

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_Юрій ВЕЛИКОДСЬКИЙ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР  
ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 193 «ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ»

**Тема: «Використання тріангуляції у задачах геопросторового  
аналізу»**

Виконавець: студент групи ГС-209М Потапович Олександр Олексійович

Керівник: к.ф.-м.н., доцент Терещенко Андрій Олександрович

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»:

к.ф.-м.н., доцент Гай А. Є. \_\_\_\_\_

Консультант розділу «Охорона праці»:

асистент Якимець І. В. \_\_\_\_\_

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ к.е.н., доцент Стецюк Михайло Петрович

КИЇВ 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ ТА ЗЕМЛЕУСТРОЮ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_Юрій ВЕЛИКОДСЬКИЙ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання дипломної роботи**

Потаповича Олександр Олексійовича

1. Тема дипломної роботи: «Використання триангуляції у задачах геопросторового аналізу» затверджена наказом ректора № 2207 від 11.10.2021.

2. Термін виконання роботи: з 11.10.2021 р. по 31.12.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: дані ДЗЗ SRTM про рельєф місцевості, карта типів земних покривів Copernicus Global Land Cover Layers, класи просторових об'єктів (векторні шари) – границя, водні об'єкти, дороги, місця розташування архітектурно-історичних пам'яток та баз відпочинку і готелів; усі дані – на територію Рівненської області.

4. Зміст пояснювальної записки: пояснювальна записка складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків та списку використаних джерел. У першому розділі наведено основні положення просторового аналізу даних у ГІС. Другий розділ присвячений алгоритмам побудови та аналізу триангуляції. Третій розділ містить інформацію про застосування триангуляції TIN для розв'язання задач геопросторового аналізу. Четвертий розділ містить інформацію про охорону навколишнього середовища. П'ятий розділ присвячений темі охорони праці.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, графіки.

## 6. Календарний план-графік.

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Отримання завдання на дипломну роботу	05.10.2021 р.	
2.	Пошук та опрацювання літературних джерел по темі дипломної роботи	06.10-12.10.2021 р.	
3.	Написання вступу та 1 розділу дипломної роботи	12.10-28.10.2021 р.	
4.	Написання 2 та 3 розділів дипломної роботи	28.10-15.11.2021 р.	
5.	Опрацювання завдання з охорони навколишнього природного середовища	16.11-20.11.2021 р.	
6.	Написання розділу з охорони праці	21.11-27.11.2021 р.	
7.	Оформлення графічного матеріалу	28.11-15.12.2021 р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки, підготовка роздаткового матеріалу та презентації до захисту дипломної роботи	16.12-31.12.2021 р.	

## 7. Консультанти з окремих розділів:

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона навколишнього середовища	к.ф.-м.н., доцент Гай А. Є.		
Охорона праці	асистент Якимець І. В.		

8. Дата видачі завдання: 05.10.2021 р.

Керівник дипломної роботи: \_\_\_\_\_ к.ф.-м.н., доцент Терещенко А. О.

Завдання прийняв до виконання: \_\_\_\_\_ Потапович О. О.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Використання триангуляції у задачах»: 98 сторінок основного тексту, 27 рисунків, 4 таблиці, 63 використаних джерела.

**Об'єкт дослідження** – триангуляція як модель представлення просторових даних.

**Предмет дослідження** – алгоритми побудови триангуляції, що застосовуються у задачах просторового аналізу.

**Мета роботи** – виконати аналіз існуючих методів побудови триангуляції Делоне, зокрема засобами ГІС, дослідити ефективність застосування триангуляції для вирішення задач просторового аналізу в ГІС.

Для досягнення мети були поставлені й виконані такі **завдання**:

- проаналізувати поняття триангуляції та області її використання;
- дослідити умову Делоне побудови триангуляції;
- ознайомитись із існуючими алгоритмами побудови триангуляції;
- вивчити можливості відображення рельєфу в ГІС за допомогою триангуляції;
- дослідити можливості застосування триангуляції для вирішення задач просторового аналізу.

**Методи дослідження.** У даній роботі було застосовано наступні методи дослідження: *аналізу* – для вивчення теоретичної бази роботи; *картографічний* – для вибору території дослідження та перерахунку просторових даних у робочу систему координат і проекцію UTM 35N еліпсоїд WGS 84; *графічний* – для відображення побудованих тематичних карт; *аналітичний* – для розрахунку морфометричних показників рельєфу; *узагальнення* – для підбиття підсумків виконаної роботи.

**Результати** магістерської роботи можуть бути використані при вирішенні різноманітних задач просторового аналізу даних засобами ГІС, при застосуванні

ГІС у задачах планування та розвитку територій, при прийнятті управлінських рішень.

ТРИАНГУЛЯЦІЯ, ТРИАНГУЛЯЦІЯ ДЕЛОНЕ, АЛГОРИТМИ ПОБУДОВИ ТРИАНГУЛЯЦІЇ, ГІС, ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ.

## Зміст

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ .....</b>	<b>8</b>
<b>ВСТУП .....</b>	<b>9</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ У ГІС .....</b>	<b>12</b>
1.1. Поняття про просторовий аналіз даних.....	12
1.1.1. Функції просторового аналізу .....	17
1.1.2. Класифікація просторового аналізу .....	20
1.2. Алгоритм проведення просторового аналізу .....	23
1.3. Автоматизовані методи аналізу й обробки даних .....	30
<b>РОЗДІЛ 2. АЛГОРИТМИ ПОБУДОВИ ТА АНАЛІЗУ ТРІАНГУЛЯЦІЇ..</b>	<b>33</b>
2.1. Тріангуляція Делоне. Основні визначення.....	33
2.2. Перевірка умови Делоне .....	37
2.2.1. Перевірка через рівняння описаного кола.....	37
2.2.2. Перевірка із заздалегідь обчисленим описаним колом.....	39
2.2.3. Перевірка суми протилежних кутів .....	40
2.3. Алгоритми побудови тріангуляції Делоне .....	42
2.4. Ітераційні алгоритми побудови тріангуляції Делоне.....	44
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ ТРІАНГУЛЯЦІЇ.....</b>	<b>47</b>
3.1. Місія SRTM як джерело висотних даних .....	47
3.1.1. Побудова тріангуляції TIN в ArcGIS .....	51

3.2. Аналіз поверхонь за допомогою TIN .....	54
3.2.1. Побудова експозиції схилу .....	54
3.2.2. Обчислення ухилу поверхні.....	56
3.2.3. Побудова ізоліній.....	58
3.3. Пошук оптимального місця розташування на поверхні TIN.....	59
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....</b>	<b>67</b>
4.1. Вплив галузей промисловості на екологічний стан навколишнього середовища.....	67
4.2. Шляхи вирішення проблем охорони навколишнього середовища	72
<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>80</b>
5.1. Опис робочого місця. Умови праці суб'єкта. Перелік шкідливих та небезпечних чинників, що діють на суб'єкта.....	80
5.1.1. Опис робочого місця та умови праці суб'єкта.....	80
5.1.2. Перелік шкідливих та небезпечних чинників, що діють на суб'єкта.....	81
5.2. Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів.....	82
5.3. Пожежо- та вибухонебезпека. ....	87
5.4. Інструкція з охорони праці при обслуговуванні.....	88
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>91</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>92</b>

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ**

БД – база даних

ГІС – геоінформаційні системи

ГІТ – геоінформаційні технології

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі

ЗІЗ – засоби індивідуального захисту

СК – система координат

ЦМР – цифрова модель рельєфу

DEM – Digital Elevation Model

SRTM – Shuttle radar topographic mission

TIN (Triangulation Irregular Network) – триангуляційна нерегулярна мережа

WGS (World Geodetic System) 1984 – світова геодезична система 1984 р.



## ВСТУП

Традиційно триангуляцією (від лат. *triangulum* – трикутник) називається один із методів створення мережі опорних геодезичних пунктів, а також сама мережа, створена цим методом. Триангуляція полягає в побудові рядів або мереж трикутників, що примикають один до одного, і у визначенні положення їх вершин, тобто у визначенні координат, в обраній системі координат. У кожному трикутнику вимірюють всі три кути, а одну з його сторін визначають з обчислень шляхом послідовного розв'язання попередніх трикутників, починаючи від того з них, в якому одна зі сторін отримана з вимірювань. Якщо сторона трикутника отримана з безпосередніх вимірювань, то вона називається базисною стороною

У термінах ГІС триангуляція являє собою мережу, складену з симплексів, тобто. найпростіших фігур у просторі. Вона застосовується в багатьох прикладних областях таких як геодезія, геоінформатика, архітектура, моделювання тощо. Двовимірна триангуляція – найпростіший вид триангуляції, що складається з безлічі трикутників. Побудову двовимірної триангуляції зазвичай роблять за набором точок на площині. Таким чином, якщо задати кожній точці значення якоїсь функції, то триангуляція є кусково-лінійною інтерполяцією тривимірної функції. Таке застосування триангуляції використовується при моделюванні рельєфу місцевості. Також двовимірна триангуляція допомагає вирішити численні завдання просторового аналізу та завдання на графах. Завдання побудови двовимірної триангуляції можна вважати вичерпаним, оскільки було запропоновано та реалізовано численні ефективні алгоритми.

Тривимірна триангуляція використовується для побудови фізичних моделей різних реальних тіл. Узагальнення двовимірної триангуляції до тривимірної ускладнює як подання та відображення результату, так і самі алгоритми побудови.

**Актуальність проблеми.** Геоінформатика і обчислювальна геометрія є одними з областей інформатики, що найбільш стрімко розвиваються. Завдання побудови триангуляції є одним із базових у обчислювальній геометрії. До нього зводяться багато інших завдань, TIN широко використовується в машинній графіці та ГІС для моделювання поверхонь та розв'язання задач просторового аналізу. Мережі TIN широко використовуються для моделювання невеликих областей з дуже високою точністю, наприклад, в інженерних додатках, де їх використання дозволяє проводити обчислення планіметричної площі (planimetric area), площі поверхні та об'ємів. Тому питання дослідження можливостей застосування триангуляції у задачах геопросторового аналізу ГІС є **актуальним**.

**Об'єкт дослідження** – триангуляція як модель представлення просторових даних.

**Предмет дослідження** – алгоритми побудови триангуляції, що застосовуються у задачах просторового аналізу.

**Мета роботи** – виконати аналіз існуючих методів побудови триангуляції Делоне, зокрема засобами ГІС, дослідити ефективність застосування триангуляції для вирішення задач просторового аналізу в ГІС.

Для досягнення мети були поставлені й виконані такі **завдання**:

- проаналізувати поняття триангуляції та області її використання;
- дослідити умову Делоне побудови триангуляції;
- ознайомитись із існуючими алгоритмами побудови триангуляції;
- вивчити можливості відображення рельєфу в ГІС за допомогою триангуляції;
- дослідити можливості застосування триангуляції для вирішення задач просторового аналізу.

**Методи дослідження.** У даній роботі було застосовано наступні методи дослідження: *аналізу* – для вивчення теоретичної бази роботи; *картографічний* – для вибору території дослідження та перерахунку просторових даних у робочу

систему координат і проекцію UTM 35N еліпсоїд WGS 84; *графічний* – для відображення побудованих тематичних карт; *аналітичний* – для розрахунку морфометричних показників рельєфу; *узагальнення* – для підбиття підсумків виконаної роботи.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Вперше було застосовано модель TIN, побудовану за висотними даними для території Рівненської області, у комбінуванні з даними дистанційного зондування типів земних покривів Copernicus Global Land Cover Layers для розв’язання задачі просторового аналізу, що полягала в знаходженні оптимального місця положення нового об’єкта.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати магістерської роботи можуть бути використані при вирішенні різноманітних задач просторового аналізу даних засобами ГІС, при застосуванні ГІС у задачах планування та розвитку територій, при прийнятті управлінських рішень.

# РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ У ГІС

## 1.1. Поняття про просторовий аналіз даних

В усі часи знання про просторове місце розташування фізичних об'єктів були дуже важливими і корисними для людей. Наприклад, первісні мисливці малювали на скелях шляхи міграції тварин, а життя або смерть дослідників-першопрохідників безпосередньо залежала від знання географії, наявності картографічних зображень. Карта - це дуже ефективний та інформативний спосіб зберігання, подання і передачі географічної інформації, що має просторову прив'язку. Сучасне суспільство також живе, працює і співпрацює ґрунтуючись на інформації про те, хто і де перебуває, що і коли відбувається, з якою частотою, швидкістю тощо. Прикладна географія у вигляді карт та інформації про простір допомагала робити відкриття, сприяла торгівлі, підвищувала безпеку життєдіяльності людства протягом як мінімум минулих 3000 років, а карти були і залишаються одними з найдосконаліших інформаційних документів [25].

Найбільш часто наші знання в галузі географії застосовуються для вирішення повсякденних завдань, таких як пошук потрібної вулиці у незнайомому населеному пункті або обчислення найкоротшого шляху до місця призначення. Просторова інформація допомагає ефективно виробляти сільськогосподарську продукцію і промислові товари, добувати тепло- і електроенергію, влаштовувати розваги в містах тощо.

ГІС і просторові дослідження безпосередньо стосуються абсолютної і відносної локалізації особливостей рельєфу місцевості, властивостей і ознак цих особливостей. Зазвичай реєструється не тільки локалізація важливих географічних об'єктів, наприклад, річок, а також їх розмір, швидкість течії, якість води або вид риби, що живе в них. Дійсно, ці ознаки залежать від просторового розташування "важливих" рельєфних особливостей. ГІС допомагає аналізувати і відображати ці просторові залежності.

Незважаючи на те, що дані, які зберігаються в ГІС, є головною цінністю (часом 70-90 % вартості системи) [46], вони є корисними тільки в процесі розв'язку прикладних задач. Кожна ГІС, разом із з модулями введення й виведення даних, має засоби, призначені для виконання загальних функцій геопросторового аналізу й вирішення специфічних задач користувача. **Геопросторовий аналіз** - це процес пошуку просторових закономірностей у розподілі географічних даних і взаємозв'язків між об'єктами [51].

До засобів просторового аналізу відносяться різні процедури маніпулювання просторовими й атрибутивними даними, що виконуються при обробці запитів користувача, наприклад, операції накладення графічних об'єктів, засоби аналізу мережових структур або виділення об'єктів за заданими ознаками тощо.

Геопросторовий аналіз являє собою аналіз взаємного просторового розташування різноманітних об'єктів на векторних або растрових зображеннях та аналіз їхньої атрибутивної інформації.

Областю геопросторового аналізу є поверхня Землі, оболонка над нею при аналізі топографії й атмосфери, оболонка під нею при аналізі ґрунтових вод і геології.

Масштаб досліджуваних сутностей геопросторового аналізу простягається від невеликих об'єктів (записи місць археологічних розкопок, де, наприклад, були знайдені уламки керамічних виробів трипільської культури розміром у декілька сантиметрів, або меж приватної власності, виміряних до міліметра) до глобальних (аналіз температури поверхні морів і глобального потепління).

Геопросторовий аналіз може проводитись:

- для минулого часу (історичні дослідження міграції населення, вивчення структури археологічних місць розташувань стоянок первісної людини або детальне картографування руху континентів);

- для реального часу (інвентаризація земель, ведення кадастру, моніторинг тощо);
- для майбутнього часу (прогнозування напрямків і швидкості переміщення ураганів, зміни клімату або динаміки забруднення навколишнього середовища).

Таким чином, методи геопросторового аналізу працюють у низці просторових і часових масштабів.

Геопросторовий аналіз, як базову, використовує географічну інформацію про місце розташування об'єктів, процесів та явищ.

До складу ГІС з розвинутими аналітичними можливостями (ARC/INFO, IDRISI, MGE, PCRaster, ГІС-Карта-2010 та деякі інші) входить декілька десятків різноманітних аналітичних процедур, які в сукупності складають потужний арсенал просторово-часового аналізу і моделювання. При цьому треба відзначити, що набір аналітичних процедур, реалізованих у різних геоінформаційних пакетах, досить близький за складом. Це надає можливість розглядати методи геоінформаційного аналізу, не прив'язуючись до особливості конкретних геоінформаційних пакетів.

Широкий набір розрахункових і аналітичних операцій розширює можливості ГІС, але ускладнює їхній інтерфейс і, відповідно, впливає на складність роботи користувача, особливо новачка. Тому сучасні ГІС мають здебільшого модульний склад. Певна частина операцій включається до базового складу системи, а інші додаються за потреби.

Сучасні програмні оболонки, орієнтовані на “геоінформаційний” стиль, включають програмні інструменти розв'язання оптимізаційних задач на “топологіях” - спеціальних структурах даних [33].

Підсистема геопросторового аналізу - це те, заради чого й існує ГІС. Просторовий аналіз - це серце ГІС [33]. Геопросторовий аналіз є унікальною лінзою, через яку вивчаються об'єкти, події, явища, які відбуваються на землі

або поблизу поверхні нашої планети [10]. В результаті аналізу географічної інформації утворюється якісно нова інформація і виявляються раніше невідомі закономірності.

Будь-яка процедура аналізу даних починається з пошуку і відбору даних з урахуванням запиту користувача. У ГІС підтримується можливість аналізу даних у різних режимах: *модельному, експертному, довідковому та статистичному* (Рис. 1.1).

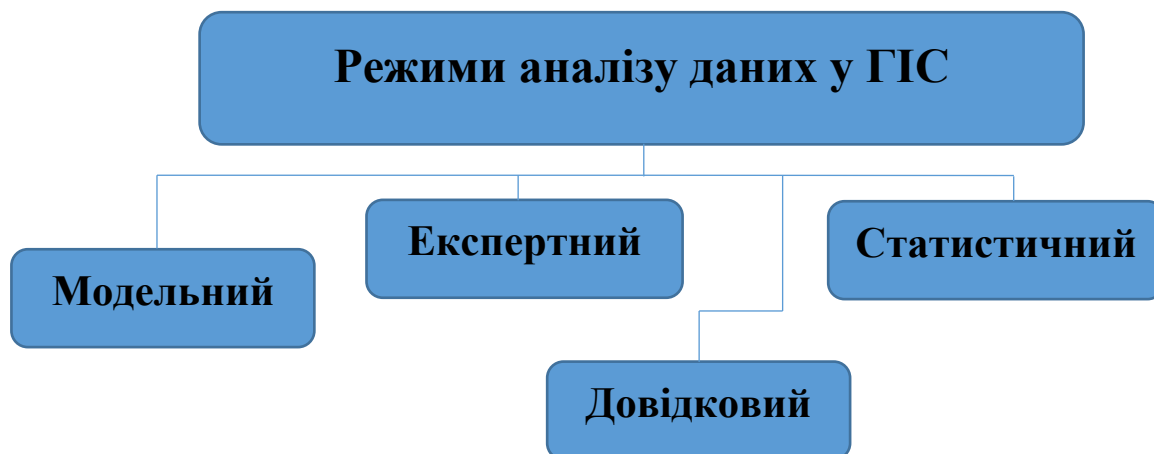


Рис. 1.1. Режими аналізу даних

Сукупність аналітичних процедур, які входять до складу блоків аналізу геоінформаційних пакетів з розвинутими аналітичними можливостями, можна поділити на такі групи (Рис. 1.2):

- візуалізація;
- картометричні операції;
- операції вибору;
- рекласифікація;
- картографічна алгебра;
- статистичний аналіз;
- просторовий аналіз;
- оверлейний аналіз;
- мережевий аналіз;

- аналіз за допомогою штучних нейронних мереж.

Наведена класифікація є умовною, проте вона відображує спектр аналітичних процедур, які входять до складу сучасних інструментальних ГІС.

Крім зазначених, в окрему групу виділяють:

- аналітичні процедури, що базуються на цифровій моделі рельєфу;  
- операції просторової інтерполяції, завданням яких є побудова безперервних поверхонь на основі наборів дискретних просторово-координованих даних.



Рис. 1.2. Класифікація аналітичних процедур ГІС

Вибір методів геоінформаційного аналізу насамперед залежить від виду задачі, яка розв'язується, і моделі (формату) даних, що використовується. Для вирішення одних задач зручніше використовувати векторні дані, для вирішення інших - растрові. Часто виникає необхідність спільного використання моделей і форматів, тобто гібридних моделей.

Обмежені можливості людини зі сприйняття й обробки інформації змушують шукати способи більш інтегрованого подання та аналізу даних. Пріоритетною є орієнтація на виявлення глибинних сутнісних зв'язків між різноманітними процесами і явищами навколишнього світу. В слабоформалізованих сферах людської діяльності, до яких відносяться



управління територіями, муніципальні служби, містобудування, екологія, природокористування тощо, актуальним є інтегрований аналіз різномірних просторово-розподілених даних, який дозволяє виявляти приховані зв'язки і отримувати якісно нові дані про досліджувані об'єкти (процеси, явища). Вбудована база даних ГІС дозволяє пов'язувати описову інформацію з об'єктами карти і створювати нові зв'язки, завдячую яким можна отримати уявлення, найбільш придатне для конкретних цілей. ГІС дозволяє інтегрувати інформацію для вирішення надскладних проблем, з якими стикається людство. Серед таких проблем можна назвати знищення лісів, кислотні дощі, прискорюваний процес урбанізації, перенаселеність, вплив змін глобального клімату, численні інші регіональні та локальні проблеми.

### **1.1.1. Функції просторового аналізу**

Функції просторового аналізу призначені для здійснення просторового аналізу та моделюючих операцій над даними.

Характерною рисою будь-якої сучасної ГІС є свій набір функцій для створення запитів даних і набір функцій для опрацювання просторово-атрибутивної інформації. В той же час можна виділити низку основних функцій, притаманних практично кожній ГІС. Це перед усім організація вибору й об'єднання об'єктів згідно із заданими умовами, реалізація операцій обчислювальної геометрії, аналіз накладень, побудова буферних зон, мережевий аналіз тощо.

Копіювання паперових карт в електронній формі за допомогою сканера. Дає можливість переглядати карти на екрані й отримувати копії карт на плоттері з можливістю внесення необхідних змін у графічний компонент.

