності підрозділів СЕМ та набори даних геостатистичного аналізу доступності екстрених служб на території міста для подальшого використання цих наборів в інформаційних системах підтримки управлінських рішень щодо поліпшення систем цивільного захисту та надання екстреної медичної допомоги мешканцям міста.

## **2.2 Концептуальна модель бази геопросторових даних ГІС моделювання зон доступності екстрених служб**

В концептуальній моделі бази геопросторових даних ГІС моделювання зон доступності (рис.2.3) подано цільові геопросторові об'єкти, які безпосередньо використовуються або створюються в результаті моделювання зон доступності, а також використовуються для тематичного картографування результатів моделювання.

До цільових об'єктів ГІС МЗД екстрених служб м. Києва, цифрові моделі яких безпосередньо використовуються для моделювання зон доступності або створюються в результаті цього моделювання належать:

ділянки моделі ВДМ;

вузли моделі ВДМ;

пункти пожежно-рятувальних підрозділів;

станції екстреної медичної допомоги;

зони доступності пунктів пожежно-рятувальних підрозділів;

зони доступності станцій екстреної медичної допомоги.

Каталоги атрибутів цих об'єктів з урахуванням реалізації БГД в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS приведено таблицях 2.1 - 2.6.

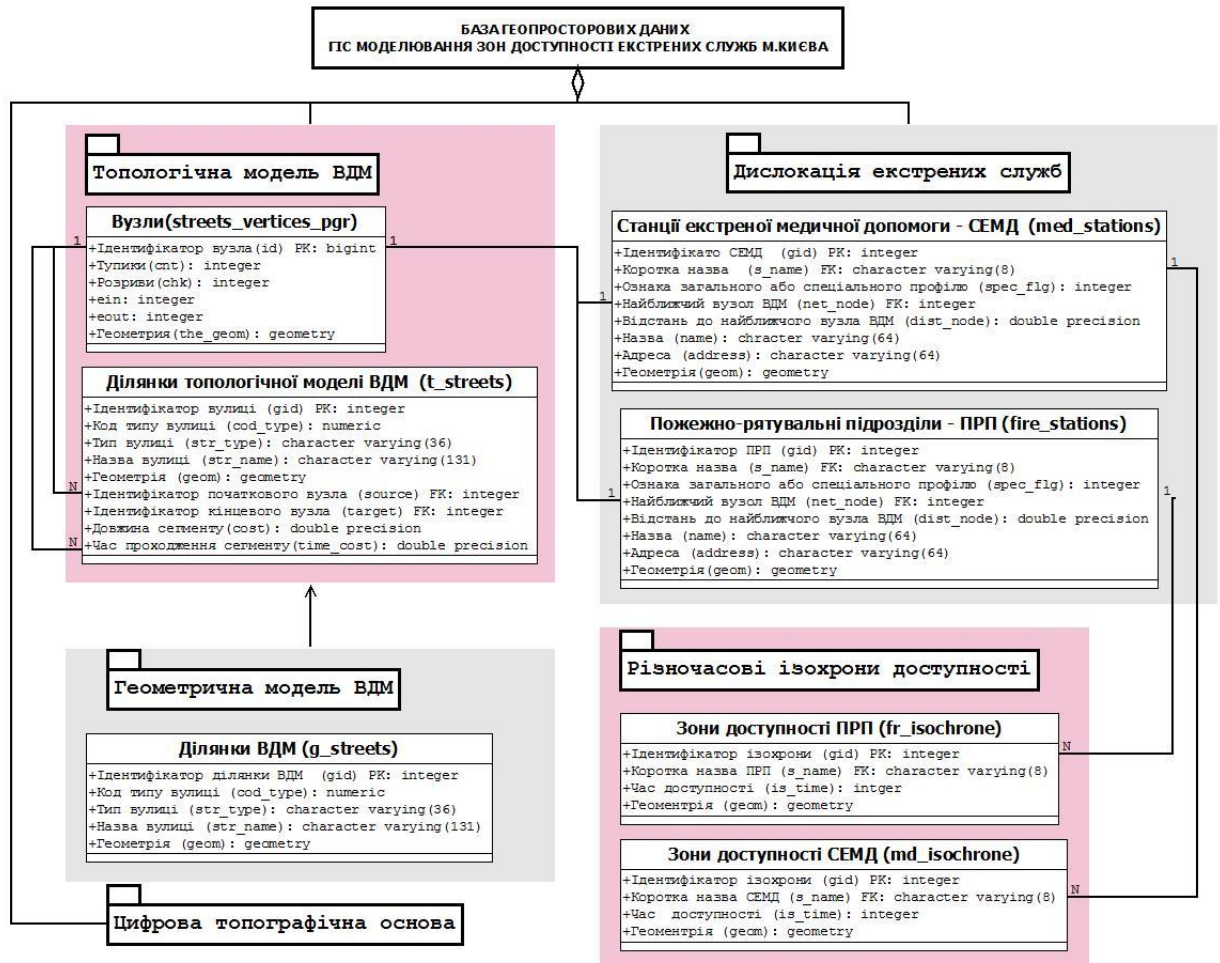


Рис. 2.3 UML діаграма концептуальної моделі бази геопросторових даних ГІС моделювання зон доступності міських екстрених служб

Таблиця 2.1

Каталог атрибутів класу *streets* – ділянки ВДМ

Ім'я атрибута	Тип даних	Призначення атрибута
gid	integer	Унікальний ідентифікатор ділянки
cod_type	numeric	Код типу вулиці
str_type	character varying(36)	Тип вулиці
str_name	character varying(131)	Назва вулиці
geom	geometry	Геометрія ділянки осьової вулиці
source	integer	Ідентифікатор початкового вузла
target	integer	Ідентифікатор кінцевого вузла
cost	double precision	Довжина ділянки, метри
time_cost	double precision	Час проходження ділянки, хвилини

Таблиця 2.2

Каталог атрибутів класу *streets\_vertices\_pgr* – вузли ділянок ВДМ

Ім'я атрибута	Тип даних	Призначення атрибута
id	bigint	Унікальний ідентифікатор вузла
cnt	integer	Ознака вузла-тупики
chk	integer	Ознака вузла розриву мережі
ein	integer	Число ділянок ВДМ, для котрих вузол є кінцевим (target)
eout	integer	Число ділянок ВДМ, для котрих вузол є початковим (source)
the_geom	geometry	Точка розташування вузла

Таблиця 2.3

Каталог атрибутів класу *fire\_stations* – пожежно-рятувальні підрозділи (ПРП)

Ім'я атрибута	Тип даних	Призначення атрибута
gid	integer	Унікальний ідентифікатор ПРП
s_name	character varying(10)	Скорочена назва ПРП
spec_flg	integer	Ознака профілю спеціалізації ПРП
net_node	integer	Ідентифікатор найближчого вузла ВДМ
dist_node	double precision	Відстань до найближчого вузла ВДМ
name	character varying(64)	Назва ПРП
address	character varying(64)	Адреса ПРП
geom	geometry	Точка розташування ПРП

Таблиця 2.4

Каталог атрибутів класу *med\_stations* – станції екстреної медичної допомоги

Ім'я атрибута	Тип даних	Призначення атрибута
gid	integer	Унікальний ідентифікатор станції
s_name	character varying(10)	Скорочена назва станції
spec_flg	integer	Ознака профілю спеціалізації станції
net_node	integer	Ідентифікатор найближчого вузла ВДМ
dist_node	double precision	Відстань до найближчого вузла ВДМ
name	character varying(64)	Назва станції
address	character varying(64)	Адреса станції
geom	geometry	Точка розташування станції

Таблиця 2.5

Каталог атрибутів класу *fr\_isochrone* – зони доступності ПРП

Ім'я атрибута	Тип даних	Призначення атрибута
gid	integer	Унікальний ідентифікатор ПРП
s_name	character varying(10)	Скорочена назва ПРП
is_time	integer	Час ізохрони доступності, хвилини
geom	geometry	Геометрія полігону ізохрони

Таблиця 2.6

Каталог атрибутів класу *md\_isochrone* – зони доступності станцій екстреної медичної допомоги

Ім'я атрибута	Тип даних	Призначення атрибута
gid	integer	Унікальний ідентифікатор станції
s_name	character varying(10)	Скорочена назва станції
is_time	integer	Час ізохрони доступності, хвилини
geom	geometry	Геометрія полігону ізохрони

Реалізації логічних моделей усіх цільових класів у вигляді SQL операторів CREATE TABLE приведено в додатку А.1.

## 2.3 Методика використання засобів моделювання зон доступності в середовищі СКБД PostgreSQL

### 2.3.1 Програмні розширення СКБД PostgreSQL для моделювання зон доступності

Моделювання зон доступності в середовищі СКБД PostgreSQL ґрунтується на використанні програмних функцій двох спеціальних розширень цієї СКБД, а саме: PostGIS та pgRouting (рис.2.4). Програмний інтерфейс доступу до функцій цих бібліотек забезпечує формування SQL запитів до таблиць БГД та програмування прикладних функцій побудови ізохрон доступності з використанням вбудованих мов програмування, зокрема PL/pgSQL. Бібліотеки розширень На рис. 2.4 приведено діаграма групи функцій спеціальних розширень PostGIS та pgRouting містять близько 1000 функцій, які призначені для вирішення широкого класу прикладних задач щодо створення та аналізу геопросторових даних включно з мережним аналізом.

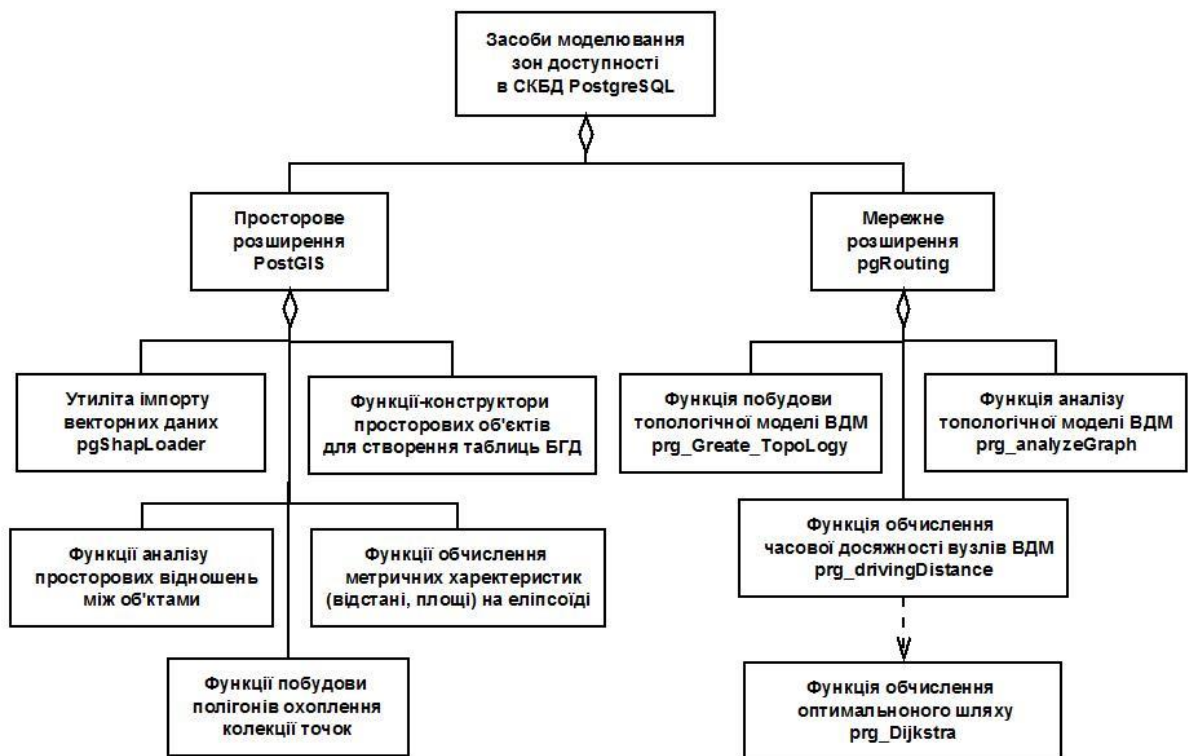


Рис. 2.4. Функції спеціальних розширень СКБД PostgreSQL, що використовуються для геоінформаційного моделювання зон доступності

На діаграмі (рис. 2.4) приведено лише групи тих основних функцій, які використовуються для геопросторового моделювання зон доступності.

Підключення розширень до бази даних здійснюється виконанням стандартного SQL запиту для створення/під'єднання відповідних програмних бібліотек, які зазвичай входять в стандартну інсталяцію PostgreSQL:

```
CREATE EXTENSION postgis;  
CREATE EXTENSION pgrouting;
```

*pgRouting* – це розширення PostgreSQL/PostGIS, яке містить набір прикладних функцій мережного аналізу і моделювання, зокрема: пошуку оптимальних маршрутів, вирішення задачі комівояжера, обчислення ізохрон для зон транспортної доступності та зон обслуговування.

В усіх функціях доступна варіативність в залежності від повноти і комплектності вхідних даних щодо існуючих обмежень (допустимі маневри у вузлах поворотів, вулиці з одностороннім рухом, обмеження швидкості руху тощо).

### ***2.3.2 Завантаження та налаштування топологічної моделі вулично-дорожньої мережі для використання функцій pgRouting***

Придатним для мережного моделювання з використанням *pgRouting* вважається набір даних геометричної моделі ВДМ, який містить сегменти ВДМ з типом просторових даних *LineString*. Сегменти – це ділянки осьових ліній вулиць/смуг руху, що розділені на перехрестях, з топологічно узгодженими граничними точками сегментів, можливо з деякою інформацією про обмеження швидкості, довжину смуг доріг тощо.

Дуже часто шейп-файли векторних даних ВДМ, зокрема в наборах OpenStreetMap (OSM) містять сегменти з типом даних *MultiLineString*.

Утиліта *pgShapLoader*, що постачається в складі розширення PostGIS для завантаження в БГД векторних даних у форматах shp-файлів, має поміж параметрів налаштування імпортування файлів «прапорець» опції для створення сегментів з простою геометриєю типу *LineString* замість складених елементів типу *MultiLineString*.

**Створення топологічної моделі ВДМ.** pgRouting працює з власною специфічною топологічною моделлю ВДМ, яка створюється за допомогою *pgr\_CreateTopology*. Перед використанням функції *pgr\_CreateTopology* потрібно в базу даних завантажити геометричну модель ВДМ, наприклад, *streets*, та модифікувати її структуру додатковими атрибутами два поміж яких є обов'язковими – це ідентифікатори початкового та кінцевого вузла ділянки ВДМ. Їхні імена за замовчуванням – *source* та *target* відповідно. Для використання моделі функціями мережного аналізу потрібно мати також атрибути оцінки «вартості» проїзду по ділянках дороги. В математичному сенсі це ваги дуг топологічного графу мережі ділянок доріг, а її значення, залежно від цілей та умов моделювання, може відповідати відстані, часу або вартості проїзду в прямому сенсі. Для моделювання ізохрон доцільно додати атрибути: *cost* – довжина ділянки в метрах; *time\_cost* - час проїзду у хвилинах. Модифікація моделі ВДМ відповідно до вимог pgRouting має таку типову схему:

```
ALTER TABLE streets ADD COLUMN source integer;
ALTER TABLE streets ADD COLUMN target integer;
ALTER TABLE streets ADD COLUMN cost double precision;
ALTER TABLE streets ADD COLUMN time_cost double precision;
```

Оскільки таблиця *streets* містить геометрію в системі координат WGS 84(SRID 4326 в градусній мірі широти/довготи, то для обчислення значення атрибута *cost* як довжини ділянки дороги в метрах потрібно виконати з використанням функції PostGIS для відстані на поверхні еліпсоїду *ST\_LengthSpheroid()* за такою типовою схемою для середньої швидкості руху автомобіля в умовах великого міста 30 км/год:

```
UPDATE streets
SET cost = ST_LengthSpheroid( geom,
                             'SPHEROID["GRS_1980",6378137,298.257222101] ');
UPDATE streets SET time_cost = cost/500.;
```

*pgr\_CreateTopology* – функція побудови топологічної моделі для геопросторових даних геометрії (ВДМ) має таку типу схему виклику:

```
SELECT pgr_createTopology(
```

```
'streets',0.000001,'geom','gid','source','target', rows_where, clean);
```

Параметри виклику функції [31. 32]:

*'streets'* – ім'я таблиці вхідної геометричної моделі ВДМ;

*0,000001* – допуск; допуск збігу граничних точок ділянок ВДМ;

*'geom'* – ім'я атрибута геометрії ділянок в таблиці ВДМ;

*'gid'* – ім'я атрибута ідентифікатора ділянки мережі в таблиці ВДМ;

*'source'* – ім'я атрибута ідентифікатора початкового вузла ділянки мережі в таблиці ВДМ;

*'target'* – ім'я атрибута ідентифікатора кінцевого вузла ділянки мережі в таблиці ВДМ;

два не обов'язкових / опціональних атрибута:

*rows\_where* – логічне значення умови опрацювання підмножини записів таблиці ВДМ; стандартно значення 'true' для опрацювання всіх рядків таблиці streets, де значення атрибутів *source* / *target* є нульовими; інакше обробляється підмножина усіх рядків;

*clean* – логічний вказівник на необхідність вилучення із таблиці значень атрибутів будь-якої попередньої топології; стандартно значення false.

Зауважимо, що усі відомості про вхідну таблицю геометричної моделі ВДМ в параметрах виклику програмних функцій розширення pgRouting передаються у вигляді тестових літералів *'streets'*, *'geom'*, *'gid'*, *'source'*, *'target'*, що забезпечує гнучке налаштування функцій як на ім'я вхідної таблиці ВДМ, так і на імена атрибутів в ній. Потрібно лише дотримуватися послідовності літералів у вхідних параметрах виклику. Це не потребує попереднього приведення структури вхідної таблиці ВДМ до деякої статичної структури таблиці ВДМ, яка могла бути прийнята як уніфікована для бібліотеки програмних функцій pgRouting.

Функція *pgr\_CreateTopology* видає повідомлення про опрацювання вхідної геометричної моделі та статистику результату, наприклад:

```
ПОВІДОМЛЕННЯ: PROCESSING:
ПОВІДОМЛЕННЯ: pgr_createTopology('street', 1e-06, 'geom', 'gid',
'source', 'target', rows_where := 'true', clean := f)
```

```

ПОВІДОМЛЕННЯ: Performing checks, please wait .....
ПОВІДОМЛЕННЯ: Creating Topology, Please wait...
ПОВІДОМЛЕННЯ: 1000 edges processed
.....
ПОВІДОМЛЕННЯ: 11000 edges processed
ПОВІДОМЛЕННЯ: -----> TOPOLOGY CREATED FOR 11104 edges
ПОВІДОМЛЕННЯ: Rows with NULL geometry or NULL id: 0
ПОВІДОМЛЕННЯ: Vertices table for table public.street is:
public.street_vertices_pgr
ПОВІДОМЛЕННЯ: -----
Successfully run. Total query runtime: 20 secs 587 msec.
1 rows affected.

```

В результаті виконання функції *pgr\_CreateTopology*:

а) створюється таблиця *streets\_vertices\_pgr* з унікальними числовими ідентифікаторами та координатами вузлових точок у відповідності з граничними точками ділянок у вхідній геометричній моделі ВДМ (рис. 2.5);

б) будується просторовий індекс таблиці *streets\_vertices\_pgr* для прискорення операцій просторового аналізу при її використанні іншими функціями *pgRouting* та прикладними функціями;

в) заповнюються значення атрибутів *source* і *target* в таблиці *streets* відповідними числовими ідентифікаторами вузлів, визначеними в таблиці *streets\_vertices\_pgr*;

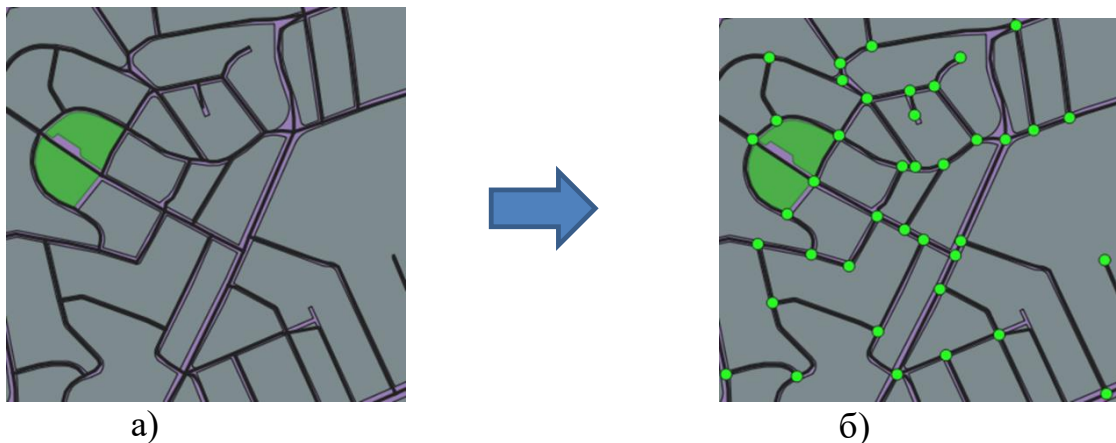


Рис. 2.5. Ілюстрація створення топологічної моделі ВДМ (б) функцією *pgr\_CreateTopology* з вузлами ВДМ в таблиці *streets\_vertices\_pgr* на основі вхідної геометричної моделі сегментів осьових ліній ВДМ (а)

Для перевірки топологічної узгодженості моделі ВДМ в *pgRouting* призначена функція *pgr\_analyzeGraph*, яка викликається за такою схемою:

```
SELECT pgr_analyzeGraph('streets', 0.00001, 'geom', 'gid');
```

Виконання функції завершується повідомленням **OK** (успішне завершення) або **FAIL** в іншому разі. Результати перевірки топології вхідної моделі ВДМ видаються в протоколі контролю, приклад змісту якого наведено нижче.

### *Приклад повідомлення функції pgr\_analyzeGraph*

ПОВІДОМЛЕННЯ: Виконання перевірок, зачекайте...  
 ПРИМІТКА: Аналіз тупиків. Будь ласка, зачекайте...  
 ПРИМІТКА. Аналіз наявності прогалін. Будь ласка, зачекайте...  
 ПРИМІТКА. Аналіз ізольованих країв. Будь ласка, зачекайте...  
 ПРИМІТКА. Аналіз кільцевої геометрії. Будь ласка, зачекайте...  
 ПРИМІТКА: Аналіз перехресть. Будь ласка, зачекайте...  
 ПРИМІТКА: РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ДЛЯ ОБРАНИХ СЕГМЕНТІВ:  
 ПРИМІТКА. Ізольовані сегменти: 50  
 УВАГА: тупики: 1316

ПОВІДОМЛЕННЯ: потенційні прогалини, знайдені поблизу тупиків: 110

УВАГА: Виявлено перехресть: 118  
 УВАГА: Геометрії кільця: 10  
 Successfully run. Total query runtime: 2 secs 269 msec.  
 1 rows affected.

Тупики та потенційні проблеми з розривами також ідентифікуються в таблиці вузлів ВДМ *streets\_vertices\_pgr* у стовпцях *cnt* та *chk*. Число наявності потенційних проблем в топології можна обчислити, виконавши нижченаведений SQL запит до таблиці *streets\_vertices\_pgr*:

```
SELECT
(SELECT count(*) FROM streets_vertices_pgr WHERE cnt = 1) as
dead_ends,
(SELECT count(*) FROM streets_vertices_pgr WHERE chk = 1) as
gaps;
```

<i>Результат запиту:</i>	
dead_ends"	"gaps"
1316	110

Деякі виявлені проблеми в топології геометричної моделі ВДМ можуть бути просто особливістю мережі, наприклад, наявність перетинань ділянок

осьових ліній мережі (непланарність графу) в місцях шляхопроводів або малі відстані (розриви). Але для ізольованих вузлів чи потенційних прогалін біля тупиків чи острівків ізольованих ділянок мережі необхідно здійснити візуальний контроль в ГІС та можливо відредагувати їх геометрію для усунення неузгодженості проблемних ділянок ВДМ.

Загалом, функція *pgr\_analyzeGraph* надає результати досить вичерпного аналізу топологічної узгодженості моделі ВДМ, які можуть бути використанні для поліпшення геометрії мережі та підвищення точності і надійності подальшого обчислення ізохрон для моделювання зон доступності.

