УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Будівельний факультет

Кафедра вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою

ОБРОБКА ДАНИХ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИШУКУВАНЬ ДЛЯ ПОБУДОВИ ЦММ

Пояснювальна записка
до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

ВПГЗ. 314.193.2026.ПЗ.

Розробив: студент 4 курсу гр. 103-ГЗ-Д22
Каріна СІЧКАР
Спеціальність: 193 Геодезія та землеустрій
Керівник: к.т.н доц. Ужвієва О.М.
Нормоконтроль: к.т.н доц. Орел Є.Ф
Зав. кафедри: д.т.н проф. Угненко Є.Б

Рецензент: доктор філософії з наук про Землю**,** доцент**,** доцент кафедри геодезії, землеустрою та земельного кадастру Одеського державного аграрного університету, Сопов Д.С.

2026

ВПГЗ

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Факультет будівельний
Кафедра вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою
Освітній рівень: бакалавр
Спеціальність: 193 Геодезія та землеустрій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри,
професор д-р техн. наук

_____Є.Б. Угненко

« ___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Січкар Каріні Олександрівні

1 Тема: КВКР «Обробка даних топографо-геодезичних вишукувань для побудови ЦММ»
_____
Керівник Ужвієва Олена Миколаївна, канд. техн. наук, доцент _____
затверджені розпорядженням по будівельному факультету від «18» травня 2026 року № 18
2 Строк подання студентом закінченої роботи 15 червня 2026 року
3 Зміст пояснювальної записки Вступ. 1. Нормативно-правова основа. 2. Обробка даних інженерних вишукувань. 3. Аналіз існуючих методів побудови цифрової моделі рельєфу (ЦМР). 4. Створення цифрової моделі ситуації (ЦМС) Висновки. _____

4 Перелік графічного матеріалу 1. Мета та основні задачі дослідження. 2. Інженерні вишукування. 3. Інженерно-геодезичні вишукування для будівництва лінійних об'єктів. 4. Прилади для виконання інженерно геодезичних та інженерно-геологічних вишукувань. 5. Основні елементи створення цифрової моделі місцевості. 6. Структура цифрової моделі місцевості. 7. Алгоритм створення цифрової моделі місцевості.8. Висновки.

5. Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основні розділи	доц. Ужвієва О.М.		

6 Дата видачі завдання «18» травня 2026 року

ВНЗ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1. Огляд джерел інформації	18.05. – 24.05.2026	
2. Огляд нормативно-правової основи	24.05. – 30.05.2026	
3. Ознайомитись з методами інженерно-геодезичних вишукувань для будівництва лінійних об’єктів	30.05. – 05.06.2026	
4. Провести аналіз приладів для виконання інженерно геодезичних та інженерно-геологічних вишукувань	05.06. – 10.06.2026	
5. Провести аналіз складових частин цифрової моделі місцевості	10.06 – 16.06.2026	
6. Оформлення кваліфікаційної роботи та презентації	16.06. – 18.06.2026	
7. Підписання кваліфікаційної роботи	18.06.2026	

Студент _____

Керівник _____

ВПГЗ

УДК 528

Тема випускної кваліфікаційної роботи: Обробка даних топографо-геодезичних вишукувань для побудови ЦММ

Автор Січкар Каріна Олександрівна, студент гр.103 – ГЗ Д22

кафедри *вишукувань та проектування шляхів сполучення, геодезії та землеустрою*

Українського державного університету залізничного транспорту , 2026 рік;

Обсяг пояснювальної записки: 43кількість аркушів текстової частини, 13 ілюстрацій, ___-__фотографій, __-__таблиць, __-___додатків, __25__літературних джерел.

Обсяг графічного / презентаційного матеріалу: 10 аркушів.

Мета та метод дослідження (виконання роботи): дослідження побудови цифрової моделі місцевості (ЦММ) на основі топографо-геодезичних та інженерно-геологічних вишукувань

Отримані результати: детально розглянуто методи створення цифрових моделей місцевості.

Новизна випускної кваліфікаційної роботи:досліджено алгоритм обчислень створення цифрової моделі рельєфу, з якої можна отримати профілі перетину місцевості, виокремити ізолінії поверхні з необхідним кроком, визначати будь-які координати всередині моделі, відстані і висоти.

Область використання: моделі місцевості застосовуються в маркшейдерії, геодезії, проектними інститутами для вибору оптимального маршруту лінійного об'єкта.