Комп'ютерний підхід до тематичного картографування. Множинність атрибутів, пов'язаних з одними і тими ж об'єктами, дає можливість для одного і того ж контурування отримувати множину карт різного тематичного вмісту.

Статистичний аналіз за атрибутами та просторовими об'єктами. Дозволяє розглянути ступені рівномірності (випадковості) розподілу об'єктів (процесів, явищ, характеристик) проведення просторових вимірів на об'єктах, побудову карт трендів, здійснювати просторову кореляцію, ступінь порушеності первинного біоценозу, моделювання процесів з побудовою їх математичних моделей.

Інтерактивний перегляд інформації в базі даних з включенням неформальних елементів аналізу її людиною дозволяє формулювати умови й обмеження для пошуку об'єктів та візуалізації знайдених об'єктів.

Вибір об'єктів за запитом. Запити формують вибірку різноманітних об'єктів (у тому числі й просторових) на підставі створених критеріїв. Запити формулюються мовою просторових взаємовідношень.

Заняти можна задавати як за допомогою клавіатури або маніпулятора "миша", виділивши певний об'єкт (кожен об'єкт містить метричну і атрибутивну інформацію), так і за допомогою розвинених аналітичних засобів (запити до СУБД). Прикладом найпростішої форми просторових запитів є отримання характеристик об'єкта, вказавши на нього курсором на екрані, і зворотна операція - відтворення об'єктів із заданими значеннями атрибутів.

Узагальнення даних може проводитися за рівністю значень певного атрибута, зокрема для зонування території. Ще один спосіб групування - об'єднання об'єктів одного тематичного шару згідно з їх розташуванням усередині полігональних об'єктів інших тематичних шарів.

Геометричні функції. До них відносять виміри довжини прямої між двома заданими точками; вимір довжини кривої між двома заданими точками; вимір периметра полігона; вимір площі полігона; визначення найкоротшої відстані від заданої точки до полігона; визначення найкоротшої відстані між полігонами; розрахунки геометричних характеристик об'єктів або їх взаємного положення у просторі. При цьому використовуються формули аналітичної геометрії на площині і в просторі.

Оверлейні операції (топологічне накладення шарів, map overlay) є одними з найбільш поширених і ефективних засобів ГІС. У результаті накладення тематичних шарів утворюється інший додатковий шар у вигляді графічної композиції вихідних шарів. Враховуючи, що досліджувані об'єкти можуть відноситися до різних типів (точка, лінія, полігон), можливі різні форми аналізу: точка на точку, точка на лінію, точка на полігон. Найчастіше, як свідчить практика, аналізується суміщення полігонів. Оверлейні операції дозволяють вирішувати задачі районування території за комплексом ознак, здійснювати вибір оптимального місця розташування нового об'єкта тощо. ‘

Побудова буферних зон. Одним із засобів аналізу близькості об'єктів є побудова буферних зон. Буферні зони - це райони (полігони), границя яких розташована на певній відстані від межі вихідного об'єкта. Буферна зона як область, що обмежена еквідистантними лініями, може бути побудована при постійному значенні впливу різних факторів (проста буферизація), або в залежності від впливу певного фактора (буферизація із вагою) навколо об'єктів різної просторової локалізації:

- точкового об'єкта (об'єктів);
- лінійного об'єкта (об'єктів);
- площинного об'єкта (об'єктів).

Границі таких зон обчислюються на підставі аналізу відповідних атрибутивних характеристик. При цьому ширина буферної зони може бути як постійною, так і змінною. Наприклад, буферна зона навколо джерела електромагнітного випромінювання буде мати форму кола, а зона забруднення від димової труби заводу з урахуванням рози вітрів буде мати форму, наближену до еліпса.

Мережевий аналіз дозволяє користувачеві проаналізувати просторові мережі зв'язних лінійних об'єктів (дороги, лінії електропередач тощо). Мережевий аналіз слугує для задач пошуку найкоротшого шляху між двома точками мережі (за певним фактором, наприклад, за відстанню, часом,

витраченими ресурсами); вибору оптимального (за різними факторами) маршруту на множині точок мережі (задача комівояжера); розподілу ресурсів і розміщення центрів мережі; пошук найближчого сусіда; визначення найбільш економічного шляху, визначення рівня навантаження на мережу, визначення адреси об'єкта або маршруту за певною адресою тощо.

Визначення топологічних характеристик геопростору (просторових відношень об'єктів): перетинання, примикання, вміст, включення, сусідство.

Виконання бульових операцій над об'єктами: об'єднання, перетинання, визначення відмінності (різниці) тощо.

Аналіз поверхонь: обчислення кутів нахилу, визначення ліній стоку; визначення експозиції схилів; побудова ізоліній і генерація профілів заданих перетинів; інтерполяція висот; визначення границь зон видимості/невидимості; моделювання мережі тальвегів і вододілів; обчислення об'ємів відносно заданої площини за моделлю рельєфу; контурування водозбірних басейнів; генерація тривимірних зображень; поєднання тривимірних і двомірних зображень.

Аналіз просторового розподілу об'єктів. Дозволяє здійснювати розстановку, порядок, визначати концентрацію або розосередженість, зв'язність або беззв'язність об'єктів, а також розглядати їх просторово- описові характеристики, наприклад, обчислити середній розмір населених пунктів у межах визначеної території, виконувати картографічне подання результатів.

Класифікація функцій ГІС не є строгим поділом на конкретні прикладні сфери застосування, хоча певні зв'язки з конкретними задачами безумовно існують.

### **1.1.2. Класифікація просторового аналізу**

Просторовий аналіз проводиться з метою [24, 44, 12]:

- виявлення закономірностей або особливостей розподілу об'єктів та їх характеристик у просторі;
- виявлення взаємозв'язків у просторовому розподілі об'єктів;

- визначення тенденцій розвитку процесів (явищ) у просторі і в часі;
- вибору найбільш ефективного або найбільш раціонального управлінського рішення з урахуванням просторових характеристик.

При проведенні просторового аналізу використовуються тільки ті подання об'єктів реального світу, які можна реалізувати за допомогою моделей даних, закладених у ГІС.

ГІС використовують два підходи до опису простору:

1) структурований - виділення просторових об'єктів, зазначення характеру їх локалізації у просторі, границь і в деяких випадках взаємозв'язків з іншими об'єктами;

2) неструктурований (досліджуваний простір представляється множиною комірок заданого розміру і форми, у яких визначені усереднені параметри або характеристики, що відповідають цій частині простору).

Аналітичні засоби ГІС включають різноманітний інструментарій для проведення операцій з просторовими об'єктами. Відсутність єдиної класифікації породжує велику кількість різних трактувань і переліків, що відображують розмаїтість поглядів на сутність аналітичного процесу взагалі. Так, відома класифікація О. В. Кошкарьова і В. С. Тіку- нова [46] ранжирує існуючі методи обробки просторових даних, дотримуючись звичайної послідовності дій, які виконуються аналітиком. Тобто все розмаїття просторових аналітичних операцій вони поділяють на:

- конвертування даних з формату у формат, з векторної форми у растрову і навпаки;
- трансформацію проєкцій та їх перерахування в інші системи координат;
- методи обчислювальної геометрії;
- накладення шарів;
- аналітичні, графоаналітичні методи;
- методи моделювання.

При безперечній усеосяжності наведеної класифікації дещо неприродним здається об'єднання звичайних операцій з підготовки даних з власне аналітичними функціями. Дещо цікавіше сприймається класифікація Енді Мітчела [38], що являє собою не просто перелік аналітичного інструментарію, як попередня класифікація, але й підкреслює призначення кожного методу, причому у досить нетрадиційній, принаймні для нашого ока, формі. Таким чином, Енді Мітчел робить наголос на меті дослідження, а не на інструменті, яким її буде досягнуто. У запропонованому переліку [51] найпростіші методи аналізу в ГІС визначаються таким чином:

- пошук знаходження об'єктів;
- проведення ранжирування (де “більше”, де “менше”);
- картування щільності;
- пошук того, що всередині;
- пошук того, що поруч;
- картування змін.

Математична обробка даних виконується при зверненні до стандартних пакетів прикладних програм, що входять до складу ГІС. Завдання користувача зводиться до правильного вибору методу (моделі), адекватної завданню, яке вирішується.

Просторовий аналіз дозволяє отримати реальні процеси динаміки об'єктів (явищ, процесів) шляхом розробки та застосування моделей. Моделі дозволяють виявити тенденції змін просторових даних, опрацювати цю інформацію і таким чином виробити нову інформацію. За допомогою ГІС цей процес суттєво удосконалюється, надаючи функції, які можуть комбінуватися різними послідовностями для наступної побудови нових моделей. Ці моделі дозволяють виявляти як нові, так і попередньо не усвідомлені (не виявлені, не знайдені) взаємозв'язки, як всередині наборів даних, так і між ними, удосконалюючи цим знання про реальний об'єкт або навколишнє середовище.

Результати аналізу можуть бути представлені як у вигляді карт, так і у вигляді певних звітів або їх симбіозом. Як свідчить досвід, карти краще використати для відтворення просторових взаємозв'язків, а звіти для представлення атрибутивних даних і документування будь-яких обчислювальних даних.

Просторовий аналіз класифікують за:

- методами і результатами обробки (якісний і кількісний);
- способами обробки (автоматизований, статистичний, аналіз рядів (статистичних або часових));
- якісним рівнем аналізу даних (системний, узагальнений (іноді структурний), семантичний (змістовний), параметричний (оціночний);
- складністю (простий - виконання простих однокрокових перетворень і комплексний - виконання складного аналізу даних з використанням різних джерел інформації, складних перетворень і алгоритмів).
- Розглянуті види аналізу можуть утворювати різні сукупності залежно від впливу або значення аспекту вивчення даних.

## **1.2. Алгоритм проведення просторового аналізу**

### **1. Постановка задачі**

Розв'язання будь-якої проблеми починається з її визначення. Розпочинаючи аналіз, слід визначити, яку саме інформацію необхідно отримати. Частіше це робиться у формі постановки питання, наприклад: “Де було більшість крадіжок зі зломом у минулому місяці “Скільки лісу росте в межах кожного басейну водозбору”?, “Які об’єкти потрапили у 500 метрову зону від магазину”! тощо [25].

Правильна постановка питання найчастіше допомагає визначити, як найкраще підійти до аналізу, який метод ефективніше використати і як найкраще представити результати дослідження. Від характеру проблеми залежить

необхідна детальність розв'язання задачі, а це, у свою чергу, визначає витрати на отримання даних, придбання чи оренду програмних засобів та обчислювальних потужностей. Саме на цьому етапі формується відповідність між масштабом проблеми, що виникла, і засобами, необхідними для її розв'язання.

Інші фактори, що впливають на процес проведення аналізу: як і хто буде використовувати його результати. Одна справа, коли в процесі досліджень зондуються дані, виявляючи особливості їх розподілу або поведінки. Зовсім інша - представлення результатів політичним діячам або для публічної дискусії, наукового огляду або будівництва. В таких випадках методи повинні бути більш досконалими, а результати більш обґрунтованими.

2. Оцінка вихідних даних Спеціаліст з ГІТ повинен чітко усвідомлювати, якою інформацією він володіє, а яку потрібно ще отримати або створити. Тип даних і об'єктів, з якими доведеться працювати, визначає специфіку методу, який найкраще використовувати. І навпаки, якщо вирішено використовувати конкретний метод для отримання інформації потрібної якості, необхідно забезпечити адекватний набір вихідних даних. Потрібно добре уявляти, яка інформація є в наявності і що ще необхідно отримати або створити.

Набір даних у ГІС, в тому числі і його атрибутивна частина, повинен володіти як просторовою, так і часовою повнотою. Крім того, набори даних повинні бути сумісними між собою. Наприклад, при накладанні двох карт їхні масштаби повинні бути однаковими, інакше результат такого оверлею буде абсурдним.

Для позначання сумісності дуже важливо використовувати однакові методи отримання, запису і корегування даних. При оцінці якості кожного окремого набору даних треба звертати увагу на його відповідність. Неоднозначність в даних може виникати, наприклад, при використанні різних джерел інформації або при цифруванні карт різними особами.

Придатність даних для вирішення тієї або іншої задачі визначається операціями обробки й аналізу, які повинні застосовуватися до цих даних. Так,



дані про висоти рельєфу є абсолютно непридатними для розв'язання задачі інтерполяції за допомогою полігонів Тиссена, оскільки метод передбачає наявність різких стрибків функції, які відсутні у безперервній моделі рельєфу тощо.

Джерела помилок у ГІС поділяють на такі категорії:

- концептуальні помилки;
- помилки, що пов'язані з джерелами даних;
- помилки кодування даних;
- помилки, що пов'язані з корегуванням і перетворенням даних;
- помилки, що виникають на етапі обробки й аналізу даних;
- помилки при виведенні даних.

Концептуальні помилки. Помилки цього типу виникають при інтерпретації та моделюванні просторових об'єктів. Об'єкти можуть неоднаково сприйматися різними людьми і це буде проявлятися у даних. Якою б не була модель, що лежить в основі ГІС, вона є лише спрощеним уявленням реального світу, а отже, в ній містяться помилки, пов'язані з генералізацією об'єктів, неповнотою і частковою суперечливістю даних.

Помилки, що пов'язані з джерелами даних. Кожному джерелу просторових й атрибутивних даних притаманні свої характерні похибки. Наприклад, при польових дослідженнях виникають інструментальні похибки і похибки, пов'язані з людським фактором. У даних дистанційного зондування і на аерофотознімках можуть міститись похибки, пов'язані з неправильною просторовою прив'язкою або невірним дешифруванням. Крім того, джерелом похибки може слугувати мінливість деяких об'єктів у часі.

У найбільш часто використовуваному джерелі даних - картах, містяться як позиційні, так і тематичні похибки. Зазвичай вони виникають через технічні збої, неправильні дії оператора та недосконалість існуючих методів картографії.

Помилки кодування даних. Кодуванням даних називають процес їх перетворення у формат ГІС. Кодування даних є одним з головних джерел

помилки. Цифрування карт також відноситься до процедур кодування. Незважаючи на автоматизацію цифрування, вона, як і раніше, включає значну частку ручної праці, що накладає відповідні обмеження і є одним з головних джерел помилок. Наприклад, перетворення плавної кривої на карті в її цифрове представлення пов'язане з вибором точок цифрування.

Помилки також можуть виникати через неточне суміщення аркушів карти або через недостатню розрізненість растрових сканерів, які застосовуються для автоматичного цифрування.

Помилки, що пов'язані з редагуванням і перетворенням даних. Дані, отримані в результаті ручного або автоматичного цифрування неминуче містять помилки, які необхідно усунути. Пошук помилок - досить складний процес, однак їх можна усунути в процесі ретельної перевірки даних.

При використанні автоматизованих методів пошуку помилок у растрових ГІС виникають проблеми, пов'язані з "шумом" (помилковою класифікацією). Шум може бути регулярним і випадковим. Випадковий шум виявляється значно складніше.

Для усунення шуму використовується фільтрація, результатом якої є повторна класифікація точок растру. При цьому важливо обрати правильний фільтр, який би не порушував значущу інформацію.

Після редагування растрові дані можуть бути перетворені у векторні, а векторні - у растрові. При перетворенні растрових даних у векторні виникають топологічні неоднозначності.

При зворотному перетворенні істотне значення з позиції похибок мають розміри точки растру та метод їх растрування. Наприклад, через генералізацію даних можуть з'явитись помилки, пов'язані з класифікацією точок уздовж контуру векторного полігона, в результаті чого він набуде зубчатого вигляду на растровому зображенні.

Крім топологічних помилок, перетворення векторних карт у растрові веде до втрати невеличких полігонів і появи викривлень, що викликані випадковим зсувом і поворотом растру.

Іноді перетворення даних необхідно для імпорту в іншу систему. В таких випадках переведення бази даних ГІС з одного програмного пакета в інший може призвести до появи технічних помилок.

Помилки, що виникають на етапі обробки й аналізу даних. Перед тим, як приступити до обробки й аналізу даних у ГІС, необхідно переконатися в тому, що:

- дані відповідають меті дослідження;
- використовувані набори даних є сумісними між собою;
- обрана правильна методика аналізу даних.

У процесі обробки даних у ГІС помилки найчастіше виникають при виконанні класифікації даних, поєднанні або поділу площинних об'єктів, накладанні декількох шарів карти. Наприклад, при накладанні двох полігонів уздовж їхніх границь можуть з'являтися "осколки" - невеличкі полігони, що виникають через неповне суміщення двох карт. Причиною утворення "осколків" можуть бути помилки, пов'язані з різним часом цифрування карт і помилками вхідних даних.

Помилки при виведенні даних. Неточності вихідних даних є неминучим наслідком тих похибок, які містяться у базі даних, і помилок, що виникають при обробці й аналізі даних. Ступінь цих неточностей залежить від того, наскільки ретельно виконувалась робота на кожному етапі створення бази даних ГІС (від її проектування до аналізу даних).

Час, що витрачається на аналітичне дослідження й оцінку вихідних даних, складає від 40 % до 80 % бюджету аналітичного процесу [17, 25, 34]. Недостатній аналіз вихідних даних здатний завдати серйозних неприємностей досліднику, який не врахував їх. Саме тому оцінка вихідних даних є одним із найважливіших етапів аналітичного процесу.

Таким чином, тип даних і параметрів, доступних для проведення певного дослідження, значною мірою визначає як досягну точність, так і специфіку методу, який буде використаний. З іншого боку, потрібно забезпечити відповідний рівень вихідних даних.

### 3. Вибір методу аналізу |

Як свідчить досвід використання ГС, майже завжди є декілька альтернативних способів отримання необхідної інформації. Найчастіше один метод є більш швидким, але дає дуже приблизну інформацію, інші методи вимагають більш детальних даних, значних зусиль і часу на обробку, але забезпечують при цьому більш точні результати. Компроміс полягає у тому, що необхідно обирати метод аналізу, виходячи з поставленої проблеми, витрат на неї і того, як будуть використовуватись у майбутньому результати аналізу. Наприклад, виконується оперативний аналіз розбійних нападів у місті для виявлення неблагополучних мікрорайонів. Можна просто оцінити ситуацію, відобразивши на карті окремі злочини. Якщо ж інформація готується як доказ для слідства або суду, то доведеться більш точно обґрунтувати місце, де напади в конкретний період часу траплялися частіше.

Більша детальність вихідних даних, необхідних для аналізу, означає збільшення витрат зусиль і часу на їх перевірку й обробку. Таким чином, завжди виникає дилема: оперативність або точність.

Оперативність - це мінімум вихідних параметрів, максимальна доступність і простота алгоритмів розрахунку (з перевагою власних функцій ГС). Як наслідок, невисока точність результатів, отримання загальних характеристик досліджуваного процесу.

Точність, зазвичай, потребує істотних витрат часу і коштів на:

- отримання достовірної та повної вихідної інформації;
- адаптацію спеціалізованих систем моделювання або їхніх блоків;
- навчання персоналу роботи із спеціалізованими системами;

- спеціальні дослідження, спрямовані на перевірку адекватності створеної моделі.

#### 4. Обробка даних

Як тільки метод аналізу буде обраний, необхідно вибудувати ланцюжок його реалізації засобами ГІС.

По-перше, треба визначити модель даних, яка буде застосовуватись для зображення тих або інших шарів вихідної інформації (прийняти рішення, які дані будуть використовуватись у векторній формі, а які - у растровій). Сучасні ГІС дозволяють інтегрувати в процесі аналізу обидва типи цих даних. У разі необхідності перетворення можна конвертувати растрові дані у векторні та навпаки за допомогою вбудованих у ГІС функцій переформатування.

Векторні дані та їх використання. Векторні дані зображують географічні явища у вигляді точкових, лінійних і полігональних об'єктів, для яких визначено місце розташування й межі. Векторні дані є найбільш зручними, коли необхідно зберігати точне місце розташування вихідного об'єкта, моделювати лінійну мережу або працювати з такими межами, як кордон між двома країнами.

Растрові дані та їх використання. Растрові дані зображують просторові об'єкти (процеси, явища) за допомогою дискретних комірок, у яких зберігаються значення вихідного об'єкта. Комірки утворюють сітку, яка у кожній комірці має числове значення. Точне місце розташування кожної комірки визначається порядковим номером її рядка та стовпчика у сітці, розміром комірок і координатами початкової точки.

По-друге, після обрання типу даних необхідно вибрати засоби їх обробки. Іноді можна обмежитися власними засобами ГІС, а при їх нестачі - звернутися до зовнішніх проблемно-орієнтованих модулів.

### **1.3. Автоматизовані методи аналізу й обробки даних**

На сьогодні ГІС широко використовуються в усіх сферах життєдіяльності держави, суспільства, науки, при виникненні надзвичайних ситуацій (НС), у військовій сфері, в органах влади, нафтогазовій галузі, геології, екології, соціології. Особливо необхідні технології ГІС при НС: повенях, лісових пожежах, розливах нафти на морі і на суші, вибухах, терактах тощо. ГІС дозволяє оперативно створювати карти місцевості, де відбулася НС, оптимізувати використання сил і засобів з ліквідації наслідків НС, забезпечуючи надання необхідної просторової інформації для проведення рятувальних і реабілітаційних робіт, моделювання наслідків НС тощо.

Не менш важливе значення ГІС має для адміністративного управління містом, областю, регіоном, державою. Середовище ГІС дозволяє контролювати оперативну обстановку, життєдіяльність об'єкта за обраними показниками, які визначають тематичні шари карти, наприклад, санітарно-епідеміологічну обстановку, екологічні і надзвичайні ситуації, об'єктове господарство, суспільний порядок та безпеку громадян, дорожньо-транспортну обстановку, протипожежну безпеку, стан торгівлі, побутового обслуговування тощо, за якими на керованому об'єкті можуть виникнути проблеми.