### 2.3.3 Типові SQL запити для обчислення ізохрон з використанням функції *pgRouting*

Базовою функцією для обчислення ізохрон з використанням мережного розширення *pgRouting* в СКБД PostgreSQL/PostGIS є функція *pgr\_drivingDistance*, яка має таку загальну синтаксичну схему програмного інтерфейсу виклику:

```
pgr_drivingDistance (edges_sql, start_vid, distance [, directed])
pgr_drivingDistance (edges_sql, start_vids, distance [, directed] [, equicost])
```

В інтерфейсі передбачено два режими виклику функції:

обчислення ізохрони для одного вхідного вузла ВДМ *start\_vid*;

обчислення ізохрони для кількох вхідних вузлів ВДМ, що задаються у вхідному масиві вузлів *start\_vids*.

Інші параметри виклику функції мають такий зміст [31. 32]:

*edges\_sql* – текстовий рядок внутрішнього SQL запиту, виконанням якого забезпечується доступ до таблиці сегментно-вузлової моделі ВДМ (докладніше розглядається нижче);

*start\_vid* / *start\_vids* – цілочисельний ідентифікатор цільового вузла *start\_vid* або масив ідентифікаторів вузлів *start\_vids* ВДМ, відносно якого/яких обчислюється ізохрона доступності з відстанню (часом), що не перевищують задане значення *distance*;

*distance* – дійсне число значення максимальної дистанції (часу переміщення по мережі) для обчислення ізохрони;

*directed* – логічне значення необов'язкової ознаки типу моделі ВДМ із стандартним значенням *'true'*, що відповідає орієнтованому графу моделі ВДМ; *'false'* – неорієнтованому графу моделі ВДМ;

*equicost* – логічне значення необов'язкової ознаки для правила формування списку вузлів у результаті обчислення ізохрони для масиву вхідних вузлів (якщо *'true'*, вузол буде відображатися лише у списку найближчих до *start\_vid*; стандартно використовується значення *'false'*, що нагадує кілька викликів з однієї початкової точки, перетини окремих зв'язків довільні.

**Внутрішній SQL запити** (*inner query*) в інтерфейсі виклику функції *pgr\_drivingDistance* задається текстовим параметром *edges\_sql* в одинарних лапках за такою загальною схемою:

```
'SELECT gid As id, source, target, cost, reverse_cost FROM network'
```

де: *gid* – ідентифікатор сегмента мережі в таблиці ВДМ *network*;

*source* – ідентифікатор початкового вузла сегмента ВДМ;

*target* – ідентифікатор кінцевого вузла сегмента ВДМ;

*cost* – назва атрибута «вартості» проїзду через сегмент ВДМ (довжина, час тощо) як вага ребра в моделі графу ВДМ, значення якого задається дійсним числом з подвійною точністю;

*reverse\_cost* – назва атрибута «вартості» проїзду через сегмент ВДМ (довжина, час тощо) у зворотному напрямку, значення якого задається дійсним числом з подвійною точністю.

Якщо *reverse\_cost* не задається, то вважається, що його значення дорівнює значенню *cost*.

Значення *-1* в атрибутах *cost* та *reverse\_cost* вказує на відсутність проїзду по сегменту у відповідному напрямку.

**Результат функції *pgr\_drivingDistance*** – це набір записів із такою загальною структурою:

```
RETURNS SET OF (seq, [start_vid,] node, edge, cost, agg_cost)
```

де: *seq* – порядкове значення запису в наборі результату, що починається з 1;  
*start\_vid* – цілочисельний ідентифікатор стартового вузла;  
*node* – ідентифікатор вузла на шляху від стартового вузла;  
*edge* – ідентифікатор ребра шляху до вузла *node*; має значення 0 коли вузол *node* збігається із *start\_vid*;  
*cost* – «вартість» проїзду до вузла *node* по ребру *edge*;  
*agg\_cost* – сумарна «вартість» проїзду від стартового вузла *start\_vid* до вузла *node*.

Приклад SQL запиту з викликом функції *pgr\_drivingDistance*:

```
SELECT * FROM pgr_drivingDistance  
('SELECT gid As id, source, target, time_cost as cost  
FROM streets', 1096, 5.0, false);
```

Фрагмент таблиці набору даних результату обчислення вузлів ізохроні:

seq	depth	start_vid	pred	node	edge	cost	agg_cost
2	1	1096	1096	4460	5402	0.28269372731810277	0.28269372731810277
3	1	1096	1096	4457	5395	0.2953274527147526	0.2953274527147526
4	1	1096	1096	1081	1434	0.3754097530643083	0.3754097530643083
5	2	1096	4457	4458	5396	0.11286522916749521	0.4081926818822478
6	3	1096	4458	1430	5397	0.0007253669072614046	0.40891804878950916
7	2	1096	4460	4734	5918	0.17421518693520005	0.4569089142533028
8	2	1096	4460	1388	5403	0.18497799006013654	0.4676717173782393
9	1	1096	1096	4479	5436	0.47363031582408416	0.47363031582408416
10	3	1096	4458	1402	5398	0.15583181158579026	0.5640244934680381
<hr/>							
370	20	1096	3683	3680	5333	0.1752695676475851	4.967680988743336
371	15	1096	4444	3696	5364	0.27981792089990953	4.979269826448236
372	18	1096	1408	4436	5349	0.301366419403916	4.983393299259462

В наборі даних результату функції *pgr\_drivingDistance* містяться лише ідентифікатори вузлів, які досяжні з цільового вузла (у прикладі з ідентифікатором 1096) за час, що не перевищує заданого (у прикладі 5 хвилин).

Для наглядної візуалізації обчисленої множини вузлів досяжності та побудови полігону ізохроні потрібно здійснити об'єднання відібраних вузлів з координатами вузлів, що містяться в просторових даних таблиці вузлів

*streets\_vertices\_pgr* топологічної моделі ВДМ, створення якої розглянуто в попередньому пункті (п. 2.3.2).

Як варіант вирішення цього завдання, нижче наведено вид View *isochrone\_node*, основу якого складає типовий запит з'єднання вузлів із набору даних результату функції *pgr\_drivingDistance* з просторовими даними вузлів із таблиці *streets\_vertices\_pgr* з умовою рівності ідентифікаторів вузлів в SQL операторі з'єднання **JOIN** [15]:

```
CREATE OR REPLACE VIEW isochrone_node AS
SELECT * FROM pgr_drivingDistance
('SELECT gid As id, source, target, time_cost as cost
FROM streets', 1096, 5.0, false) As di
JOIN streets_vertices_pgr on di.node = streets_vertices_pgr.id;
```



Рис. 2.6. Приклад візуалізації вузлів 5-ти хвилинної досяжності від пожежної частини ПЧ-1 за результатами запиту виду VIEW *isochrone\_node*

Для побудови полігону ізохрони, охоплює усю множину вузлів досяжності типовий запит обчислення вузлів ізохрони функцією *pgr\_drivingDistance* необхідно доповнити викликом функції *ST\_ConcaveHull* () із розширення PostGIS для побудови оболонки (можливо невіпуклої) навколо колекції обчислених точок вузлів ізохрони. Приклад виду VIEW *isochrone\_plg* із таким типовим запитом та візуалізація результату його виконання наведено нижче[15]:



Типовий SQL запит для обчислення, наприклад, ізохрон 5-ти, 10-ти та 15-ти хвилинної доступності, буде містити підзапити за схемою SQL оператора **WITH**, в яких обчислюється ізохрона для певного часу, з наступним записом результатів в таблицю *isochrone*:

```
-- обчислення полігону ізохрони 5 хвилинної доступності
WITH pg5 AS ( SELECT ST_ConcaveHull(st_union(the_geom), 0.3) AS p5
              FROM (SELECT streets_vertices_pgr.the_geom FROM pgr_drivingDistance(
                    'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
                    FROM streets', 1096, 5.0, false) AS di
              JOIN streets_vertices_pgr on di.node = streets_vertices_pgr.id)),
-- обчислення полігону ізохрони 10 хвилинної доступності
pg10 AS ( SELECT ST_ConcaveHull(st_union(the_geom), 0.3) AS p10
          FROM ( SELECT streets_vertices_pgr.the_geom FROM
                pgr_drivingDistance('SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
                FROM streets', 1096, 10.0, false) AS di
          JOIN streets_vertices_pgr on di.node = streets_vertices_pgr.id)),
-- обчислення полігону ізохрони 15 хвилинної доступності
pg15 AS ( SELECT ST_ConcaveHull(st_union(the_geom), 0.3) AS p15
          FROM ( SELECT streets_vertices_pgr.the_geom FROM pgr_drivingDistance(
                'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
                FROM streets', 1096, 15.0, false) AS di
          JOIN streets_vertices_pgr on di.node = streets_vertices_pgr.id))
-- запис ізохрон в таблицю isochrone
INSERT INTO isochrone (iso_time, geom)
VALUES
(5.0, (SELECT p5::geometry FROM pg5)),
(10.0, (SELEC p10::geometry FROM pg10)),
(15.0, (SELEC p15::geometry FROM pg15));
```

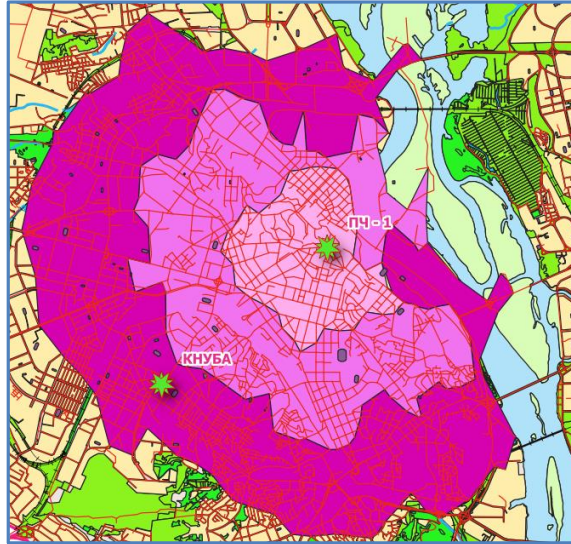


Рис. 2.8. Приклад візуалізації серії ізохрон для одного цільового об'єкта

Приведені типові запити обчислення серії ізохрон використовуються в прикладних функціях побудови серії різночасових ізохрон для місць дислокації підрозділів ЕСМ м. Києва, які розглядаються в третьому розділі цієї роботи.

## Висновки до розділу 2

1. У другому розділі розглянуто основні етапи розроблення та компоненти ГІС моделювання зон доступності з використанням технології баз геопросторових даних в середовищі ОРСКБД PostgreSQL із спеціальними розширеннями PostGIS та pgRouting.

2. Розроблено концептуальну та структурно-функціональну моделі ГІС моделювання зон доступності з використанням СКБД, деталізовано склад компонентів системи, реалізація яких забезпечує автоматизацію усіх етапів моделювання зон доступності в середовищі СКБД бази геопросторових даних – від введення вхідних даних про місця дислокації підрозділів ЕСМ, геометричну модель ВДМ до власне геоінформаційного моделювання зон нормативної доступності підрозділів ЕСМ та геостатистичного аналізу рівня охоплення території міста цими зонами для підтримки прийняття рішень щодо удосконалення системи цивільного захисту населення та надання екстреної медичної допомоги міста.

3. Розроблено концептуальну модель бази геопросторових даних ГІС МЗД, в якій визначено усі класи цільових об'єктів бази даних з їх атрибутами та логічними зв'язками, а саме геометричної і топологічної моделі ВДМ, місць дислокації підрозділів ЕСМ та ізохрон нормативного часу доступності.

4. Розглянуто типові запити до бази геопросторових даних для основних етапів геоінформаційного моделювання зон доступності з використанням функцій мережного розширення pgRouting та PostGIS, а саме для:

налаштування набору вхідної геометричної моделі ВДМ для її використання функціями pgRouting;

створення та верифікації топологічної моделі ВДМ;

обчислення та візуалізації ізохрон зон доступності з використанням функцій pgRouting та PostGIS.

## Розділ 3

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ ЕКСТРЕНИХ  
СЛУЖБ МІСТА КИЇВ В СЕРЕДОВИЩІ СКБД POSTGRESQL/POSTGIS

					<b>ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Виконав		Стаховський Є.Є.			Геоінформаційне моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів		Лященко А.А.	<i>Лященко</i>				1	20
Керівник		Лященко А.А.	<i>Лященко</i>			КНУБА, група ГСТм-24		
Зав. каф.		Карпінський Ю.О.						

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ ЕКСТРЕНИХ СЛУЖБ МІСТА КИЇВ В СЕРЕДОВИЩІ СКБД POSTGRESQL/POSTGIS

#### 3.1 Вхідні дані моделювання та стисла характеристика екстрених служб міста Києва

В експериментальній частині роботи були зібрані та використовувалися такі вхідні дані:

1) відкриті дані щодо розташування підрозділів екстрених служб м. Києва (ЕСМ) з геопорталів геопорталах Google Maps [21, 22] та Wikimapia [35, 36], зокрема частин пожежно-рятувальної служби ГУ ДСНС України в м. Києві (рис. 3.1) та станцій екстреної медичної допомоги (СЕМД) м. Києва (рис. 3.2);

2) векторні моделі вулично-дорожньої мережі (ВДМ) м. Києва із набору даних OpenStreetMap (OSM) [27, 28] та набір даних геометрії сегментної моделі ВДМ м. Києва в масштабі 1:10 000, створений в Науково-дослідному інституті геодезії і картографії, що надавався для виконання лабораторних робіт в КНУБА з курсу «Транспортно-навігаційні ГІС» [15];

3) векторні набори геопросторових даних OSM базової цифрової карти на територію м. Києва з адміністративними межами районів міста [(рис. 3.3).

Геопросторові дані більшості наборів даних мають систему координат WGS 84 (SRID 4326, координатами широти й довготи в градусній мірі).

Організацію та надання екстреної медичної допомоги на території міста Києва здійснює Комунальне некомерційне підприємство «Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф м. Києва» виконавчого органу Київської міської ради (КМДА). Мережа екстреної медичної допомоги складається з **18 відділень** екстреної медичної допомоги (ЕМД), відділу медицини катастроф та відділення екстреної (швидкої) медичної допомоги з надання медичної допомоги та перевезення психічно хворих, які розміщені в усіх районах міста, що, як стверджується на офіційному сайті Центру, забезпечує

прибуття бригад ЕМД до місця виклику у *10-хвилинний термін від моменту його надходження* <https://med.kyivcity.gov.ua/medportal/medview/149.html>.

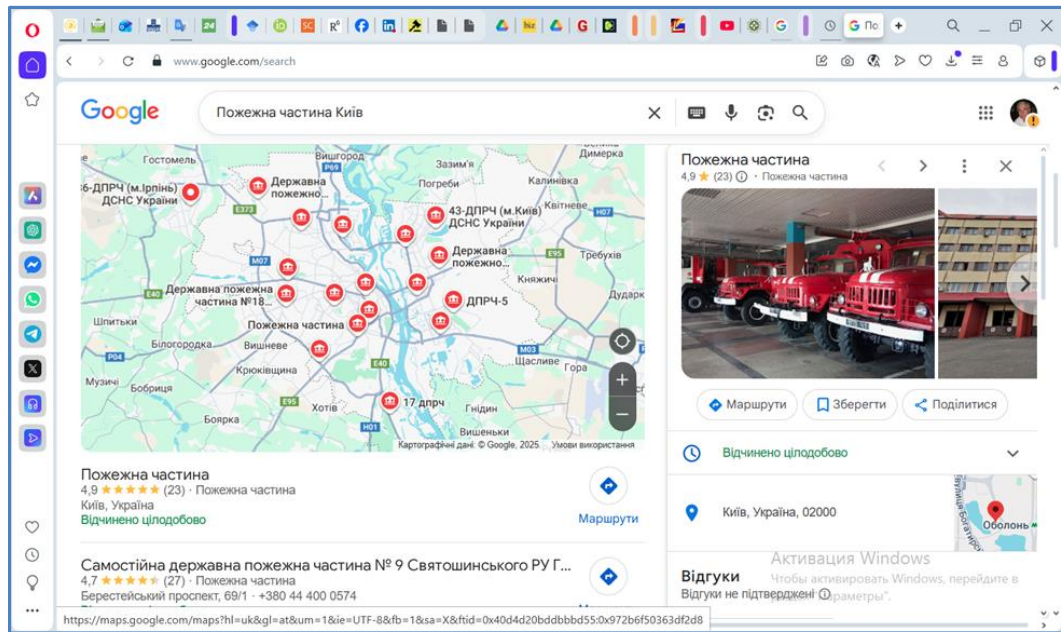


Рис. 3.1. Сторінка геопорталу Google Maps з місцями дислокації підрозділів пожежно-рятувальної служби м. Києва

[https://www.google.com/search?num=10&client=opera&sca\\_esv=674219a392467a04&hl=uk&sxsrf=AE3TifMu0benYBhGPJTQVD2Omr\\_l83CujQ:1762375603588&q=Пожежна+частина+Київ&sa=X&ved=2ahUKewi-9b\\_e8NuQAxXSR\\_EDHbm3Df0Q1QJ6VAheEAE&biw=1162&bih=635&dpr=1.25](https://www.google.com/search?num=10&client=opera&sca_esv=674219a392467a04&hl=uk&sxsrf=AE3TifMu0benYBhGPJTQVD2Omr_l83CujQ:1762375603588&q=Пожежна+частина+Київ&sa=X&ved=2ahUKewi-9b_e8NuQAxXSR_EDHbm3Df0Q1QJ6VAheEAE&biw=1162&bih=635&dpr=1.25)

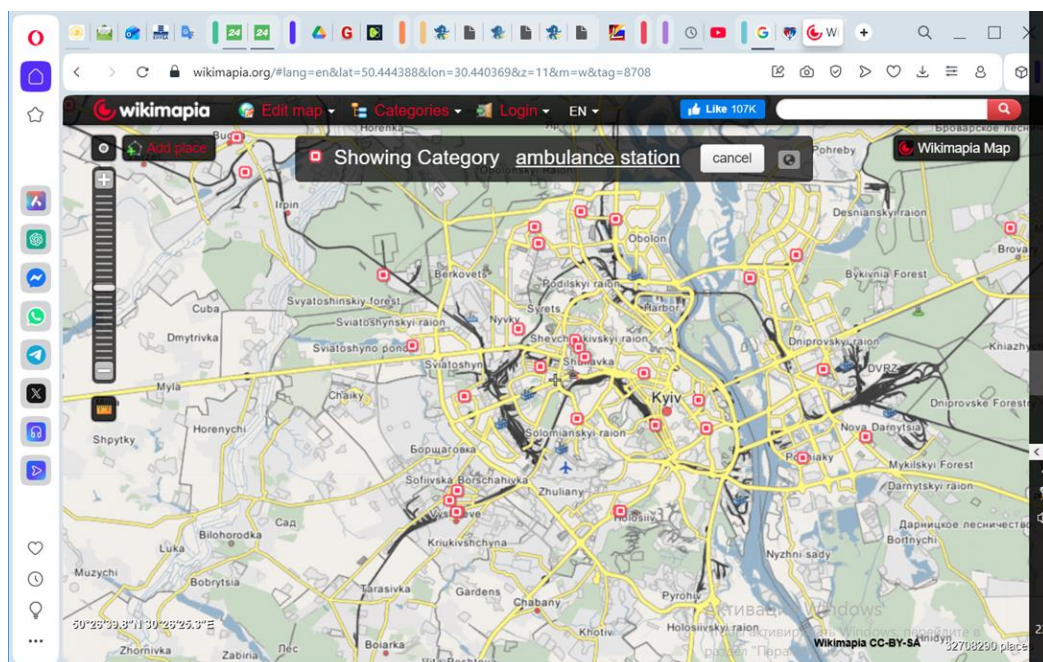


Рис. 3.2. Сторінка геопорталу Wikimapia з місцями дислокації станцій екстреної медичної допомоги м. Києва

<http://wikimapia.org/#lat=50.4002906&lon=30.5304909&z=9&m=b&l=37&tag=8708>

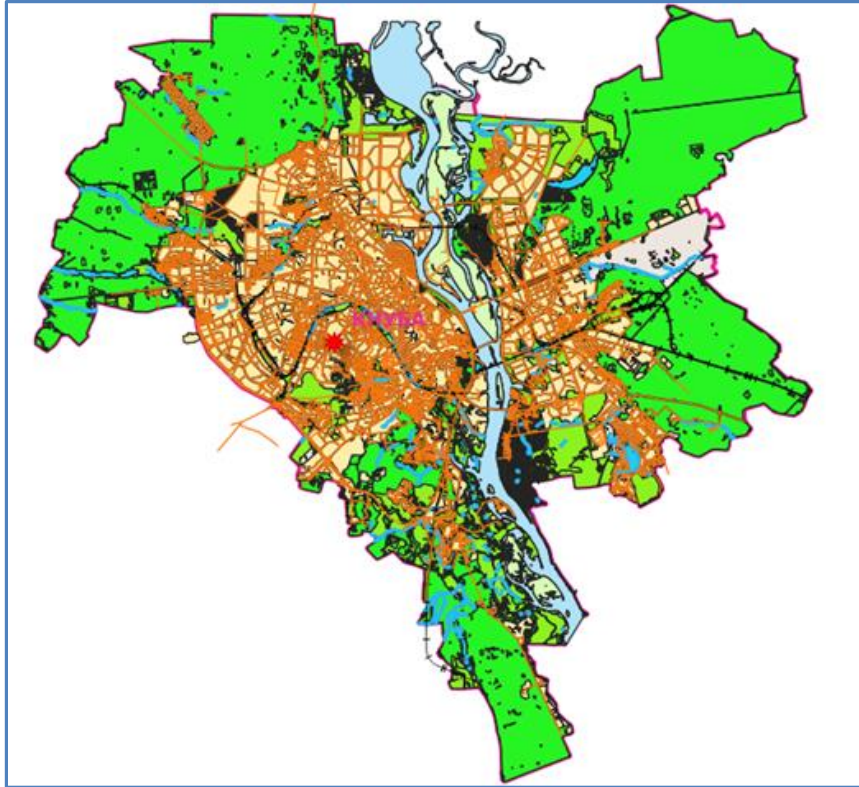


Рис. 3.3. Відображення об'єктів вхідного набору картографічної основи та геометричної моделі ВДМ м. Києва

У Києві налічується 29 пожежно-рятувальних частин. Серед них є одна з найбільших в Європі – 25-а Державна пожежно-рятувальна частина, яка обслуговує Оболонський район столиці.

Управління пожежно-рятувальною службою в Києві організовано через Головне управління Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ГУ ДСНС) у м. Києві, до складу якого входять чотири державні пожежно-рятувальні загони (ДПРЗ). Ці загони, у свою чергу, об'єднують певну кількість пожежних частин. Точну кількість окремих пожежних частин (наприклад, ДПРЧ-1, ДПРЧ-2 тощо), що входять до складу цих чотирьох загонів, у відкритих джерелах не вказано.

Крім того, в Києві також функціонують інші підрозділи, такі як районні управління ГУ ДСНС України в м. Києві (по одному на кожен з 10 районів міста), аварійно-рятувальний загін спеціального призначення та спеціалізована медико-санітарна частина.

### 3.2 Технологічна схема моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва в середовищі СКБД PostgreSQL

В технологічній схемі визначено чотири основні етапи моделювання зон доступності екстрених служб м. Києва в середовищі СКБД PostgreSQL, що промарковані на схемі як А1 – А4 (рис. 3.4).