ВГЗ

Зміст

ВСТУП 6
1. Нормативно-правова основа 9
1.2 Поняття автоматизації геодезичних робіт 9
1.3 Види й умови здійснення топографо-геодезичної і картографічної діяльності ... 11
2 Обробка даних інженерних вишукувань 15
2.1 Інженерно-геодезичні вишукування 15
2.2 Інженерно-геологічні вишукування 20
2.3 Інженерно-екологічні вишукування 22
3 Аналіз існуючих методів побудови цифрової моделі рельєфу (ЦМР) 25
3.1 Основні визначення 25
3.2 Тріангуляція Делоне і способи її редагування 27
3.3 Аналіз рельєфу (поверхонь) 31
3.4 Побудова цифрової моделі рельєфу 36
4 Створення цифрової моделі ситуації (ЦМС) 38
4.1 Топографічні об’єкти цифрової моделі ситуації 38
4.2 Створення цифрової моделі місцевості для окремої ділянки 39
ВИСНОВКИ 41
Список використаних джерел 42

ВПГЗ

					ВПГЗ. 314.193.2026 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		*Січкар К.О*			*Обробка даних топографо-геодезичних вишукувань для побудови ЦММ*	Літ.	Арк. 4 / Акрушів 43
Перевір.		*Ужвієва О.М*					
Н. Контр.		*Орел Є.Ф*				УкрДУЗТ	
Затверд.		*Угненко Є.Б*					

ВСТУП

Поняття «воєнний стан» визначено одночасно у двох Законах України «Про правовий режим воєнного стану» [1] та «Про оборону України» [2], однак у зазначений період та у повоєнний період є необхідним здійснення значних планованих, за принципами сталого розвитку, відновлювальних соціально-економічних, екологічних, містобудівних, сільськогосподарських та інших заходів, які відносяться до сфери землеустрою і містобудування. Зараз у середовищі будівельників, бізнесу, архітекторів та громад гостро стоїть питання будівництва та організації територій. Однак для нас важливо розглянути інструменти які мають закласти комплексний підхід до зонування і лише потім землеустрою і містобудування є основною економічною одиницею, яке продукує виробництво і економічні відносини

Сьогодні топографо-геодезичні роботи виконуються за допомогою високоточних вимірювальних приладів. Знімальні роботи великих територій проходять в польових умовах і вся вихідна знімальна інформація нагромаджується в одному інформаційному масиві. Обробка цих даних вручну досить трудомістка і для складних математичних розрахунків, що виникають у процесі виконання камеральної обробки даних топографо-геодезичних зйомок, використовуються сучасні геоінформаційні системи (ГІС). Розвиток сучасних технологій передбачає комп`ютеризацію практично всіх систем аналізу та спостереження. Технологічною основою створення географічних інформаційних систем є ГІС-технології [3]. ГІС розглядають як сукупність засобів інформаційних технологій для збору геопросторових даних, створення і використання цифрових моделей геосистеми із застосуванням усього арсеналу методів і засобів комп’ютерної обробки та візуалізації інформації, формалізації та накопичення знань, зокрема й на основі комунікативної потужності інформаційних мереж. Результати виконаних топографо-геодезичних і кадастрових робіт містяться в ГІС [4]. Система дозволяє оперативно вносити зміни в банк даних і надає засоби обробки просторової інформації.