Інтеграція технологій ГІС із сучасними системами управління базами даних, технологією сховищ даних значно підвищує якість систем підтримки прийняття рішень в усіх сферах діяльності. Така інтеграція дає можливість створення потужних аналітичних інструментів для роботи як з просторовими, так і непросторовими даними. Візуальне подання просторових даних на електронній карті дає можливість відразу побачити цілісну картину, сформовану за даними з бази даних чи сховища даних. Та якщо маємо сукупність взаємозв'язаних об'єктів, то відображення цих об'єктів на карті, надання у реальному часі інформації про кожне із них з бази даних за різними показниками (у вигляді діаграм, таблиць, графіків тощо) дає можливість оцінити ефективність

роботи цих об'єктів. На базі інформації, яка зберігається у сховищах даних, ГІС може оперативнo виявити тенденції змін показників у часі, визначити динаміку розвитку характеристик об'єктів. При такому підході ГІС не зберігає предметно-орієнтовану інформацію, а є лише процесором централізованого зберігання й управління просторовою інформацією. А це дозволяє досягти гармонійного використання двох систем: СУБД і ГІС, усунути надлишок інформації та запобігти конфліктним ситуаціям, пов'язаних із невідповідністю даних.

Отже, використання ГІС у системах підтримки прийняття рішень, у тому числі і в ситуаційних центрах (СЦ), надає нові можливості, що зменшують інтелектуальне навантаження на користувача і внаслідок цього підвищують ефективність роботи системи.

Однією із сучасних тенденцій розвитку ГІС є підвищення інтелектуальності як ГІС, так і ГІТ. Перспективність застосування ГІТ для підвищення інтелектуальності ГІС визначається можливостями:

- ГІС на сьогодні є новим напрямом інформаційних технологій і досвід їх використання не має негативних наслідків;
- ГІС дозволяє у наочній формі відобразити стан і поведінку об'єктів;
- ГІС надає інформацію та засоби її обробки у доступній природній формі у вигляді схем, карт, зображень з можливістю виконувати просторовий вибір об'єктів і використовувати оригінальні методи аналізу;
- ГІС надає можливість у зручному для користувача вигляді показати просторовий розподіл об'єктів, ситуацію на об'єкті чи місцевості у різних масштабах, максимально наближених до реального світу;
- ГІС надає можливості інтерпретації інформації через візуальне зображення (подання);
- ГІС підтримує всі сучасні інформаційні інновації: розподілені обчислення, високу інтерактивність, відкриті системи.

Таким чином, ГІС додає нову якість опису об'єктів і надає користувачу нові функції для роботи з ними, а саме:

- інформацію про просторове положення об'єктів;
- просторові зв'язки об'єктів, які відображаються через їх топологічні зв'язки;
- віддалене (із зовнішніх БД) подання інформації про об'єкти, яке може змінюватися залежно від зміни параметрів об'єктів;
- просторовий аналіз;
- облік і паспортизацію об'єктів - опис їх точного місцезнаходження, просторових, технологічних та інших характеристик;
- оцінку стану об'єктів;
- швидкий пошук об'єктів по карті і швидкий доступ до інформації про них.

### **Висновки до розділу 1**

Під геоінформаційним аналізом просторових даних розуміють набір алгоритмів і задач обробки просторових даних, що включені до складу програмного забезпечення. Засоби геоінформаційного аналізу можуть бути простими (наприклад, накладення тематичних шарів карт для створення нових геозображень, розрахунок площ, периметрів досліджуваних ділянок, пошук найближчих об'єктів тощо) або складними (наприклад, імітування об'єктів і систем реального світу шляхом об'єднання різних тематичних шарів у багатомірній моделі) і залежать від моделей даних, що безпосередньо підтримуються ГІС і використовуються для розв'язання задач користувача.



## РОЗДІЛ 2. АЛГОРИТМИ ПОБУДОВИ ТА АНАЛІЗУ ТРІАНГУЛЯЦІЇ

### 2.1. Тріангуляція Делоне. Основні визначення

Вперше завдання побудови тріангуляції Делоне було поставлено 1934 р. у роботі радянського математика Б.М. Делоне [34]. Трудомісткість цього завдання становить  $O(N \log N)$ . Існують алгоритми, що досягають цієї оцінки в середньому та гіршому випадку. Крім того, відомі алгоритми, що дозволяють у ряді випадків досягти в середньому  $O(N)$ .

**Тріангуляцією** називається планарний граф, всі внутрішні області якого є трикутниками (Рис. 2.1). **Опуклою тріангуляцією** називається така тріангуляція, для якої мінімальний багатокутник, що охоплює всі трикутники, буде опуклим. Тріангуляція, яка не є опуклою, називається **неопуклою**.

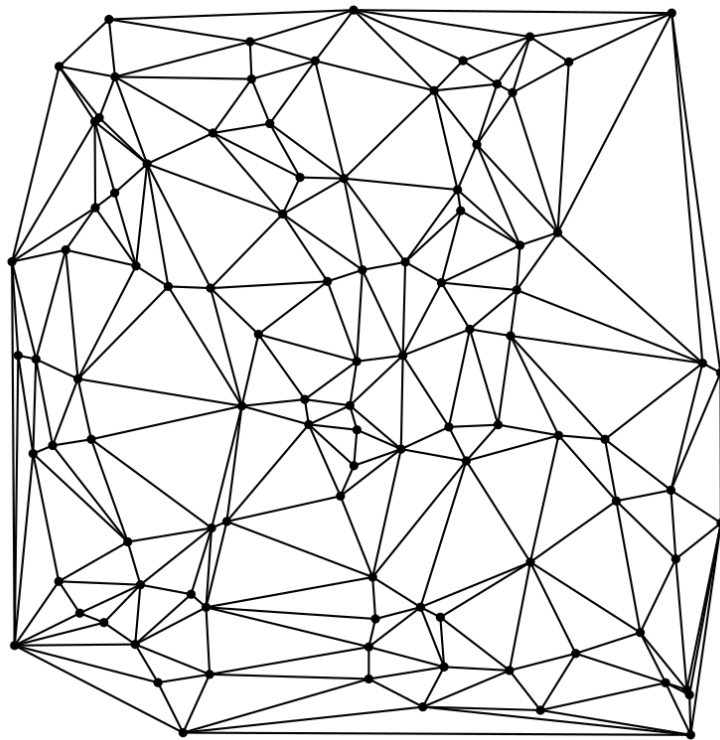


Рис. 2.1. Приклад тріангуляції

*Завданням побудови тріангуляції по заданому набору двовимірних точок називається завдання з'єднання заданих точок відрізками, що не перетинаються так, щоб утворилася тріангуляція. Завдання побудови тріангуляції за вихідним*

набором точок є неоднозначним, тому виникає питання, яка з двох різних триангуляцій краща? *Триангуляція називається оптимальною*, якщо сума довжин всіх ребер мінімальна серед усіх можливих триангуляцій, побудованих за тими самими вихідними точками.

Одним із перших було запропоновано наступний алгоритм побудови триангуляції, що називається *жадібним*. Опишемо його покроково.

Крок 1. Генерується список всіх можливих відрізків, що з'єднують пари вихідних точок, який сортується за довжинами відрізків.

Крок 2. Починаючи з найкоротшого, послідовно виконується вставка відрізків у триангуляцію. Якщо відрізок не перетинається з іншими раніше вставленими відрізками, він вставляється, інакше він відкидається. Коней алгоритму. Зауважимо, якщо всі можливі відрізки мають різну довжину, то результат роботи цього алгоритму однозначний, інакше він залежить від порядку вставки відрізків однакової довжини.

*Триангуляція називається жадібною*, якщо вона побудована за жадібним алгоритмом. У зв'язку з великою трудомісткістю даний алгоритм практично майже не застосовується. Крім оптимальної і жадібною триангуляції, також широко відома *триангуляція Делоне*, що має низку практично важливих властивостей [34, 45, 15, 16].

Триангуляція задовольняє *умові Делоне*, якщо всередину кола, описаного навколо будь-якого побудованого трикутника, не потрапляє жодна із заданих точок триангуляції. Триангуляція називається *триангуляцією Делоне*, якщо вона є опуклою і задовольняє умові Делоне (Рис. 2.2).

Пара сусідніх трикутників триангуляції задовольняє умові Делоне, якщо цій умові задовольняє триангуляція, складена лише з двох трикутників. Трикутник триангуляції задовольняє умові Делоне, якщо цій умові задовольняє триангуляція, складена тільки з цього трикутника та трьох його сусідів (якщо вони існують).

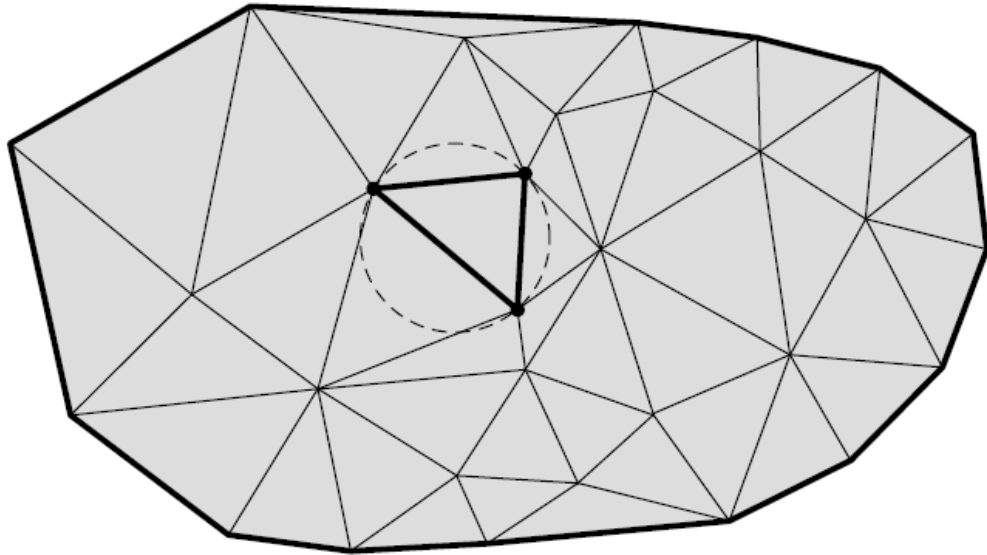


Рис. 2.2. Триангуляція Делоне з відображенням умови Делоне

Триангуляція Делоне вперше з'явилася у науковому світі як граф, двоїстий до *діаграми Вороного* – одній з базових структур обчислювальної геометрії.

Для заданої точки  $P_j \in [P_1, \dots, P_N]$  на площині **багатокутником (осередком) Вороного** називається геометричне місце точок на площині, які знаходяться до ближче, ніж до будь-якої іншої заданої точки  $P_j$ ,  $P_j \neq P_i$  [21]. Сукупність багатокутників Вороного утворює розбиття площини, що представляє векторну мережу. **Діаграмою Вороного** заданої множини точок  $\{P_1, \dots, P_N\}$  називається сукупність всіх багатокутників Вороного цих точок (Рис. 2.3, а). Діаграми Вороного також іноді називають **розбиттям Тіссена та осередками (комірками) Діріхле**. Однією з основних властивостей діаграми Вороного є її двоїстість триангуляції Делоне [34]. Зокрема, з'єднавши відрізками ті вихідні точки, чий багатокутники Вороного стикаються хоча б кутами, ми отримаємо триангуляцію Делоне (Рис. 2.3, б).

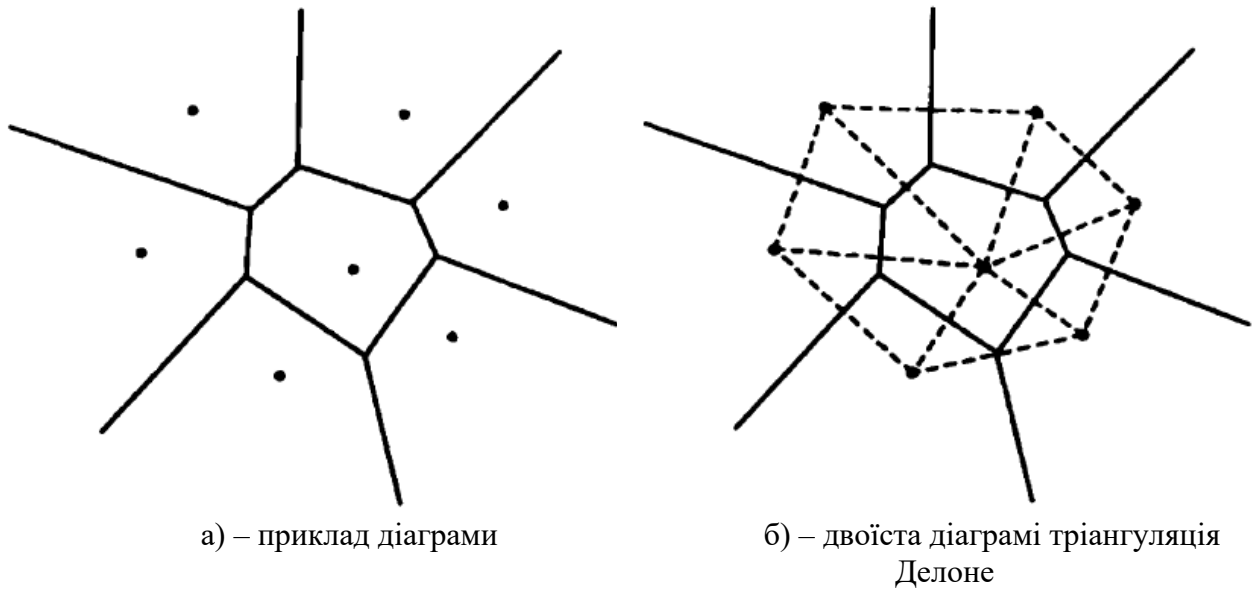


Рис. 2.3. Діаграми Вороного

Багато алгоритми побудови триангуляції Делоне використовують наступну теорему [45, 13]. Теорема 1: триангуляцію Делоне можна отримати з будь-якої іншої триангуляції за тією ж системою точок, послідовно перебудовуючи пари сусідніх трикутників  $\square ABC$  і  $\square BCD$ , що не задовольняють умові Делоне, у пари трикутників  $\square ABD$  і  $\square ACD$  (Рис. 2.4). Така операція перебудови також часто називається *фліпом*.

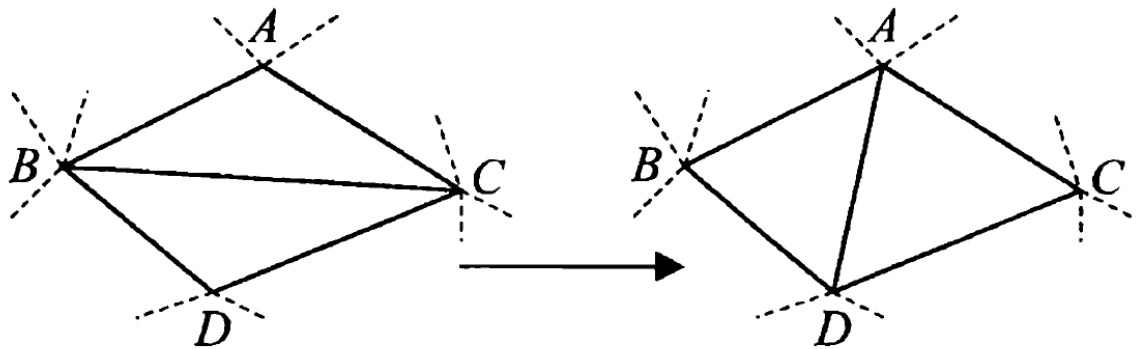


Рис. 2.4. Перебудова трикутників, які не задовольняють умові Делоне

Наведена теорема дозволяє будувати триангуляцію Делоне послідовно, побудувавши спочатку деяку триангуляцію, та був послідовно покращуючи її до виконання умови Делоне. При перевірці умови Делоне для пар сусідніх

трикутників можна використовувати безпосередньо вищенаведене визначення умови Делоне, але іноді застосовують інші способи, що ґрунтуються на наступних теоремах [45, 13, 14, 18].

Теорема 2. Тріангуляція Делоне має максимальну суму мінімальних кутів всіх своїх трикутників серед усіх можливих тріангуляцій.

Теорема 3. Тріангуляція Делоне має мінімальну суму радіусів кіл, описаних навколо трикутників, серед усіх можливих тріангуляцій.

У цих теоремах фігурує сумарна характеристика всієї тріангуляції (сума мінімальних кутів або сума радіусів), оптимізуючи яку в парах суміжних трикутників, можна отримати тріангуляцію Делоне.

## 2.2. Перевірка умови Делоне

Однією з найважливіших операцій, що виконуються під час побудови тріангуляції, є перевірка умови Делоне для заданих пар трикутників. На основі визначення тріангуляції Делоне і теореми 2 практично зазвичай використовують кілька способів перевірки:

1. Перевірка через рівняння описаного кола.
2. Перевірка із заздалегідь обчисленим описаним колом.
3. Перевірка суми протилежних кутів.
4. Модифікована перевірка суми протилежних кутів.

### 2.2.1. Перевірка через рівняння описаного кола

Рівняння кола, що проходить через точки  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ , можна записати у вигляді:

$$\begin{vmatrix} x^2 + y^2 & x & y & 1 \\ x_1^2 + y_1^2 & x_1 & y_1 & 1 \\ x_2^2 + y_2^2 & x_2 & y_2 & 1 \\ x_3^2 + y_3^2 & x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (2.1)$$

$$\text{або як } (x^2 + y^2)a - x \cdot b + y \cdot c - d = 0,$$

де

$$\begin{aligned}
 a &= \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}, & b &= \begin{vmatrix} x_1^2 + y_1^2 & y_1 & 1 \\ x_2^2 + y_2^2 & y_2 & 1 \\ x_3^2 + y_3^2 & y_3 & 1 \end{vmatrix}, \\
 c &= \begin{vmatrix} x_1^2 + y_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 + y_2^2 & x_2 & 1 \\ x_3^2 + y_3^2 & x_3 & 1 \end{vmatrix}, & d &= \begin{vmatrix} x_1^2 + y_1^2 & x_1 & y_1 \\ x_2^2 + y_2^2 & x_2 & y_2 \\ x_3^2 + y_3^2 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}.
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

Тоді умова Делоне для будь-якого заданого трикутника  $\square((x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3))$  виконуватиметься лише тоді, коли для будь-якого вузла  $(x_0, y_0)$  триангуляції буде:  $(a(x_0^2 + y_0^2) - b \cdot x_0 + c \cdot y_0 - d) \cdot \operatorname{sgn} a \geq 0$ , тобто, коли  $(x_0, y_0)$  не потрапляє всередину кола, описаного навколо трикутника  $\square((x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3))$  [17]. Для спрощення обчислень можна помітити, що якщо трійка точок  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$  є правою (тобто обхід їх у трикутнику виконується за годинниковою стрілкою), то завжди  $\operatorname{sgn} a = -1$  і навпаки, якщо трійка ця ліва, то  $\operatorname{sgn} a = 1$ . Тут визначена Signum-функція:

$$\operatorname{sgn} a = \begin{cases} 1, & a > 0 \\ 0, & a = 0 \\ -1, & a < 0 \end{cases}. \tag{2.3}$$

Безпосередня реалізація такої процедури перевірки вимагає 29 операцій множення та зведення в квадрат, а також 24 операцій складення та віднімання. Цю схему обчислень можна удосконалити. Перемістимо систему координат на  $x$  та  $y$  по горизонталі та вертикалі відповідно. Тоді рівняння кола перепишеться у вигляді:

$$\begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 & x_1 - x & y_1 - y & 1 \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 & x_2 - x & y_2 - y & 1 \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 & x_3 - x & y_3 - y & 1 \end{vmatrix} = 0, \tag{2.4}$$

що рівносильно такому запису:

$$\begin{vmatrix} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 & x_1 - x & y_1 - y \\ (x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 & x_2 - x & y_2 - y \\ (x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 & x_3 - x & y_3 - y \end{vmatrix} = 0. \quad (2.5)$$

Перевірка на основі цієї модифікованої формули вимагає вже лише 15 операцій множення та зведення в квадрат, а також 14 операцій складання та віднімання.

### 2.2.2. Перевірка із задалегідь обчисленим описаним колом

Попередній варіант перевірки потребує значної кількості арифметичних операцій. У більшості алгоритмів триангуляції кількість перевірок умови багаторазово (у різних алгоритмах це число коливається від 2 до 25 і більше) перевищує загальну кількість різних трикутників, які були присутні у триангуляції на різних кроках її побудови. Тому основна ідея алгоритму перевірки через задалегідь обчислені кола полягає в попередньому обчисленні для кожного побудованого трикутника центру і радіуса описаного навколо нього кола, після чого перевірка умови Делоне буде зводитись до обчислення відстані до центру цього кола та порівняння результату з радіусом. Таким чином, центр  $(x_c, y_c)$  і радіус  $r$  кола, описаного навколо трикутника  $\square((x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3))$ , можна знайти як  $x_c = b/2a$ ,  $y_c = -c/2a$ ,  $r^2 = (b^2 + c^2 - 4ad)/4a^2$ , де значення  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  визначені формулою (2.2).

У цьому випадку умова Делоне для трикутника  $\square((x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3))$  виконуватиметься лише тоді, коли для будь-якої іншої точки  $(x_0, y_0)$  триангуляції  $(x_0 - x_c)^2 + (y_0 - y_c)^2 \geq r^2$ . Реалізація такої процедури перевірки вимагає для кожного трикутника 36 операцій множення, зведення в квадрат і поділу, а також 22 операцій складання та віднімання. На етапі безпосереднього виконання перевірок потрібно лише 2 зведення в квадрат, 2 віднімання, 1 додавання та 1

порівняння. Тепер зауважимо, що для кожного трикутника знати параметри описаного кола і не обов'язково. Перевірка умови Делоне завжди виконується для певної пари трикутників, а тому достатньо знати коло лише одного з цих трикутників. Тоді обчислюватимемо параметри описаного кола лише в тому випадку, якщо в парі трикутників, що аналізуються, ще не обчислено жодне коло. При такому підході в середньому на (25-45) % (залежно від алгоритму триангуляції, що використовується) зменшується кількість трикутників, для яких необхідно обчислити описані кола.