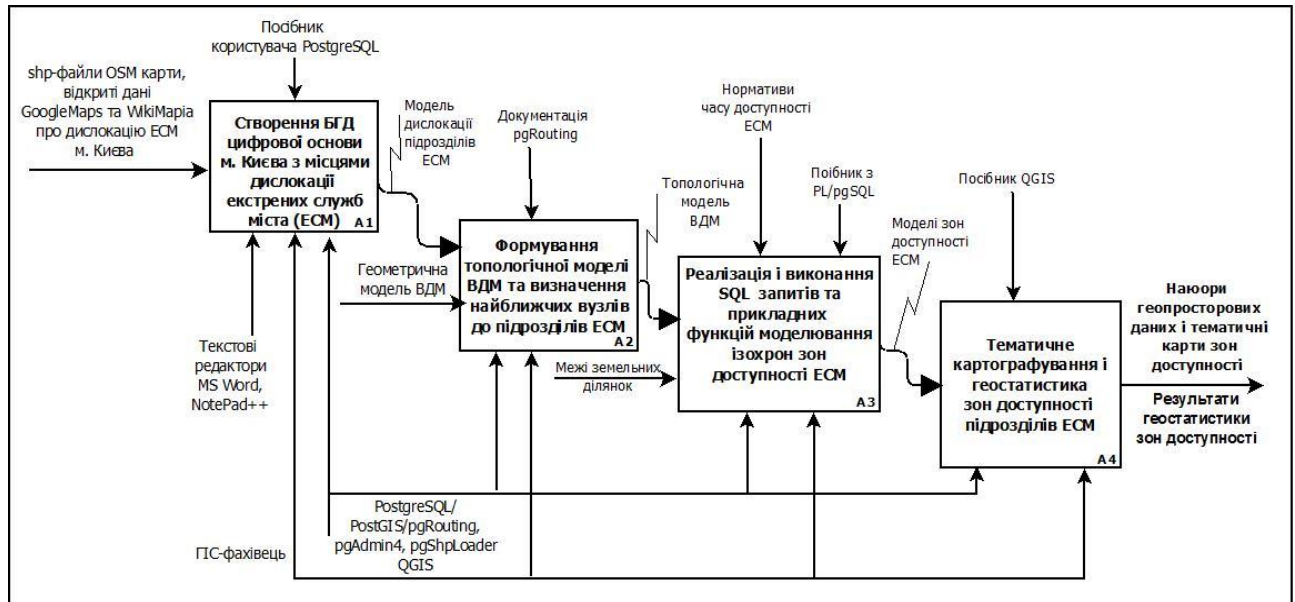


Рис. 3.4. IDF0 діаграма технологічної схеми моделювання зон доступності в середовищі СКБД PostgreSQL

За правилами побудови IDF-діаграм для кожного етапу вказано вхідні дані та вихідні дані результатів, які своєю чергою використовуються на наступному етапі як вхідні. У верхній частині блоків, що відповідають етапам, вказано нормативні та технічні документи, положення яких складають методичну основу виконання певного етапу. Нижче блоків визначено програмні засоби, що використовуються для опрацювання даних та кваліфікація фахівця (фахівців), що має виконувати певні операції (збирати, систематизувати, вводити, аналізувати дані і результати, розробляти програми, керувати обчислювальними процесами тощо), використовуючи відповідні програмні засоби для опрацювання даних і моделювання. Вхідні дані, результати та зміст операцій кожного етапу докладніше описуються в цьому розділі.

**Етап А1.** Створення бази геопросторових даних цифрової картографічної основи м. Києва з місцями дислокації підрозділів ЕСМ

Для створення нуля-бази даних, включення в її інформаційні ресурси бібліотек розширень PostGIS та pgRouting, таблиць цільових об'єктів, введення та виконання SQL запитів і прикладних функцій, перегляд результатів їх виконання та для усіх інших операції з базою даних використовуються засоби програми pgAdmin 4.

База даних цифрової картографічної основи міста створюється шляхом завантаження в базу даних шейп-файлів вхідного набору базової OSM карти з використанням утиліти pgShapLoader, що постачається у складі інсталяції PostGIS.

Для наборів даних з місцями дислокації підрозділів ЕСМ в БГД ГІС МЗД стандартними засобами СКБД PostgreSQL створюються таблиці для зберігання геопросторових даних про місцерозташування підрозділів пожежно-рятувальної служби (ПРС) (таблиця *fire\_stations*) та станцій екстреної медичної допомоги СЕМД (таблиця *med\_stations*). Тексти відповідних SQL запитів приведено в додатку А.1.1.

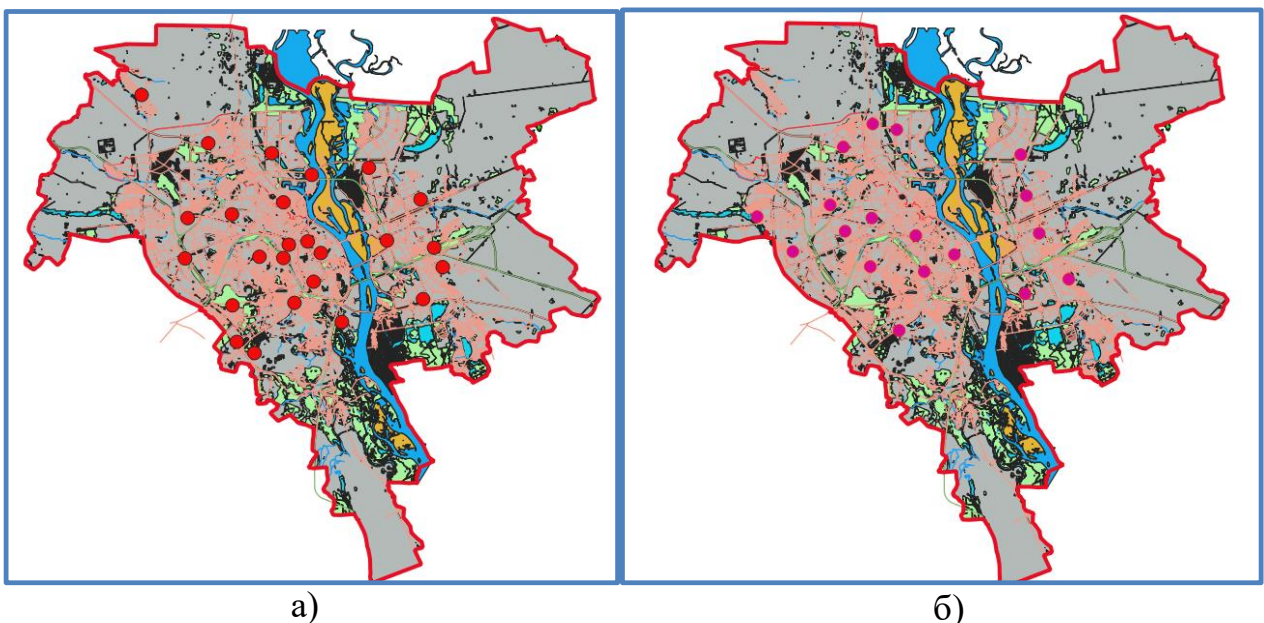


Рис. 3.5. Е-карти за наборами геопросторових даних місць дислокації підрозділів пожежно-рятувальної служби ГУ ДСНС у м. Києві (а) та станцій екстреної медичної допомоги м. Києва

Оскільки вхідні дані про місця дислокації підрозділів ЕСМ м. Києва були доступні на сайтах відкритих даних геопорталів Google Maps та Wikimapia лише в текстовому виді, то для введення даних в таблиці БГД були підготовлені відповідні файли в форматі SQL команд INSERT INTO з ідентифікаційними даними та координатами точок розташування підрозділів ПРС та СЕМД м. Києва. Текст SQL коду вмісту цих файлів подано в додатку А.1.3.

На рис. 3.5 приведено картографічні зображення місць дислокації ЕСМ м. Києва, що отримані в процесі контрольної візуалізації вмісту таблиць *fire\_stations* та *med\_stations* в QGIS на тлі картографічної основи міста.

Зауважимо, що для усі нових таблиць з геопросторовими даними в БГД необхідно створити відповідні просторові індекси, які дозволяють на кілька порядків прискорити виконання запитів з умовами, що містять просторові предикати вибірки даних. В PostGIS найчастіше використовується R-індекси, що створюються запитом, з такою типовою схемою на прикладі індексу для таблиці *fire\_stations*:

```
CREATE INDEX fire_stations_geom_idx
ON fire_stations
USING GIST (geom);
```

**Етап А2.** Формування топологічної моделі ВДМ та визначення найближчих вузлів до підрозділів ЕСМ.

Геометрична модель ВДМ була завантажена із вхідного шейп-файлу *street.shp*, в який містить геопросторові дані про 11 104 ділянки (сегменти) вулично-дорожньої мережі м. Києва.

Створення й налаштування топологічної моделі ВДМ здійснювалося з використанням функції *pgr\_CreateTopology* мережного розширення *pgRouting* за методикою та в послідовності операцій, які докладно викладено в п.2.3.2 цієї роботи. В результаті опрацювання вхідної геометричної моделі ВДМ м. Києва за допомогою функції *pgr\_CreateTopology* створено топологічну модель ВДМ, таблиця вузлів якої містить 8 091 записів з координатами вузлів (рис.3.6).



Рис. 3.6. Фрагмент електронної карти вузлів топологічної моделі ВДМ із таблиці `streets_vertices_pgr` та ділянок геометричної моделі сегментів ВДМ із таблиці `street` для м. Києва

**Еман А3.** Реалізація та виконання SQL запитів і прикладних функцій моделювання ізохрон зон доступності ЕСМ докладно розглядається в п. 3.3.

**Еман А4.** Тематичне картографування і геостатистичний аналіз зон доступності є крайнім етапом моделювання з опрацювання та інтерпретації результатів моделювання, основним завданням якого є оцінювання рівня охоплення території міста зонами нормативної доступності підрозділів ЕСМ при реагування на надзвичайних подій та при наданні екстреної медичної допомоги мешканцям міста (докладніше див. п. 3.4)

### 3.3 Реалізація прикладних SQL-функцій для моделювання зон доступності екстрених служб міста в середовищі СКБД PostgreSQL

Для моделювання зон доступності ЕСМ м. Києва розроблено прикладні функції на мові процедурного програмування PL/pgSQL, яка належить до основних мов програмування вбудованих функцій та процедур в середовищі СКБД PostgreSQL. Основу розроблення прикладних функцій зон доступності склали методика і типові SQL запити побудови ізохрон з використанням функції `pgr_drivingDistance` мережного розширення `pgRouting`, які докладно

розглядалися в пп. 2.3.3 та 2.3.4 цієї роботи для моделювання досяжності вузлів ВДМ з одного заданого цільового вузла мережі.

В розроблених прикладних SQL функціях вирішується задача побудови серії ізохрон досяжності вузлів мережі за різні проміжки часу (5, 10 та 15 хвилин) для наборів вузлів ВДМ, найближче розташованих до точок місць дислокації підрозділів пожежно-рятувальної служби та станцій екстреної медичної допомоги м. Києва.

Для пошук набору вузлів ВДМ, найближче розташованих до місць дислокації підрозділів ЕСМ, розроблено два види View, в SQL запити яких використовується схема вирішення типової задачі KNN-пошуку або пошуку найближчого сусідства (*Nearest-Neighbour Searching*), яка PostgreSQL/PostGIS реалізовується шляхом введення оператора впорядкування за відстанню «*order by distance*» з позначкою тире в кутових дужках: <->, який змушує базу даних використовувати R-індекс з геометричним фільтром для прискорення сортування набору результатів. За допомогою оператора «*order by distance*» запит на найближчого сусіда може повернути «N найближчих об'єктів», якщо крім опції сортування додати обмеження LIMIT N для числа записів в наборі результатів. Такий пошук в документації PostgreSQL/PostGIS названо пошуком найближчих сусідів за оператором упорядкування відстані <-> з використанням R-індексу [33, 34].

SQL коди розроблених видів із запитами пошуку вузлів, найближче розташованих до підрозділів ЕСМ, приведено в додатку А.1.2 та мають таку типову схему:

```
CREATE OR REPLACE VIEW frs_nearest_node AS
    SELECT fire.gid AS fire_gid, fire.s_name AS sfire,
    vertice.id AS node_id,
    vertice.the_geom::geography(Point, 4326) AS vertices_geom,
    vertices.dist
FROM fire_stations AS fire
CROSS JOIN LATERAL (
    SELECT vertices.id, vertices.the_geom,
```

```

vertices.the_geom <-> fire.geom::geography(Point, 4326) AS dist
FROM street_vertices_pgr AS vertices
ORDER BY dist
LIMIT 1 )vertices;

```

Візуальний контроль результату виду із запитом пошуку вузлів ВДМ, найближчих до місць розташування підрозділів ЕСМ, здійснювався в QGIS з використанням відповідної електронної карти (рис.3.7).



Рис. 3.7. Приклад фрагменту е-карти для контрольної візуалізації результату запиту виду з пошуку вузлів ВДМ (маркери зеленого кольору), найближчих до точок дислокації підрозділів пожежно-рятувальної служби м. Києва (маркери червоного кольору)

Аналіз відстані найближчих вузлів ВДМ до місць дислокації підрозділів ЕСМ показав, що числові значення відстані належать інтервалу 20 – 300 м, що не буде мати суттєвого впливу на точність побудови ізохрон відносно визначених цільових вузлів ВДМ.

В роботі розроблено по дві прикладні SQL функції для зон доступності відповідно для місць дислокації підрозділів пожежно-рятувальної служби (ПРС) та станцій екстреної медичної допомоги (ЕМД), а саме:

функції з іменами *\_fr\_isochrone()* та *\_med\_isochrone()* для моделювання ізохрон 5-ти, 10-ти і 15-ти хвилинної доступності відповідно для дислокації підрозділів ПРС та станцій ЕМД із записом полігонів доступності в окремі

таблиці БГД (наприклад: *fr\_isochrone05*, *fr\_isochrone10*, *fr\_isochrone15*, *med\_isochrone05* тощо);

функції з іменами *\_fr\_isochrone\_all()* та *\_med\_isochrone\_all()* для моделювання ізохрон 5-ти, 10-ти і 15-ти хвилинної доступності як серії різночасових ізохрон відповідно для дислокації підрозділів ПРС та станцій ЕМД із записом полігонів доступності в одну таблицю для кожного виду екстреної служби, тобто в таблиці *fr\_isochrontes* та *med\_isochrontes*.

Як випливає із призначення функцій, вони мають подібні схеми алгоритмів (рис. 3.8, 3.9), а їх коди відрізняються лише іменами вхідних таблиць з місцями дислокації підрозділів екстрених служб та таблицями зберігання результатів моделювання залежно від виду екстреної служби.

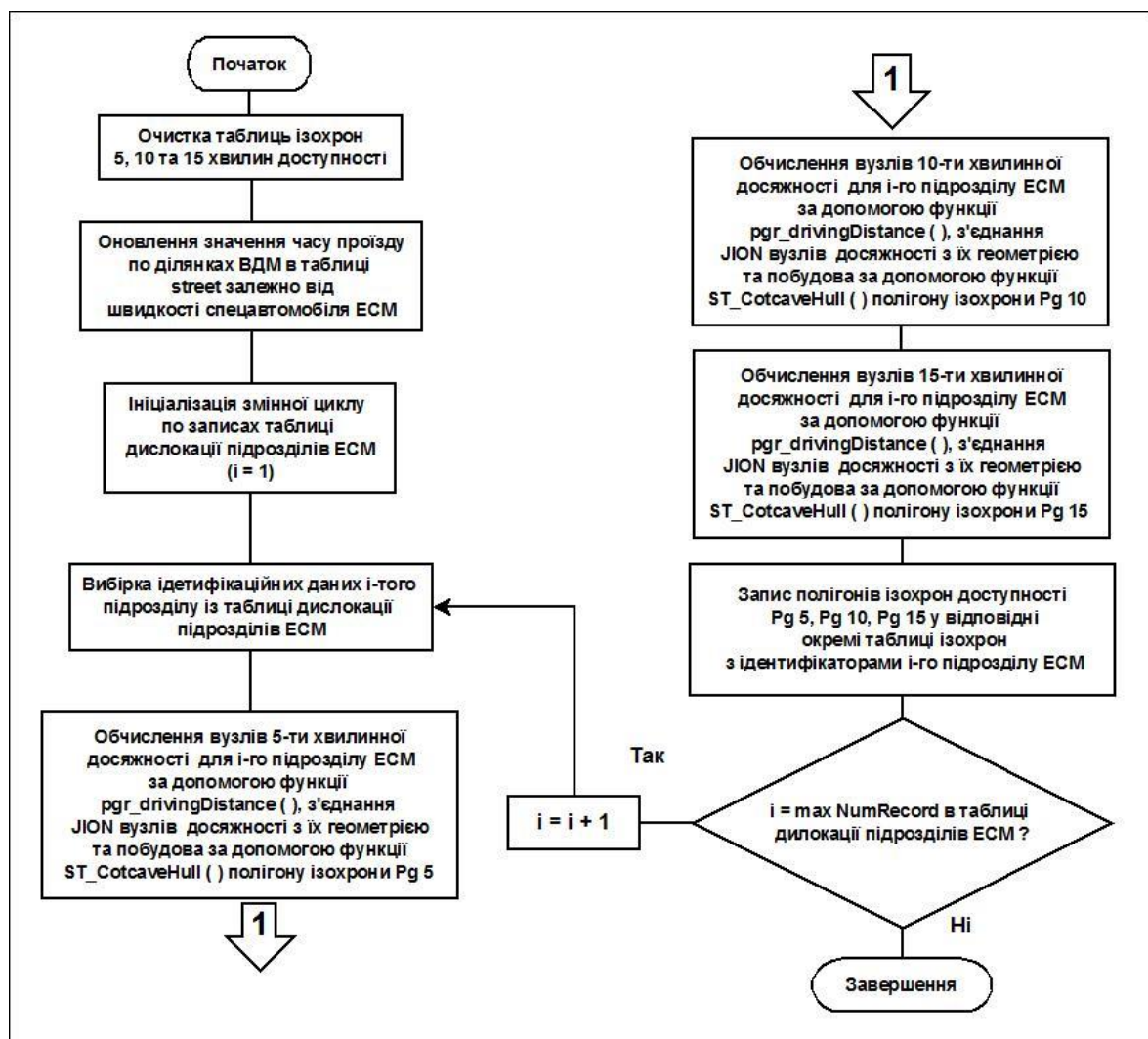


Рис. 3.8. Блок-схема алгоритму функції побудови ізохрон 5-, 10 та 15 – ти хвилинної доступності підрозділів ЕСМ із записом в окремі таблиці

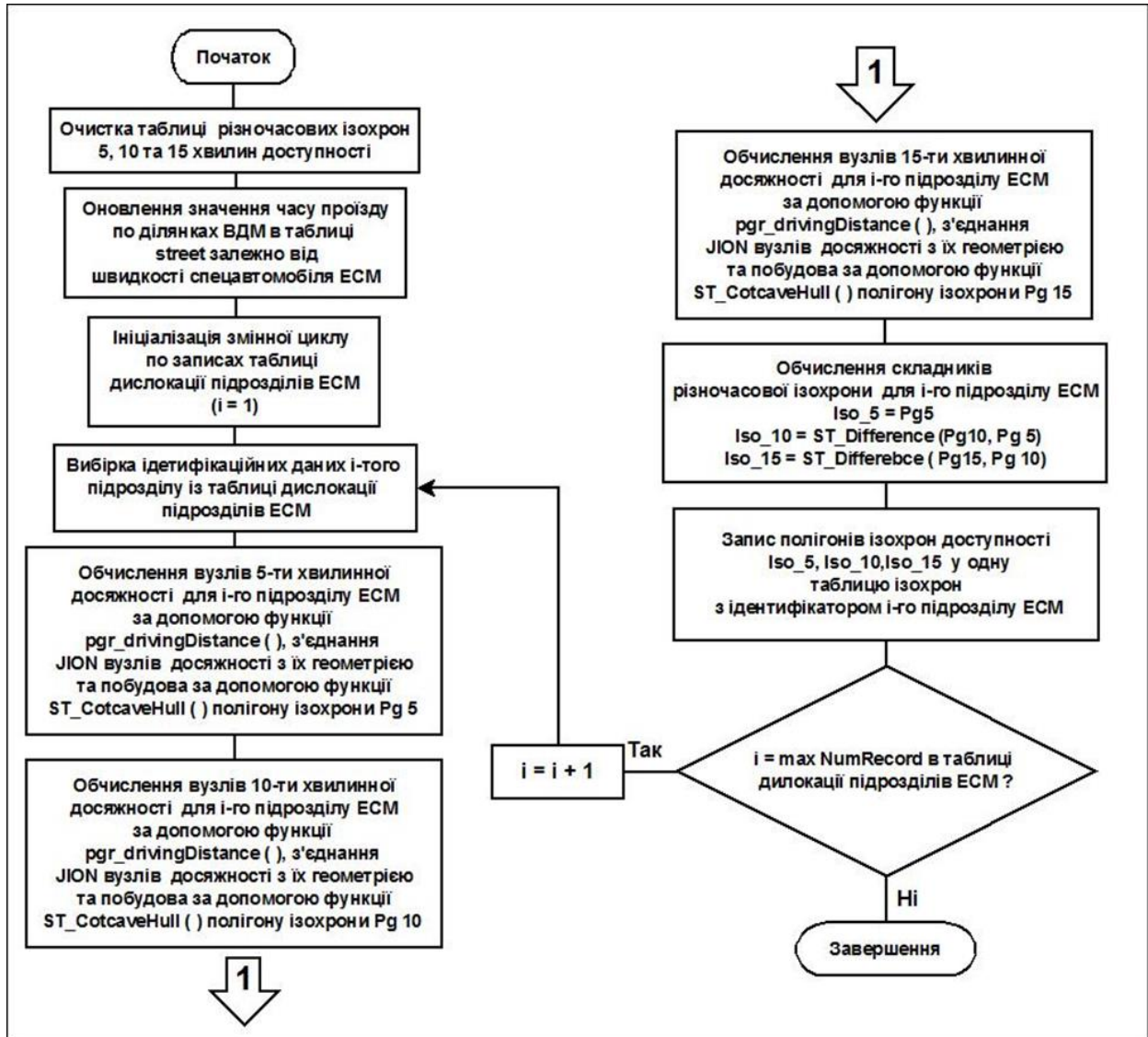


Рис. 3.9. Блок-схема алгоритму функції побудови різночасових ізохрон із топологічно узгодженими межами зон 5-, 10 та 15 – ти хвилинної доступності для кожного місці дислокації підрозділів ЕСМ та записом в одну таблицю

Тексти розроблених прикладних функцій приведено в додатку А.2.

В блоці ініціалізації функцій задається нормативна швидкість руху спеціального автомобіля залежно від виду екстреної служби:

433 м/хв, що відповідає нормативній швидкості пожежної машини 26 к/год в умовах міста з населенням понад 800 тис.;

667 м/хв., що відповідає швидкості автомобіля швидкої медичної допомоги 40 км/год.

Згідно із блок-схемами алгоритмів функцій (рис. 3.8, 3.9) у функціях реалізовано циклічний процес обчислення ізохрон для усіх місць дислокації

відповідних підрозділів екстрених служб. Типовий обчислювальний блок однієї ізохрони певного часу доступності для одного цільового вузла має таку типову схему на прикладі 5-ти хвилинної ізохрони:

```
pg5 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
FROM pgr_drivingDistance(
    'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
    FROM street', i.net_node, 5.0, false) AS di
JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
```

В в цьому блоці будується полігон невивуклої оболонки (функція *ST\_ConcaveHull*) навколо колекції точок за результатом обчислення досяжності вузлів ВДМ в межах заданого часу з використанням функції *pgr\_drivingDistance* із бібліотеки мережного розширення *pgRouting*.

У функціях з іменами *\_fr\_isochrone()* та *\_med\_isochrone()* обчислені полігони зон доступності записуються окремі таблиці БГД (наприклад: *fr\_isochrone05*, *fr\_isochrone10*, *fr\_isochrone15*), що спрощує в подальшому їх використання для просторового аналізу.

У функціях з іменами *\_fr\_isochrone\_all()* та *\_med\_isochrone\_all()*, як уже зазначалося вище, моделюються ізохрони 5-ти, 10-ти і 15-ти хвилинної доступності як серії різночасових ізохрон відповідно для дислокації підрозділів ПРС та станцій ЕМД із записом полігонів доступності в одну таблицю для кожного виду екстреної служби, тобто в таблиці *fr\_isochrontes* та *med\_isochrontes*. При цьому полігон ізохрони 5-ти хвилинної доступності *pg5* записується без змін, а результуючий полігон 10-ти хвилинної доступності обчислюється як просторова різниця (*ST\_Difference*) між геометрією полігона *pg10* та *pg5* (функція *ST\_Difference(pg10::geometry,pg5::geometry)*). Аналогічно обчислюється результуючий полігон 15-ти хвилинної доступності з використанням функції *ST\_Difference(pg15::geometry,pg10::geometry)*.

Типовий код блоку побудови різночасових ізохрон із записом в одну таблицю (наприклад, *fr\_isochrones*) має таку послідовність SQL команд:

```

INSERT INTO fr_isochrones (s_name, iso_time, geom)
VALUES (i.s_name, 5, pg5),
(i.s_name, 10,(SELECT
ST_GeometryN(ST_Difference(pg10::geometry,pg5::geometry),1))),
(i.s_name, 15, (SELECT
ST_GeometryN(ST_Difference(pg15::geometry,pg10::geometry),1)));

```

Розроблені функції апробовано на реальних геопросторових даних місць дислокації підрозділів екстрених служб м. Києва і топологічної моделі ВДМ. Результати використання функції подано в наступному розділі.