Досягнення в мікроелектроніці, комп'ютерній техніці, поява лазерів і супутникових технологій дало поштовх розвитку геотроніки. Зараз вся вимірювальна геодезична техніка практично заснована на електроніці. Для вимірювання відстаней сьогодні використовуються електромагнітні хвилі, це скоротило час вимірювань. Електроніка дозволила автоматизувати і кутові вимірювання. Об'єднання електронного теодоліта, малогабаритного фазового світлодалеміра і мікрокомп'ютера в єдину конструкцію дозволило створити електронний тахеометр – прилад, що дозволяє виконувати кутові і лінійні виміри з їх обробкою в польових умовах. У зарубіжній літературі такі прилади отримали назву Total Station (універсальна станція). Їхня точність доходить до 0,5 кутової секунди і 2 міліметри +2 мм / км, а дальність дії – до 5 кілометрів. Для точних вимірювань сконструйований цифровий нівелір, що працює по кодованій рейці. Глобальні супутникові навігаційно-геодезичні системи GPS і GNSS забезпечують отримання координат в будь-якій точці Землі в будь-який довільний момент часу [5]. В них реалізовані принципово нові методи вимірювань, і ці системи дозволяють здійснити абсолютно нові підходи до виконання геодезичних робіт. Дані отримані від геодезичних робіт опрацьовують за допомогою спеціального програмного забезпечення Digitals та Topocad. Програмний пакет Digitals розроблений у ДНВП «Геосистема» (м. Вінниця Україна), призначений для створення цифрових планів і карт та виконання робіт із землеустрою, розв'язування інженерних і прикладних задач. Початкова версія програми Digitals Standard містить базові можливості. Delta/Digitals –програмне забезпечення цифрової фотограмметричної станції для фотограмметричного опрацювання результатів аерофотознімання [6]. Підпрограма Geodesy призначена для обробки польових вимірювань теодолітного і тахеометричного знімання, полігонометричних ходів та мереж. Програмний комплекс «Маркшейдерсько-геодезичні мережі і зйомки» [7] призначений для прорахунку точності і врівноваження планово-висотних мереж довільної конфігурації. Topocad – це система автоматизованого проєктування (САПР), яка дозволяє виконати комплексну обробку даних від збору результатів польових спостережень і створення моделі підоснови до підготовки даних у будівництва для

ВПЗ

виносу в натуру. Залежно від того, які етапи камерального опрацювання даних (попереднє опрацювання вимірів, візуалізація, редагування та формування звітів) забезпечує використання сучасного геодезичного обладнання та ГІС-технологій, можна виділити спеціалізоване, загальне та універсальне програмне забезпечення. Сучасне геодезичне обладнання дає можливість сумісного накопичення і використання графічних та семантичних даних, перехресний доступ до інформації різного виду; підтримка тематичних даних та їхня інтеграція за просторовим аспектом у них, дослідницьких та ін. організаціях; можливість просторового аналізу даних, моделювання і відображення результатів на електронній карті у найбільш зручному вигляді. Для розвитку економіки, ефективного управління територіями та покращення якості життя людей, важливу роль відіграють сучасні інформаційні технології. Вони дозволяють вирішувати питання соціально-економічних заходів, спрямованих на регулювання земельних відносин та раціональну організацію адміністративно-територіальних утворень, суб'єктів господарювання. Застосування ГІС-технологій дозволяє зробити кардинальні зрушення у прийнятті управлінських рішень з використання природних ресурсів, охорони навколишнього середовища та екологічної безпеки на різних рівнях, та автоматизації процесів виробництва та обробки інформації [3].

ВГЗ

1. Нормативно-правова основа

З 24 лютого 2022 р. в Україні запроваджено воєнний стан . Розглянуто основні із чинних та потенційних законодавчих змін у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності:

Нормативна база:

– Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» [4];

– «Вимоги до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт», затверджені Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України від 11 лютого 2014 року № 65 «Про затвердження Вимог до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт» [8];

– «Положення про порядок надходження, зберігання, використання та обліку матеріалів Державного картографо-геодезичного фонду України», затверджене Постановою Кабінету Міністрів України від 22 липня 1999 року № 1344 [9];

– «Положення про Державну службу України з питань геодезії, картографії та кадастру», затверджене Постановою Кабінету Міністрів України від 14 січня 2015 року № 15 [10].

1.2 Поняття автоматизації геодезичних робіт

Відповідно до ст. 1 ЗУ, топографо-геодезичні та картографічні роботи – процес створення геодезичних, топографічних і картографічних матеріалів, даних, топографо-геодезичної та картографічної продукції [4].

Топографо-геодезичні процеси проводяться для дослідження поверхні ділянки та за результатами їх проведення розробляються графічні матеріали.

Топографічна зйомка може виконуватись в різних масштабах, однак найбільш поширеним є зйомка у масштабі 1:500. Саме в такому масштабі є можливим

визначення інженерних комунікацій та погодження їх з відповідними експлуатуючими організаціями.

Топозйомки, проведені фахівцями, дають достовірну та повну інформацію, яка може використовуватись для проєктування житлових, промислових чи інфраструктурних об'єктів, капітального будівництва та реконструкції, прокладання доріг і комунікацій чи інших потреб.

Об'єктами топографо-геодезичної і картографічної діяльності є [4]:

– територія України, зокрема водні об'єкти, міста та інші населені пункти, системи промислових, гідротехнічних та інших інженерних споруд і комунікацій, континентальний шельф і виключна (морська) економічна зона України;

– територія земної кулі, включаючи Антарктиду, Світовий океан, космічний простір, небесні тіла.