Таким чином, в середньому на один трикутник потрібно 22–27 операцій типу множення та 13–17 операцій типу додавання. Якщо прийняти, що алгоритм триангуляції витрачає в середньому по 5 перевірок на кожен трикутник, то в середньому цей спосіб перевірки вимагає близько 6-7 операцій типу множення та 6 операцій типу додавання. Якщо алгоритм витрачає в середньому по 12 перевірок на кожен трикутник, то відповідно по 4 тій та іншій операції. Точна ж оцінка середньої кількості операцій має виконуватися для конкретного алгоритму триангуляції та типових видів вихідних даних.

### **2.2.3. Перевірка суми протилежних кутів**

У роботі [17, 18] показано, що умова Делоне для даного  $\square((x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3))$  буде виконуватися тільки тоді, коли для будь-якої іншої точки  $(x_0, y_0)$  триангуляції  $\alpha + \beta \leq \pi$  (Рис. 2.5).



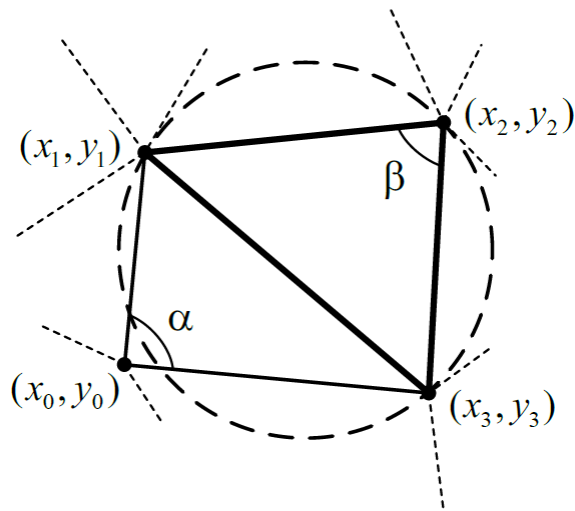


Рис. 2.5. Перевірка умови Делоне за сумою протилежних кутів

Ця умова еквівалентна рівності  $\sin(\alpha + \beta) \geq 0$ , тобто:

$$\sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta \geq 0. \quad (2.6)$$

Значення синусів та косинусів кутів можна обчислити через скалярні добутки векторів:

$$\cos \alpha = \frac{(x_0 - x_1)(x_0 - x_3) + (y_0 - y_1)(y_0 - y_3)}{\sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2} \sqrt{(x_0 - x_3)^2 + (y_0 - y_3)^2}}, \quad (2.7)$$

$$\cos \beta = \frac{(x_2 - x_3)(x_2 - x_1) + (y_2 - y_3)(y_2 - y_1)}{\sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2} \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}, \quad (2.8)$$

$$\sin \alpha = \frac{(x_0 - x_1)(y_0 - y_3) - (x_0 - x_3)(y_0 - y_1)}{\sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2} \sqrt{(x_0 - x_3)^2 + (y_0 - y_3)^2}}, \quad (2.9)$$

$$\sin \beta = \frac{(x_2 - x_3)(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1)(y_2 - y_3)}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2}}, \quad (2.10)$$

Підставивши формули (2.7)-(2.10) у формулу (2.6) і скоротивши знаменники дробів, отримаємо таку формулу перевірки:

$$\begin{aligned} & \left( (x_0 - x_1)(y_0 - y_3) - (x_0 - x_3)(y_0 - y_1) \right) \cdot \left( (x_0 - x_1)(y_0 - y_3) - (x_0 - x_3)(y_0 - y_1) \right) + \\ & + \left( (x_0 - x_1)(x_0 - x_3) - (y_0 - y_1)(y_0 - y_3) \right) \cdot \left( (x_2 - x_3)(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1)(y_2 - y_3) \right) \geq 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Безпосередня реалізація такої процедури перевірки вимагає 10 операцій множення, а також 13 операцій додавання та віднімання.

### 2.3. Алгоритми побудови триангуляції Делоне

На даний час відома значна кількість різних алгоритмів побудови триангуляції Делоне. Наведено класифікацію основних із них (жирним шрифтом виділено конкретні алгоритми) [57, 58]. Крім цих алгоритмів, існують і інші, менш відомі, але вони мають свідомо гірші характеристики.

#### 1. Ітеративні алгоритми.

##### 1.1. Простий ітеративний алгоритм.

##### 1.1.1. Ітеративний алгоритм «Видаляй і будуй».

##### 1.2. Ітеративні алгоритми з індексуванням пошуку трикутників.

1.2.1. Ітеративний алгоритм із індексуванням трикутників R-деревом.

1.2.2. Ітеративний алгоритм із індексуванням центрів трикутників 2D-деревом.

1.2.3. Ітеративний алгоритм із індексуванням центрів трикутників квадродеревом.

##### 1.3. Ітеративні алгоритми з кешуванням пошуку трикутників.

1.3.1. Ітеративний алгоритм зі статичним кешуванням пошуку.

1.3.2. Ітеративний алгоритм з динамічним кешуванням пошуку.

##### 1.4. Ітеративні алгоритми зі зміненим порядком додавання точок.

1.4.1. Ітеративний смуговий алгоритм.

1.4.2. Ітеративний квадратний алгоритм.

- 1.4.3. Ітеративний алгоритм із пошаровим згущенням.
  - 1.4.4. Ітеративний алгоритм із сортуванням вздовж кривої, що заповнює площину.
  - 1.4.5. Ітеративний алгоритм із сортуванням за Z-кодом.
2. Алгоритми злиття.
- 2.1. Алгоритм «Поділяй і володарюй».
  - 2.2. Рекурсивний алгоритм із розрізанням по діаметру.
  - 2.3. Смугові алгоритми злиття.
    - 1.2.3.1. Алгоритм опуклого смугового злиття.
    - 1.2.3.2. Алгоритм неопуклого смугового злиття.
3. Двопрохідні алгоритми.
- 3.1. Двопрохідні алгоритми злиття.
    - 3.1.1. Алгоритм "Поділяй і володарюй".
    - 3.1.2. Рекурсивний алгоритм із розрізанням по діаметру.
    - 3.1.3. Алгоритм опуклого смугового злиття.
    - 3.1.4. Алгоритм неопуклого смугового злиття.
  - 3.2. Модифікований ієрархічний алгоритм.
  - 3.3. Лінійний алгоритм.
  - 3.4. Вієрний алгоритм.
  - 3.5. Алгоритм рекурсивного розщеплення.
  - 3.6. Стрічковий алгоритм.
4. Покрокові та інші алгоритми.
- 4.1. Покроковий алгоритм.
  - 4.2. Покрокові алгоритми із прискоренням пошуку сусідів Делоне.
    - 4.2.1. Покроковий алгоритм із 2D-деревом пошуку.
    - 4.2.2. Клітковий покроковий алгоритм.
  - 4.3. Алгоритм побудови через тривимірні опуклі оболонки.

У цілому нині з усієї безлічі представлених алгоритмів з досвіду найкраще зарекомендував себе алгоритм динамічного кешування. Приблизно так само

добре працює алгоритм пошарового згущення. Що важливо, обидва ці алгоритми відносно легко програмуються.

## 2.4. Ітераційні алгоритми побудови триангуляції Делоне

Усі ітераційні алгоритми мають у своїй основі дуже просту ідею послідовного додавання точок до частково побудованої триангуляції Делоне. Суть полягає в наступному.

Дано безліч  $N$  точок.

Крок 1.

На перших трьох початкових точках будемо один трикутник (передбачається, що точки не лежать на одній прямій, інакше треба вибрати інші точки).

Крок 2. У циклі по  $n$  для решти точок виконуємо кроки 3-5.

Крок 3. Чергова  $n$ -на точка додається до вже побудованої структури триангуляції наступним чином. Спочатку проводиться локалізація точки, тобто знаходиться трикутник (побудований раніше), до якого попадає чергова точка. Або якщо точка не потрапляє всередину триангуляції, знаходиться трикутник на межі триангуляції, найближчий до чергової точки.

Крок 4. Якщо точка потрапила на раніше вставлений вузол триангуляції, то така точка зазвичай відкидається, інакше точка вставляється в триангуляцію у вигляді нового вузла. При цьому якщо точка потрапила на деяке ребро, воно розбивається на два нових, а обидва суміжні з ребром трикутника також діляться на два менших. Якщо крапка потрапила строго всередину якогось трикутника, він розбивається на три нових. Якщо точка потрапила поза триангуляцією, то будується один чи більше трикутників.

Крок 5. Проводяться локальні перевірки новостворених трикутників на відповідність умові Делоне та виконуються необхідні перебудови. Кінець алгоритму.

Складність даного алгоритму складається з трудомісткості пошуку трикутника, в який на черговому кроці додається точка, трудомісткості побудови нових трикутників, а також трудомісткості відповідних перебудов структури триангуляції в результаті незадовільних перевірок пар сусідніх трикутників отриманої триангуляції.

При побудові нових трикутників можливі дві ситуації, коли крапка, що додається, потрапляє або всередину триангуляції, або поза нею. У першому випадку будуються нові трикутники і число виконуваних алгоритмом дій фіксовано. У другому необхідна побудова додаткових зовнішніх до поточної триангуляції трикутників, причому їх кількість може в гіршому випадку дорівнювати  $n - 1$ , де  $n$  – число точок у поточній триангуляції. Однак, за всі кроки роботи алгоритму буде додано не більше  $3N$  трикутників, де  $N$  – загальна кількість початкових точок.

Щоб дещо спростити алгоритм, можна взагалі позбутися другого випадку, попередньо додавши до триангуляції кілька таких додаткових вузлів, що побудована ними триангуляція свідомо накрисе всі вихідні точки триангуляції. Така структура зазвичай називається *суперструктурою*. На практиці для суперструктури зазвичай вибирають варіанти, показані на Рис. 2.6.

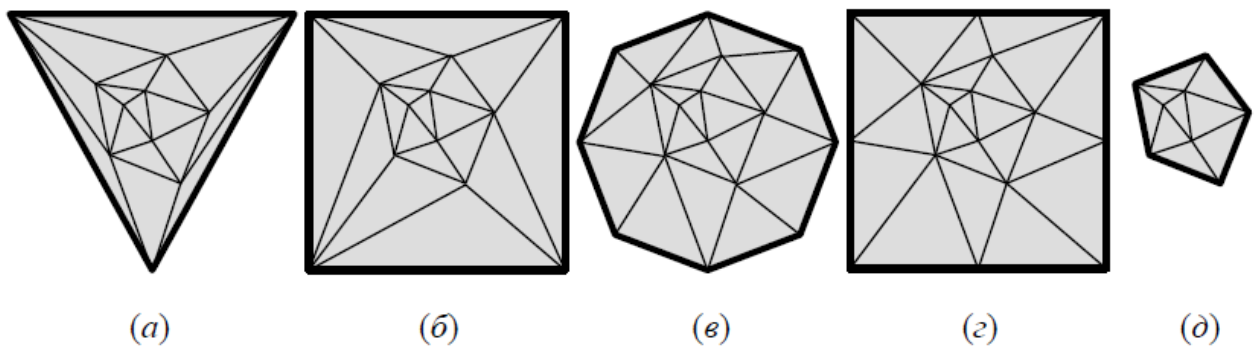


Рис. 2.6. Варіанти суперструктур: а – трикутник; б – квадрат; в – точки на колі; г – крапки на квадраті; д – опукла оболонка

Будь-яке додавання нової точки до триангуляції теоретично може порушити умову Делоне, тому після додавання точки зазвичай одразу проводиться локальна перевірка триангуляції на умову Делоне. Ця перевірка

повинна охопити всі новостворені трикутники і сусіди з ними. Кількість таких перебудов у гіршому випадку може бути дуже великою, що, по суті, може призвести до повного перебудови всієї тріангуляції.

Найбільший внесок у трудомісткість ітераційного алгоритму дає процедура пошуку чергового трикутника. Саме тому всі ітеративні алгоритми побудови тріангуляції Делоне відрізняються майже процедурою пошуку чергового трикутника.

## **Висновки до розділу 2**

На сьогодні існує значна кількість різних алгоритмів побудови тріангуляції Делоне, які можна поділити на ітеративні, злиття, двопрхідні, покрокові та інші алгоритми.

Існує велика кількість оптимізації простого ітеративного алгоритму, що базуються на прискоренні локалізації точки. Одним із найкращих є алгоритм з динамічним кешуванням пошуку. Його ідею полягає у більш простому розбитті простору, зазвичай на квадратні комірки.

## РОЗДІЛ 3. РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ ТРІАНГУЛЯЦІЇ

### 3.1. Місія SRTM як джерело висотних даних

Для використання тріангуляції у задачах геопросторового аналізу необхідно вибрати предметну область (територію дослідження) та висотні дані, за якими будуватиметься TIN.

В якості території дослідження виберемо Рівненську область, а в якості джерела висотних даних – дані ДЗЗ місії SRTM.

SRTM – місія космічного корабля багаторазового використання Endeavor (США) за багатодетальною радарною зйомкою рельєфу Землі між  $54^\circ$  південної широти і  $60^\circ$  північної широти на початку 2000 р. [3]. Розглянемо більш детально цю місію.

У лютому 2000 року Національним управлінням США з авіації та дослідження космічного простору (NASA) було проведено радарну топографічну зйомку більшої частини території Землі, за винятком найпівнічніших ( $> 60$ ), найпівденніших широт ( $> 54$ ), а також океанів. За допомогою проекту SRTM було зібрано висотні дані про у різних областях Землі. Дані ДЗЗ SRTM доступні у вільному доступі в Інтернеті [20]. Вони мають свій власний формат .hgt, який підтримується декількома поширеними пакетами ГІС. Вихідні дані розповсюджуються квадратами розміром  $1^\circ \times 1^\circ$ , при максимальній доступній розрізненості 1 арксекунда. Файли мають назву відповідно до їхнього географічного розташування – значення широти та довготи градуса. Кожен квадрат складається з даних регулярної ґратки – точок через кожні 30 м зі значеннями висоти в кожній з них [11, 43].

Таким чином, маючи вхідні дані матриці висот (широти, довготи, висоту) стає реально здійсненним завдання створення максимально наближеної до дійсності ЦМР. Ця модель являтиме собою регулярну мережу висот, тобто сітку GRID, яка має свої недоліки. Насамперед, це великий обсяг даних. Чим менший

обраний крок, тим точніше ЦМР – вище просторова розрізненність моделі, але тим більше кількість вузлів сітки, отже, більше часу потрібно на розрахунок ЦМР [59]. TIN, яка розглядається в даній роботі, вирішує цю проблему. В нерегулярній триангуляційній мережі TIN вузлам та ребрам трикутної мережі відповідають вихідні та похідні атрибути цифрової моделі. При побудові TIN-моделі дискретно розташовані точки з'єднуються лініями, що утворюють трикутники. Кожен трикутник задається висотами трьох його вершин, зазвичай представляється як площина і крім інформації про висоту має атрибути кута нахилу та експозиції, що дозволяє швидко побудувати на базі однієї моделі TIN декілька тематичних карт – гіпсометричну, ухилів, експозицій [59].

Перехід від однієї моделі, тобто SRTM GRID, до іншої, тобто TIN, вирішує один із головних недоліків – «надмірність» інформації. У мережі TIN на рівнинах можна прибрати точки, що мають близьке значення висоти, і, таким чином, плоскі ділянки моделюватимуться невеликою кількістю величезних трикутників, а на ділянках крутих уступів, там, де необхідно детально показати всі межі рельєфу, залишається більше точок (а іноді навіть і додають) і поверхня відображається багаточисельними маленькими трикутниками ближче до дійсності.

Для території дослідження завантажуюмо дані ДЗЗ SRTM, що являють собою ЦМР території дослідження у форматі регулярної сітки GRID. Для цього використовуємо сайт Геологічної служби США [20], (Рис. 3.1).



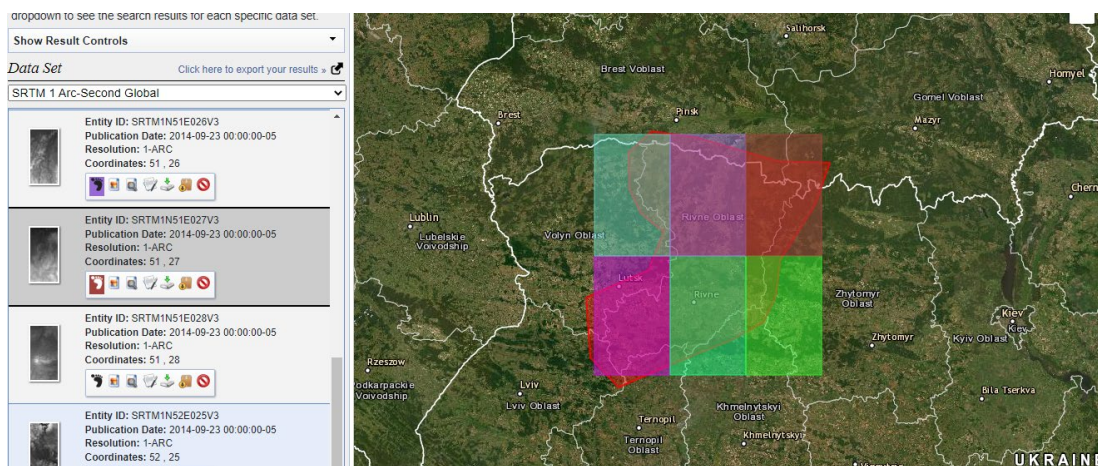


Рис. 3.1. Завантаження даних SRTM на територію Рівненської області

Для обробки просторових даних і роботи з TIN будемо використовувати програмне забезпечення ArcGIS 10.8.

З сайту [20] було завантажено 6 фрагментів (тайлів, tiles) SRTM у форматі GEOTIFF, у СК WGS 1984, перелік яких подано в Таблиця 3.1.

Таблиця 3.1

#### Вихідні тайли SRTM

Entity ID	Координати центру (широта, довгота)	Розмір комірки	Глибина пікселя
SRTM1N50E025V3	50 , 25	1×1 arcsec	16 біт signed (зі знаком)
SRTM1N50E026V3	50 , 26		
SRTM1N50E027V3	50 , 27		
SRTM1N51E025V3	51 , 25		
SRTM1N51E026V3	51 , 26		
SRTM1N51E027V3	51 , 27		

Після завантаження даних і додавання файлів у документ карти ArcGIS (Рис. 3.2), наступними операціями є створення мозаїки (інструмент «Мозаїка в новий растр») з вирівнюванням по тону всіх початкових растрів (опція MATCH мозаїки) При застосуванні опція MATCH мозаїки при складанні мозаїки приймаються до уваги всі кольорні карти тайлів. Якщо всі можливі значення вже використані (по бітовій глибині), додаткові значення будуть замінені максимально близькі кольору з доступних.

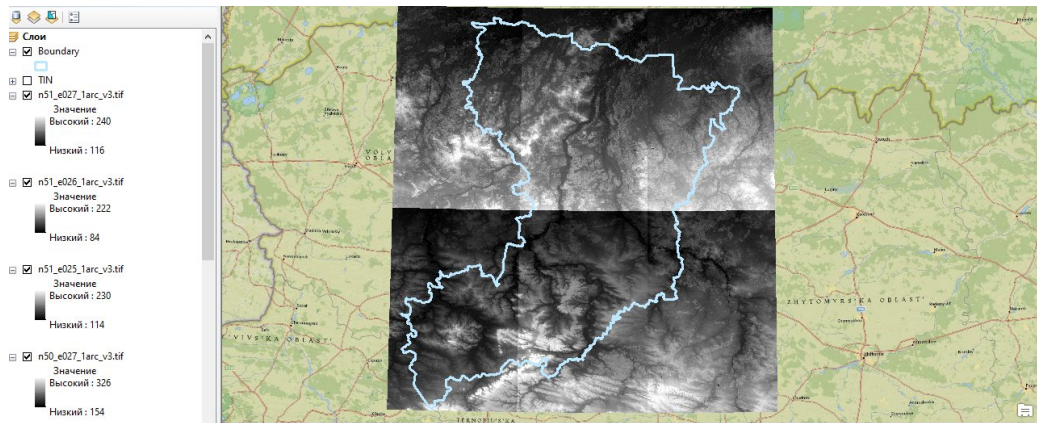


Рис. 3.2. Тайли SRTM

Просторові об'єкти у форматі .shp завантажуюмо з сайту [19].

Далі виконуємо обрізання растру мозаїки полігональним просторовим об'єктом, що відповідає території дослідження, та перерахунок в СК проекції UTM 35N, датум WGS 84.

На сайті [20] вказано, що дані про висоти SRTM представлені із заповненими порожнинами з розрізненністю 1 кутова секунда (30 метрів), але деякі плиткі можуть все ще містити порожнечі. Тому наступним кроком є заповнення можливих локальних порожнин («фіктивних депресій»). Для цього використаємо інструмент ArcGIS «Заповнити (Fill)». Цей інструмент застосовується під час створення ЦМР із заповненням локальних понижень, видалення помилок і неточностей, властивих вихідним даним. Локальні зниження (і піки) часто являють собою невеликі помилки, що виникають через розрізненність даних або округлення висот до найближчого цілого значення.

Після цих операцій дані ДЗЗ SRTM на територію Рівненської області виглядають так, як показано на Рис. 3.3.

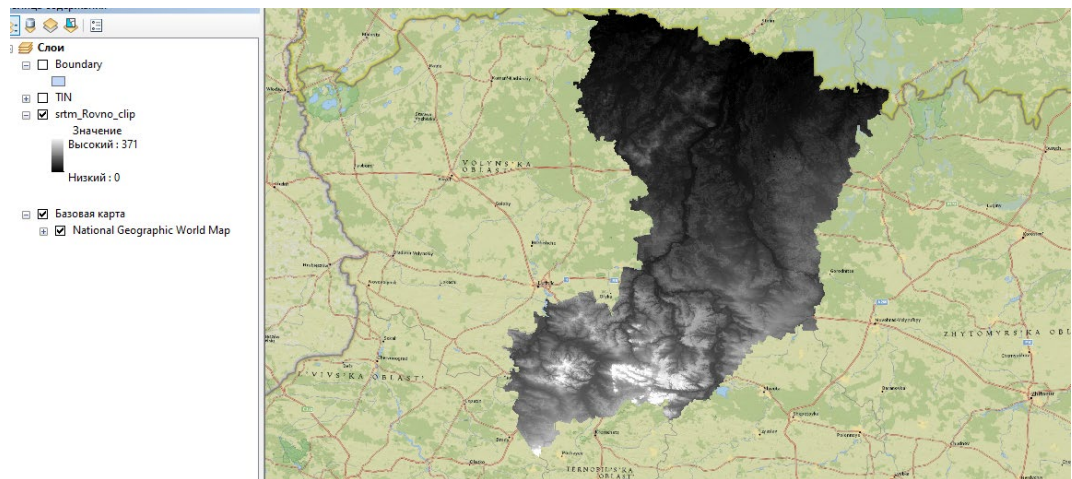


Рис. 3.3. SRTM на територію Рівненської області в програмі ArcGIS

Просторові дані, показані на Рис. 3.3, є початковими даними для подальшої побудови TIN і використанні її в задачах геопросторового аналізу.