### **3.4 Результати геоінформаційного моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва**

#### ***3.4.1 Тематичні карти зона доступності екстрених служб міста***

До основних результатів геоінформаційного моделювання зон доступності екстрених служб с. Києва належать:

тематичні карти зон 5-ти, 10-ти і 15-ти хвилинної доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби (ПРС) міста (рис. 3.10 – рис. 3.13);

тематичні карти зон 5-ти, 10-ти і 15-ти хвилинної доступності станцій екстреної медичної допомоги міста (рис. 3.14 – рис. 3.17);

результати просторового аналізу охоплення території міста зонами 5-ти, 10-ти і 15-ти доступності екстрених служб міста, метою якого є встановлення обсягу площі забудованої території та числа будівель міста, що не охоплені зонами нормативної 10-ти хвилинної доступності.

Зони певного часу доступності підрозділів одного виду екстрених служб міста можуть просторово перекриватися. Це не свідчить про нераціональне розміщення підрозділів екстрених служб, оскільки наявність часткового перекриття зон доступності створює умови для оперативного залучення сил і засобів кількох підрозділів у разі виникнення масштабної надзвичайної подій в районі/зоні виїзду певного підрозділу. Але наявність взаємного перекривання зон доступності різних підрозділів може спотворити результати просторового аналізу щодо охоплення території міста зонами доступності в цілому.

Методика просторового аналізу охоплення території міста зонами доступності екстрених служб м. Києва та його результати подано нижче в п.3.4.2.

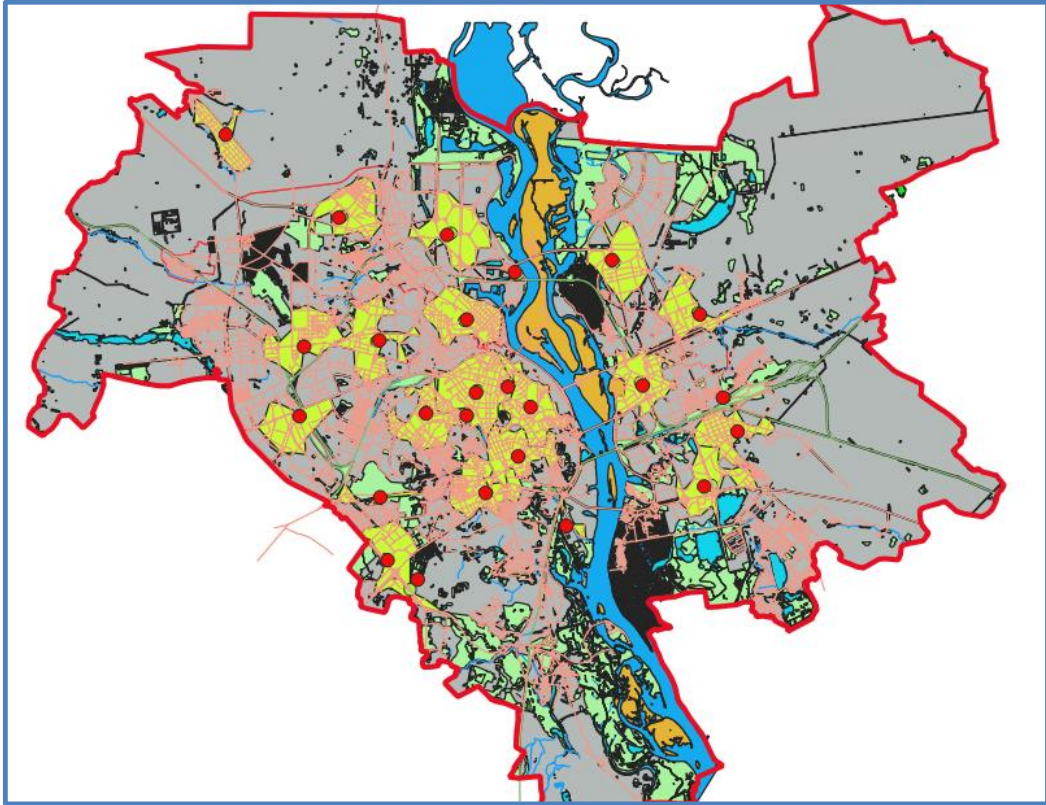


Рис. 3.10. Зони 5-ти хвилинної доступності підрозділів ПРС м. Києва

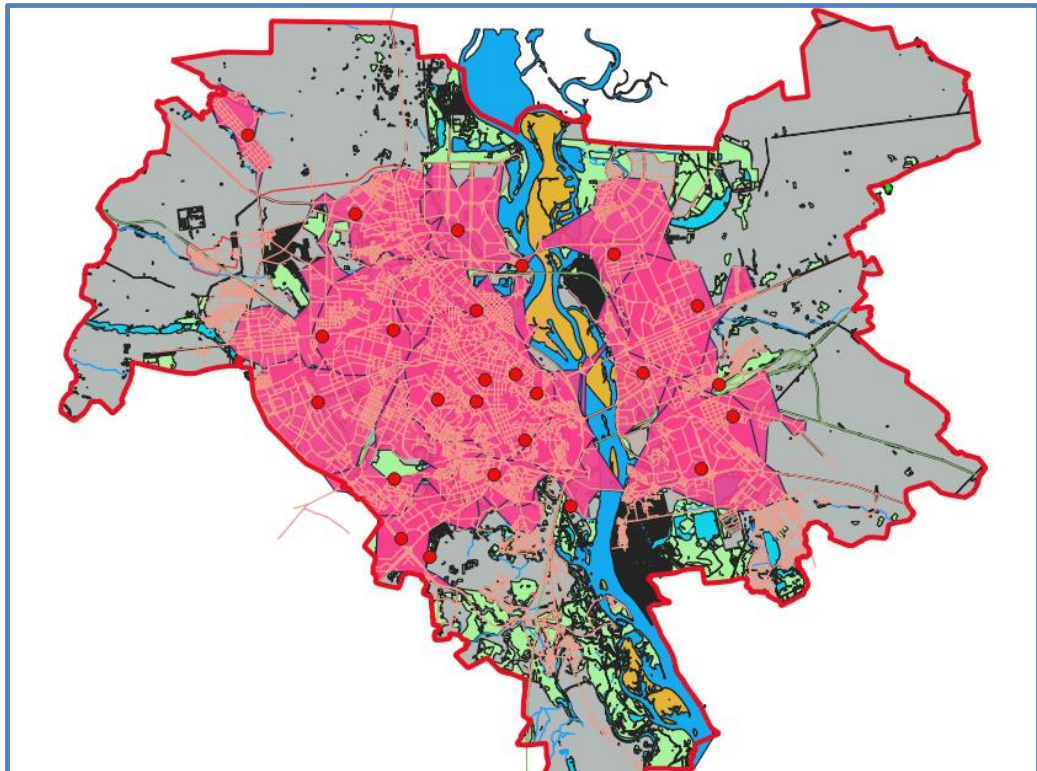


Рис. 3.11. Зони 10-ти хвилинної нормативної доступності підрозділів ПРС м. Києва

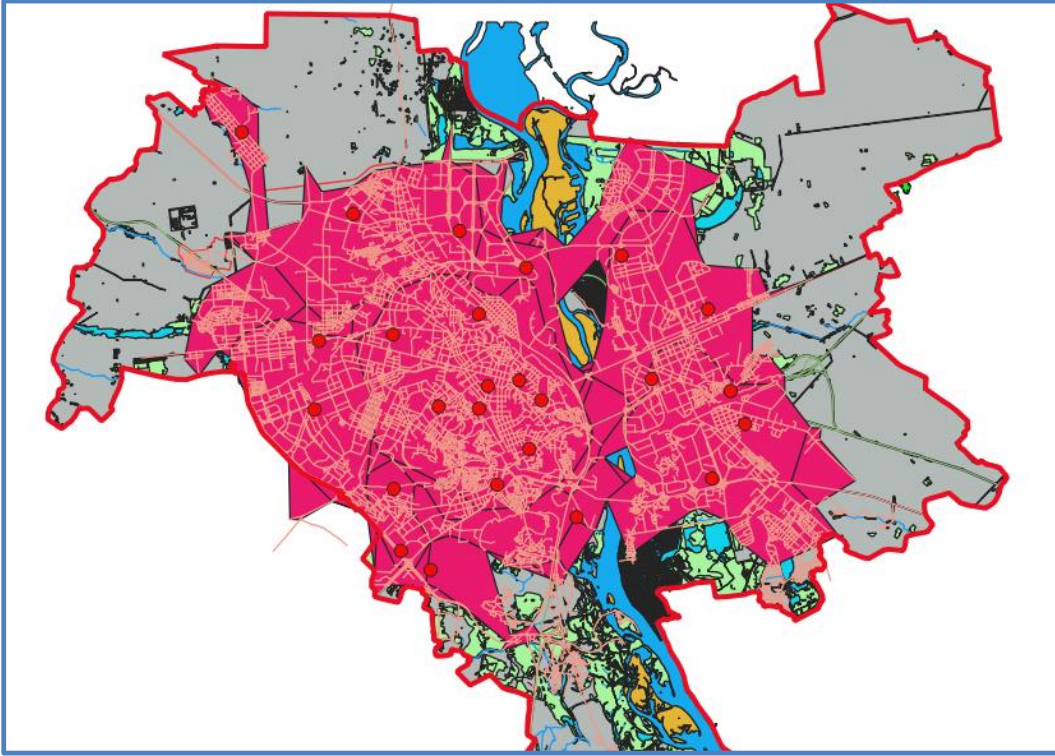


Рис. 3.12. Зони 15-ти хвилинної доступності підрозділів ПРС м. Києва

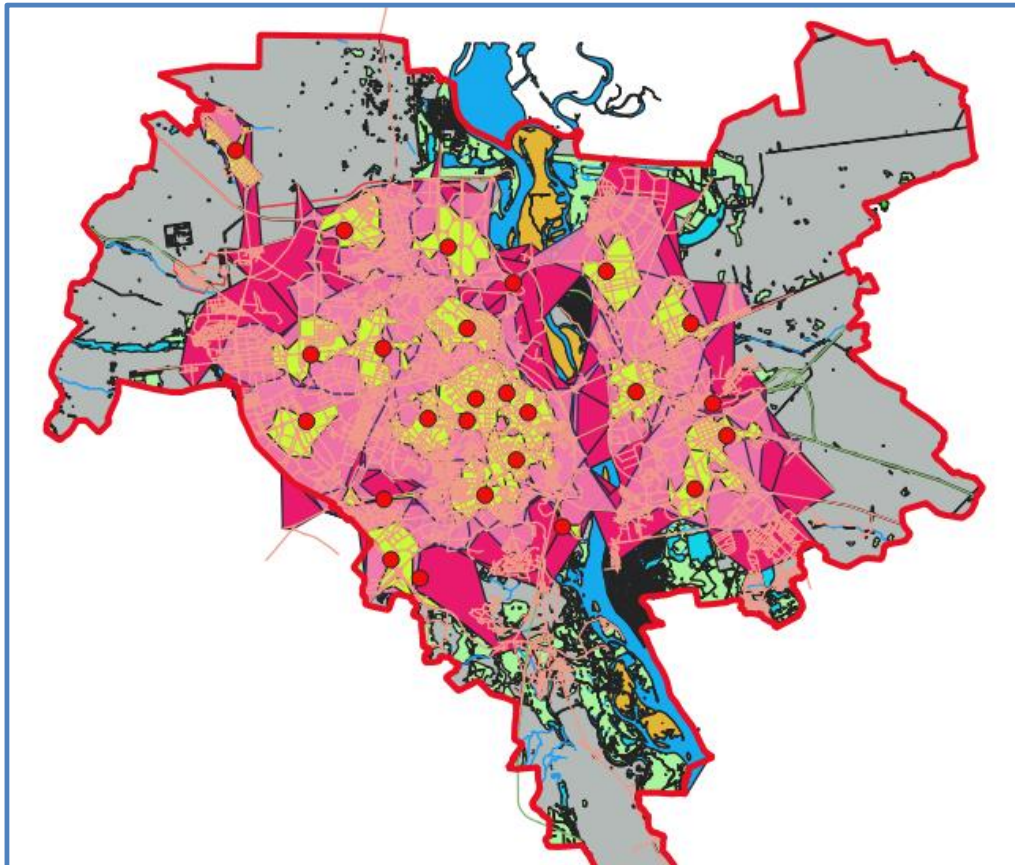


Рис. 3.13. Зони різночасових ізохрон (5-ти, 10-ти та 15-ти хвилинної) доступності підрозділів ПРС м. Києва

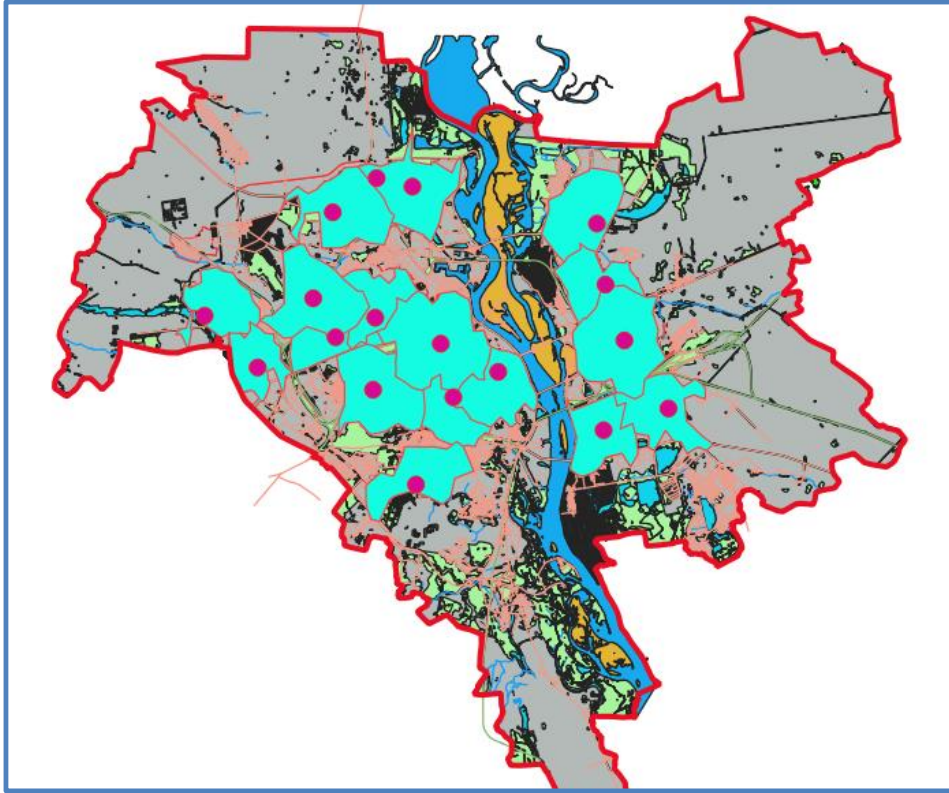


Рис. 3.14. Зони 5-ти хвилинної доступності станцій екстреної медичної допомоги м. Києва

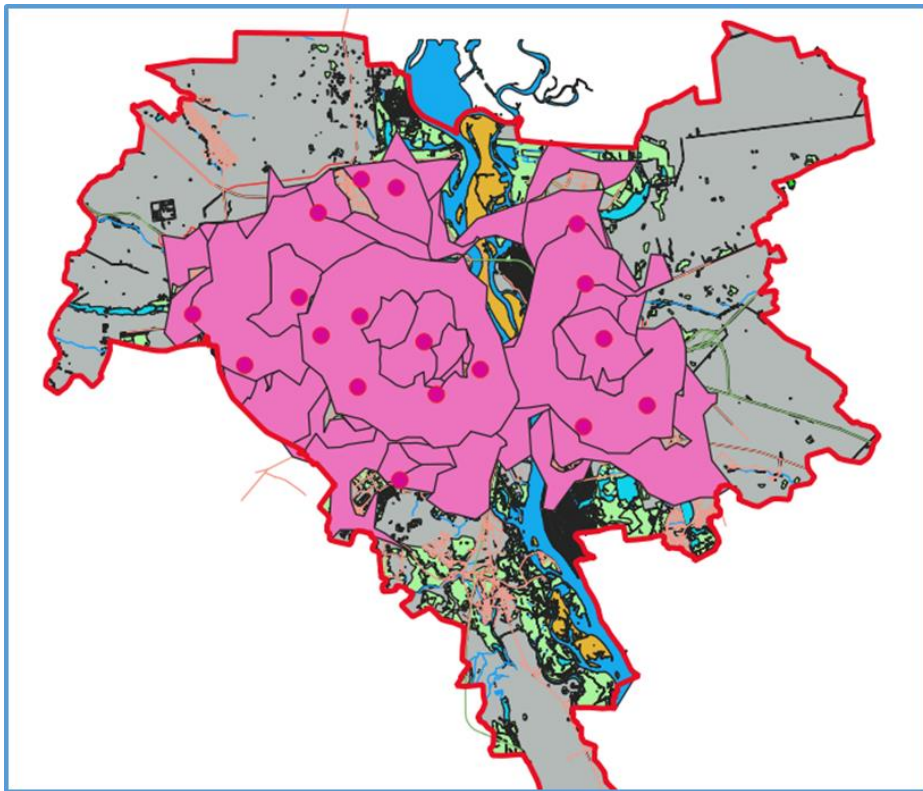


Рис. 3.15. Зони 10-ти хвилинної нормативної доступності станцій екстреної медичної допомоги м. Києва

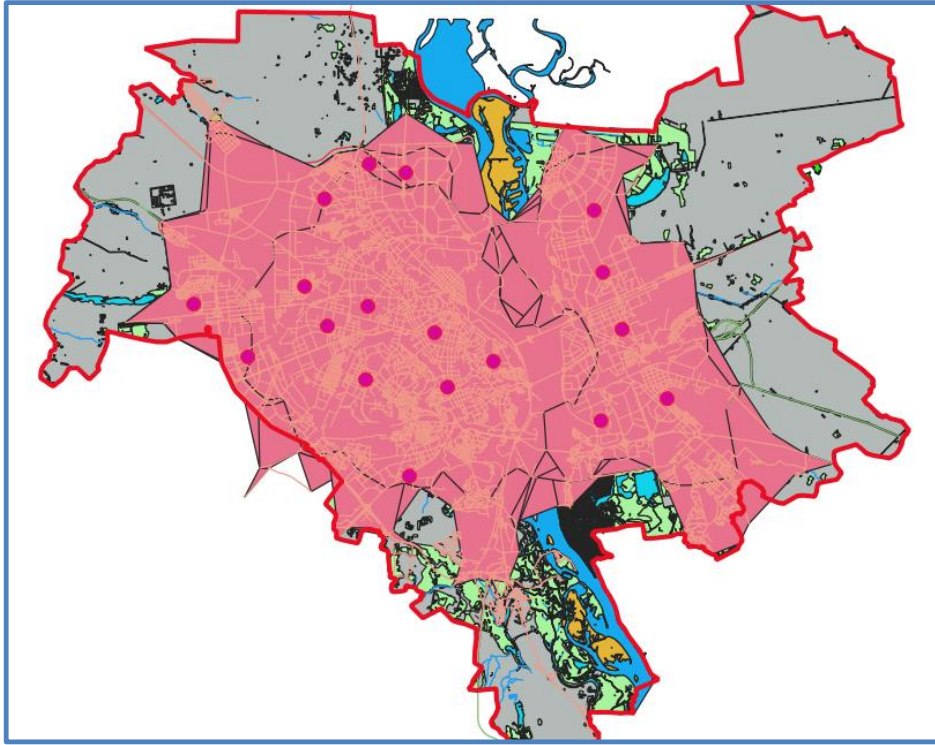


Рис. 3.16. Зони 15-ти хвилинної доступності станцій екстреної медичної допомоги м. Києва

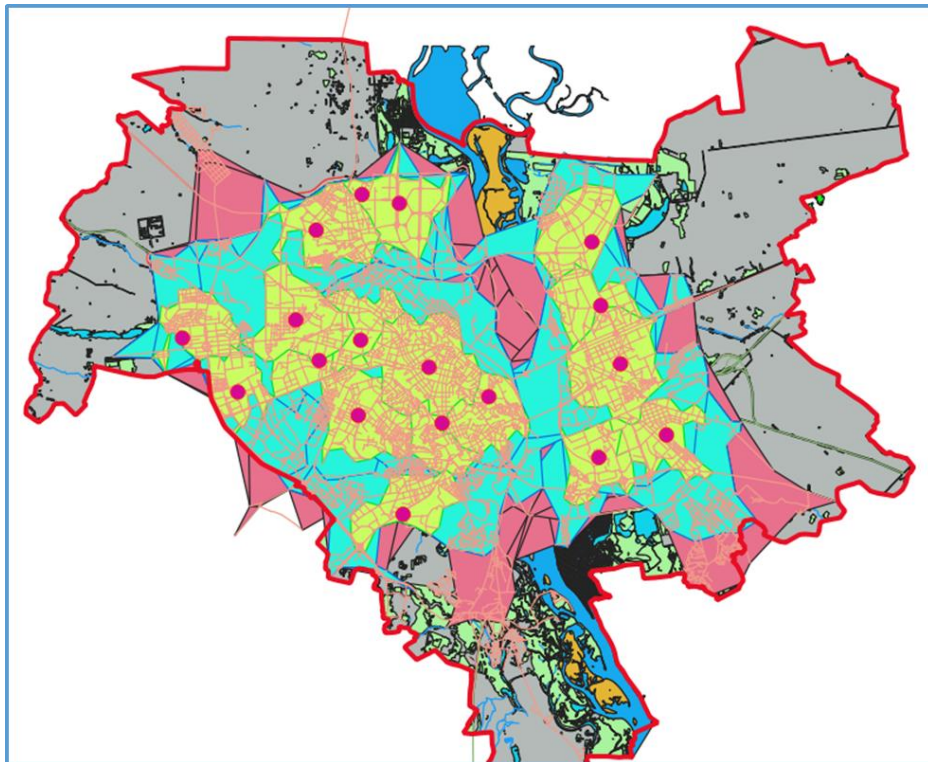


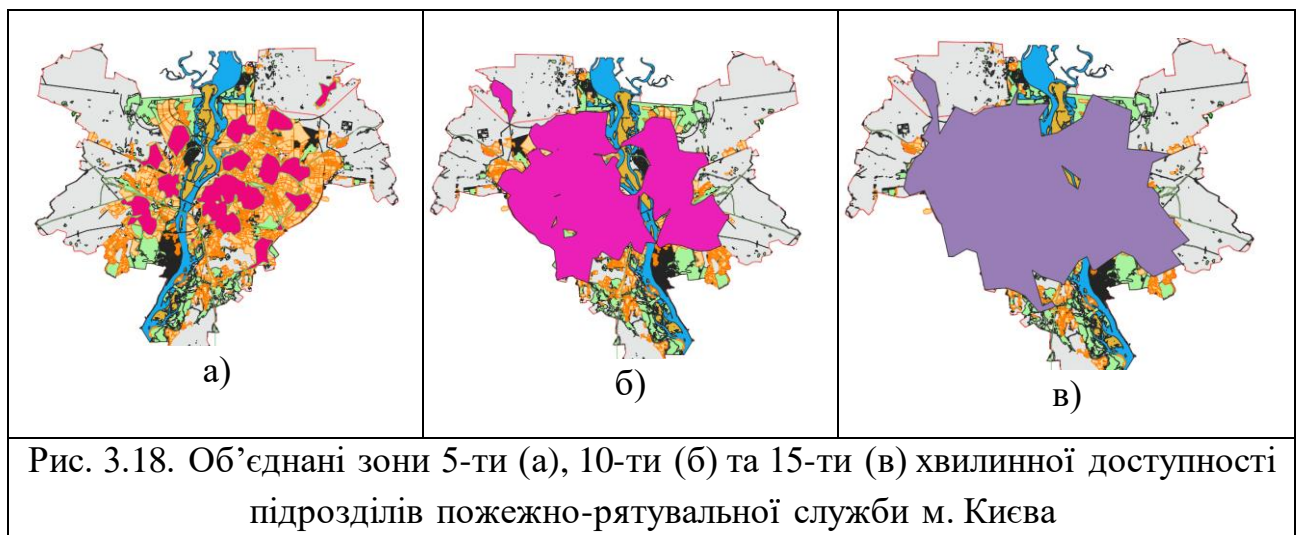
Рис. 3.17. Зони різночасових ізохрон (5-ти, 10-ти та 15-ти хвилинної) доступності станцій екстреної медичної допомоги м. Києва

### 3.4.2 Просторовий аналіз покриття території м. Києва зонами доступності екстрених служб міста

Для просторового аналізу зон покриття території міста зонами доступності використовуються полігони об'єднаних зон доступності певного часового інтервалу усіх підрозділів екстреної служби. В об'єднаній зоні доступності відсутнє дублювання областей, спільних для зон доступності окремих підрозділів, що просторово перекриваються в моделі із множини полігонів ізохрон окремих підрозділів.