Особи, які мають право займатись топографо-геодезичною і картографічною діяльністю. Професійною топографо-геодезичною і картографічною діяльністю за відповідними напрямами можуть займатися особи, які мають вищу освіту у сфері геодезії та/або землеустрою.

Сертифіковані інженери-геодезисти несуть відповідальність за якість результатів топографо-геодезичних і картографічних робіт.

Виконання топографо-геодезичних і картографічних робіт може здійснюватися за такими напрямами:

– основні геодезичні роботи;

– загальнодержавні топографічні знімання;

– інженерні вишукування для будівництва та великомасштабні топографічні знімання.

Центральний орган виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин, веде Державний реєстр сертифікованих інженерів-геодезистів, які отримали кваліфікаційний сертифікат. Інформація з Державного реєстру сертифікованих інженерів-геодезистів у формі витягу надається фізичним і юридичним особам за їхнім письмовим зверненням на безоплатній основі [4].

ВПЗ

1.3 Види й умови здійснення топографо-геодезичної і картографічної діяльності

Під час здійснення топографо-геодезичних, картографічних робіт повинні забезпечуватися [4]:

– дотримання вимог нормативно-технічної документації;

– впровадження прогресивних технологій і методів організації топографо-геодезичного і картографічного виробництва;

– розроблення, впровадження та організація програмного, технологічного і технічного забезпечення ефективного використання цифрових карт і геоінформаційних систем;

– виконання робіт методами і способами, безпечними для життя і здоров'я людей, стану довкілля та об'єктів, що мають історико-культурну цінність;

– графічне зображення на картах державних кордонів України та меж адміністративно-територіального устрою, а також кордонів іноземних держав та інших політико-адміністративних і географічних елементів;

– зберігання та облік топографо-геодезичних, картографічних, аерозйомочних і космічних матеріалів;

– систематичний аналіз державної астрономо-геодезичної основи на території України та відповідності картографічних матеріалів сучасному стану місцевості;

– виконання топографічних, картографічних, кадастрових зйомок та оновлення карт і планів, зйомок континентального шельфу та водних об'єктів в єдиній системі координат і висот.

Види топографо-геодезичних робіт загальнодержавного призначення, спеціального призначення.

До загальнодержавних топографо-геодезичних і картографічних робіт належать [4]:

– вивчення і визначення параметрів фігури Землі та гравітаційного поля для цієї мети;

ВГЗ

– створення та оновлення державних топографічних карт і планів у графічній, цифровій, фотографічній та інших формах, точність і зміст яких забезпечують вирішення загальнодержавних, оборонних, науково-дослідних та інших завдань, видання цих карт і планів;

– створення, розвиток і підтримка в робочому стані державної геодезичної і висотної геодезичної мереж, зокрема гравіметричної фундаментальної і першого класу, щільність і точність яких забезпечують створення державних топографічних карт і планів, вирішення загальнодержавних, оборонних, науково-дослідних та інших завдань;

– створення та оновлення кадастрових карт (планів), надання їх, а також необхідної топографо-геодезичної інформації користувачам для ведення Державної реєстраційної системи землі та іншого нерухомого майна, ведення банку даних;

– визначення сталих географічних об’єктів на території України;

– дистанційне зондування Землі повітряними та наземними засобами, а також використання даних дистанційного зондування Землі із космосу з метою використання в топографо-геодезичній і картографічній діяльності, геодинамічні дослідження на основі результатів геодезичних вимірювань;

– формування і ведення державного та регіональних картографо-геодезичних фондів;

– створення і розвиток національної інфраструктури геопросторових даних;

– створення геоінформаційних систем;

– проєктування, складання і видання загально-географічних, політико-адміністративних, науково-довідкових та інших тематичних карт і атласів міжвідомчого значення, навчальних картографічних посібників;

– топографо-геодезичне, картографічне та гідрографічне забезпечення делімітації, демаркації і перевірки державного кордону України;

– картографування, включаючи створення топографічних карт Антарктиди, континентального шельфу, Світового океану і зарубіжних країн;

ВПЗ

– здійснення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у сфері геодезії, картографії, дистанційного зондування Землі та інших планет, метрологічне та нормативне забезпечення топографо-геодезичних і картографічних робіт;

– організація серійного виробництва геодезичної і картографічної техніки.