### 3.1.1. Побудова тріангуляції TIN в ArcGIS

Отже, з отриманої на попередньому кроці ЦМР Рівненської області за даними SRTM побудуємо TIN. Для цього використаємо інструмент Растр в TIN (Raster To TIN) модуля 3D Analyst програмного забезпечення ArcGIS 10.8.

Інструмент Растр в TIN (Raster To TIN), роботу якого схематично показано на Рис. 3.4, призначений для створення нерегулярної тріангуляційної мережі, поверхня якої не відхиляється від вихідних растрових даних більше, ніж на зазначений допуск Z. Інструмент геообробки Растр в TIN (Raster To TIN) часто використовується для конвертації растру ЦМР, отриманого Геологічною службою США (USGS DEM), у поверхню TIN [1].

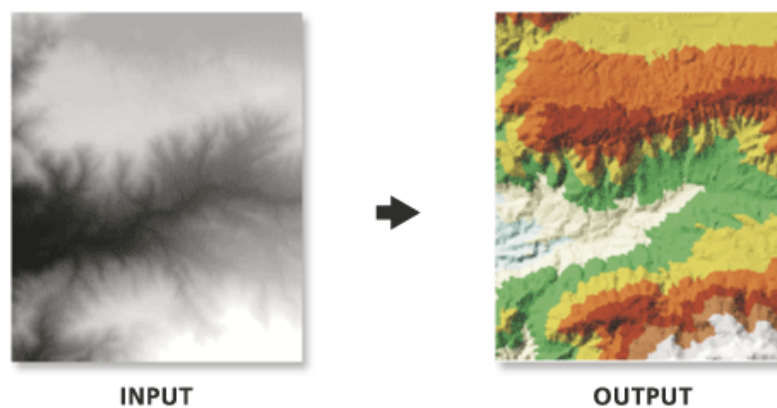


Рис. 3.4. Інструмент Растр в TIN (Raster To TIN)

Інструмент Растр в TIN (Raster To TIN) спочатку створює поверхню TIN з використанням деякої кількості початкових точок, які відповідають центрам пікселів, повністю покриваючи растрову поверхню. Після цього поверхня TIN поступово покращується, доки не буде досягнуто вказаного значення допуску  $Z$  (Рис. 3.5). Це відбувається за рахунок додавання додаткових центрів пікселів по мірі необхідності.

Зона інтерполяції вхідного растру використовується у вихідній поверхні TIN. Полігональне представлення зони інтерполяції вирізається з растру разом зі значеннями  $Z$ , а потім додається до поверхні TIN як полігон плавного відсікання.

Кількість вибраних командою точок є функцією від заданого Допуску  $Z$  ( $Z$  tolerance) та згладженості вхідного растру. При вказівці маленького Допуску  $Z$  або у разі використання топографічно грубої або складної растрової поверхні для побудови TIN потрібно більше точок.

Вказавши максимальну кількість точок, можна встановити обмеження розміру поверхні TIN. Інструмент припинить роботу та поверне помилку, якщо Допуск  $Z$  не досягнутий при досягненні максимальної кількості вузлів мережі TIN. Це число є зразковим, що дозволяє створювати поверхню TIN, що містить дещо більше вузлів. При цьому рекомендується будувати поверхні TIN, що містять кілька мільйонів точок – не більше. Використання вхідних растрів великого розміру та невеликого значення допуску  $Z$  може призвести до перевищення цього числа. Якщо потрібно дуже багато точок, рекомендується обробляти масив даних частинами чи користуватися інструментом геообробки Растр в мультиточки (Raster To Multipoint) з наступним побудовою набору даних terrain [1].

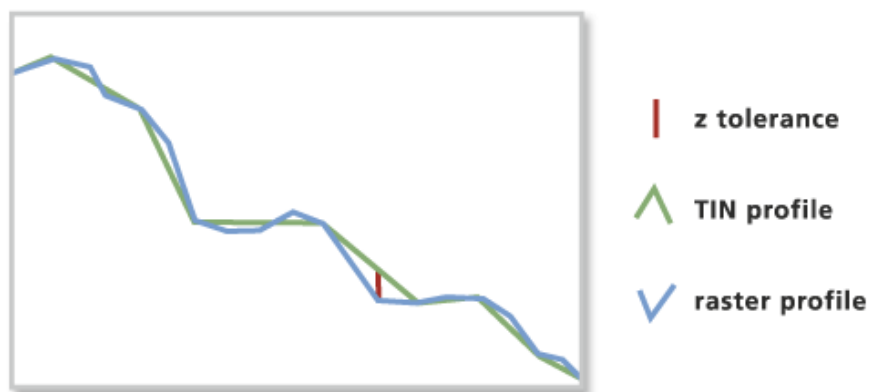


Рис. 3.5. Ілюстрація допуску Z

Коефіцієнт Z (Z factor) використовується для перетворення Z-одиниць (наприклад, з футів на метри). Вихідні значення висот TIN будуть помножені на цей коефіцієнт з метою їхнього перетворення.

Допуск Z (Z tolerance) визначається в одиницях Z вихідної поверхні TIN. Наприклад, якщо одиницями виміру Z вхідного растру є фути і використовується коефіцієнт Z, що дорівнює 0,3048, для конвертації їх у метри у вихідній поверхні TIN Допуск Z також повинен бути вказаний у метрах.

Максимально допустима різниця за умовчанням між висотою початкового растру та вихідною мережею TIN становить 1/10 діапазону z вхідного растру. Тобто якщо розмір пікселя ЦМР 30 м, ця різниця буде становити 3 м.

У той час, як максимальний розмір мережі TIN може становити від 15 до 20 мільйонів вузлів, рекомендується обмежити цей розмір кількома мільйонами. Вхідні растри великого розміру та невеликі параметри z-допуску можуть перевищити його.

Отримана після роботи інструменту Растр в TIN (Raster To TIN) поверхня TIN показана на Рис. 3.6.

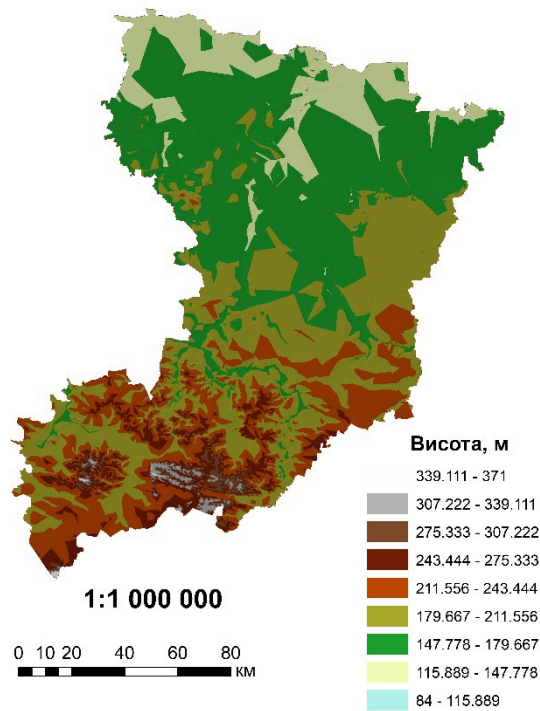


Рис. 3.6. TIN території Рівненської області

### 3.2. Аналіз поверхонь за допомогою TIN

Розглянемо використання TIN для задач аналізу поверхонь у ГІС.

#### 3.2.1. Побудова експозиції схилу

Завдання розрахунку експозицій схилів зазвичай використовується для аналізу освітленості Землі. У зв'язку з цим нерідко виникає потреба додаткового врахування поточного положення Сонця, тобто експозиція обчислюється як напрямок між нормаллю до трикутника та напрямком на Сонце.

*Експозиція (Aspect)* – це напрямок ухилу. Визначає найкрутіший низхідний напрямок у точці на поверхні. Експозицію можна подати як напрямок або азимут ухилу біля пагорба. Експозиція обчислюється для кожного трикутника в TIN і для кожного осередку в растрах.

В ArcGIS це є створення полігональних об'єктів, що являють собою вимірювання експозиції, отримані з поверхні TIN. Експозиція є горизонтальною орієнтацією поверхні і визначається в одиницях градусів. Кожній грані поверхні присвоюється значення, в якому закодовано напрямок нахилу поверхні зі сторін

світу; дотичні області з однаковим кодовим значенням поєднуються в один об'єкт. За умовчанням визначено схему класифікації, подану в Таблиця 3.2.

Таблиця 3.2

Схема класифікації експозиції в ArcGIS

Код	Напрямок ухилу	Діапазон кута експозиції
-1	Плоский	Немає ухилу
1	Північ	0° – 22.5°
2	Північний схід	22.5° – 67.5°
3	Схід	67.5° – 112.5°
4	Південний схід	112.5° – 157.5°
5	Південь	157.5° – 202.5°
6	Південний захід	202.5° – 247.5°
7	Захід	247.5° – 292.5°
8	Північний захід	292.5° – 337.5°
9	Північ	337.5° – 360°

Експозиція вимірюється проти годинникової стрілки у градусах від 0 (північ) до 360 (знову північ), проходячи повне коло (Рис. 3.7). Значення кожної комірки у сітці експозиції вказує на напрямок ухилу комірки. Плоскі ухили не мають напрямку і набувають значення -1.

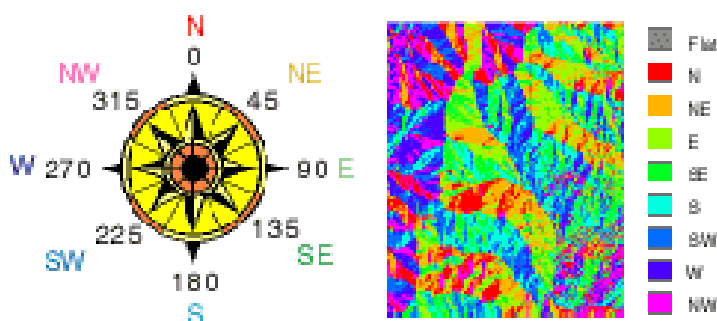


Рис. 3.7. Вимірювання експозиції

Експозиція використовується у наступних задачах [1]:

- знайти усі спрямовані на північ ухили на горі як частину пошуку найкращих ухилів для лижних трас;

- обчислити сонячне освітлення кожної осередки району як частину дослідження визначення різноманітності життя кожному ділянці;
- знайти всі південні ухили в гірських районах для виявлення тих місць, де сніг тоне раніше, у рамках дослідження з метою визначити місця, які першими постраждають від потоку;
- визначити області плоскої поверхні, щоб знайти область для посадки літака у разі надзвичайної ситуації.

Експозиція окремої грані визначається кутом  $\beta$  як напрямком проекції нормалі на горизонтальну поверхню відносно напрямку на північ (Рис. 3.8). Кут обчислюється за формулою [44, 62]:

$$\beta = \arccos\left(\frac{p_c}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2}}\right), \quad (3.1)$$

де  $p_a, p_b, p_c$  – координати нормалі до грані трикутника TIN.

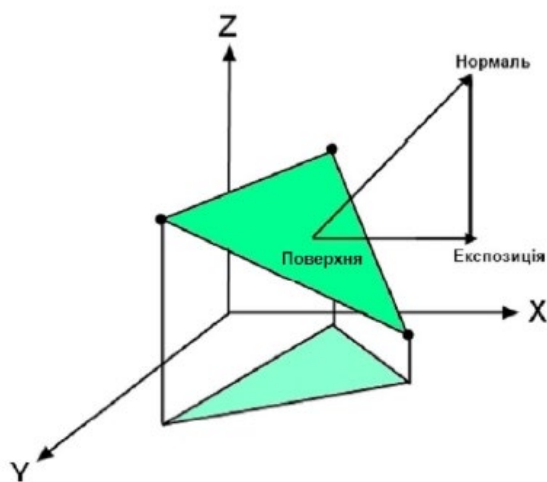


Рис. 3.8. Відображення експозиції схилів [26]

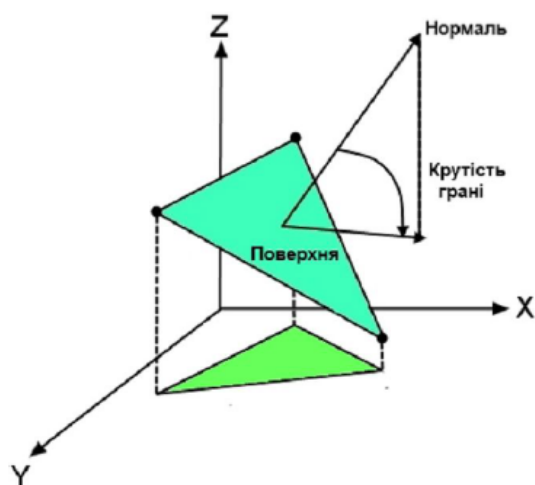


Рис. 3.9. Відображення крутості грані (ухилу) [26]

Розрахунок експозиції схилів для території дослідження показано на Рис. 3.11.

### 3.2.2. Обчислення ухилу поверхні

Ухил (Slope) представляє швидкість зміни висоти для кожної комірки ЦМР. Це є перша похідна ЦМР.



У результати обчислень створюються полігональні об'єкти, що становлять діапазон значень ухилу для тріангульованої поверхні (Рис. 3.10).

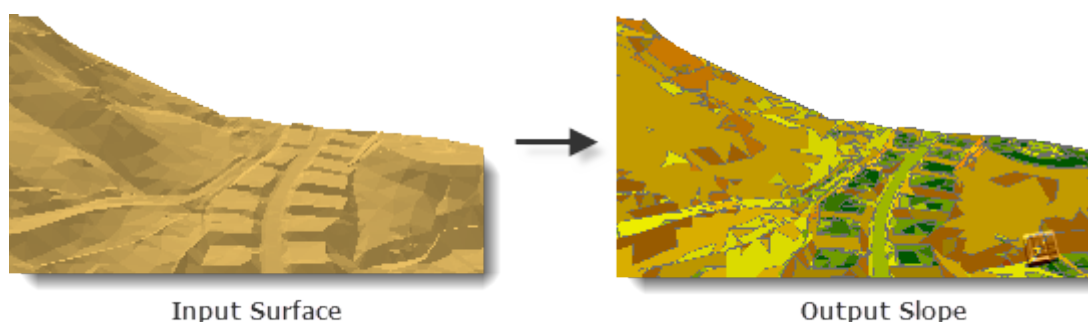


Рис. 3.10. Визначення ухилу поверхні

Кожен вихідний полігон представляє діапазон значень ухилу з урахуванням розбиття на класи, що використовується при запуску відповідного інструменту геообробки ArcGIS. За умовчанням класифікація поділяє вимірювання нахилу на дев'ять груп, які описані в Таблиця 3.3.

Таблиця 3.3

**Схема класифікації ухилів у ArcGIS**

Код ухилу	Відсоток	Градусний діапазон
1	0.00 — 1.00	0.00 — 0.57
2	1.00 — 2.15	0.57 — 1.43
3	2.15 — 4.64	1.43 — 2.66
4	4.64 — 10.0	2.66 — 5.71
5	10.00 — 21.50	5.71 — 12.13
6	21.50 — 46.40	12.13 — 24.89
7	46.40 — 100.0	24.89 — 45.00
8	100.0 — 1000.0	45.00 — 84.29
9	> 1000.0	84.29 — 90.0

Нормаль поверхні кожного трикутника, задана векторним добутком двох ребер трикутника, використовується для визначення ухилу у відсотках чи градусах. Відсотковий ухил описує відношення зміни висоти до горизонтальної проекції нормалі поверхні. Ухил у градусах є кутом відхилення нормалі від горизонтальної площини.

Ухил представляється кутом нахилу нормалі до горизонтальної лінії. Він визначається як доповнення до  $90^\circ$  кута  $\alpha$  (Рис. 3.9) [26, 62]:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{p_c}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 + p_c^2}}\right) \quad (3.2)$$

Розрахунок ухилів для території дослідження показано на Рис. 3.12.

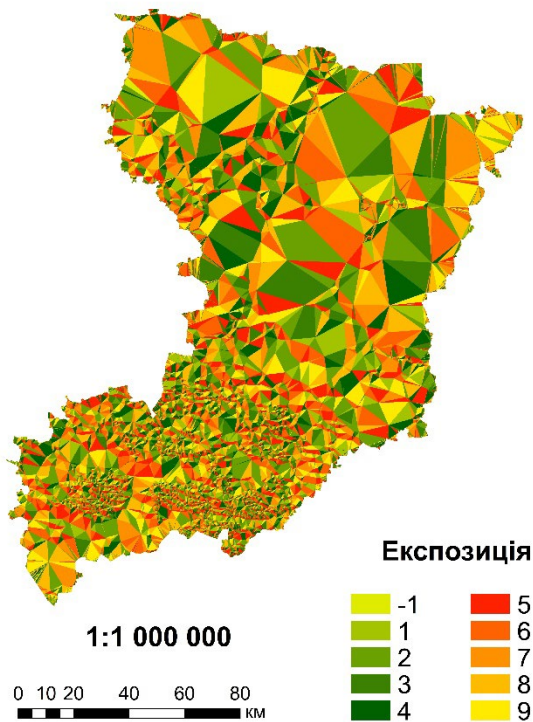


Рис. 3.11. Експозиція за TIN

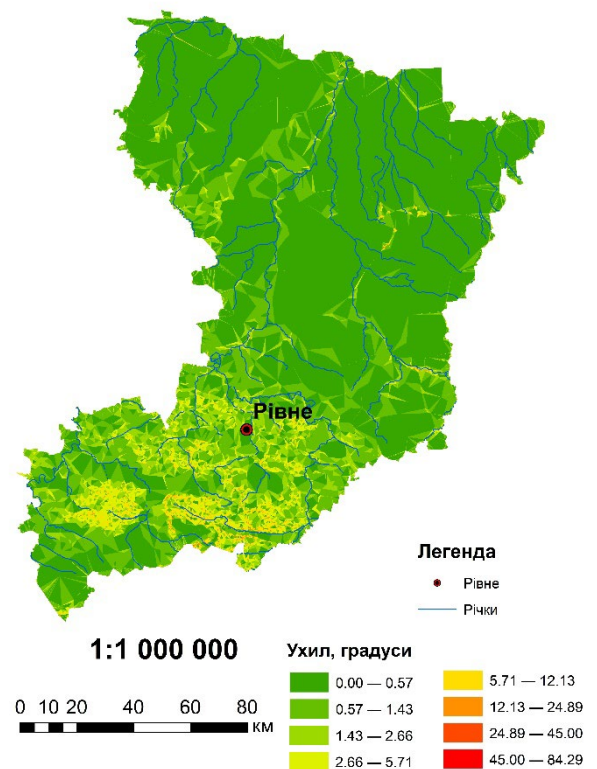


Рис. 3.12. Ухил за TIN

### 3.2.3. Побудова ізоліній

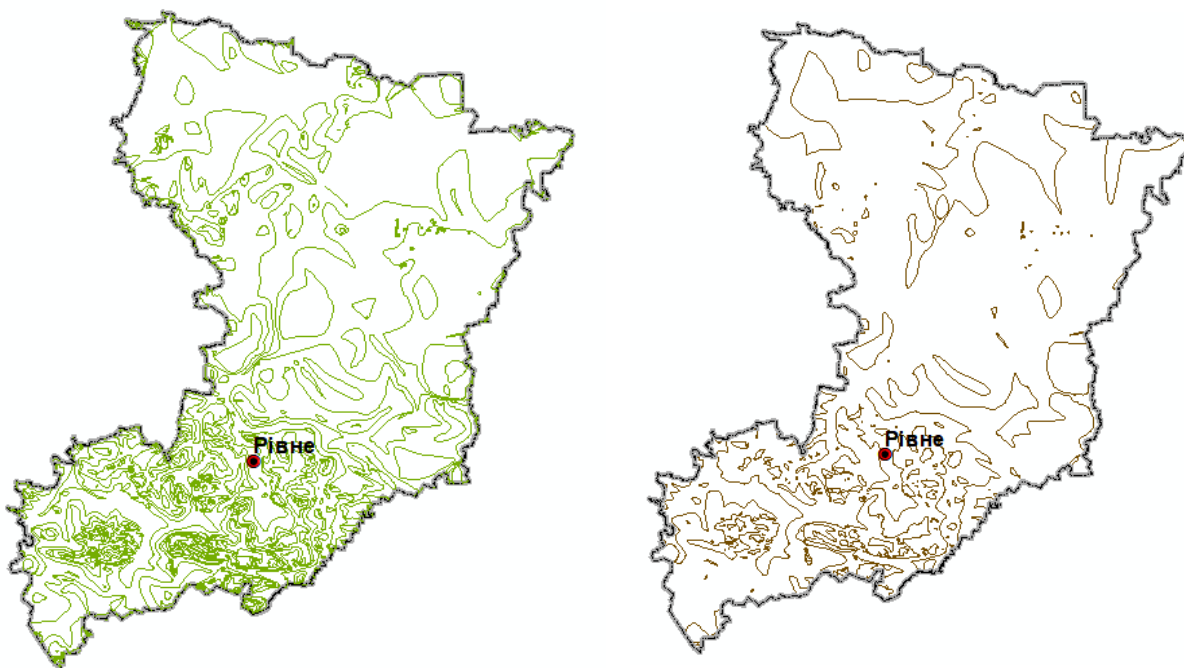
Реалізується інструментом Ізолінії поверхні (Surface Contour), що використовує вхідний набір даних TIN для обчислення ізоліній, які записуються у вихідний клас об'єктів. Інструмент створює 2D клас об'єктів поліліній, висоти ізоліній у якому зберігаються як атрибути.