Для побудови об'єднаних зон доступності в роботі застосовано види із SQL запитами на основі функція `ST_Union` для просторового об'єднання полігонів зон доступності окремих підрозділів в один мультиполігон без дублювання спільних областей. Наприклад, для побудови об'єднаної зони 5-ти хвилинної доступності для підрозділів пожежно-рятувальної служби міста потрібно виконати такий простий SQL скрипт:

В додатку А.3.1 приведено набір подібних скриптів для створення об'єднаних зон доступності усіх часових інтервалів, що моделювалися і досліджувалися в роботі. На рис. 3.18 та рис. 3.19 подано результати виконання запитів цих видів.



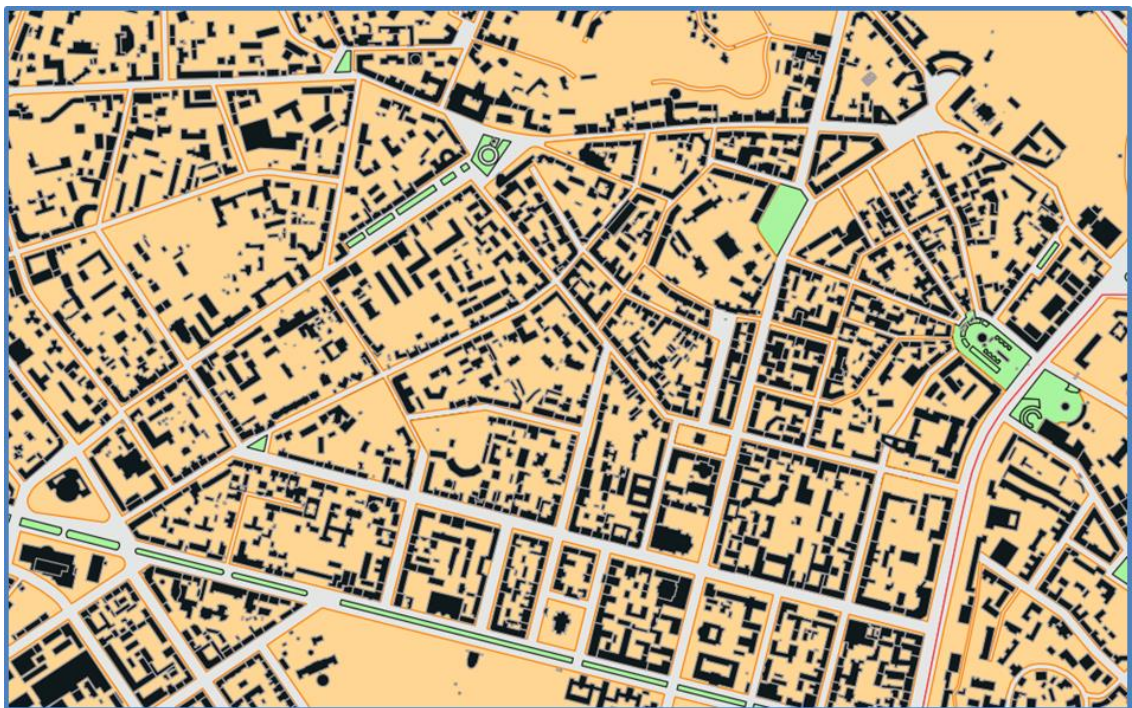
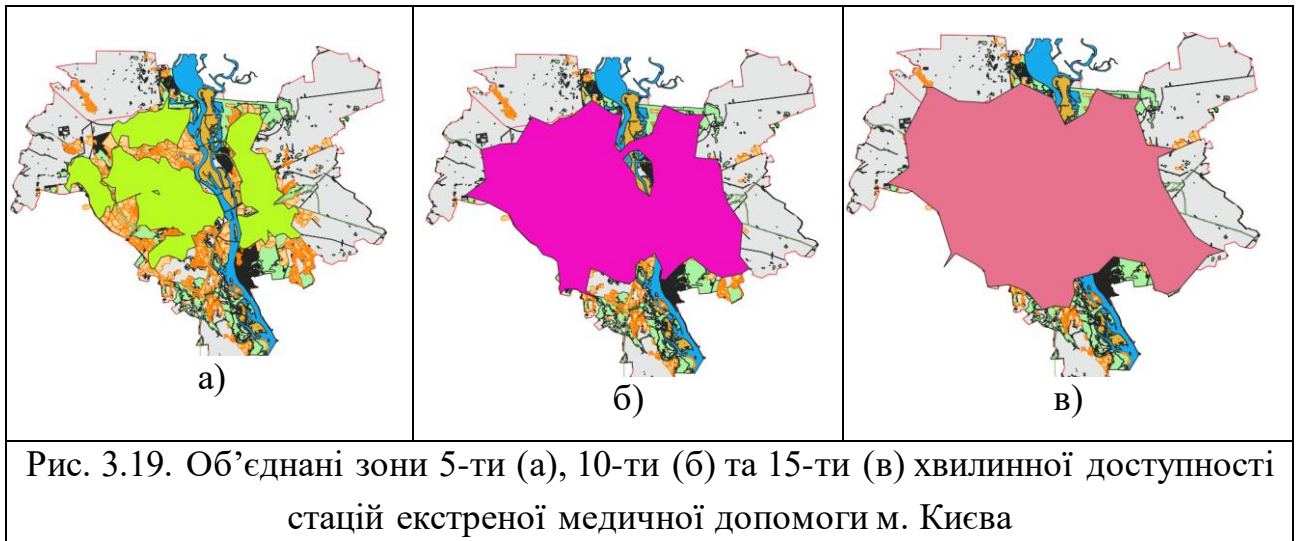


Рис. 3.20. Зображення фрагменту е-карти наборів даних кварталів та будівель м. Києва, які використовувалися для просторового аналізу охоплення території міста зонами доступності екстрених служб міста

Просторовий аналіз охоплення території м. Києва зонами доступності екстрених служб міста виконувався з використання набору геопросторових даних кварталів забудови та будівель в межах міста (рис.3.20).

SQL запити для просторового аналізу і обчислення показників щодо обсягів площі території міста та числа будівель, що охоплені зонами певної часової доступності для екстрених служб міста приведено в додатку А.3.2., а результати їх виконання приведено нижче в табл. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1

Результати просторового аналізу охоплення території забудованих кварталів м. Києва, зонами доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби міста

Відсоток площі території забудованих кварталів по зонах доступності		
зона 5 хвилин	зона 10 хвилин	зона 15 хвилин
33.53 %	80.13 %	90.79 %
Відсоток будівель по зонах доступності		
зона 5 хвилин	зона 10 хвилин	зона 15 хвилин
31.51%	74.04 %	88.76 %

Таблиця 3.2

Результати просторового аналізу охоплення території забудованих кварталів м. Києва, зонами доступності станцій екстреної медичної допомоги міста

Відсоток площі території забудованих кварталів по зонах доступності		
зона 5 хвилин	зона 10 хвилин	зона 15 хвилин
58.99 %	89.47 %	94.36%
Відсоток будівель по зонах доступності		
зона 5 хвилин	зона 10 хвилин	зона 15 хвилин
55.36 %	87.42 %	90.47 %

Результати просторового аналізу охоплення території м. Києва зонами доступності екстрених служб міста свідчать про досить задовільний рівень охоплення території зонами 10-ти хвилинної (нормативної) доступності (80.13% площі території міста для зон доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби та 89.47% для станцій екстреної медичної допомоги).

Візуальний аналіз об'єднаних зон доступності (рис. 3.18, рис. 3.19) вказує на 100% охоплення зонами доступності території центральних та більшості інших районів міста. Неохопленими є забудовані території на периферії міста, особливо на півночі та півдні міста, що і вплинуло на загальні показники

охоплення території міста зонами нормативного часу доступності на рівні 80 – 89 % охопленості.

Варто зауважити, що обчислені показники рівня охоплення зонами нормативної доступності екстрених служб міста це лише оцінка потенційного часу прибуття екстрених служб на місця викликів. Для точнішого оцінювання часу прибуття підрозділів екстрених служб міста на місця подій необхідно мати і враховувати статистичні дані щодо частоти викликів впродовж доби та дані про число наявних сил і засобів в підрозділах екстрених служб міста, а не лише координати місць їх дислокації.

### **Висновки до розділу 3**

1. Виконано комплексний обчислювальний експеримент з геоінформаційного моделювання зон доступності екстрених служб м. Києва з використанням даних про реальні місця дислокації їх підрозділів та геометричної моделі вулично-дорожньої мережі міста в масштабі 1:10 000.

2. Розроблена технологічна схема геоінформаційного моделювання зон доступності екстрених служб м. Києва охоплює усі етапи моделювання з використанням технології баз геопросторових даних в СКБД PostgreSQL/PostGIS.

3. З використанням базових функцій бібліотеки мережного аналізу pgRouting та PostGIS розроблено прикладні SQL функції для автоматизації обчислення ізохрон і побудови полігонів зон 5-ти, 10-ти та 15-ти хвилинної доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби та станцій екстреної медичної допомоги міста Києва.

4. Апробація прикладних SQL функції на даних про реальні місця дислокації підрозділів екстрених служб міста та геометричної моделі ВДМ в масштабі 1: 10 000 показала їх високу швидкодію на рівні 3 – 5 секунд витрат часу на моделювання зон 5-ти, 10-ти та 15-ти хвилинної доступності для 29 підрозділів пожежно-рятувальної служби та 18 станцій екстреної медичної допомоги м. Києва.

5. Створено серію тематичних карт зон 5-ти, 10-ти та 15-ти хвилинної доступності для підрозділів пожежно-рятувальної служби та станцій екстреної медичної допомоги м. Києва.

6. Виконано просторовий аналіз охоплення території міста Києва зонами 10-хвилинної нормативної доступності для екстрених служб міста, результати якого засвідчують про 81 – 89% охопленість площі забудованих кварталів зонами доступності підрозділів ЕСМ, 100% охопленість центральних та інших районів міста та неохопленість цими зонами забудованих кварталів на північних та південних околицях міста.

## **ВИСНОВКИ**

1. Геоінформаційне моделювання зон доступності екстрених служб міста (ЕСМ) є важливим для забезпечення належного рівня безпеки та збереження життів мешканців великих міст, оскільки дозволяє об'єктивно оцінювати існуючу мережу розташування підрозділів ЕСМ, виявляти проблемні ділянки з недостатнім покриттям території зонами нормативного часу доступності підрозділів ЕСМ та приймати обґрунтовані рішення щодо вдосконалення просторового планування дислокації та організації роботи ЕСМ, безпосередньо впливаючи на їх здатність швидко та ефективно реагувати на виклики, на зменшення матеріальних збитків та запобігання травмам та загибелі людей.

2. В роботі вирішені поставлені завдання щодо розроблення геоінформаційної системи моделювання зон доступності міських екстрених служб на м. Києва з використанням засобів мережного аналізу pgRouting в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS.

3. З використанням базових функцій бібліотеки мережного аналізу pgRouting та PostGIS розроблено прикладні SQL функції для автоматизації обчислення ізохрон і побудови полігонів зон 5-ти, 10-ти та 15-ти хвилинної доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби та станцій екстреної медичної допомоги міста Києва, їх тематичне картографування та просторовий аналіз охоплення території забудованих кварталів міста зонами нормативного часу доступності.

4. Апробація розроблених прикладних SQL функції на даних про реальні місця дислокації підрозділів екстрених служб міста та геометричної моделі ВДМ в масштабі 1: 10 000 показала їх високу швидкодію на рівні 3 – 5 секунд витрат часу на моделювання зон 5-ти, 10-ти та 15-ти хвилинної доступності для усіх підрозділів пожежно-рятувальної служби та станцій екстреної медичної допомоги м. Києва.

5. Результати просторового аналізу охоплення території міста Києва зонами 10-хвилинної нормативної доступності для екстрених служб міста засвідчують про 81 – 89% охопленість площі забудованих кварталів зонами доступності підрозділів ЕСМ, 100% охопленість центральних та інших районів міста та неохопленість цими зонами забудованих кварталів на північних та південних околицях міста.

6. Обчислені показники рівня охоплення зонами нормативної доступності екстрених служб міста надають лише оцінки потенційного часу прибуття екстрених служб на місця викликів. Для точнішого оцінювання часу прибуття підрозділів екстрених служб міста на місця подій необхідно мати і враховувати статистичні дані щодо частоти викликів екстрених служб впродовж доби та дані щодо чисельності наявних сил і засобів в підрозділах екстрених служб міста та їх розподіл по території міста, а не лише координати місць їх дислокації підрозділів екстрених служб міста.

7. Виконане дослідження підтверджує ефективність використання засобів СКБД PostgreSQL з функціональними розширеннями PostGIS та pgRouting для геоінформаційного моделювання зон доступності екстрених служб великого міста, оскільки СКБД PostgreSQL та засоби мережного розширення pgRouting дозволяють ефективно опрацьовувати з моделі великих транспортних мереж, максимальний розмір яких обмежується лише потужністю сервера бази даних.

8. Отримання достовірних і точних результатів моделювання потребує ретельної підготовки вхідних даних геометричної моделі вулично-дорожньої мережі та місць дислокації підрозділів екстрених служб міста, а також наявності доступу до актуальної цифрової топографічної основи на територію міста.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кодекс цивільного захисту України – Чинний від 2012-11-21. – К. : ВР України, 2012. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
2. Закон України. Про екстрену медичну допомогу – Чинний, поточна редакція від 01.01.2024. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5081-17#Text> .
3. Постанова КМУ від 16 грудня 2020 р. № 1271 Про норматив прибуття бригад екстреної (швидкої) медичної допомоги на місце події <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1271-2020-п#Text>
4. ДСТУ 8767:2018 «Пожежно-рятувальні частини. Вимоги до дислокації та району виїзду, комплектування пожежними автомобілями та проектування».
5. Державні будівельні норми Планування і забудова територій: ДБН А.2.2-12:2019 – На заміну ДБН А.2.2-12:2018 ; чинний від 2019-10-01. – К. : Мінрегіон України, 2019. – 177 с..
6. ДСТУ 8774:2018 «Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних». К.: ДП «УкрНДНЦ» 2017.
7. Борис О. П. Державне регулювання норм дислокації пожежно-рятувальних підрозділів в Україні//Інвестиції: Практика та досвід. 2019, № 5. – С. 116 – 121.
8. Геоінформаційні технології та інфраструктура просторових даних: у шести томах. Том 2: Системи керування базами геоданих для інфраструктури просторових даних. Навчальний посібник. / Кейк Д., Лященко А.А., Путренко В.В., Хмелевський Ю., Дорошенко К.С., Говоров М. - К.: Планета-Прінт, 2017. 456 с.
9. Горковчук Ю.В. Геопросторовий аналіз [Електронний ресурс]: конспект лекцій/ Ю.В. Горковчук, Д.О. Кінь. – Київ : КНУБА, 2024. – 49 с.
10. Журавель М. О. Навчальний посібник для самостійного вивчення дисципліни «Цивільний захист» : частина перша – теоретична: навч. посіб. для студентів усіх спеціальностей та форм навчання / Укл. : М. О. Журавель, С. М.

Журавель, М. І. Лазуткін, Ю. В. Якімцов – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 235 с.

11. Карпіловська Є. Мережний чи мережевий? // Культура слова. 2023. Вип. 98. С. 211-213. URL: <http://jnas.nbuiv.gov.ua/article/UJRN-0001429595> .

12. Карпінський Ю.О. Основи ГІС. Стандартизація географічної інформації: навч. посіб. / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко, Н.Ю. Лазоренко-Гевель. – Київ: КНУБА, 2021. – 152 с. ISBN 978-966-627-327-2.

13. Карпінський Ю.О. Основні принципи побудови базової моделі дорожньої мережі в міжнародному стандарті GDF 4.0. / Ю.О. Карпінський, О.П. Дроздівський // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: збірник наукових праць. – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2005. – С. 302–306.

14. Кузьменко І.М. Теорія графів: навч. посібник. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. — 71 с. [Електронний ресурс] <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/fb0a4251-74d9-470b-88da-71abb4e85f93/content> .

15. Лященко А.А. Транспортно-навігаційні ГІС: конспект лекцій – Київ : КНУБА, 2025. <https://org2.knuba.edu.ua/course/view.php?id=4927>.

16. Amélie A. Gagnon, Germán Vargas Mesa et al, (2002). Isochrone based catchment for education planning: Report # 3. – International Institute for Educational Planning. UNESCO - May. <https://www.iiep.unesco.org/en/publication/isochrone-based-catchment-areas-educational-planning>

17. Atilio Francois, (2019). How to develop an application with pgRouting in Windows (4): catchment areas and isochrones. – 2019. [Електронний ресурс] <https://www.sigterritoires.fr/index.php/en/how-to-develop-an-application-with-pgrouting-in-windows-4-catchment-areas-and-isochrones//>.

18. Bhellar M.G., Talpur M.A.H., Khahro S.H., Ali T.H., Javed, Y. Visualizing Travel Accessibility in a Congested City Center: A GIS-Based Isochrone Model and Trip Rate Analysis Considering Sustainable Transportation Solutions. // Sustainability 2023, 15, 16499. <https://doi.org/10.3390/su152316499>

19. Eric van Rees. Three GIS-based Travel Time Polygon Tools Compared. - 2020. [Електронний ресурс] <https://geoawesome.com/three-gis-based-travel-time-polygon-tools-compared/>
20. Fire Station Reachability Analysis: A Mapping Approach – May 7, 2024 <https://www.mapog.com/fire-station-reachability-analysis-a-mapping-approach/> .
21. Google Maps. Карта об'єктів «Пожежні частини» [https://www.google.com/maps/search/Пожежні+частини/@50.4315208,30.4919981,12z?entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI1MTEyMy4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/search/Пожежні+частини/@50.4315208,30.4919981,12z?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MTEyMy4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D)
22. Google Maps. Карта об'єктів «Станції швидкої медичної допомоги» [https://www.google.com/maps/search/Станції+швидкої+медичної+допомоги/@50.4316813,30.4919979,12z/data=!3m1!4b1?entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI1MTEyMy4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/search/Станції+швидкої+медичної+допомоги/@50.4316813,30.4919979,12z/data=!3m1!4b1?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MTEyMy4xIKXMDSoASAFQAw%3D%3D)
23. INSPIRE. D2.8.I.7\_v3.2. Data Specification on Transport Networks – Technical Guidelines. – 2014. [https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/publications/inspire-data-specification-transport-networks-technical-guidelines\\_en](https://knowledge-base.inspire.ec.europa.eu/publications/inspire-data-specification-transport-networks-technical-guidelines_en).
24. Open source tools for geographic analysis in transport planning // Journal of Geographical Systems. 2021 23:547–578. <https://doi.org/10.1007/s10109-020-00342-2>
25. Nurzaman F., Napitupulu M. H., Akbar S.A. Assessment of Fire Stations Distribution Using Geographic Information System. Case Study in Jakarta Pusat // Seminar Nasional Geomatika 2021: Inovasi Geospasial dalam Pengurangan Risiko Bencana [https://www.researchgate.net/publication/358963034\\_Assessment\\_of\\_Fire\\_Stations\\_Distribution\\_Using\\_Geographic\\_Information\\_System\\_Case\\_Study\\_in\\_Jakarta\\_Pusat/references](https://www.researchgate.net/publication/358963034_Assessment_of_Fire_Stations_Distribution_Using_Geographic_Information_System_Case_Study_in_Jakarta_Pusat/references) .
26. O'Sullivan D., Morrison Al., Shearer J. Using Desktop GIS for the Investigation of Accessibility by Public Transport: An Isochrone Approach International Journal of Geographical Information Science January 2000 14(1) : 85-104 DOI: 10.1080/136588100240976.
27. ArcGIS Pro. <https://desktop.arcgis.com/ru/documentation/>.
28. QGIS. <https://www.qgis.org>.

29. Open Street Map (OSM). <https://www.openstreetmap.org>
30. Open Street Map (OSM). Портал завантаження геопросторових даних. <https://download.geofabrik.de/europe.html>
31. pgRouting Project. <https://pgrouting.org/#>
32. pgRouting Documentation. <https://pgrouting.org/documentation.html>
33. PostGIS 3.4.1 Manual. <https://postgis.net/docs/index.html>
34. PostgreSQL. <https://www.postgresql.org/docs/current/index.html>.
35. Wikimapia: Сайт геопорталу відкритих даних щодо просторового розміщення об'єктів за категорією «Пожежні станції» <https://wikimapia.org/#lang=uk&lat=50.405017&lon=30.477448&z=10&m=w&tag=838>
36. Wikimapia: Сайт геопорталу відкритих даних щодо просторового розміщення об'єктів за категорією «Станції швидкої медичної допомоги» <http://wikimapia.org/#lat=50.4002906&lon=30.5304909&z=9&m=b&l=37&tag=8708>.
37. Workbook for pgRouting. – [Електронний ресурс] [https://github.com/ShengaoYi/pgRouting\\_tutorial/blob/master/Workbook.md](https://github.com/ShengaoYi/pgRouting_tutorial/blob/master/Workbook.md) .
38. Zhao, Y.; Zhou, Y. Isochrone-Based Accessibility Analysis of Pre-Hospital Emergency Medical Facilities: A Case Study of Central Districts of Beijing // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2024, 13, 288. <https://doi.org/10.3390/ijgi13080288>.