До топографо-геодезичних і картографічних робіт спеціального призначення належать [4]:

– роботи із топографо-геодезичного і картографічного забезпечення кадастрової діяльності - створення, розвиток і підтримка в робочому стані геодезичних мереж спеціального призначення, створення і оновлення картографічної основи державного кадастру, створення місцевих систем координат, порядок ведення яких встановлюється спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері земельних відносин;

– роботи із топографо-геодезичного і картографічного забезпечення містобудівної діяльності - створення геодезичних та картографічних матеріалів і даних для планування території, проєктування, будівництва і реконструкції об’єктів капітального будівництва, створення інженерної та транспортної інфраструктури, а також проведення необхідних для цього інженерних вишукувань;

– роботи із топографо-геодезичного і картографічного забезпечення містобудівної діяльності не потребують отримання замовниками та/або виконавцями таких робіт дозволу органів виконавчої влади та/або місцевого самоврядування на їх проведення;

– матеріали, складені за результатами виконання робіт із топографо-геодезичного і картографічного забезпечення містобудівної діяльності, не підлягають погодженню органами державної влади, органами місцевого самоврядування, підприємствами, установами та організаціями, затверджуються замовниками таких робіт та включаються до складу геопросторових даних містобудівного кадастру;

– створення географічних інформаційних систем спеціального (тематичного) призначення;

ВПЗ

– створення тематичних карт, планів і атласів спеціального призначення в графічній, цифровій та іншій формах, видання таких карт, планів і атласів;

– геодезичні, топографічні, аерозйомочні та інші спеціальні роботи під час інших вишукувань і спеціальних робіт;

– виконання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у напрямах, зазначених у цій статті.

Законом України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо особливостей регулювання земельних відносин в умовах воєнного стану» від 12 травня 2022 р. № 2247-IX [11] передбачено створення правових передумов для забезпечення громадян та суб'єктів підприємницької діяльності в умовах воєнного часу послугами зі складання документації із землеустрою, топографо-геодезичних і картографічних робіт, оцінки майна, експертної грошової оцінки земельних ділянок, що є критичними для функціонування земельно-майнових відносин.

Відповідно до Закону на період дії воєнного стану для виконання обстежувальних, вишукувальних, топографо-геодезичних робіт, зокрема для складання документації із землеустрою, використання геодезичного обладнання (геодезичних ГНСС-приймачів, електронних тахеометрів, теодолітів), користування геодезичними та картографічними даними, відомостями про координати пунктів Державної геодезичної мережі, а також надання відомостей про координати поворотних точок меж об'єктів Державного земельного кадастру сертифіковані інженери-землевпорядники та/або сертифіковані інженери-геодезисти повинні отримати від органу Служби безпеки України спеціальний дозвіл на виконання топографо-геодезичних вишукувань [11].

ВГЗ

2 Обробка даних інженерних вишукувань

При створенні проекту будь-якої споруди важливо знати інженерно-геологічні умови ділянки, підібраної під його будівництво, для запобігання різноманітних ускладнень при будівництві та експлуатації споруди.

Інженерні вишукування – роботи, що проводяться для комплексного вивчення природних умов району, майданчика, ділянки, траси проектованого будівництва, місцевих будівельних матеріалів і джерел водопостачання та отримання необхідних і достатніх матеріалів для розробки економічно доцільних і технічно обґрунтованих рішень при проектуванні і будівництві об’єктів з урахуванням раціонального використання та охорони природного середовища, а також отримання даних для складання прогнозу змін природного середовища під впливом будівництва і експлуатації підприємств, будівель і споруд.

2.1 Інженерно-геодезичні вишукування

Інженерно-геодезичні вишукування для будівництва лінійних об’єктів повинні забезпечувати отримання топографо-геодезичних матеріалів і даних про ситуацію і рельєф місцевості, існуючі будівлі і споруди, елементи планування, необхідних для комплексної оцінки природних і техногенних умов території будівництва [12].