Ізолінії генеруються безпосередньо за набором даних TIN у межах зони інтерполяції. Використовується метод лінійної інтерполяції. За цим методом кожен трикутник обробляється як площина. Ділянки окремих ізоліній, що знаходяться в межах трикутника, є прямими. Будь-яка зміна напрямку

відбувається лише при переході ізолінії з одного трикутника до іншого. Цей спосіб побудови ізоліній дозволяє створювати ізолінії інженерної якості, що представляють точну лінійну інтерпретацію моделі поверхні [1].

Отримані ізолінії будуть не згладжені, тому переважно не використовуються для створення високоякісних карт. Тому після використання даного інструмента було застосовано інструмент Сгладити лінію. У цьому інструменті було вибрано поліноміальну апроксимацію з використанням експоненційного ядра (РАЕК) (РАЕК в Python). Кожна згладжена лінія може мати більше вершин, ніж вихідна.

Оскільки наша TIN являє собою поверхню висот, то отримані ізолінії є лініями рівних значень висоти, тобто ізогіпсами або горизонталями (Рис. 3.13).



а) висота перерізу рельєфу 20 м

б) висота перерізу рельєфу 50 м

Рис. 3.13. Ізолінії, побудовані за TIN

### 3.3. Пошук оптимального місця розташування на поверхні TIN

Розглянемо вирішення задачі пошуку оптимального місця розташування нового просторового об'єкта – нового готелю на території Рівненської області, використовуючи поверхню TIN.

В якості початкових даних будемо використовувати:

- TIN Рівненської області;
- шар доріг Рівненської області;
- шар водних об'єктів Рівненської області;
- класифікований растр земного покриття Рівненської області;
- координати місць розташування архітектурно-історичні пам'яток Рівненської області;
- координати місць розташування баз відпочинку та готелів Рівненської області.

В якості класифікованого растру земного покриття Рівненської області використаємо дані Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 Collection 3, завантажені з платформи Google Earth Engine [6]. Динамічна карта земного покриття з роздільною здатністю 100 м (CGLS-LC100) є новим продуктом у портфоліо CGLS і забезпечує глобальну карту земного покриття з просторовою роздільною здатністю 100 м. Продукт CGLS Land Cover забезпечує первинну схему покриття землі. Поряд із цими дискретними класами продукт також включає безперервні польові шари для всіх основних класів ґрунтового покриття, які забезпечують пропорційні оцінки для рослинності/ґрунтового покриття для типів ґрунтового покриття. Ця безперервна класифікаційна схема може відображати ділянки гетерогенного ґрунтового покриття краще, ніж стандартна схема класифікації, і, як така, може бути адаптована для застосування (наприклад, моніторинг лісів, моніторинг врожаю, біорізноманіття та збереження, моніторинг навколишнього середовища та безпеки в Африці, моделювання клімату, тощо).

Ці узгоджені карти земного покриття (версії 3.0.1) надаються на період 2015-2019 років по всій земній кулі, отримані з часового ряду PROBA-V 100 м, бази даних високоякісних навчальних майданчиків земного покриття та кількох допоміжних наборів даних, що досягають точність 80 % на рівні 1 протягом багатьох років. Планується надавати щорічні оновлення з 2020 року за

допомогою часового ряду Sentinel. Карту земного покриття Рівненської області показано на Рис. 3.14.

Координати місць розташування архітектурно-історичні пам'яток [4] баз відпочинку і готелів Рівненської області [48] із формату геодезична широта / геодезична довгота перетворюємо в шари точкових просторових об'єктів у ArcGIS.

Шар доріг і шар водних об'єктів Рівненської області завантажуюємо з ресурсу [8] та обрізаємо полігоном кордону Рівненської області.

Розташування початкових векторних об'єктів на території дослідження показано на Рис. 3.15.

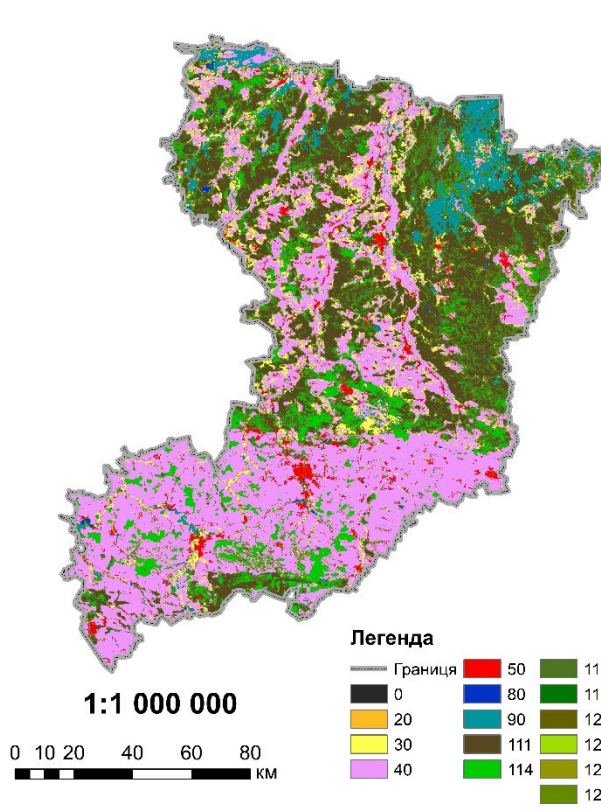


Рис. 3.14. Карта земного покриття Рівненської області

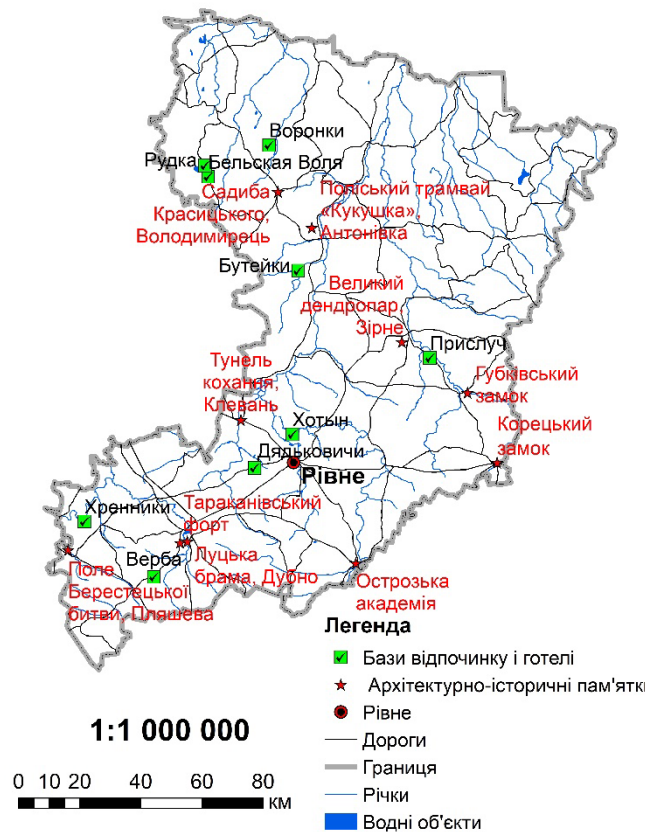


Рис. 3.15. Карта векторних об'єктів Рівненської області

Розшифровку кодів типів покриттів наведено в Таблиця 3.4.

Нам необхідно виконати задачу пошуку оптимального місця положення для нового готелю, який би знаходився якомога далі від існуючих готелів і баз відпочинку, поблизу доріг та якомога ближче до архітектурно-історичних

пам'яток, враховуючи при цьому рельєф місцевості (його параметри братимемо з TIN) та типи земних покривів.

Таблиця 3.4

**Опис типів земних покривів Copernicus Global Land Cover Layers**

<b>Код</b>	<b>Опис типу покриву</b>	<b>Код</b>	<b>Опис типу покриву</b>
0	Невідомо. Супутникових даних немає або недостатньо.	113	Закритий ліс, листяний хвойний лист
20	Чагарники	114	Закритий ліс, широколистяний
30	Трав'яниста рослинність	115	Закритий ліс, мішаний.
40	Культивована рослинність	116	Закритий ліс, який не відповідає жодному з інших визначень.
50	Забудовані землі	121	Відкритий ліс, вічнозелений голчастий лист
60	Гола або розріджена рослинність. Землі з відкритим ґрунтом, піском або камінням	122	Відкритий ліс, вічнозелений широкий лист
70	Сніг і лід	123	Відкритий ліс, листяний хвойний лист
80	Постійні водойми	124	Відкритий ліс, широколистяний
90	Трав'яниста водно-болотна місцевість	125	Відкритий ліс, змішаний.
100	Мох і лишайник.	126	Відкритий ліс, який не відповідає жодному з інших визначень.
111	Вічнозелений хвойний лист	200	Океани, моря. Можуть бути як прісні, так і солоні водойми.
112	Закритий ліс, вічнозелений широкий лист		

Тематичну карту ухилів побудовано в пункті 3.2.2.

Будуємо растр відстаней від зон відпочинку та від архітектурно-історичних пам'яток за допомогою інструменту Евклідова відстань (Euclidean Distance). Евклідова відстань обчислюється з центру комірок джерел до центру кожної комірки. Для кожної комірки відстань до кожної комірки джерела обчислюється шляхом обчислення гіпотенузи, при цьому катетами є значення

$x\_max$  і  $y\_max$ . Це обчислення дає справжню Евклідову відстань, а не відстань між комірками. Визначається найкоротша відстань до джерела, і якщо вона менша, ніж задана максимальна відстань, місцезнаходженню на вихідному растрі присвоюється значення. Вихідні значення для растра Евклідова відстані – це значення відстаней, виражені числами з плаваючою комою. Якщо комірка розташована на однаковій відстані від двох або декількох джерел, вона буде віднесена до того джерела, яке було першим знайдено в процесі сканування. Процес сканування не можна контролювати [1]. Побудовані растри показано на Рис. 3.16.

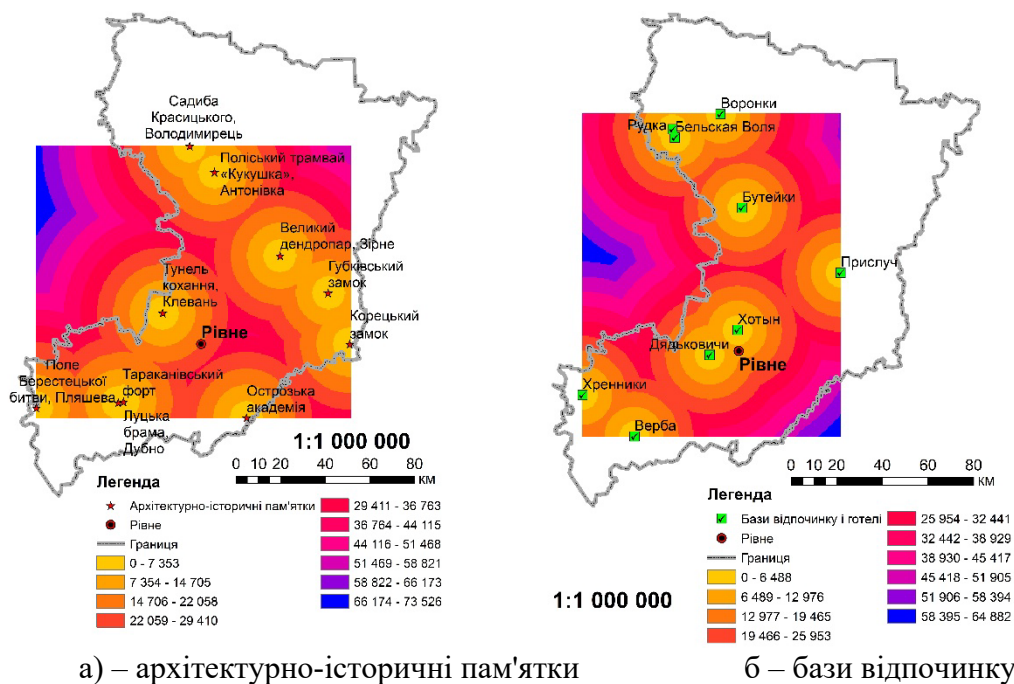


Рис. 3.16. Растри евклідових відстаней

Наступним кроком є перекласифікація (Reclassify) растрів ухилу та евклідових відстаней на шкалу 0, 1, ..., 10 методом рівних інтервалів, де значення 0 означитиме відсутність впливу, 10 – максимальний вплив. Наприклад, значення 10 означитиме інтервал найменших значень ухилів, 10 для растру евклідових відстаней пам'яток – найменший інтервал до існуючих пам'яток (оскільки новий готель повинен бути розташований до них якнайближче), але 10 для растру евклідових відстаней готелів – найбільший інтервал.

Тепер просторові дані готові для виконання комбінування, щоб знайти найбільш підходяще розташування для нового готелю. Значення розрахункових даних, тобто ухил, відстань до архітектурно-історичних пам'яток і зон відпочинку, перекласифіковані на єдину шкалу (найбільш відповідні комірки мають найвищі значення).

Далі було виконано зважування та комбінування наборів даних за допомогою інструмента Зважене накладання (Weighted Overlay). Даний інструмент накладає кілька растрів з використанням загальної шкали вимірів, при цьому зважуючи кожен шар відповідно до його значущості. Виключаємо з розрахунків останні два значення ухилів, а також невідомі, водні об'єкти та болота, іншим типам земних покривів надаємо наступні значення:

- чагарники, трава – 5;
- гола або розріджена рослинність – 10;
- забудована територія – 3;
- культивована рослинність – 9;
- ліс – 4.

Також для кожного з перерахованих растрів впливу призначаємо відсотки впливу на підставі значущості (або ваги) растра, яку може мати растр для заключної карти придатності:

- перекласифікований ухил: 13;
- перекласифікована відстань до готелів: 25;
- перекласифікована відстань до пам'яток: 50;
- перекласифіковані типи земних покривів: 12.

Результатом роботи є растр, на якому по шкалі 0...10 показано ділянки, які є найбільш придатними для будівництва за вищенаведеними критеріями. На отриманому растрі найбільшими значеннями є 9.

Придатні розташування зони повинні включати кілька пікселів зі значенням 9, з'єднаних разом, тому наступним кроком було виділення оптимальних груп пікселів за допомогою інструментів Умова (Con) і Фільтр



більшості (Majority Filter). Після цього перетворюємо пікселі оптимальної ділянки у векторний формат за допомогою інструмента Растр у полігони (Raster to Polygons).

Далі за допомогою інструмента Вибрати за положенням вибираємо ті оптимальні ділянки, які перетинають шар доріг, і експортуємо їх в окремий просторовий об'єкт. Результат наведено на .

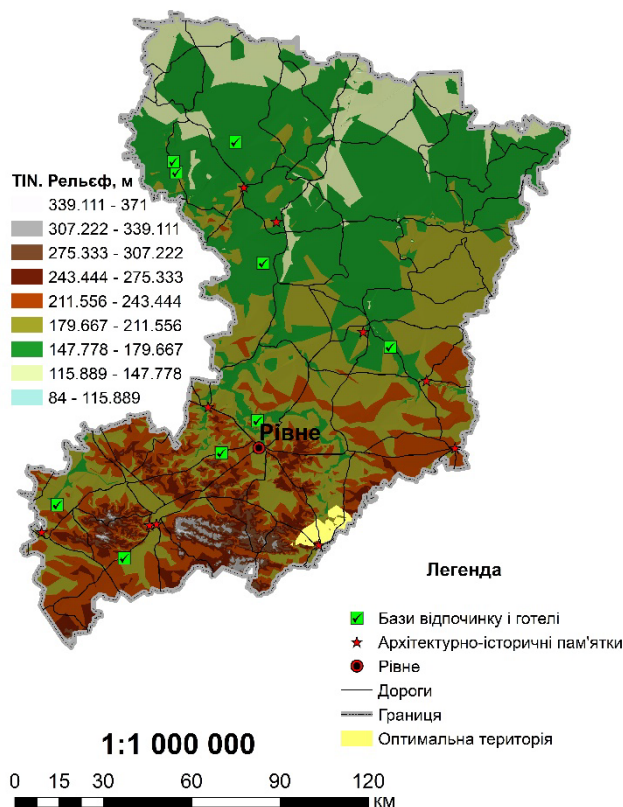


Рис. 3.17. Розташування оптимальної ділянки для будівництва

### Висновки до розділу 3

Завдання побудови триангуляції є одним із базових у обчислювальній геометрії. До неї зводяться багато інших завдань, вона широко використовується в машинній графіці та геоінформаційних системах для моделювання поверхонь та розв'язання просторових завдань.

Нерегулярні триангуляційні мережі TIN використовуються в ГІС протягом багатьох років і є способом цифрового відображення структури поверхні. TIN є формою векторних цифрових географічних даних, що будуються методом

триангуляції набору вершин (крапок). Вершини з'єднуються серією ребер і утворюють мережу трикутників. Існують різні методи інтерполяції для формування цих трикутників, наприклад, триангуляція Делоне. ArcGIS підтримує метод триангуляції Делоне.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1. Вплив галузей промисловості на екологічний стан навколишнього середовища

Відповідно до даних Державної служби статистики України [Ошибка! Источник ссылки не найден.], зайняте населення у віці 15-70 років в Україні за видами економічної діяльності поділяється на 16 категорій. Ними є :

- сільське, лісове та рибне господарство;
- промисловість;
- будівництво;
- оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів та мотоциклів;
- транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність;
- тимчасове розміщування й організація харчування;
- інформація та телекомунікації;
- фінансова та страхова діяльність;
- операції з нерухомим майном;
- професійна, наукова та технічна діяльність;
- діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування;
- державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування;
- освіта;
- охорона здоров'я та надання соціальної допомоги;
- мистецтво, спорт, розваги та відпочинок;
- інші види економічної діяльності.

Інформація про кількість зайнятого населення за видами економічної діяльності за 2020 рік подана в Таблиця 4.1.

**Зайняте населення України у віці 15-70 років за видами економічної діяльності у  
2020 році**

<b>№</b>	<b>Вид економічної діяльності</b>	<b>Зайняте населення, тис. осіб</b>	<b>Частка у загальній кількості зайнятого населення, %</b>
1	Оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів	3648,7	22,93
2	Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство	2721,2	17,10
3	Промисловість	2358,6	14,82
4	Освіта	1394,9	8,76
5	Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	975,2	6,13
6	Охорона здоров'я та надання соціальної допомоги	935,4	5,88
7	Державне управління й оборона; обов'язкове соціальне страхування	901,9	5,67
8	Будівництво	664,4	4,17
9	Професійна, наукова та технічна діяльність	418,2	2,63
10	Інші види економічної діяльності	363,4	2,28
11	Діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування	304,6	1,91
12	Тимчасове розміщування й організація харчування	285,4	1,79

Продовження Таблиця 4.1

13	Інформація та телекомунікації	283,7	1,78
14	Операції з нерухомим майном	251,2	1,58
15	Фінансова та страхова діяльність	212,5	1,34
16	Мистецтво, спорт, розваги та відпочинок	196,0	1,23
	<b>Всього</b>	<b>15915,3</b>	<b>100,00</b>

Помітно, що переважна більшість зайнятого населення займаються трьома видами економічної діяльності : оптовою та роздрібною торгівлею; ремонтом автотранспортних засобів і мотоциклів, сільським, лісовим та рибним господарством, а також промисловістю, яка вважається однією із найбільших забрудників навколишнього середовища.

Відповідно до 16 статті Конституції України, забезпечення екологічної безпеки і підтримання екологічної рівноваги на території України є обов'язком держави [53]. Ці процеси регулюються Постановою Верховної Ради України “Про основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки”. Ця постанова визначає промисловість як головний чинник забруднення навколишнього середовища.

Головними причинами, що призводять до погіршення стану навколишнього середовища з боку промисловості є:

- застаріла технологія виробництва та обладнання, висока енергомісткість та матеріаломісткість, що перевищують у два-три рази відповідні показники розвинутих країн;
- високий рівень концентрації промислових об'єктів;

- несприятлива структура промислового виробництва з високою концентрацією екологічно небезпечних виробництв;
- відсутність належних природоохоронних систем (очисних споруд, оборотних систем водо забезпечення тощо), низький рівень експлуатації існуючих природоохоронних об'єктів;
- відсутність належного правового та економічного механізмів, які стимулювали б розвиток екологічно безпечних технологій та природоохоронних систем;
- відсутність належного контролю за охороною довкілля.

Металургійна промисловість, що включає чорну та кольорову металургію, коксове та прокатне виробництво, а також суміжні допоміжні об'єкти і процеси, є однією з найбільш забруднюючих галузей промисловості, викиди якої від стаціонарних джерел забруднення досягають 38 % загальної кількості забруднюючих речовин.

Вплив підприємств нафтохімічного комплексу на стан навколишнього природного середовища характеризується викидами в атмосферу вуглеводнів, сірчаної кислоти, сірковуглецю, ртуті, фтористих та інших шкідливих сполук.

У ряді регіонів України висока концентрація хімічних та нафтохімічних виробництв призвела до занадто високого рівня забруднення джерел водопостачання. У відкриті водойми хімічні підприємства скидають щорічно 70 млн. м<sup>3</sup> неочищених або недостатньо очищених стоків. Хімічна промисловість – одна з основних галузей, де утворюються у великих обсягах відходи, значна кількість яких – токсичні.

Підприємства нафтогазового комплексу за рівнем шкідливого впливу на довкілля вважаються об'єктами підвищеного екологічного

ризик. Вони є потенційними джерелами забруднення довкілля, що може статися у разі порушення технологічних режимів роботи устаткування чи аварійної ситуації. Деякі об'єкти забруднюють довкілля і за нормальних умов роботи, що зумовлено існуючими технологічними процесами.