## ДОДАТОК А.

### ТЕКСТИ РОЗРОБЛЕНИХ SQL ЗАПИТІВ ТА ПРИКЛАДНИХ ФУНКЦІЙ

#### А.1 Запити для створення таблиць наборів геопросторових даних та видів View місць дислокації екстрених служб м. Києва

##### *А.1.1 Запити на створення таблиць наборів геопросторових даних*

```
CREATE TABLE fire_stations (
gid SERIAL NOT NULL PRIMARY KEY,
s_name VARCHAR(10),
spec_flg integer, -- ознака загального профілю
net_node integer,
dist_node double precision,
name VARCHAR(64),
address VARCHAR(64),
geom geometry (POINT, 4326));
```

```
CREATE TABLE med_stations (
gid SERIAL NOT NULL PRIMARY KEY,
s_name VARCHAR(10),
spec_flg integer, -- ознака загального профілю
net_node integer,
dist_node double precision,
name VARCHAR(64),
address VARCHAR(64),
geom geometry (POINT, 4326));
```

##### *-- Типовий запит на створення таблиці ізохрон зон доступності для ПЧ*

```
CREATE TABLE fr_isochrone05(
gid serial PRIMARY KEY,
s_name VARCHAR (10),
iso_time INTEGER,
geom geometry(POLYGON,4326));
```

*-- Типовий запит на створення таблиці ізохрон зон доступності для СЕМД*

```
CREATE TABLE fr_isochrone05(
    gid serial PRIMARY KEY,
    s_name VARCHAR (10),
    iso_time INTEGER,
    geom geometry(POLYGON,4326));
```

*A.1.2 Запити на створення видів для обчислення найближчих вузлів до місць дислокації підрозділів екстрених служб*

*-- Створення виду із запитом пошуку найближчого вузла до ПЧ та*

*-- обчислення відстані до нього на поверхні еліпсоїду*

```
CREATE OR REPLACE VIEW frs_nearest_node AS
```

```
    SELECT fire.gid AS fire_gid, fire.s_name AS sfire,
    vertice.id AS node_id,
    vertice.the_geom::geography(Point, 4326) AS vertices_geom,
    vertices.dist
FROM fire_stations AS fire
CROSS JOIN LATERAL (
    SELECT vertices.id, vertices.the_geom,
        vertices.the_geom <-> fire.geom::geography(Point, 4326) AS dist
FROM street_vertices_pgr AS vertices
ORDER BY dist
LIMIT 1 )vertices;
```

*-- Створення виду із запитом пошуку найближчого вузла до станції*

*-- ЕМД та обчислення відстані до нього на поверхні еліпсоїду*

```
CREATE OR REPLACE VIEW med_nearest_node AS
```

```
    SELECT med.gid AS med_gid, med.s_name AS smed,
    vertices.id AS node_id,
    vertices.the_geom::geography(Point, 4326) AS vertices_geom,
    vertices.dist
FROM med_stations AS med
CROSS JOIN LATERAL (
```

```

SELECT vertices.id, vertices.the_geom,
       vertices.the_geom <-> med.geom::geography(Point, 4326) AS dist
FROM street_vertices_pgr AS vertices
ORDER BY dist
LIMIT 1 )vertices;

```

### *A.1.3 Запити введення та оновлення даних в таблицях дислокації підрозділів екстрених служб*

```

-- SQL команди введення даних про місця дислокації підрозділів
-- пожежно-рятувальної служби м. Києва в таблицю fire_stations
INSERT INTO fire_stations (s_name, spec_flg, name, address, geom)
VALUES
('ПЧ-9',1,'Пожежна частина № 9','Берестейський проспект,
69/1','POINT(30.403333 50.457778)'),
('ПЧ-16',1,'Пожежна частина № 16','вул. Євгена Сверстюка, 54','POINT(30.608611
50.442778)'),
('ПЧ-13',1,'Пожежная частина № 13','Воскресенський просп.,
27','POINT(30.590000 50.491389)'),
('ПЧ-8',1,'Пожежна частина № 8','Голосіївський просп., 56','POINT(30.513333
50.401111)'),
('ПЧ-26',1,'Пожежна частина № 26','просп. Академіка Глушкова, 1, пав.
26','POINT(30.472222 50.36750)'),
('ПЧ-44',1,'Пожежна частина № 44','вул. Василя Касіяна, 7','POINT(30.453889
50.37500)'),
('ПЧ-46',1,'Пожежна частина № 46','вул. Промислова, 8','POINT(30.562222
50.388333)'),
('ДПРЧ-5',1,'Державна пожежно-рятувальна частина № 5','11. вул. Вереснева,
13/59','POINT(30.666111 50.42500)'),
('ПЧ-Жлн',1,'Пожежна частина','Жуляни','POINT(30.449444 50.399444)'),
('ЗТС-ГУ',1,'Загін технічної служби ГУ ДСНС України у м. Києві','вулиця Джона
Маккейна, 11','POINT(30.533056 50.415278)'),
('СПЧ-25',1,'25 спеціалізована пожежна частина','вул. Героїв полку «Азов», 6 -
25','POINT(30.49000 50.501111)'),

```

```

('ПЧ-10',1,'Пожежна частина № 10','вул. Квітки Цісик, 38','POINT(30.355833
50.540000)'),
('ДПРЧ-12',1,'Державна пожежно-рятувальна частина № 12','вул.
Круглоуніверситетська, 20/1','POINT(30.526944 50.442222)'),
('ДПРЧ-19',1,'Державна пожежно-рятувальна частина № 19','вул. Кубанської
України, 4а','POINT(30.643333 50.470278)'),
('СПРЧ-28',0,'28 частина спеціалізованих ПР робіт на водних об'єктах','вул.
Набережно-Рибальська','POINT(30.531111 50.486667)'),
('СДПЧ-3',1,'Самостійна державна пожежна частина № 3','вул. Митрополита
Василя Липківського, 33','POINT(30.477222 50.431944)'),
('ПП-СТД',0,'Пожежний поїзд ст. Дарниця','вул. Алматинська','POINT(30.657222
50.438056)'),
('СДПЧ-6',1,'Самостійна державна пожежна частина № 6','вул. Молдовська,
3а','POINT(30.448889 50.460278)'),
('ПЧ-14',1,'Пожежна частина № 14','вул. Нижньоюрківська, 5','POINT(30.501944
50.468333)'),
('ПП-КЗ',0,'Пожежний поїзд','вул. Льва Толстого','POINT(30.501944 50.431111)'),
('ПЧ-24',1,'Пожежна частина № 24','вул. Олександра Кошиця,
3в','POINT(30.645833 50.403611)'),
('ПЧ-18',1,'Пожежна частина № 18','вул. Пшенична, 3','POINT(30.400556
50.430833)'),
('СДПЧ-1',1,'Самостійна державна пожежна частина № 1','вул. Рибальська,
14/16','POINT(30.540556 50.434444)'),
('ДПЧ-7',1,'Державна пожежна частина №7','вул. Світлицького,
37','POINT(30.424444 50.507778)'),
('ПЧ-4',1,'Пожежна частина № 4','вул. Тарасівська, 4','POINT(30.5075 50.4400)');

```

```
-- SQL команди введення даних про місця дислокації станцій екстреної
```

```
-- медичної допомоги м. Києва в таблицю med_stations
```

```
INSERT INTO med_stations (s_name, spec_flg, name, address, geom)
```

```
VALUES
```

```
('ПНМД-1.1',0,'ПНМД для дорослих, при КНП "ЦПМСД №2" Голосіївського
р.','Голосіївський просп., 59а','POINT(30.512075 50.398398)'),
```

('ПНМД-1.2',0,'ПНМД для дорослих та дітей, при КНП "ЦПМСД №1" Голосіївського р.', 'вул. Героїв Маріуполя, 6', 'POINT(30.454970749305353 50.38154856872512)'),

('ПНМД-1.3',0,'ПНМД для дорослих та дітей, при КНП "ЦПМСД №1" Голосіївського р.', 'вул. Набережно-Корчуватська, 56/66', 'POINT(30.551441166299142 50.369309730883465)'),

('ПНМД-2.1',0,'ПНМД для дорослих та дітей, при КНП "ЦПМСД №3" Дарницького р.', 'Харківське шосе, 121', 'POINT(30.665749802307133 50.41379434993817)'),

('ПНМД-2.2',0,'ПНМД для дорослих та дітей, при КНП "ЦПМСД №1" Дарницького р.', 'вул. Бориспільська, 30А', 'POINT(30.68912397918817 50.424047009746545)'),

('ПНМД-3.1',0,'ПНМД для дорослих та дітей, при КНП "ЦПМСД №1" Деснянського р.', 'вул. Миколи Закревського, 81/1', 'POINT(30.6124144964471 50.50952556688827)'),

('ПНМД-3.2',0,'ПНМД для дорослих та дітей, при "ЦПМСД №3" Деснянського р.', 'вул. Василя Іваниса, 3', 'POINT(30.63469067563058 50.46923346385156)'),

('ПНМД-3.3',0,'ПНМД для дорослих та дітей, при КНП "ЦПМСД №2" Деснянського р.', 'вул. Рональда Рейгана, 19', 'POINT(30.596631803255093 50.50916690250337)'),

('ЛШМД-3.4',0,'КНП «Київська Міська Клінічна Лікарня Швидкої Медичної Допомоги»', 'вул. Братиславська, 3', 'POINT(30.619629984052892 50.472858736939955)'),

('ПНМД-4.1',0,'ПНМД для дорослих та дітей, при "ЦПМСД "Русанівка"', 'вул. Митрополита Андрея Шептицького, 5', 'POINT(30.59295329508497 50.444446783516455)'),

('ПНМД-5.1',0,'ПНМД №3 при ЦПМСД №2 Оболонського р.', 'вул. Левка Лукьяненка, 14', 'POINT(30.495933294073456 50.51093240221744)'),

('ПНМД-5.2',0,'ПНМД №2 при ЦПМСД №2 Оболонського р.', 'просп.Литовський, 8', 'POINT(30.452584614689282 50.52443317719006)'),

('ПНМД-5.3',0,'ПНМД №1 при ЦПМСД №2 Оболонського р.', 'вул. Вишгородська, 54А', 'POINT(30.451419480330696 50.51868775536104)'),

('ПНМД-5.4',0,'ПНМД №4 при ЦПМСД №2 Оболонського р.', 'вул. Йорданська, 26', 'POINT(30.505064650889683 50.5004865572685)'),

('СШПД-6.1',0,'Психдиспансер/СШ психіатричної допомоги','вул. Верхня, 4',  
'POINT(30.5491667 50.4213889)'),  
('ПНМД-6.2',0,'ПНМД для дорослих, КНП "ЦПМСД" Печерського р.','вул.  
Професора Підвисоцького, 13','POINT(30.550514418324802  
50.41605241893221)'),  
('ПНМД-6.3',0,'ПНМД для дітей, при ЦПМСД Печерського р.','вул. Професора  
Підвисоцького, 4Б','POINT(30.543052091686448 50.41244319457741)'),  
('ПНМД-7.1',0,'ВНМД № 2','вул. Мостицька, 9','POINT(30.447669271316624  
50.50023228742011)'),  
('ПНМД-8.1',0,'ПНМД для дорослих, при КНП "ЦПМСД №3" Святошинського  
р.','вул. Смиренка, 10','POINT(30.39427906868669 50.414014108330356)'),  
('ПНМД-8.2',0,'ПНМД для дорослих, при КНП "ЦПМСД №3" Святошинського  
р.','вул. Петра Курінного, 2','POINT(30.385302359606143 50.4352061953319)'),  
('ПНМД-8.3',0,'ПНМД для дорослих, при КНП "ЦПМСД №3" Святошинського  
р.','вул. Академіка Булаховського, 26','POINT(30.336867339967846  
50.47092141508171)'),  
('ПНМД-9.1',0,'ПНМД для дорослих, при ЦПМСД № 2 Соломянського р.','вул.  
Соломянська, 17','POINT(30.481700764040788 50.42327784724437)'),  
('ПНМД-9.2',0,'ПНМД для дорослих, при ЦПМСД № 1 Соломянського р.','просп.  
Любомира Гузара, 3','POINT(30.412572795136153 50.43591457069501)'),  
('ПНМД-10.1',0,'ПНМД для дорослих, при КНП "ЦПМСД №3" Шевченківського  
р.','вул. Данила Щербаківського, 70','POINT(30.40669851107287  
50.47879333876199)'),  
('ПНМД-10.2',0,'ПНМД для дорослих, при КНП "ЦПМСД №3" Шевченківського  
р.','вул. Ризька, 1','POINT(30.4398396392027 50.47049663130838)'),  
('ПШМД-18',1,'Підстанція №18 швидкої медичної допомоги','просп. Маршала  
Рокоссовського, 2А','POINT(30.460123156934127 50.52017161683922)'),  
('ПШМД-17',1,'Підстанція №17 швидкої медичної допомоги','вул. Урлівська,  
13','POINT(30.61795743064682 50.408223241386516)'),  
('ПШМД-16',1,'Підстанція №16 швидкої медичної допомоги','вул. Прилужна,  
6','POINT(30.340483540175185 50.45911080080569)'),  
('ПШМД-15',1,'Підстанція №15 швидкої медичної допомоги','вул. Героїв  
Енергетиків, 7','POINT(30.613337590055398 50.49999214428401)'),  
('ПШМД-14',1,'Підстанція №14 швидкої медичної допомоги','вул. Олекси  
Тихого, 89','POINT(30.43156293681145 50.44954732223455)'),

```

('ПШМД-13',1,'Підстанція №13 швидкої медичної допомоги','вул. Ямська,
43','POINT(30.513455316143506 50.422866660483486)'),
('ПШМД-12',1,'Підстанція №12 швидкої медичної допомоги','вул. Джеймса
Мейса, 3','POINT(30.45762829091386 50.42618409353791)'),
('ПШМД-11',1,'Підстанція №11 швидкої медичної допомоги','вул.
Братиславська, 3а','POINT(30.619258244908934 50.47293952430784)'),
('ПШМД-10',1,'Підстанція швидкої медичної допомоги № 10','вул. Героїв Дніпра,
2','POINT(30.485 50.5163889)'),
('ПШМД-9',1,'Підстанція № 9 швидкої медичної допомоги','вул. Дениса
Антіпова, 54','POINT(30.663057458368556 50.417860255105595)'),
('ПШМД-8',1,'Підстанція №8 швидкої медичної допомоги','вул. Якуба Коласа,
15А','POINT(30.377379396102246 50.43609850949397)'),
('ПШМД-7',1,'Підстанція №7 швидкої медичної допомоги','просп.
Європейського Союзу, 64А','POINT(30.42961033489416 50.5050267194095)'),
('ПШМД-6',1,'Підстанція №6 швидкої медичної допомоги','вул. Зоологічна,
3Б','POINT(30.459163529541083 50.458195819795264)'),
('ПШМД-5',1,'Підстанція №5 швидкої медичної допомоги','вул. Князів
Острозьких, 40В','POINT(30.544648659929276 50.43414849649795)'),
('ПШМД-4',1,'Підстанція №4 швидкої медичної допомоги','вул. Януша Корчака,
23/2','POINT(30.416015468283856 50.466819314037124)'),
('ПШМД-3',1,'Підстанція №3 швидкої медичної допомоги','вул. Героїв Оборони,
3','POINT(30.487496994263722 50.38402829009643)'),
('ПШМД-2',1,'Підстанція №2 швидкої медичної допомоги','вул. Пластова, 6,
Київ, 02000','POINT(30.6324028907916 50.448123968153325)'),
('ПШМД-1',1,'Київська міська станція ШМД, ПШМД № 1','вул. Богдана
Хмельницького, 37б','POINT(30.5047222 50.4466667)');

```

-- *Запит для оновлення даних про найближчий вузол ВДМ в таблиці*

-- *fire\_stations з використанням результату запиту виду frs\_nearest\_node*

```
UPDATE fire_stations SET
```

```
net_node = (SELECT frs_nearest_node.node_id
```

```
FROM frs_nearest_node
```

```
WHERE fire_stations.gid = frs_nearest_node.fire_gid),
```

```
dist_node = (SELECT frs_nearest_node.dist
```

```
FROM frs_nearest_node
```

```
WHERE fire_stations.gid =frs_nearest_node.fire_gid);
```

-- *Запит для оновлення даних про найближчий вузол ВДМ в таблиці*

-- *fire\_stations з використанням результату запиту виду med\_nearest\_node*

```
UPDATE med_stations SET
net_node = (SELECT med_nearest_node.node_id
FROM med_nearest_node
WHERE med_stations.gid = med_nearest_node.med_gid),
dist_node = (SELECT med_nearest_node.dist
FROM med_nearest_node
WHERE med_stations.gid = med_nearest_node.med_gid);
```

## **А.2 Функції побудови ізохрон зон доступності екстрених служб м. Києва**

### *А.2.1 Функція побудови ізохрон доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби*

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION _fr_isochrone ()
RETURNS text AS $BODY$
DECLARE
i record; -- змінна типу record для кортежу із таблиці fire_station
pg5 geometry; -- змінні для полігонів ізохрон
pg10 geometry;
pg15 geometry;
BEGIN
TRUNCATE fr_isochrone05;
TRUNCATE fr_isochrone10;
TRUNCATE fr_isochrone15;
UPDATE street
SET time_cost = cost/433.;
-- Цикл обчислення ізохрон для ПЧ
FOR i IN (SELECT gid,s_name,spec_flg,net_node FROM fire_stations)
LOOP
IF i.spec_flg = 1 THEN
```

```

-- Побудова ізохрони 5 хв доступності
pg5 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
FROM pgr_drivingDistance(
'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
FROM street', i.net_node, 5.0, false) AS di
JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
-- Побудова ізохрони 10 хв доступності
pg10 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
FROM pgr_drivingDistance(
'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
FROM street', i.net_node, 10.0, false) AS di
JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
-- Побудова ізохрони 15 хв доступності
pg15 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
FROM pgr_drivingDistance(
'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
FROM street', i.net_node, 15.0, false) AS di
JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
-- Запис ізохрон у відповідні таблиці за часом
INSERT INTO fr_isochrone05 (s_name,iso_time, geom)
VALUES (i.s_name, 5, pg5);
INSERT INTO fr_isochrone10 (s_name,iso_time, geom)
VALUES (i.s_name, 10, pg10);
INSERT INTO fr_isochrone15 (s_name,iso_time, geom)
VALUES (i.s_name, 15, pg15);
END IF;
END LOOP; --кінець циклу
RETURN 'Done';
END; $BODY$
LANGUAGE plpgsql COST 100;

```

*A.2.2 Функція побудови серії різночасових ізохрон доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби*

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION _fr_isochrone_all()
  RETURNS text AS $BODY$
DECLARE
/* внутрішні змінні*/
i record; -- змінна типу record для кортежу із таблиці fire_station
pg5 geometry;
pg10 geometry;
pg15 geometry;
BEGIN
  TRUNCATE fr_isochrones;
  UPDATE street
SET time_cost = cost/433.;
-- Цикл обчислення ізохрон для ПЧ
FOR i IN (SELECT gid,s_name,spec_flg,net_node FROM fire_stations)
  LOOP
    IF i.spec_flg = 1 THEN
-- Побудова ізохрони 5 хв доступності
      pg5 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
FROM pgr_drivingDistance(
      'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
      FROM street', i.net_node, 5.0, false) AS di
      JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
-- Побудова ізохрони 10 хв доступності
      pg10 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
FROM pgr_drivingDistance(
      'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
      FROM street', i.net_node, 10.0, false) AS di
      JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
-- Побудова ізохрони 15 хв доступності
      pg15 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom

```

```

FROM pgr_drivingDistance(
    'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
    FROM street', i.net_node, 15.0, false) AS di
    JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
-- Запис ізохрон у таблицю різночасових ізохрон
INSERT INTO fr_isochrones (s_name,iso_time, geom)
VALUES (i.s_name, 5, pg5),
(i.s_name, 10,(SELECT
ST_GeometryN(ST_Difference(pg10::geometry,pg5::geometry),1))),
(i.s_name, 15, (SELECT
ST_GeometryN(ST_Difference(pg15::geometry,pg10::geometry),1)));
END IF;
END LOOP; --кінець циклу
RETURN 'Done';
END; $BODY$
LANGUAGE plpgsql COST 100;

```

### *A.2.3 Функція побудови ізохрон доступності для станцій екстреної медичної допомоги*

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION _med_isochrone ()
    RETURNS text AS $BODY$
DECLARE
i record; -- змінна типу record для кортежу із таблиці med_station
pg5 geometry; -- змінні для полігонів ізохрон
pg10 geometry;
pg15 geometry;
BEGIN
    TRUNCATE med_isochrone05;
    TRUNCATE med_isochrone10;
    TRUNCATE med_isochrone15;
    UPDATE street
SET time_cost = cost/667.; -- для швидкості автомобіля СЕМД 40 км/год
-- Цикл обчислення ізохрон для ПЧ
FOR i IN (SELECT gid,s_name,spec_flg,net_node FROM med_stations)

```

```

LOOP
  IF i.спес_flg = 1 THEN
    -- Побудова ізохрони 5 хв доступності
    pg5 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
    FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
    FROM pgr_drivingDistance(
      'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
      FROM street', i.net_node, 5.0, false) AS di
      JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
    -- Побудова ізохрони 10 хв доступності
    pg10 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
    FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
    FROM pgr_drivingDistance(
      'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
      FROM street', i.net_node, 10.0, false) AS di
      JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
    -- Побудова ізохрони 15 хв доступності
    pg15 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
    FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
    FROM pgr_drivingDistance(
      'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
      FROM street', i.net_node, 15.0, false) AS di
      JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
    -- Запис ізохрон у відповідні таблиці за часом
    INSERT INTO med_isochrone05 (s_name,iso_time, geom)
    VALUES (i.s_name, 5, pg5);
    INSERT INTO med_isochrone10 (s_name,iso_time, geom)
    VALUES (i.s_name, 10, pg10);
    INSERT INTO med_isochrone15 (s_name,iso_time, geom)
    VALUES (i.s_name, 15, pg15);
  END IF;
  END LOOP; --кінець циклу
  RETURN 'Done';
END; $BODY$ LANGUAGE plpgsql COST 100;

```

#### *A.2.4 Функція побудови серії різночасових ізохрон доступності для станцій екстреної медичної допомоги*

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION _med_isochrone_all()
  RETURNS text AS $BODY$
DECLARE
/* внутрішні змінні*/
i record; -- змінна типу record для кортежу із таблиці fire_station
pg5 geometry;
pg10 geometry;
pg15 geometry;
BEGIN
  TRUNCATE med_isochrones;
  UPDATE street
SET time_cost = cost/677.;
-- Цикл обчислення ізохрон для ПЧ
FOR i IN (SELECT gid,s_name,spec_flg,net_node FROM med_stations)
  LOOP
    IF i.spec_flg = 1 THEN
-- Побудова ізохрони 5 хв доступності
      pg5 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
FROM pgr_drivingDistance(
      'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
      FROM street', i.net_node, 5.0, false) AS di
      JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
-- Побудова ізохрони 10 хв доступності
      pg10 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
FROM pgr_drivingDistance(
      'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
      FROM street', i.net_node, 10.0, false) AS di
      JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
-- Побудова ізохрони 15 хв доступності
      pg15 = (SELECT ST_ConcaveHull(ST_Collect(the_geom), 0.4)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom

```

```

FROM pgr_drivingDistance(
    'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
    FROM street', i.net_node, 15.0, false) AS di
    JOIN street_vertices_pgr on di.node = street_vertices_pgr.id));
-- Запис ізохрон у таблицю різночасових ізохрон
INSERT INTO med_isochrones (s_name,iso_time, geom)
VALUES (i.s_name, 5, pg5),
(i.s_name, 10,(SELECT
ST_GeometryN(ST_Difference(pg10::geometry,pg5::geometry),1))),
(i.s_name, 15, (SELECT
ST_GeometryN(ST_Difference(pg15::geometry,pg10::geometry),1)));
END IF;
END LOOP; --кінець циклу
RETURN 'Done';
END; $BODY$
LANGUAGE plpgsql COST 100;

```

### **A.3 Запити просторового аналізу охоплення території м. Києва зонами доступності екстрених служб міста**

#### ***A.3.1 SQL запити створення видів об'єднаних зон доступності***

```

-- створення виду об'єднаної ізохрони 5-ти хвилинної доступності для ПЧ
CREATE OR REPLACE VIEW fr_isochrone_u05 AS
SELECT 1 as gid, ST_Union(isr.geom)::geometry AS geom
FROM fr_isochrone05 AS isr;

```

```

-- створення виду об'єднаної ізохрони 10-ти хвилинної доступності
CREATE OR REPLACE VIEW fr_isochrone_u10 AS
SELECT 1 as gid, ST_Union(isr.geom)::geometry AS geom
FROM fr_isochrone10 AS isr;

```

```

-- створення виду об'єднаної ізохрони 15-ти хвилинної доступності для ПЧ
CREATE OR REPLACE VIEW fr_isochrone_u15 AS
SELECT 1 as gid, ST_Union(isr.geom)::geometry AS geom

```

```
FROM fr_isochrone15 AS isr;
```

```
-- створення виду об'єднаної ізохрони 5-ти хв. доступності для СЕМД
CREATE OR REPLACE VIEW med_isochrone_u05 AS
SELECT 1 as gid, ST_Union(isr.geom)::geometry AS geom
FROM med_isochrone05 AS isr;
```

```
-- створення виду об'єднаної ізохрони 10-ти хв. доступності для СЕМД
CREATE OR REPLACE VIEW med_isochrone_u10 AS
SELECT 1 as gid, ST_Union(isr.geom)::geometry AS geom
FROM med_isochrone10 AS isr;
```

```
-- створення виду об'єднаної ізохрони 15-ти хв. доступності для СЕМД
CREATE OR REPLACE VIEW med_isochrone_u15 AS
SELECT 1 as gid, ST_Union(isr.geom)::geometry AS geom
FROM med_isochrone15 AS isr;
```

### *A.3.2 SQL запити просторового аналізу охоплення території м. Києва зонами доступності екстрених служб міста*

```
-- Запит на обчислення відсотка площі кварталів, охоплених зонами
-- 5-ти, 10-ти 15-ти хвилинної доступності ПЧ
WITH u05 AS (SELECT ST_Union(isr05.geom)::geometry AS geom
             FROM fr_isochrone05 AS isr05),
u10 AS (
          SELECT ST_Union(isr10.geom)::geometry AS geom
          FROM fr_isochrone10 AS isr10),
u15 AS (
          SELECT ST_Union(isr15.geom)::geometry AS geom
          FROM fr_isochrone15 AS isr15),
ar05 AS (
          SELECT SUM (
            ST_Area(ST_Intersection(s.geom,u05.geom)::geography)) AS a5
          FROM structur AS s, u05
          WHERE ST_Intersects (s.geom, u05.geom)),
```

```

ar10 AS (
    SELECT SUM (
        ST_Area(ST_Intersection(s.geom,u10.geom)::geography)) AS a10
    FROM structur AS s, u10
    WHERE ST_Intersects (s.geom, u10.geom)),
ar15 AS (
    SELECT SUM (
        ST_Area(ST_Intersection(s.geom,u15.geom)::geography)) AS a15
    FROM structur AS s, u15
    WHERE ST_Intersects (s.geom, u15.geom)),
b AS (
    SELECT SUM(ST_Area(s.geom::geography)) AS b_a
    FROM structur AS s)
SELECT (ar05.a5*100.0/b.b_a)::numeric(6,2) AS bs_05,
(ar10.a10*100.0/b.b_a)::numeric(6,2) AS bs_10,
(ar15.a15*100.0/b.b_a)::numeric(6,2) AS bs_15
FROM ar05, ar10, ar15, b;

```

**-- Запит на обчислення відсотка будівель, охоплених зонами  
-- 5-ти, 10-ти 15-ти хвилинної доступності ПЧ**

```

WITH u05 AS (SELECT ST_Union(isr05.geom)::geometry AS geom
    FROM fr_isochrone05 AS isr05),
u10 AS (
    SELECT ST_Union(isr10.geom)::geometry AS geom
    FROM fr_isochrone10 AS isr10),
u15 AS (
    SELECT ST_Union(isr15.geom)::geometry AS geom
    FROM fr_isochrone15 AS isr15),
b05 AS (
    SELECT COUNT(*) AS b5
    FROM building AS b, u05
    WHERE ST_Within (ST_Centroid (b.geom),u05.geom)),
b10 AS (
    SELECT COUNT(*) AS b10
    FROM building AS b, u10

```

```

WHERE ST_Within (ST_Centroid (b.geom),u10.geom)),
b15 AS (
SELECT COUNT(*) AS b15
FROM building AS b, u15
WHERE ST_Within (ST_Centroid (b.geom),u15.geom)),
cnb AS (
SELECT COUNT(*) AS cb FROM building)
SELECT (b05.b5*100.0/cnb.cb)::numeric(6,2) AS bs_05,
(b10.b10*100.0/cnb.cb)::numeric(6,2) AS bs_10,
(b15.b15*100.0/cnb.cb)::numeric(6,2) AS bs_15
FROM b05,b10,b15,cnb;

```

**-- Запит на обчислення відсотка площі кварталів, охоплених зонами  
-- 5-ти, 10-ти 15-ти хвилинної доступності СЕМД**

```

WITH u05 AS (SELECT ST_Union(isr05.geom)::geometry AS geom
FROM med_isochrone05 AS isr05),
u10 AS (
SELECT ST_Union(isr10.geom)::geometry AS geom
FROM med_isochrone10 AS isr10),
u15 AS (
SELECT ST_Union(isr15.geom)::geometry AS geom
FROM med_isochrone15 AS isr15),
ar05 AS (
SELECT SUM (
ST_Area(ST_Intersection(s.geom,u05.geom)::geography)) AS a5
FROM structur AS s, u05
WHERE ST_Intersects (s.geom, u05.geom)),
ar10 AS (
SELECT SUM (
ST_Area(ST_Intersection(s.geom,u10.geom)::geography)) AS a10
FROM structur AS s, u10
WHERE ST_Intersects (s.geom, u10.geom)),
ar15 AS (
SELECT SUM (
ST_Area(ST_Intersection(s.geom,u15.geom)::geography)) AS a15
FROM structur AS s, u15
WHERE ST_Intersects (s.geom, u15.geom)),

```

```

b AS (
    SELECT SUM(ST_Area(s.geom::geography)) AS b_a
FROM structur AS s)
SELECT (ar05.a5*100.0/b.b_a)::numeric(6,2) AS bs_05,
(ar10.a10*100.0/b.b_a)::numeric(6,2) AS bs_10,
(ar15.a15*100.0/b.b_a)::numeric(6,2) AS bs_15
FROM ar05, ar10, ar15, b;

```

**-- Запит на обчислення відсотка будівель, охоплених зонами  
-- 5-ти, 10-ти 15-ти хвилинної доступності СЕМД**

```

WITH u05 AS (SELECT ST_Union(isr05.geom)::geometry AS geom
FROM med_isochrone05 AS isr05),
u10 AS (
    SELECT ST_Union(isr10.geom)::geometry AS geom
FROM med_isochrone10 AS isr10),
u15 AS (
    SELECT ST_Union(isr15.geom)::geometry AS geom
FROM med_isochrone15 AS isr15),
b05 AS (
    SELECT COUNT(*) AS b5
FROM building AS b, u05
WHERE ST_Within (ST_Centroid (b.geom),u05.geom)),
b10 AS (
    SELECT COUNT(*) AS b10
FROM building AS b, u10
WHERE ST_Within (ST_Centroid (b.geom),u10.geom)),
b15 AS (
    SELECT COUNT(*) AS b15
FROM building AS b, u15
WHERE ST_Within (ST_Centroid (b.geom),u15.geom)),
cnb AS (
    SELECT COUNT(*) AS cb FROM building)
SELECT (b05.b5*100.0/cnb.cb)::numeric(6,2) AS bs_05,
(b10.b10*100.0/cnb.cb)::numeric(6,2) AS bs_10,
(b15.b15*100.0/cnb.cb)::numeric(6,2) AS bs_15
FROM b05,b10,b15,cnb;

```

## ДОДАТОК Б. СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ

### Слайд 1

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**


Факультет геоінформаційних систем і управління територіями  
Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

**ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДО АГЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**  
на тему:

**Геоінформаційне моделювання зон доступності екстрених служб  
міста Києва**

Виконала студентка групи ГІСтм-24  
193 «Геодезія та землеустрій»  
Геоінформаційні системи і технології  
Стаховський Єгор Євгенійович  
Керівник: Лященко А.А., проф., д.т.н.

Київ-2025





### Слайд 2

### Актуальність дослідження

Оперативне реагування служб екстреної допомоги (СЕД) є критично важливим для забезпечення безпеки та збереження життів мешканців великих міст. Ключовим фактором у цьому процесі є аналіз та оптимізація зон доступності – територій, мешканці яких можуть отримати екстрену допомогу за нормативно визначений час після звернення до відповідних спеціалізованих СЕД (швидкої медичної допомоги, пожежної охорони, поліції тощо).



2

### Слайд 3

### Мета та завдання дослідження

**Метою** роботи є розробка та реалізація геоінформаційної моделі для визначення та аналізу зон доступності міських екстрених служб на прикладі м. Києва з використанням засобів мережного аналізу в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS.

Для досягнення цієї мети в роботі сформульовано та вирішено такі **основні завдання**:

- аналіз сучасних методів та підходів до геоінформаційного моделювання зон доступності в міському середовищі;
- аналіз функціональних можливостей СКБД PostgreSQL/PostGIS для виконання мережного аналізу та побудови ізохрон;
- збір, підготовка та структуризація вхідних геопросторових даних для моделювання зон доступності СЕД міста Києва;
- розроблення моделі бази геопросторових даних та алгоритмів для побудови зон обслуговування СЕД з використанням функцій PostGIS та мережного розширення pgRouting;
- реалізація прикладних SQL-скриптів та функцій для автоматизації обчислення ізохрон зон доступності СЕД;
- візуалізація та аналіз отриманих результатів, формування висновків щодо ефективності розташування екстрених служб м. Києва.

3

## Слайд 4

**Об'єкт, предмет та методи дослідження**

**Об'єкт дослідження:** процес геоінформаційного моделювання зон доступності об'єктів та послуг на основі мережного аналізу.

**Предмет дослідження:** моделі, методи та засоби побудови зон доступності екстрених служб міста Києва з використанням мережного аналізу в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS.

**Методи дослідження.** Методологічну основу роботи складають: монографічний метод опрацювання наукових публікацій та нормативних документів, що стосуються встановлення та моделювання меж зон доступності; методи формалізації для розроблення моделей даних, алгоритмів та технологічних схем з використанням UML; методи реалізації прикладних SQL-функцій та запитів в середовищі об'єктно-реляційної СКБД; методи мережного аналізу для побудови зон доступності (ізохрон); методи моделювання, аналізу та візуалізації геопросторових даних в ГІС.

4

## Слайд 5

**Новизна одержаних результатів**

У роботі на реальних наборах даних м. Києва розроблено та впроваджено геоінформаційну модель для побудови зон доступності служб екстреної в середовищі СКБД PostgreSQL/PostGIS. Розроблено та реалізовано прикладні SQL-функції для вирішення таких завдань:

- 1) підготовка транспортної мережі для мережного аналізу (створення топології, задання атрибутів вартості доступності);
  - 2) автоматизований розрахунок ізохрон доступності для заданих точкових об'єктів (станцій служб екстреної допомоги) з урахуванням заданих часових інтервалів;
  - 3) агрегація та аналіз отриманих зон доступності для оцінки покриття території міста.
- З практичної точки зору в роботі встановлено, що:
- 1) засоби мережного аналізу pgRouting та PostGIS надають достатній функціонал для ефективного розрахунку зон доступності на великих обсягах даних;
  - 2) інтеграція всіх етапів моделювання (від підготовки даних до аналітичних результатів) в єдиному середовищі СКБД дозволяє створити масштабоване та ефективне рішення для моніторингу та аналізу доступності служб екстреної допомоги, що може бути використане в практичній діяльності відповідних департаментів цивільного захисту та просторового планування міста.

5

## Слайд 6

**Вхідні інформаційні ресурси роботи**

- відкриті дані щодо розташування СЕД (швидкої медичної допомоги, пожежних депо) м. Києва на геопорталах Google Maps, Wikimapia;
  - векторні моделі транспортної мережі м. Києва із набору даних OpenStreetMap (OSM) та набір даних геометрії сегментної моделі вулично-дорожньої мережі м. Києва в масштабі 1:10 000, створений в Науково-дослідному інституті геодезії і картографії, що надавався для виконання лабораторних робіт в КНУБА з курсу «Транспортно-навігаційні ГІС»;
  - векторні набори геопросторових даних OSM базової цифрової карти на територію м. Києва з адміністративними межами районів міста.
- Як нормативи для обчислення зон доступності станцій швидкої медичної допомоги, пожежних та пожежно-рятувальних частин використовувалися:
- Постанова КМУ від 16 грудня 2020 р. № 1271 Про норматив прибуття бригад екстреної (швидкої) медичної допомоги на місце події;
  - ДСТУ 8767:2018 «Пожежно-рятувальні частини. Вимоги до дислокації та району виїзду, комплектування пожежними автомобілями та проектування»;
  - ДБН Б.2.2-12:2019.
  - Методичні засади використання СКБД PostgreSQL/PostGIS з мережним розширенням pgRouting для моделювання зон доступності СЕД ґрунтуються на матеріалах курсу «Транспортно-навігаційні ГІС» розроблених в КНУБА проф. Лященко А.А., а також документації для відповідних програмних засобів та на навчальних прикладах типових сценаріїв використання засобів PostgreSQL, PostGIS та pgRouting, що доступні в Інтернеті, зокрема.

6

Слайд 7



Слайд 8

### Нормативні вимоги до часу прибуття екстрених служб

*Норматив прибуття пожежних служб на місце виклику - до 10 хвилин згідно з:*

- ДСТУ 8767:2018 «Пожежно-рятувальні частини. Вимоги до дислокації та району виїзду, комплектування пожежними автомобілями та проектування»

Група населених пунктів за чисельністю населення, тис. чол.							
малі				середні	великі	крупні	найкрупніші
До 5	5-10	10-20	20-50	50-100	100-250	250-800	Понад 800
Гранична швидкість пожежного автомобіля, км/год							
31,0	32,0	31,0	35,0	35,0	35,0	39,0	26,0

Примітка. Якщо район виїзду охоплює населені пункти, які належать до різних груп, для розрахунку приймається середня швидкість від граничних швидкостей руху для цих населених пунктів.

- Державні будівельні норми Планування і забудова територій: ДБН Б.2.2-12:2019.

*Норматив прибуття медичних служби на місце виклику - до 10 хвилин згідно з:*

- Постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2020 р. № 1271 Про норматив прибуття бригад екстреної (швидкої) медичної допомоги на місце події.

Слайд 9

### Порівняння програмних засобів моделювання зон доступності

Критерій порівняння	Вербальна оцінка програмних засобів за критеріями порівняння.				
	ArcGIS Network Analyst	OGIS з аналізами мережевого аналізу	PostgreSQL pgRouting	Веб-сервіси (Valhalla, 2GIS тощо)	Python з API до засобів мережевого аналізу
Тип ліцензії	Комерційна	Відкрита / Безкоштовна	Відкрита / Безкоштовна	Платна (без функціональних обмежень) / Безкоштовна (з обмеженнями)	Відкрита / Безкоштовна
Складність освоєння	Легка	Середня	Висока	Низька	Висока
Гнучкість та контроль	Висока	Висока	Дуже висока	Обмежена API	Максимальна
Можливість автоматизації	Середня (ModelBuilder, Python)	Середня (на основі Processing)	Висока (SQL-скрипти)	Висока (HTTP-запити)	Максимальна (скрипти)
Підтримка трафіку в реальному часі	Так	Обмежена	Ні (потрібна зовнішня обробка)	Так	Так (через інтеграцію)
Масштабованість	Висока	Середня (залежить від ПК)	Дуже висока (серверна архітектура)	Дуже висока	Залежить від реалізації
Інтеграція з веб-додатками	Складна	Складна	Висока (через API до БД)	Ідеальна (через API)	Висока
Ідеально підходить для	Корпоративного середовища, комплексних проектів "від ключа"	Навички, реалізації невеликих проектів, підготовки даних	Розроблення систем, автоматизації, веб-ГІС	Швидкої розробки, мобільних додатків	Досліджень, алгоритмів, створення прототипів

Слайд 10

## МЕТОДИЧНІ ЗАСАДА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ

10

Слайд 11

### Концептуальна схема ГІС моделювання зон доступності з використання БГД

Операційний граф системи S геоінформаційного моделювання зон доступності для підрозділів екстрених служб

```

    graph LR
      SNGM((SNGM)) --> GM2TM[GM2TM]
      GM2TM --> SNTM((SNTM))
      SNTM --> FNET[FNET]
      ESD((ESD)) --> FNET
      NormT((NormT)) --> FNET
      FNET --> ISOCHRON((ISOCHRON))
  
```

$S = \{SNGM, SNTM, GM2TM, ESD, ISOCHRON \Rightarrow FNET (ESD, SNTM, NormT)\}$

*SNGM* – геометрична модель ВДМ, *SNTM* – топологічна модель ВДМ, *GM2TM* – функція створення топологічної моделі ВДМ, *ESD* – набір даних цифрової моделі, *ISOCHRON* – цифрові векторні моделі полігонів ізохрон.

11

Слайд 12

### Структурно-функціональна модель ГІС моделювання зон доступності екстрених служб міста

ГІС МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ ЕКСТРЕНИХ СЛУЖБ (ГІС ЗД)

ФУНКЦІЇ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ГІС  
ДЛЯ ВВЕДЕННЯ, РЕДАГУВАННЯ, ОПРАЦЮВАННЯ, АНАЛІЗУ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ДАНИХ

Підтримка та перетворення систем координат	Створення проекту електронної карти та керування властивостями P шари	Введення, редагування, опрацювання та аналіз атрибутних даних	Формування тематичних карт ізохрон доступності
Імпорт/експорт та перетворення векторних даних в різних форматах	Підключення шарів картографічних веб-сервісів WMS/TMS	Вичерпна, редагування, опрацювання та візуалізація векторних даних	Каталогізування, формування звітів та графічних документів

**ВХІДНІ ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ**

- Геометрична модель вулично-дорожньої мережі м. Києва у форматах SHP
- Вікіпедія: відкриті дані про екстрені служби
- Google Maps: відкриті дані про екстрені служби
- OpenStreetMap: база цифрової карти м. Києва у форматах SHP

**БАЗА ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ДАНИХ В СКЕД POSTGRES/SQL**

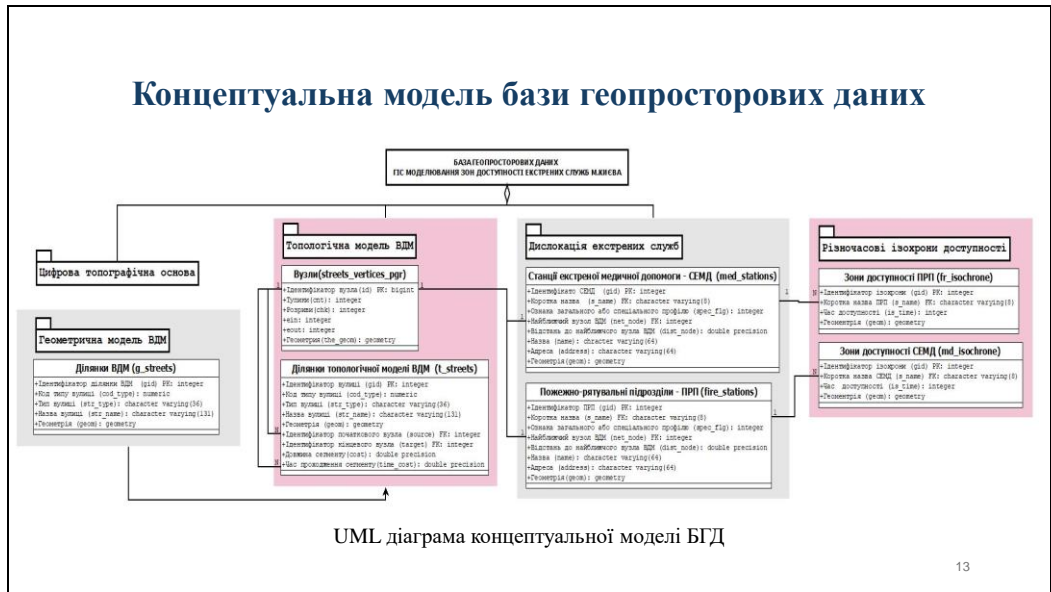
Топологічна модель ВДМ міста: таблиця ділянок ВДМ, таблиця вулиць ВДМ	Таблиця імпорт нормативної доступності екстрених служб міста	Набір даних вибірки геостатистичного аналізу доступності екстрених служб
Таблиця дислокації підрозділів екстрених служб міста	Бібліотека функцій routing	Прикладні SQL-функції обчислення ізохрон зон доступності екстрених служб
Таблиця цифрової топографічної основи міста	Бібліотека функцій PostGIS	

**РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ**

- Тематичні карти покриття території міста аналізом нормативної доступності екстрених служб
- Набір геопросторових даних зон нормативної доступності екстрених служб
- Результати геостатистичного аналізу доступності екстрених служб

12

Слайд 13



13

Слайд 14



14

Слайд 15

### Налаштування геометричної моделі ВДМ для PgRouting

#### Модифікація таблиці геометричної моделі ВДМ

gid	geom	src_name	target	cost	time_cost
1	POINT(28210 0)	1	2	28210.00000	155.00000000
2	POINT(28234 0)	2	3	28234.00000	1.00000000
3	POINT(28277 0)	4	5	28277.00000	0.00000000
4	POINT(28315 0)	5	6	28315.00000	0.00000000
5	POINT(28314 0)	6	8	28314.00000	0.00000000

```

ALTER TABLE streets ADD COLUMN source integer;
ALTER TABLE streets ADD COLUMN target integer;
ALTER TABLE streets ADD COLUMN cost double precision;
ALTER TABLE streets ADD COLUMN time_cost double precision;

UPDATE streets
SET cost = ST_LengthSpheroid( geom,
'SPHEROID(''GRS_1980'',6378137,298.257222101)' );
UPDATE streets SET time_cost = cost/500;
    
```


gid	geom	src_name	target	cost	time_cost
1	POINT(28210 0)	1	2	184.9690057	0.36990115
2	POINT(28234 0)	2	3	124.1180599	0.248238119
3	POINT(28234 0)	2	3	84.42384499	0.168847989
4	POINT(28277 0)	4	5	53.36676490	0.106729329
5	POINT(28315 0)	5	6	44.69000433	0.133890000
6	POINT(28314 0)	6	8	14.87800000	0.297560000

15

## Слайд 16

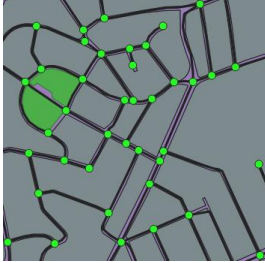
## Побудова топологічної моделі ВДМ у PgRouting

Сегменти геометричної моделі ВДМ



➔

Сегменти та вузли топологічної моделі ВДМ



```
SELECT pgr_createTopology(
  'streets',0.000001,'geom','gid','source','target',rows_where, clean);
```

Створюється таблиця вузлів streets\_vertices\_pgr та заповнюються записи атрибутів source та target таблиці t\_streets

*pgr\_CreateTopology – функція побудови топологічної моделі*

16

## Слайд 17

## Контроль топології мережі ВДМ та його результат

*pgr\_analyzeGraph* - функція для перевірки топологічної узгодженості моделі ВДМ яка викликається наступною схемою:

```
SELECT pgr_analyzeGraph('streets', 0.00001, 'geom', 'gid');
```

*Прислать повідомлення функції pgr\_analyzeGraph*

ПОВІДОМЛЕННЯ: Виконання перевірок, зачекайте...

ПРИМІТКА: Аналіз тупиків. Будь ласка, зачекайте...

ПРИМІТКА: Аналіз на наявність прогалін. Будь ласка, зачекайте...

ПРИМІТКА: Аналіз ізольованих країв. Будь ласка, зачекайте...

ПРИМІТКА: Аналіз кільцевої геометрії. Будь ласка, зачекайте...

ПРИМІТКА: Аналіз перехресть. Будь ласка, зачекайте...

ПРИМІТКА: РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ДЛЯ ОБРАНИХ СЕГМЕНТІВ:

ПРИМІТКА: Ізольовані сегменти: 50

УВАГА: тупики: 1316

ПОВІДОМЛЕННЯ: потенційні прогалини, знайдені поблизу тупиків: 110

УВАГА: Виявлено перехресть: 118

УВАГА: Геометрії кільця: 10

Successfully run. Total query runtime: 2 secs 269 msec.

1 rows affected.