Багаторічна енергетично-сировинна спеціалізація, а також низький технологічний рівень промисловості України поставили її в число країн з найвищими абсолютними обсягами утворення та накопичення відходів. Обсяг утворення відходів у 1996 році становив 700-720 млн тон.

Скорочення обсягів виробництва, яке спостерігалось у більшості галузей економіки впродовж 1991-1996 рр., суттєво не позначилося на загальній ситуації щодо утворення відходів. За станом на 1996 рік загальна маса накопичених на території України відходів у поверхневих сховищах перевищила 25 млрд. тон, що в розрахунку на 1 км<sup>2</sup> площі становить близько 40 тис. тон.

Відходи нагромаджуються у вигляді шламосховищ, териконів, відвалів, різних звалищ. Площа земель, зайнята ними, становить близько 160 тис. гектарів.

Внаслідок гіпертрофованого розвитку гірничодобувної промисловості в Україні домінують відходи, що утворюються під час розробки родовищ (до 75 % загального обсягу) та збагачення корисних копалин (відповідно 13 і 14 %). Значну частину цих обсягів становлять відходи хіміко-металургійної переробки сировини.

З урахуванням сучасного технологічного рівня переробки відходів в Україні серед загальної кількості відходів, що утворюються щороку, реальну цінність становлять 410430 млн. тон. Утилізується лише третина загальної кількості відходів. Це свідчить про значні ресурсні резерви. Проте, впродовж 1992-1996 рр. спостерігалася стійка тенденція до зниження обсягів використання відходів (щорічно в середньому на 20 % менше у порівнянні із попереднім роком), яке відбувалося вищими темпами, ніж скорочення загальних обсягів промислового виробництва.

Рівень утилізації відходів вторинних ресурсів, що існує не впливає на поліпшення стану довкілля. Це пов'язано з тим, що до переробки залучаються в основному великотоннажні гірничопромислові та деякі інші відходи – малотоксичні чи нейтральні (інертні). Тому екологічний ефект переробки відходів є незначним. До категорії високотоксичних належать лише 1-2 % всіх

промислових відходів, але їх вплив на довкілля дедалі зростає. Однак до цього часу не збудовано жодного спеціалізованого заводу з переробки токсичних промислових відходів, немає належним чином організованої системи збирання, зберігання та видалення токсичних відходів, відсутні техніка та обладнання для переробки відходів будівництва і комунального господарства.

Недостатні норми адміністративної та кримінальної відповідальності за порушення правил збирання, зберігання, транспортування та використання промислових та інших відходів.

Однобокість екологічної політики виявляється також у недостатньому екологічному контролі за масовим використанням деяких інших відходів (фосфогіпсу, вапняково-сірчаних шлаків тощо). Це є додатковим джерелом забруднення природного середовища [54].

#### **4.2. Шляхи вирішення проблем охорони навколишнього середовища**

Відповідно до Постанови Верховної Ради України “Про основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки”, основним завданням у найближчі роки у галузі охорони довкілля від негативного впливу промисловості є запобігання збільшенню рівня забруднення та виснаження природних об’єктів.

Розв’язання проблем техногенно-екологічної безпеки потребує:

- здійснення перебудови техногенного середовища, технічного переозброєння виробничого комплексу на основі впровадження новітніх наукових досягнень, енерго- і ресурсоощадних технологій, безвідходних та екологічно безпечних технологічних процесів, застосування відновлюваних джерел енергії, розв’язання проблем знешкодження і використання всіх видів відходів;
- налагодження ефективного екологічного контролю за науково-дослідними роботами зі створення об’єктів штучного походження, їх проєктування, будівництва та функціонування з метою управління



техногенними навантаженнями, раціональним використанням природних ресурсів і розміщенням продуктивних сил;

- проведення класифікації регіонів України за рівнями техногенно-екологічних навантажень, створення карт техногенно-екологічних навантажень;
- розробки методології визначення ступеня екологічного ризику для довкілля, обумовленого техногенними об'єктами;
- проведення досліджень з метою створення системи моделей моніторингового контролю за об'єктами спостережень у промисловості, енергетиці, будівництві, транспорті й сільському господарстві.

Програма дій передбачає заходи щодо протидії двом типам шкідливих впливів техногенного середовища:

- в режимі нормальної експлуатації, зумовленої недосконалістю техніки та технології виробництва, переробки відходів;
- в аварійному режимі, внаслідок відхилення від звичайно допустимих умов експлуатації, що спричиняє або може спричинити такий вплив на людину та природні об'єкти [54].

Окремо у програмі передбачено заходи щодо металургійної, хімічної та нафтохімічної, нафтогазової та нафтопереробної, машинобудівної, видобувної промисловостей.

Одним із пріоритетних напрямів мінімізації накопичення промислових відходів є повернення їх у виробництво з метою вилучення цінних компонентів і використання їх як вторинних ресурсів [54].

Ще одним документом, що регулює питання охорони навколишнього середовища і напряму пов'язаний із тематикою магістерського дослідження є Закон України Про оцінку впливу на довкілля, який прийшов на зміну Закону України “Про екологічну експертизу”. Цей Закон встановлює правові та організаційні засади оцінки впливу на довкілля, спрямованої на запобігання

шкоді довкіллю, забезпечення екологічної безпеки, охорони довкілля, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, у процесі прийняття рішень про провадження господарської діяльності, яка може мати значний вплив на довкілля, з урахуванням державних, громадських та приватних інтересів.

Оцінка впливу на довкілля здійснюється з дотриманням вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища, з урахуванням стану довкілля в місці, де планується провадити плановану діяльність, екологічних ризиків і прогнозів, перспектив соціально-економічного розвитку регіону, потужності та видів сукупного впливу (прямого та опосередкованого) на довкілля, у тому числі з урахуванням впливу наявних об'єктів, планованої діяльності та об'єктів, щодо яких отримано рішення про провадження планованої діяльності або розглядається питання про прийняття таких рішень.

Цим законом встановлено дві категорії підприємств, які підлягають обов'язковій оцінці впливу на довкілля.

Перша категорія видів планованої діяльності та об'єктів, які можуть мати значний вплив на довкілля і підлягають оцінці впливу на довкілля, включає 22 пункти, серед яких до об'єктів промисловості відносяться:

- 1) нафтопереробні та газопереробні заводи (крім підприємств, що виготовляють із сирової нафти виключно мастильні матеріали), установки з газифікації або зрідження вугілля чи бітумінозного сланцю;

- 2) теплові електростанції (ТЕС, ТЕЦ) та інші потужності для виробництва електроенергії, пари і гарячої води тепловою потужністю 50 мегават і більше з використанням органічного палива, атомні електростанції та інші ядерні реактори, включаючи будівництво, виведення (зняття) з експлуатації таких електростанцій або реакторів (крім дослідницьких установок для виробництва і конверсії ядерного палива та сировини для одержання вторинного

ядерного палива, матеріалів, що діляться та відтворюються, потужність яких не перевищує 1 кіловат постійного теплового навантаження);

3) установки для виробництва або збагачення ядерного палива, установки для переробки відпрацьованого ядерного палива та високоактивних відходів, установки для захоронення радіоактивних відходів, зберігання (понад 10 років) чи переробки відпрацьованого ядерного палива або радіоактивних відходів поза межами місця їх утворення;

4) чорна та кольорова металургія (з використанням руди, збагаченої руди чи вторинної сировини, із застосуванням металургійних, хімічних або електролітичних процесів);

5) споруди з видобування, виробництва і перероблення азбесту, азбестовмісних продуктів: азбестоцементної продукції потужністю понад 20 тисяч тон на рік, фрикційних матеріалів – понад 50 тон на рік готової продукції, інших виробів - понад 200 тон на рік;

6) хімічне виробництво, в тому числі виробництво основних хімічних речовин, хімічно-біологічне, біотехнічне, фармацевтичне виробництво з використанням хімічних або біологічних процесів, виробництво засобів захисту рослин, регуляторів росту рослин, мінеральних добрив, полімерних і полімервмісних матеріалів, лаків, фарб, еластомерів, пероксидів та інших хімічних речовин; виробництво та зберігання наноматеріалів потужністю понад 10 тон на рік.

7) поводження з відходами: операції у сфері поводження з небезпечними відходами (зберігання, оброблення, перероблення, утилізація, видалення, знешкодження і захоронення), операції у сфері поводження з побутовими та іншими відходами (оброблення, перероблення, утилізація, видалення, знешкодження і захоронення) обсягом 100 тон на добу або більше;

8) видобування нафти та природного газу на континентальному шельфі;

9) трубопроводи для транспортування газу, нафти, хімічних речовин діаметром понад 800 міліметрів і довжиною понад 40 км;

10) виробництво та переробка целюлози, виробництво паперу та картону з будь-якої сировини виробничою продуктивністю, що перевищує в сухому вигляді 200 тон на добу;

11) кар'єри та видобування корисних копалин відкритим способом, їх перероблення чи збагачення на місці на площі понад 25 га або видобування торфу на площі понад 150 га;

12) потужності для зберігання нафти, нафтохімічної або хімічної продукції місткістю 200 тис. тон або більше;

13) установки для уловлювання вуглекислого газу з джерел, зазначених у цій частині, або з річною потужністю 1,5 мегатони та більше, геологічні сховища вуглекислого газу;

Друга категорія видів планованої діяльності та об'єктів, які можуть мати значний вплив на довкілля та підлягають оцінці впливу на довкілля, включає 14 категорій, із яких до промисловості можна віднести:

1) глибоке буріння, у тому числі геотермальне буріння, буріння з метою зберігання радіоактивних відходів, буріння з метою водопостачання (крім буріння з метою вивчення стійкості ґрунтів);

2) видобувну промисловість: видобування корисних копалин, крім корисних копалин місцевого значення, які видобуваються землевласниками чи землекористувачами в межах наданих їм земельних ділянок з відповідним цільовим використанням, перероблення корисних копалин, у тому числі збагачення;

3) енергетичну промисловість: зберігання та переробка вуглеводневої сировини (газу природного, газу сланцевих товщ, газу, розчиненого у нафті, газу центрально-басейнового типу, газу (метану) вугільних родовищ, конденсату, нафти, бітуму нафтового, скрапленого газу), поверхнєве та підземне зберігання викопного палива чи продуктів їх переробки на площі 500 м<sup>2</sup> і більше або

об'ємом (для рідких або газоподібних) 15 м<sup>3</sup> і більше, промислове брикетування кам'яного і бурого вугілля, гідроелектростанції на річках незалежно від потужності, гідроакумуючі електростанції, вітрові парки, вітрові електростанції, що мають дві і більше турбіни або висота яких становить 50 м і більше;

4) виробництво та обробку металу: установки для випалювання або агломерації металевих руд (у тому числі сульфідної руди), установки для обробки чорних металів, нанесення захисних розпилених металевих покриттів з подачею сирової сталі продуктивністю, що перевищує 2 тонни за годину, установки для виплавляння, включаючи легування сплавів, кольорових металів, у тому числі рекуперованих продуктів (рафінування, ливарне

виробництво тощо), плавильною продуктивністю, що перевищує 4 тонни на добу для свинцю та кадмію або 20 тонн на добу для інших металів, установки для поверхневої обробки металів у чанах з пластичних матеріалів з використанням електролітичних або хімічних процесів, якщо об'єм переробного технологічного чана перевищує 30 кубічних метрів, виробництво і складання автомобілів, виробництво двигунів, верфі, підприємства з виготовлення і ремонту літаків, виробництво і ремонт залізничного рухомого складу та устаткування для інфраструктури залізничного транспорту, штампування з використанням вибухових речовин;

5) переробку мінеральної сировини: коксові печі, інші установки для виробництва коксу або графіту, виробництво цементу або цементного клінкеру, виробництво вапна в обсязі, що перевищує 50 тонн на добу, виробництво скла, у тому числі виготовлення скляного волокна, в обсязі, що перевищує 20 тонн на добу, виплавка мінеральних речовин, у тому числі виробництво мінеральних волокон, виробництво керамічних продуктів шляхом випалювання, зокрема покрівельної черепиці, цегли, вогнестійкої цегли, керамічної плитки, кам'яної кераміки або фарфорових виробів, виробничою продуктивністю понад 75 тон за

добу та/або випалювальних печей місткістю більш як 4 кубічні метри і щільністю затвердіння на піч понад 300 кілограмів на 1 метр кубічний;

б) хімічну промисловість: установки для виробництва вибухових речовин, установки, в яких хімічні і біологічні процеси використовуються для виробництва білкових кормових добавок, ферментів та інших білкових речовин, зберігання хімічних продуктів (базисні і витратні склади, сховища, бази);

7) харчову промисловість: виробництво продуктів харчування шляхом обробки та переробки: сировини тваринного походження (крім молока) продуктивністю виходу готової продукції понад 75 тон на добу; сировини рослинного походження продуктивністю виходу готової продукції понад 300 тонн на добу (середній показник за квартал); молока, якщо обсяг одержаного молока перевищує 200 тон на добу (на основі середньорічного показника), пакування та консервування тваринних і рослинних продуктів у обсязі понад 50 тон на добу, виробництво молочних продуктів в обсязі понад 20 тон на добу, виробництво пива та солоду в обсязі понад 50 тон на добу, виробництво кондитерських виробів та патоки в обсязі понад 20 тон на добу, виробництво крохмалю, підприємства з переробки риби і риб'ячого жиру, бійні продуктивністю понад 10 тон на добу, цукрові заводи;

8) підприємства текстильної, шкіряної, деревообробної і паперової промисловості продуктивністю понад 1 тонну на добу: з первинної обробки (промивання, відбілювання, мерсеризація; аоо фарбування волокон чи текстилю, з обробки шкірсиловини та хутра, з дублення шкір, з оброблення деревини (хімічне перероблення деревини, виробництво деревоволокнистих плит, деревообробне виробництво з використанням синтетичних смол, консервування деревини просоченням), з промислового виробництва і переробки паперу та картону з будь-якої сировини [54].

У законі також передбачена гласність оцінки впливу на довкілля та громадські обговорення планової діяльності, описано процедуру повідомлення про плановану діяльність, яка підлягає оцінці впливу на довкілля, визначення

обсягу досліджень та рівня деталізації інформації та зміст звіту з оцінки впливу на довкілля.

За порушення даного закону особи можуть притягуватися до дисциплінарної, адміністративної, цивільної чи кримінальної відповідальності.

#### **Висновки до розділу 4**

Однією із найбільших галузей, в якій задіяне зайняте населення України, є промисловість. В той же час промисловість на сьогодні є одним із найбільших чинників забруднення навколишнього середовища. Це, в свою чергу, зобов'язує державу контролювати ці процеси, аби в майбутньому ці процеси не стали безповоротними.

Контроль за охороною навколишнього середовища контролюється багатьма нормативно-правовими актами, серед яких можна виокремити наступні : Конституція України, Постанова Верховної Ради України “Про основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки”, а також Закон України “Про оцінку впливу на довкілля”

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, гігієнічних або лікувально-профілактичних заходів і засобів спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

### 5.1. Опис робочого місця. Умови праці суб'єкта. Перелік шкідливих та небезпечних чинників, що діють на суб'єкта

#### 5.1.1. Опис робочого місця та умови праці суб'єкта.

Дана дипломна робота присвячена геоінформаційному аналізу ринку праці на території України, а отже передбачає роботу за комп'ютером. Приміщення, у якому проводилася робота, являє собою окрему кімнату загальною площею  $30\text{ м}^2$ . Приміщення має 4 робочих місця ( $7,5\text{ м}^2$  на кожного), обсяг –  $25\text{ м}^3$  на одного працівника (Рис. 5.1). Дані розміри відповідають Державним санітарним правилам і нормам роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин [37].

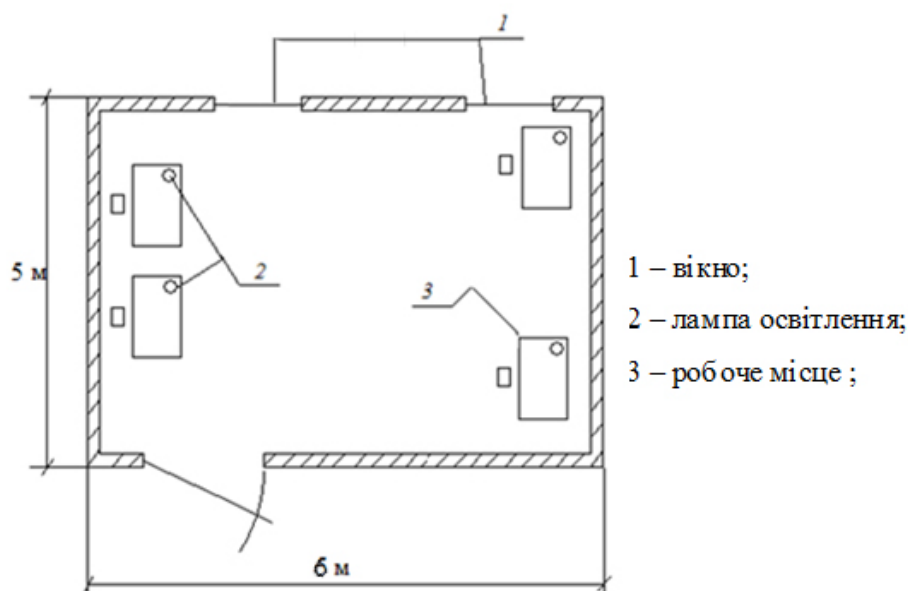


Рис. 5.1. Схема робочого приміщення

При такому виді діяльності варто дотримуватися багатьох правил, вимог та норм, оскільки їх недотримання може бути не тільки призвести до помилок у



роботі, а й бути небезпечними не тільки для здоров'я, але і для життя працюючого.

### **5.1.2. Перелік шкідливих та небезпечних чинників, що діють на суб'єкта.**

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74(1999) [28] оператор ПК під час роботи у робочій зоні може знаходитися під впливом наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена або понижена температура повітря в робочій зоні;
- низька освітленість робочої зони;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- підвищений рівень статичної електрики.

Розглянемо перераховані фактори окремо.

Підвищений рівень шуму негативно впливає на людину. Довготривала дія шуму на організм людини спричиняє хронічну перевтому, зниження працездатності, погіршення сну, сонливість, зниження слуху, головний біль, відчуття важкості (особливо під кінець робочого дня).

Порушення норм температурного режиму може загрожувати здоров'я людини. Так, підвищення температури вище  $+25^{\circ}\text{C}$  може спричинити головний біль, млявість, зниження уваги, а разом із тим – і зниження працездатності. А от робота за температури нижче  $15^{\circ}\text{C}$  загрожує хворобами органів дихання, скованістю рухів, а також загостренням інших хронічних хвороб.

Робота при недостатній освітленості робочої зони також негативно впливає на здоров'я працівників, оскільки може спричинити такі захворювання, як короткозорість, кон'юнктивіт, блефарит, ністагм, астеновегетативні порушення, неврози тощо. Також робота при низькій освітленості викликає швидке втомлення.

При тривалій та інтенсивній дії електромагнітного випромінювання у людини виникає зниження або підвищення артеріального тиску, випадіння

волосся, ламкість нігтів. Тяжкість її наслідків прямо залежить від напруженості ЕМП, фізичних особливостей різних діапазонів частот, тривалості впливу, умов навколишнього середовища, а також від функціонального стану та стійкості організму до впливу різних чинників, можливостей адаптації.

Систематичний вплив електростатичного поля підвищеної напруженості негативно впливає на організм людини, викликаючи, в першу чергу, функціональні розлади центральної нервової та серцево-судинної систем.

## **5.2. Організаційні та конструктивно-технологічні заходи для зниження впливу шкідливих виробничих факторів.**

### *Підвищений рівень шуму на робочому місці.*

Основні характеристики і граничні рівні шуму на робочих місцях, визначені у ДСН 3.3.6.037-99 “ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки” [39]. Прийнятний рівень звукового тиску (SPL) для аналітичних та вимірювальних робіт становить 60 дБА. Захист від шуму забезпечується розробкою шумобезпечної техніки, застосуванням засобів і методів колективного захисту та застосуванням засобів індивідуального захисту.

Колективні засоби захисту поділяються на засоби, що знижують шум у джерелі його виникнення, і засоби, що знижують шум на шляху його поширення від джерела до об’єкта, що захищається.

Зниження шуму в джерелі здійснюється за рахунок поліпшення конструкції машини або зміни технологічного процесу. Методи і засоби колективного захисту, включають:

- ✓ зміну спрямованості випромінювання шуму;
- ✓ раціональне планування підприємств і виробничих приміщень;
- ✓ акустичну обробку приміщень;
- ✓ застосування звукоізоляції.

ЗІЗ застосовуються в тому разі, якщо іншими способами забезпечити допустимий рівень шуму на робочому місці не вдається. Принцип дії ЗІЗ —

захистити найбільш чутливий канал впливу шуму на організм людини — вухо. Застосування ЗІЗ дозволяє попередити розлад не тільки органів слуху, а й нервової системи від дії надмірного подразника.

#### *Підвищена або понижена температура повітря в робочій зоні*

Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88(1998) про “Загальні Санітарно-гігієнічні Вимоги до Повітря робочої зони”[30], а також ДСН 3.3.6.042-99 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”[40] у виробничих приміщеннях при виконанні робіт з більш високим емоційним навантаженням, оптимальні значення температури повітря для приміщення з категорією робіт Іа знаходяться в діапазоні 22-24°C для холодної пори року й 23-25 °С для теплої пори року.

Для виконання даних норм та вимог приміщення має мати належне опалення у холодну пору року та кондиціонери у теплу пору року.

Якщо у виробничих приміщеннях через технологічні вимоги до виробничого процесу, технічну недосяжність або економічно обґрунтовану недоцільність не можна встановити допустимі величини мікроклімату, на підприємстві встановлюють заходи щодо захисту від можливого охолодження, зокрема:

- виділяють спеціальні місця для обігріву, встановлюють засоби для швидкого та ефективного обігрівання верхніх і нижніх кінцівок (локальний променево-контактний обігрів і тощо);
- встановлюють внутрішньозмінний режим праці та відпочинку, що передбачає можливість перерв для обігріву;
- забезпечують працюючих засобами індивідуального захисту (одяг, взуття, рукавиці).