Результат контролю топології

17

## Слайд 18

## Типові запити для обчислення вузлів доступності

Базова функція для обчислення ізохрон *pgr\_drivingDistance* використовується для **визначення набору вузлів ВДМ певної часової доступності**, а для її візуалізації виконується об'єднання відібраних вузлів з координатами вузлів, що містяться в просторових даних таблиці вузлів *streets\_vertices\_pgr* топологічної моделі ВДМ за допомогою **позначених** рядків запити у створеному виді *isochrone\_node*.

id	depth	start_node	end_node	node_id	edge_id	cost	agg_cost
1	1	1331	1331	1331	-1	0	0
2	2	1	1331	1331	4567	5441	0.282693727
3	3	1	1331	1331	4576	5434	0.295227452
4	4	1	1331	1331	1316	1481	0.375609753
5	5	2	1331	4576	4577	5435	0.112846229
6	6	3	1331	4577	1648	5436	0.000725366
7	7	2	1331	4567	4848	5960	0.1740215186

Результат виконання запити

```
CREATE OR REPLACE VIEW isochrone_node AS
SELECT * FROM pgr_drivingDistance
('SELECT gid AS id, source, target, time_cost as cost
FROM streets', 1331, 5.0, false); AS di
JOIN streets_vertices_pgr on di.node =
streets_vertices_pgr.id;
```



Візуалізація результату виконання запити

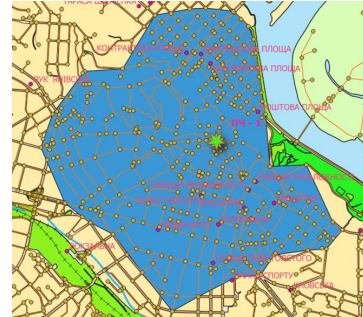
18

Слайд 19

## Типові запити для обчислення ізохрон

Побудова полігону ізохрони виконується за допомогою доповнення запиту з функцією `pgr_drivingDistance` викликом функції `ST_ConcaveHull()` для побудови оболонки (можливо невіпуклої) навколо колекції обчислених точок вузлів ізохрони та візуалізації побудованої ізохрони за допомогою створення виду `isochrone_plg`.

```
CREATE OR REPLACE VIEW isochrone_plg AS
SELECT 1 AS id,
ST_ConcaveHull(ST_Union(the_geom), 0.3)
FROM (
SELECT streets_vertices_pgr.the_geom
FROM pgr_drivingDistance
'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS
cost
FROM streets', 1096, 5.0, false) AS di
JOIN streets_vertices_pgr ON di.node =
streets_vertices_pgr.id);
```



Візуалізація результату виконання запиту побудови ізохрони

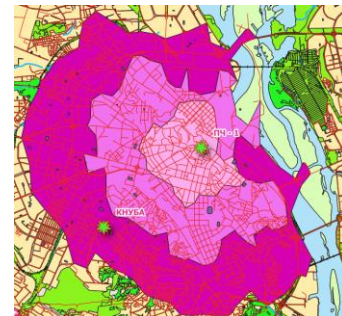
19

Слайд 20

## Типові запити для обчислення різночасових ізохрон

Обчислення та візуалізація різночасових ізохрон виконується за допомогою створенням у БД таблиці `isochrone`, повторенням виконання запиту побудови полігону ізохрони стільки разів, скільки різночасових ізохрон необхідно обчислити та збереженням обчислених ізохрон до створеної раніше таблиці.

```
CREATE TABLE isochrone(
gid serial PRIMARY KEY,
iso_time double precision, -- час доступності
geom geometry(POLYGON,4326));
-- обчислення полігону ізохрони 5 хвилинної доступності
WITH pg5 AS (
SELECT ST_ConcaveHull(st_union(the_geom), 0.3) AS p5
FROM (SELECT streets_vertices_pgr.the_geom FROM pgr_drivingDistance
'SELECT gid AS id, source, target, time_cost AS cost
FROM streets', 1096, 5.0, false) AS di
JOIN streets_vertices_pgr ON di.node = streets_vertices_pgr.id));
-- обчислення полігону ізохрони 10 хвилинної доступності
WITH pg10 AS (...),
-- обчислення полігону ізохрони 15 хвилинної доступності
WITH pg15 AS (...),
INSERT INTO isochrone (iso_time, geom)
VALUES
(5.0, (SELECT p5::geometry FROM pg5)),
(10.0, (SELEC p10::geometry FROM pg10)),
(15.0, (SELEC p15::geometry FROM pg15));
```



Візуалізація результату виконання запиту побудови різночасових ізохрон

20

Слайд 21

## РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ДОСТУПНОСТІ ЕКСТРЕНИХ СЛУЖБ МІСТА КИЄВА

21

Слайд 22



Слайд 23



Слайд 24

### Формування вхідних даних дислокації екстрених служб

**Створення таблиць БД для вихідних даних екстрених служб м. Києва**

<p>для підрозділів пожежно-рятувальної служби</p> <pre>CREATE TABLE fire_stations ( gid SERIAL NOT NULL PRIMARY KEY, s_name VARCHAR(8), spec_flg integer, -- ознака загального профілю net_node integer, dist_node double precision, name VARCHAR(64), address VARCHAR(64), geom geometry (POINT, 4326));</pre>	<p>для станцій екстреної медичної допомоги</p> <pre>CREATE TABLE med_stations ( gid SERIAL NOT NULL PRIMARY KEY, s_name VARCHAR(8), spec_flg integer, -- ознака загального профілю net_node integer, dist_node double precision, name VARCHAR(64), address VARCHAR(64), geom geometry (POINT, 4326));</pre>
---	---

24

## Слайд 25

## Формування вхідних даних дислокації підрозділів пожежно-рятувальної служби м. Києва форматі sql

(пожежно-рятувальна служба м. Києва - 22 підрозділи)

```
INSERT INTO fire_stations (s_name, spec_flg, name, address, geom)VALUES
(ПЧ-9,1,Пожежна частина № 9,Берестейський проспект, 69/1,POINT(30.403333 50.457778)),
(ПЧ-16,1,Пожежна частина № 16,вул. Свєгена Сверстюка, 54,POINT(30.608611 50.442778)),
(ПЧ-13,1,Пожежна частина № 13,Воскресенський просп., 27,POINT(30.590000 50.491389)),
(ПЧ-8,1,Пожежна частина № 8,Голосівський просп., 56,POINT(30.513333 50.401111)),
(ПЧ-26,1,Пожежна частина № 26,просп. Академіка Глушкова, 1, пав. 26,POINT(30.472222 50.367500)),
(ПЧ-44,1,Пожежна частина № 44,вул. Василя Касіяна, 7,POINT(30.453889 50.375000)),
(ПЧ-46,1,Пожежна частина № 46,вул. Промислова, 8,POINT(30.562222 50.388333)),
(ДПРЧ-5,1,Державна пожежно-рятувальна частина № 5,11. вул. Вереснева, 13/59,POINT(30.666111 50.425000)),
(ПЧ-Жлн,1,Пожежна частина,Жуляни,POINT(30.449444 50.399444)),
(ЗТС-ГУ,1,Загін технічної служби ГУ ДСНС України у м. Києві,вулиця Джона Маккейна, 11,POINT(30.533056 50.415278)),
(СПЧ-25,1,25 спеціалізована пожежна частина,вул. Героїв полку «Азов», 6 - 25,POINT(30.490000 50.501111)),
(ПЧ-10,1,Пожежна частина № 10,вул. Квітки Цісик, 38,POINT(30.355833 50.540000)),
(ДПРЧ-12,1,Державна пожежно-рятувальна частина № 12,вул. Круглоуніверситетська, 20/1,POINT(30.526944 50.442222)),
(ДПРЧ-19,1,Державна пожежно-рятувальна частина № 19,вул. Кубанської України, 4а,POINT(30.643333 50.470278)),
(СДПЧ-3,1,Самостійна державна пожежна частина № 3,вул. Митрополита Василя Липківського, 33,POINT(30.477222 50.431944)),
(СДПЧ-6,1,Самостійна державна пожежна частина № 6,вул. Молдовська, 3а,POINT(30.448889 50.460278)),
(ПЧ-14,1,Пожежна частина № 14,вул. Нижньорківська, 5,POINT(30.501944 50.468333)),
(ПЧ-24,1,Пожежна частина № 24,вул. Олександра Кошиця, 3в,POINT(30.645833 50.403611)),
(ПЧ-18,1,Пожежна частина № 18,вул. Пшенична, 3,POINT(30.400556 50.430833)),
(СДПЧ-1,1,Самостійна державна пожежна частина № 1,вул. Рибальська, 14/16,POINT(30.540556 50.434444)),
(ДПЧ-7,1,Державна пожежна частина №7,вул. Світлицького, 37,POINT(30.424444 50.507778)),
(ПЧ-4,1,Пожежна частина № 4,вул. Тарасівська, 4,POINT(30.5075 50.4400));
```

25

## Слайд 26

## Формування вхідних даних дислокації станцій екстреної медичної допомоги у форматі sql

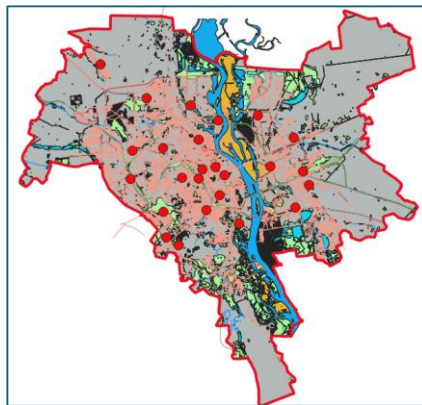
(18 станцій екстреної медичної допомоги м. Києва)

```
INSERT INTO med_stations (s_name, spec_flg, name, address, geom)VALUES
(ПШМД-18,1,Підстанція №18 швидкої медичної допомоги,просп. Маршала Рокоссовського, 2А,POINT(30.460123156934127 50.52017161683922)),
(ПШМД-17,1,Підстанція №17 швидкої медичної допомоги,вул. Урлівська, 13,POINT(30.61795743064682 50.408223241386516)),
(ПШМД-16,1,Підстанція №16 швидкої медичної допомоги,вул. Прилужна, 6,POINT(30.340483540175185 50.45911080080569)),
(ПШМД-15,1,Підстанція №15 швидкої медичної допомоги,вул. Героїв Енергетиків, 7,POINT(30.613337590055398 50.49999214428401)),
(ПШМД-14,1,Підстанція №14 швидкої медичної допомоги,вул. Олекси Тихого, 89,POINT(30.43156293681145 50.44954732223455)),
(ПШМД-13,1,Підстанція №13 швидкої медичної допомоги,вул. Ямська, 43,POINT(30.513455316143506 50.422866660483486)),
(ПШМД-12,1,Підстанція №12 швидкої медичної допомоги,вул. Джеймса Мейса, 3,POINT(30.45762829091386 50.42618409353791)),
(ПШМД-11,1,Підстанція №11 швидкої медичної допомоги,вул. Братиславська, 3а,POINT(30.619258244908934 50.47293952430784)),
(ПШМД-10,1,Підстанція швидкої медичної допомоги № 10,вул. Героїв Дніпра, 2,POINT(30.485 50.5163889)),
(ПШМД-9,1,Підстанція № 9 швидкої медичної допомоги,вул. Дениса Антипова, 54,POINT(30.663057458368556 50.417860255105595)),
(ПШМД-8,1,Підстанція №8 швидкої медичної допомоги,вул. Якуба Коласа, 15А,POINT(30.377379396102246 50.43609850949397)),
(ПШМД-7,1,Підстанція №7 швидкої медичної допомоги,просп. Європейського Союзу, 64А,POINT(30.42961033489416 50.5050267194095)),
(ПШМД-6,1,Підстанція №6 швидкої медичної допомоги,вул. Зоологічна, 3Б,POINT(30.459163529541083 50.458195819795264)),
(ПШМД-5,1,Підстанція №5 швидкої медичної допомоги,вул. Князів Острозьких, 40В,POINT(30.544648659929276 50.43414849649795)),
(ПШМД-4,1,Підстанція №4 швидкої медичної допомоги,вул. Януша Корчак, 23/2,POINT(30.416015468283856 50.466819314037124)),
(ПШМД-3,1,Підстанція №3 швидкої медичної допомоги,вул. Героїв Оборони, 3,POINT(30.487496994263722 50.38402829009643)),
(ПШМД-2,1,Підстанція №2 швидкої медичної допомоги,вул. Пластова, 6, Київ, 02000,POINT(30.6324028907916 50.448123968153325)),
(ПШМД-1,1,Київська міська станція ШМД, ПШМД № 1,вул. Богдана Хмельницького, 376,POINT(30.5047222 50.4466667));
```

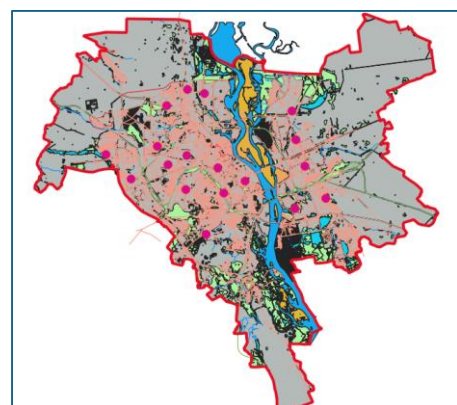
26

## Слайд 27

## Геопросторові моделі місць дислокації екстрених служб м. Києва



Дислокація підрозділів пожежно-рятувальної служби



Дислокація станцій екстреної медичної допомоги

27

Слайд 28



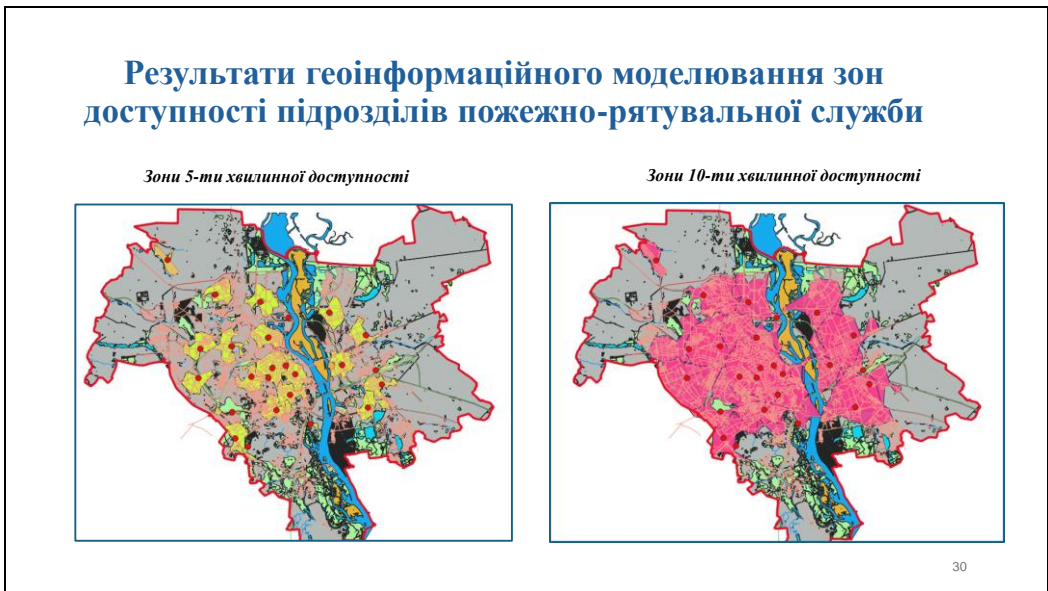
Слайд 29

### Програмний код SQL функції побудови ізохрон 5-, 10-, 15-ти хвилинної доступності для підрозділів екстрених служб міста

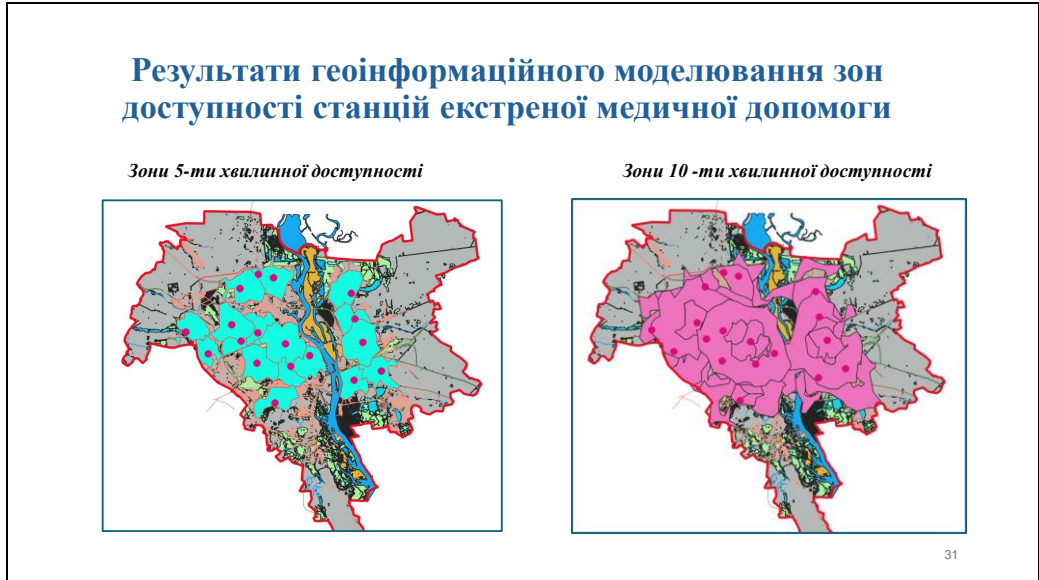
```

CREATE OR REPLACE FUNCTION _med_isochrone()
RETURNS text AS
$BODY$
DECLARE
i record; pg5 geometry; pg10 geometry; pg15 geometry;
BEGIN
TRUNCATE med_isochrone05;
TRUNCATE med_isochrone10;
TRUNCATE med_isochrone15;
UPDATE street SET time_cost = cost/667.;
FOR i IN (SELECT gid,s_name,spec_flg,net_node
FROM med_stations)
LOOP
IF i.spec_flg = 1 THEN
pg5 = (SELECT ST_ConcaveHull(st_union(the_geom), 0.3)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
FROM (SELECT gid AS id, source,
target, time_cost AS cost
FROM street', i.net_node,
5.0, false) AS di JOIN street_vertices_pgr ON di.node =
street_vertices_pgr.id));
pg10 = (SELECT ST_ConcaveHull(st_union(the_geom), 0.3)
FROM (SELECT street_vertices_pgr.the_geom
FROM (SELECT gid AS id, source,
target, time_cost AS cost
FROM street', i.net_node,
15.0, false) AS di JOIN street_vertices_pgr ON di.node =
street_vertices_pgr.id));
INSERT INTO med_isochrone05 (s_name,iso_time, geom)
VALUES (i.s_name, 5, pg5);
INSERT INTO med_isochrone10 (s_name,iso_time, geom)
VALUES (i.s_name, 10, pg10);
INSERT INTO med_isochrone15 (s_name,iso_time,
geom)VALUES (i.s_name, 15, pg15);
END IF; END LOOP; 'Done';END; $BODY$
LANGUAGE plpgsql COST 100;a
B
    
```

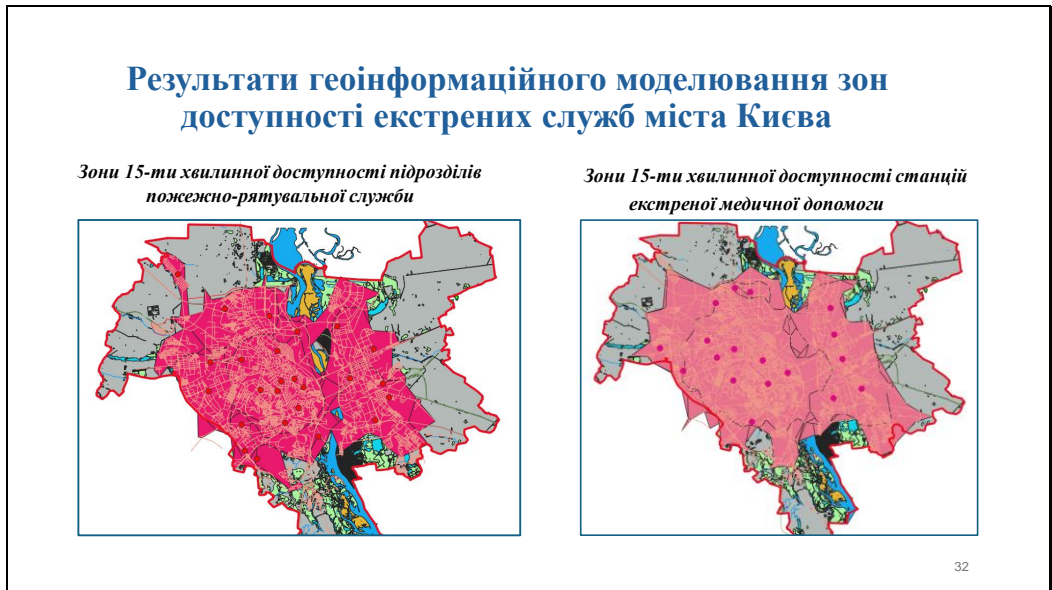
Слайд 30



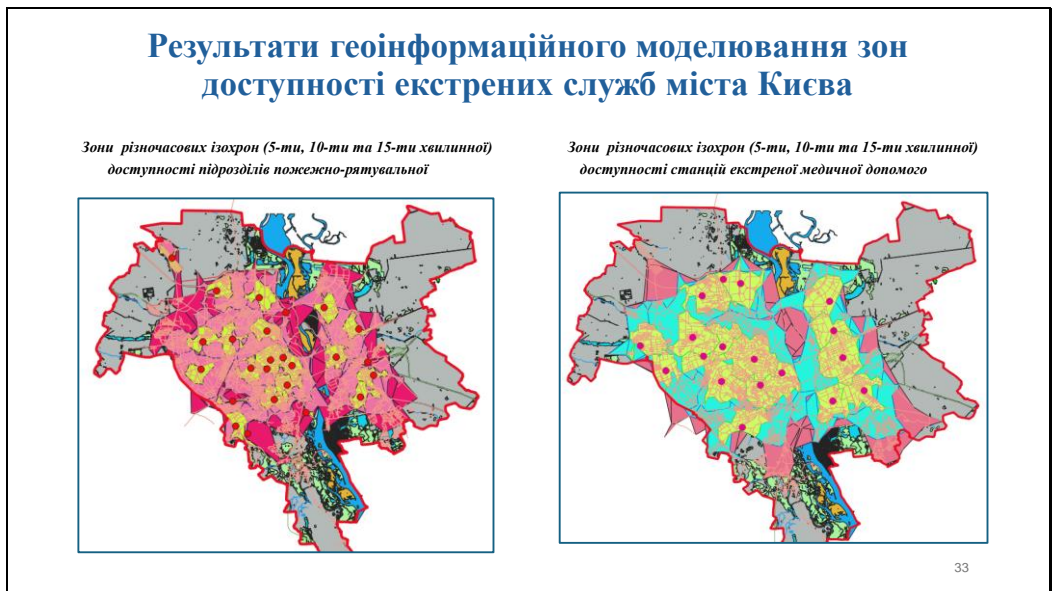
Слайд 31



Слайд 32



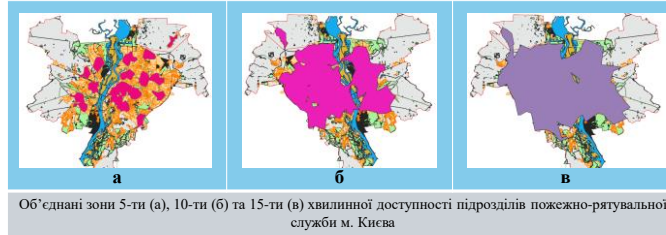
Слайд 33



Слайд 34

### Геостатистичний аналіз результатів моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва

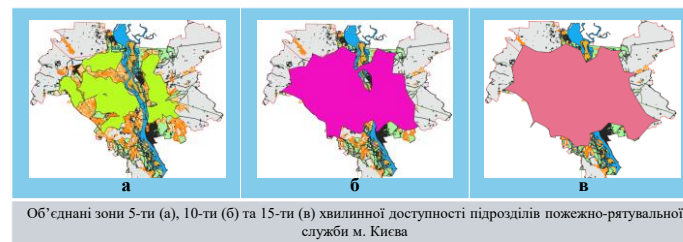
Для просторового аналізу використовувались полігони об'єднаних зон доступності певного часового інтервалу усіх підрозділів екстрених служби, набори геопросторових даних кварталів забудови та будівель в межах міста, а також SQL запит для виконання самого просторового аналізу. Результати просторового аналізу охоплення території забудованих кварталів м. Києва, зонами доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби та станцій екстреної медичної допомоги міста подані у таблицях.



34

Слайд 35

### Геостатистичний аналіз результатів моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва



35

Слайд 36

### Геостатистичний аналіз результатів моделювання зон доступності екстрених служб міста Києва

Результати просторового аналізу охоплення території забудованих кварталів м. Києва, зонами доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби міста

Відсоток площі території забудованих кварталів по зонах доступності		
зона 5 хвилин	зона 10 хвилин	зона 15 хвилин
33.53 %	80.13 %	90.79 %
Відсоток будівель по зонах доступності		
зона 5 хвилин	зона 10 хвилин	зона 15 хвилин
31.51%	74.04 %	88.76 %

Результати просторового аналізу охоплення території забудованих кварталів м. Києва, зонами доступності станцій екстреної медичної допомоги міста

Відсоток площі території забудованих кварталів по зонах доступності		
зона 5 хвилин	зона 10 хвилин	зона 15 хвилин
58.99 %	89.47 %	94.36%
Відсоток будівель по зонах доступності		
зона 5 хвилин	зона 10 хвилин	зона 15 хвилин
55.36 %	87.42 %	90.47 %

36

### Загальні висновки

В роботі вирішені поставлені завдання щодо розроблення геоінформаційної системи моделювання зон доступності міських екстрених служб м. Києва.

Розроблено прикладні SQL функції для автоматизації обчислення ізохрон і побудови полігонів зон 5-ти, 10-ти та 15-ти хвилинної доступності підрозділів пожежно-рятувальної служби та станцій екстреної медичної допомоги міста Києва

Результати просторового аналізу охоплення території міста Києва зонами 10-хвилинної нормативної доступності для екстрених служб міста засвідчують про 81 – 89% охопленість площі забудованих кварталів зонами доступності підрозділів ЕСМ, 100% охопленість центральних та інших районів міста та неохопленість цими зонами забудованих кварталів на північних та південних околицях міста.

Виконане дослідження підтверджує ефективність використання засобів СКБД PostgreSQL з функціональними розширеннями PostGIS та pgRouting для геоінформаційного моделювання зон доступності екстрених служб великого міста, оскільки СКБД PostgreSQL та засоби мережного розширення pgRouting дозволяють ефективно опрацювати з моделі великих транспортних мереж, максимальний розмір яких обмежується лише потужністю сервера бази даних.

Отримання достовірних і точних результатів моделювання потребує ретельної підготовки вхідних даних геометричної моделі вулично-дорожньої мережі та місць дислокації підрозділів екстрених служб міста, а також наявності доступу до актуальної цифрової топографічної основи на територію міста.