#### *Низька освітленість робочої зони*

Робота з електричними приладами вимірювання належить класу V зорової роботи - висока точність. Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 “Природне і штучне освітлення”[35] для цього типу роботи рівень штучного освітлення унормований

такими характеристиками: комплексне освітлення - 300-400 лк (у тому числі в загальній складності 200 люкс); в загальній системі освітленості 200-300 лк.

Норми освітлення залежать від параметрів, які передбачено роботою. Відстань від очей до предмета праці повинна бути визначена в кожному окремому випадку. Що менше відношення діаметра деталі до відстані від очей, то інтенсивнішим повинно бути освітлення. При цьому необхідно урахувати й здатність поверхні відбивати світло. Спектр джерел світла повинен максимально наближатися до спектра сонячного випромінювання. Важливо також захистити очі робітники від сліпучого світла. Усі системи освітлення повинні забезпечувати правильне сприйняття відтінків світла, аби в робочих приміщеннях було рівномірне освітлення, тому слід подбати як про загальне, так і про місцеве освітлення. Освітлювальні пристрої мають забезпечувати гігієнічні вимоги: освітлення, якого було б достатньо для виконання певної роботи без напруження зору; рівномірність освітлення, без тіней, у межах робочої поверхні, рівень освітлення проходів; захист очей від блиску; виконання вимог безпеки (шляхом обладнання в окремих випадках аварійного освітлення).

#### Розрахунок освітлення робочого приміщення

У кімнаті, де розташоване робоче місце інженера, використовується комплекс освітлення, тобто поєднання природного і штучного освітлення. Природним освітленням є світло, що приходить через бічні вікна. Штучне освітлення використовується, коли не вистачає природного світла. Тип світильника: підвісний світильник растровий для громадських приміщень SVA від ТМ Alubest.

Розрахунок проводиться за методом коефіцієнту використання. Таким розрахунком користуються для проектування внутрішнього освітлення, коли необхідно визначити кількість світильників, необхідну для належного рівня освітленості.

Знаходимо висоту світильника над робочою поверхнею:

$$h = H - h_t - h_l, \quad (5.1)$$

де  $H$  – висота приміщення, м;

$h_t$  – висота столу, м;

$h_l$  – висота світильника, м.

$$h = 3,33 - 0,75 - 0,1 = 2,48 \text{ м.}$$

Розраховуємо індекс приміщення:

$$i = \frac{ab}{h(a+b)}, \quad (5.2)$$

де  $a$  – довжина кімнати, м;  $b$  – ширина кімнати, м;  $h$  – висота світильника над робочою поверхнею, м.

$$i = 6 * 5 / 2,48 * (6 + 5) = 1,0997$$

Коефіцієнт відбиття від стелі становить 70%, від стіни на 50% і 10% - від підлоги.

Вибір характеристик ламп: лампи типу ЛД Т8 18 Вт, напруга 220+ / - 11В.

Особливості даної лампи: довжина  $L_l = 600$  мм, діаметр:  $W_l = 28$  мм, світловий потік  $F = 1200$  лм, чотири лампи ЛД від 18 Вт потужності кожна. Таким чином, світловий потік світильника  $F_l = 4800$  лм.

Враховуючи індекс приміщення, всі коефіцієнти відображення і тип світильника, за таблицею знаходимо коефіцієнт світлового потоку  $\eta = 0.46$ ;

Визначимо світловий потік  $F$ :

$$F = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\eta} \quad (5.3)$$

де  $E$  – нормована мінімальна освітленість,  $E = 300$  лк;

$K$  – коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку лампи в результаті забруднення світильників в процесі експлуатації (його значення залежить від типу приміщення і характеру робіт, що проводяться в ньому, в нашому випадку  $K = 1,5$ );

$S$  – площа приміщення;

$Z$  відношення середньої освітленості до мінімальної (зазвичай приймається рівним 1,1... 1,2, в нашому випадку  $Z = 1,1$ );

$$F = 300 * 1.5 * 30 * 1.1 / 0.44 = 33\ 750 \text{ Лм.}$$

Для освітлення використані люмінесцентні лампи типу SVA від ТМ Alubest, світловий потік яких  $F = 4\ 800$  Лм розрахуємо необхідну кількість ламп у світильниках за формулою:

$$N = \frac{F}{F_l}, \quad (5.4)$$

У результаті обчислень отримаємо:  $N = \frac{33\ 750}{4\ 800} = 7$

Отже, для нормального освітлення робочої кімнати необхідно встановити 7 світильників типу SVA від ТМ Alubest.

#### *Підвищений рівень електромагнітного випромінювання*

Вимоги до умов праці, що має у собі елементи електромагнітного випромінювання, визначені у ГОСТ 12.1.002-84 “ССБТ. Електричні поля промислової частоти. Допустимі рівні напруженості і вимоги до проведення контролю на робочих місцях” [29], а також ДСанПіН 3.3.6.096-2002 “Державні санітарні норми та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів”[38].

При організації праці, що пов'язана з використанням персонального комп'ютера, мають бути дотримані вимоги Державних санітарних правил і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами (далі - ВДТ). За умови дотримання вимог зазначених вище Державних санітарних правил і норм та Правил охорони праці, умови праці працівників, які у своїй роботі застосовують ВДТ, незалежно від його виду, не належать до категорії із шкідливими і важкими умовами праці. Разом з тим працівникам (незалежно від обійманої посади), які працюють на електронно-обчислювальних та обчислювальних машинах (у тому числі на персональних комп'ютерах незалежно від виду монітора) і яким тривалість щорічної відпустки не визначена іншими нормативно-правовими

актами, надається право на щорічну додаткову відпустку за особливий характер праці тривалістю до 4 календарних днів. Конкретна тривалість щорічної додаткової відпустки за особливий характер праці встановлюється колективним чи трудовим договором залежно від часу зайнятості працівника в цих умовах. Облік часу, відпрацьованого в зазначених умовах, здійснюється власником або уповноваженим ним органом.

#### *Підвищений рівень статичної електрики.*

Рівень статичної електрики вважається безпечним за відсутності іскових розрядів, а також не перевищення значень напруженостей електростатичного поля на робочому місці, зазначених у ГОСТ 12.1.045-84 “Електростатичні поля, допустимі рівні на робочих місцях та вимоги до проведення контролю”[31].

Гранично припустима напруженість електростатичного поля ( $E_{дон}$ ) на робочому місці інженера - програміста не перевищує: при тривалості (t) впливу, рівному 1 ч – 60 кВ/м, 9 ч – 20 кВ/м.

### **5.3. Пожежо- та вибухонебезпека.**

Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 “Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою” [41] приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою відноситься до категорії Д - приміщення, в яких знаходяться негорючі речовини та матеріали в холодному стані.

Пожежна та вибухова безпека – це стан об’єкту, при якому виключається виникнення пожежі і вибуху, а у випадку появи запобігається дія на людей небезпечних факторів пожежі і вибуху.

Робоче місце небезпечне у пожежному відношенні, тим, на ньому задіяні комп’ютери, які під’єднані до електричної мережі. Електричний струм може стати джерелом виникнення пожежі.

Пожежна безпека під час експлуатації установки забезпечується:

- системою заходів запобігання пожежі;

- системою заходів протипожежного захисту;
- організаційно-технічними заходами.

У разі пожежі перш за все необхідно вимкнути електричний струм. Пожежі, спричинені електричним струмом, забороняється гасити повітряно-пінними вогнегасниками. Для таких цілей підходять виключно порошковий та вуглекислотний вогнегасник, який повинен бути у робочій кімнаті. Також у приміщенні може бути встановлена система автоматичного пожежогасіння, а також датчики та система пожежної безпеки.

План евакуації із приміщення показаний на Рис. 5.2.

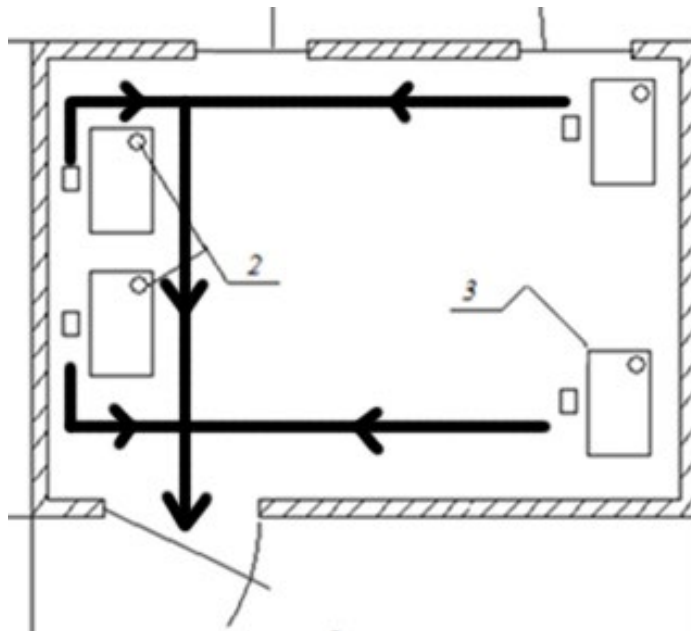


Рис. 5.2. План евакуації із приміщення

#### **5.4. Інструкція з охорони праці при обслуговуванні.**

Перед початком роботи необхідно:

- перевірити справність обладнання, інструменту, приладів;
- перевірити наявність і справність достатнього освітлення, вентиляції, обладнання тощо;
- перевірити справність рубильників, розеток, штепсельних з'єднань тощо.



- у випадку виявлення будь-яких відхилень, несправностей, пошкоджень негайно повідомити директора Підприємства.

Під час роботи необхідно:

- ✓ виконувати роботу згідно із своїми посадовими обов'язками.
- ✓ не залишати без нагляду своє робоче місце, коли обладнання підключено до електромережі;
- ✓ у випадку виявлення будь-яких відхилень, несправностей, пошкоджень негайно повідомити директора Підприємства.

Після закінчення роботи необхідно: перевірити своє робоче місце; відключити від електромережі електрообладнання; закрити вікна.

Дії при аварійній ситуації:

- при виявленні небезпечної ситуації (пожежа, неполадки в електрогосподарстві тощо) для власного життя та життя співробітників заспокоїтися і заспокоїти оточуючих.
- не усувати самому несправностей електромережі та електрообладнання, а вимкнути загальне електропостачання
- при виявленні пожежі негайно викликати пожежну частину.
- вжити заходів згідно з планом евакуації на випадок пожежі

Перерахуємо дії, які потрібно виконати при ураженні електричним струмом: необхідно звільнити потерпілого від дії електричного струму, відключивши електрообладнання від джерела живлення, а при неможливості відключення – відтягнути його від струмоведучих частин за одяг або застосувавши підручний ізоляційний матеріал; за відсутності у потерпілого дихання і пульсу необхідно робити йому штучне дихання і непрямий (зовнішній) масаж серця, звернувши увагу на зіниці. Розширені зіниці свідчать про різке погіршення кровообігу мозку. При такому стані оживлення необхідно починати негайно, після чого викликати швидку медичну допомогу.

## **Висновки до розділу 5**

Охорона праці є надзвичайно важливою для робітника, оскільки дотримання всіх відповідних правил, норм та стандартів є гарантією безпеки робітника на підприємстві.

## ВИСНОВКИ

Завдання побудови тріангуляції є одним із базових у обчислювальній геометрії. До нього зводяться багато інших завдань, TIN широко використовується в машинній графіці та ГІС для моделювання поверхонь та розв'язання задач просторового аналізу.

1. Розкрито суть поняття TIN та задач просторового аналізу ГІС, що можуть розв'язуватись за її допомогою.
2. Проаналізовано алгоритми побудови та аналізу тріангуляції. Наведено умови Делоне, описано способи перевірки виконання умови Делоне в тріангуляції.
3. Описано алгоритми побудови тріангуляції Делоне, особливу увагу приділено ітераційним алгоритмам побудови тріангуляції Делоне.
4. За допомогою програмного забезпечення ArcGIS виконано побудову тріангуляції TIN за даними супутникової місії SRTM для Рівненської області. Виконано побудову за TIN морфометричних характеристик рельєфу– ізоліній, ухилів, експозиції схилів.
5. На основі моделі TIN території Рівненської області за допомогою інструментів ГІС виконано просторовий аналіз геоданих території дослідження, у результаті якого виділено ділянки на TIN, найбільш придатні для будівництва нового готелю / бази відпочинку з врахуванням типів земних покривів, рельєфу, дорожньої мережі, розташованих на території області архітектурно-історичних пам'яток та існуючих баз відпочинку і готелів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ArcGIS Desktop. Режим доступу: <https://desktop.arcgis.com/>
2. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. - Москва: Мир, 1972.
3. Англо-русско-украинский словарь по ГИС и ДЗЗ: учеб. пособие / Г.Г. Пивняк, Б.С. Бусыгин, Г.М. Коротенко, Л.М. Коротенко; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д., НГУ , 2014. – 378 с.
4. Архітектурно - Історичні пам'ятки Рівненська область. Режим доступу: [https://ua.igotoworld.com/ua/poi\\_catalog/2301-211-historical-architectural-rivne-oblast.htm?page=4](https://ua.igotoworld.com/ua/poi_catalog/2301-211-historical-architectural-rivne-oblast.htm?page=4)
5. Buchin K., Costa Sousa M., Dollner J., Samavati F., Walther M. Illustrating terrains using direction of slope and lighting // In Proc. 4th ICA Mountain Cartography Workshop, 2004, pp. 259-269.
6. Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 Collection 3. Режим доступу: <https://earthengine.google.com/>
7. David DiBiase, Michael DeMers, Ann Johnson, Karen Kemp, Ann Taylor Luck, Brandon Plewe, and Elizabeth Wentz. - Geographic Information Science & Technology. Body of Knowledge [Electronic Resource].
8. DIVA-GIS. Режим доступу: [diva-gis.org](http://diva-gis.org)
9. Evans I. S. The selection of class intervals. Trans. Inst. Br. Geogr. (N. S.), 1977, 2, p. 98-124.
10. Ерунова М. Г., Гостева А. А. Географические и земельноинформационные системы. Ч. 1. Технология создания векторной земельно-кадастровой карты средствами ГИС-программы векторизатора GeoDraw for Windows: методические указания. – Красноярск : КГАУ, 2004. – 84 с.

11. Global Elevation Data Now Available in Esri Maps– ArcNews, Spring, 2007.
12. Іщук О. О., Коржнев М. М., Кошляков О. Є. Просторовий аналіз в ГІС : навчальний посібник / за ред. акад. Д. М. Гродзинського. – Київ: ВПЦ Київський університет, 2003. – 195 с.
13. Lawson C. Transforming triangulations // Discrete Mathematics. 1972. N 3. P. 365-372.
14. Lee D. Proximity and reachability in the plane // Tech. Rep. N. R-831, Coordinated Sci. Lab. Univ. of Illinois at Urbana. 1978.
15. Lingas A. The Greedy and Delaunay triangulations are not bad // Lect. Notes Comp. Sc. 1983. Vol. 158. P. 270-284.
16. Manacher G., Zobrist A. Neither the Greedy nor the Delaunay triangulation of planar point set approximates the optimal triangulation // Inf. Proc. Let. 1977. Vol. 9. N LP. 31-34.
17. Manacher G., Zobrist A. Neither the Greedy nor the Delaunay triangulation of planar point set approximates the optimal triangulation // Inf. Proc. Let. 1977. Vol. 9. N LP. 31-34.
18. Sibson R. Locally equiangular triangulations // Computer Journal. 1978. Vol. 21. N. 3. P. 243-245.
19. The Humanitarian Data Exchange. Режим доступу: <https://data.humdata.org/>
20. U.S. Geological Survey (USGS) Earthexplorer. Режим доступу: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
21. Voronoi G. Nouvelles applications des parameters continues a la theorie des formes quadratiques. Deuxieme Memorie: Recherches sur les parralleloeddres primitifs // J. reine angew. Math. 1908. N. 134. P. 198-287.

22. Zamirets O. Accuracy investigations of digital terrain models / Olga Zamirets // The Zhukovsky National Aerospace University Conference. – 2012.
23. Zamirets O. Building triangulation irregular network model based on regular GRID data / Olga Zamirets // Science looks ahead. – 2012. – №11 – P. 12.
24. Бугаевский Л. М., Цветков В. Я. Геоинформационные системы. – Москва: Златоуст, 2000. – 222 с.
25. Бурачек В. Г., Железняк О. О., Зацерковный В. И. Геоінформаційний аналіз просторових даних : монографія. - Ніжин : ТОВ “Видавництво “Аспект-Поліграф”, 2011. - 440 с.
26. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с.
27. Геоінформаційні системи в науках про Землю : монографія / В. І. Зацерковний, І. В. Тішаєв, І. В. Віршило, В. К. Демидов. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2016. – 510 с.
28. ГОСТ 12.0.003-74(1999) “Небезпечні і шкідливі виробничі фактори Класифікація”.
29. ГОСТ 12.1.002-84 “ССБТ. Електричні поля промислової частоти. Допустимі рівні напруженості і вимоги до проведення контролю на робочих місцях”.
30. ГОСТ 12.1.005-88(1998) про “ Загальні Санітарно-гігієнічні Вимоги до Повітря робочої зони”.
31. ГОСТ 12.1.045-84 “Електростатичні поля, допустимі рівні на робочих місцях та вимоги до проведення контролю”.
32. Данные SRTM Eurasia / Shuttle radar topographic mission [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2\\_1/SRTM3/Eurasia](http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/Eurasia). –12.11.2011.

33. Де Мерс. Географические информационные системы. Основы / Де Мерс, Н. Майкл : пер. с англ. – Москва: Дата+, 1999. – 489 с.
34. Делоне Б.Н. О пустоте сферы // Изв. АН СССР. ОМЭН. 1934. № 4. С. 793-800.
35. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
36. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>. (дата звернення : 02.12.2021).
37. ДСанПІН 3.3.2.007-98 “Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин”.
38. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 “Державні санітарні норми та правила під час роботи з джерелами електромагнітних полів”.
39. ДСН 3.3.6.037-99 “ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки”.
40. ДСН 3.3.6.042-99 “Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень”.
41. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 “Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою”.
42. Дьяконов К. Н. и др. Современные методы географических исследований : кн. для учителя. - М. : Просвещение - АО “Учебная литература”, 1996.-207 с.
43. Замирец О.О., Андреев С.М. Методика построения 3D модели триангуляционной нерегулярной сети на основе данных регулярной решетки высот. Системи обробки інформації, 2013, випуск 5 (112), 34-37.
44. Зейлер М. Моделирование нашего мира: руководство ESRI по проектированию базы геоданных / М. Зейлер; пер. с англ. – Москва: СП ООО Дата+, 2004. – 254 с.

- 45.Ильман В.М. Экстремальные свойства триангуляции Делоне // Алгоритмы и программы, ВИЭМС. Вып. 10(88). М., 1985. С. 57-66.
- 46.Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. и др. Геоинформатика. – Москва: Академия, 2005. – 480 с.
47. Конституція України, прийнята на п'ятій сесії Верховної Ради України 28 червня 1996 р. [Електронний ресурс] // Відомості Верховної Ради України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр> (дата звернення : 02.12.2021).
- 48.Курорты и отдых Ровенская область. Режим доступа: [https://ua.igotoworld.com/ru/poi\\_catalog/2301-545-resorts-leisure-rivne-oblast.htm](https://ua.igotoworld.com/ru/poi_catalog/2301-545-resorts-leisure-rivne-oblast.htm)
- 49.Лопандя А. В., Немтинов В. А. Основы ГИС и тематического цифрового картографирования. - Тамбов: ГОУ ВПО ТГТТУ, 2007. - 72 с.
- 50.Лошкарева А. Геоинформационная система: теория, общая информация, руководство пользователя электронным атласом и базой данных “Сохранение биоразнообразия лососевых рыб Камчатки и их устойчивое использование”. - М.: Изд-во ВНИРО, 2008. - 110 с.
- 51.Митчелл Э. Руководство по ГИС-анализу. Ч. 1. Пространственные модели и взаимосвязи. – 177 с.
- 52.Мусин О. Р. Диаграмма Вороного и триангуляция Делоне. Информационный бюллетень. ГИС-Ассоциация. - 1999. -Т. 19. - С. 53-54.
53. Про основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки : Постанова Верховної Ради України від 5 березня 1998 року № 188/98-ВР. URL :



- <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/188/> 98-вр (дата звернення : 02.12.2021).
54. Про оцінку впливу на довкілля : Закон України від 23 травня 2017 року № 2059-VIII. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (дата звернення : 02.12.2021).
55. Сербенюк С. Н. Картографія і геоінформатика - їх взаємодія. - М. : Издво МГУ, 1990.
56. Скворцов А. В. Эффективные алгоритмы вычислительной геометрии и их реализация в геоинформационной системе : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.13.16 – Применение вычислительной техники, математического моделирования и математических методов в научных исследованиях / Томский государственный университет. Томск, 1998. 20 с.
57. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение / А.В. Скворцов. – Томск: ТГУ, 2002. – 128 с.
58. Скворцов А.В., Мирза Н.С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. – Томск: Издво Том. ун-та, 2006. – 168 с.
59. Хромых В.В. Цифровые модели рельефа / В.В. Хромых, О.В. Хромых. – Т.: ТМЛ – Пресс, 2007. – 178 с.
60. Чандра А. М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. - М.: Техносфера, 2008. - 312 с.
61. Черваньов І. Г., Костріков С. В., Воробйов Б. Н. Флювіальні геоморфосистеми: дослідження й розробки Харківської геоморфологічної школи / наук. ред. І. Г. Черваньов. - Харків : РВВ Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, 2006. - 320 с.

- 62.Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем : навч. посіб. / В. Д. Шипулін ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2010. – 313 с.
- 63.Шипулін В. Д., Кучеренко Є. І. Планування і управління ГІС-проектами. - Харків : ХНАМГ, ХНУРЕ, 2009. - 158 с.