До складу інженерно-геодезичних вишукувань для будівництва лінійних об’єктів входять:

– збір і обробка матеріалів інженерних вишукувань минулих років, топографо-геодезичних, картографічних, аерофотознімальних та інших матеріалів і даних;

– рекогносцирувальне обстеження території;

– створення (розвиток) опорних геодезичних мереж, включаючи геодезичні мережі спеціального призначення для будівництва;

– створення планово-висотних знімальних геодезичних мереж;

– топографічна зйомка;

ВПЗ

– оновлення інженерно-топографічних і кадастрових планів у графічній, цифровій, фотографічній та інших формах;

– інженерно-гідрографічні роботи;

– камеральне трасування і попередній вибір конкуренто-здатних варіантів траси для виконання польових робіт та обстежень;

– польове трасування;

– зйомки існуючих залізничних і автомобільних доріг, складання поздовжніх і поперечних профілів, перетинів ліній електропередач (ЛЕП), ліній зв'язку (ЛСВ), об'єктів радіозв'язку та магістральних трубопроводів.

Незалежно від того, яким методом виконуються геодезичні вишукування автомобільних доріг, важливо, щоб щільність знімальних точок була високою і рівномірною в поздовжньому і поперечному напрямках. Таким чином, можна отримати найбільш адекватне відображення існуючої поверхні.

Основні фактори, які повинні враховуватися при виборі технології пошуків, це швидкість виконання робіт і достовірність отриманих результатів.

Нівелювання по поперечникам. Технологія геодезичних вишукувань, заснована на нівелюванні поперечників по проектній трасі, є найбільш традиційною і привнесена з технології вишукувань нових доріг періоду 50 – 60-х років 20-го сторіччя. Суть її полягає в тому, що по осі дороги виконується трасування, закріплюється траса, розбивається пікетаж і, з заданим кроком, виконується нівелювання поперечників, нормальних (перпендикулярних) осі запроектованої дороги. Ця технологія є надзвичайно проста, що вимагає застосування найбільш простих геодезичних інструментів (теодоліти, нівеліри, рейки, рулетки), що забезпечує її живучість навіть в даний час.

Проте ця технологія має ряд вад, які не дозволяють розглядати її в якості базової при геодезичних вишукуваннях для проектування реконструкцій і ремонтів автомобільних доріг.

По-перше, трасування по існуючій дорозі (у разі реконструкції та ремонту) в польових умовах, та ще на основі традиційних елементів трасування, не дозволяє

виконати цю процедуру досить якісно, тобто, з максимальним наближенням проектованої траси по відношенню до існуючої.

По-друге, в той же час, робиться припущення, що проектована траса повторює обриси існуючої. І на цій підставі виконують подальші пошукові процедури.

По-третє, змінити проектні рішення по трасі на етапі камеральних робіт вже неможливо. Ця обставина характерна в цілому для геодезичних вишукувань доріг «пікетним» методом.

Тахеометрична зйомка. Найбільш масовим в даний час видом геодезичних вимірювань при вишукуваннях для проектування доріг є тахеометрична зйомка, основними приладами для її виконання є тахеометри (рисунок 2.1). Вона забезпечує необхідну точність вимірювань, але, в той же час, досить трудомістка, особливо в умовах високої транспортної завантаженості проектованої дороги.



Рисунок 2.1 – Тахеометри

Нівелювання на основі лазерних розбудовників площин. Серед існуючого в даний час різноманіття лазерної геодезичної техніки найбільш ефективне, для пошуків доріг, застосування лазерних розбудовників площин (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Лазерний розбудовник площини

Досвід цього виду досліджень накопичено в науково-дослідному інституті проблем дорожнього транспортного комплексу (РГСУ). Комп'ютерна лазерна система дозволяє з геодезичною точністю визначати позначки точок поперечних перерізів з кроком 10 см. Прилад оснащений спеціальним візком з вбудованим лічильником шляху і має електронні сегменти з матричною схемою розташування фотодіодів. Окремо наявний випромінювач генерує промінь у видимому спектрі, який, потрапляючи на певний сегмент і фотодіод приладу, викликає спрацьовування відповідного кола електронної схеми і записується в оперативну пам'ять. Частота реєстрованих точок регулюється і становить 100 – 300 точок на поперечник, обумовлюючи відображення фактичної поверхні у вигляді щільної послідовності точок [12].

Після конвертації отриманої інформації в цифрову модель системи автоматизованого проектування можна приступати до процесу проектування на основі повної інформації про обриси існуючої поверхні.

Зйомка ультразвуковими і лазерними профілографами. Зйомка лазерними профілографами є найбільш продуктивною. Протягом 1 зміни можна виконати зйомку 100 – 150 км. Однак, з причини того, що лазерні профілографи, як правило, є навісним обладнанням автомобіля, то точність таких вимірювань не висока. Це обумовлено тим, що похибка вимірювань вноситься дією підресореної підвіски автомобіля.

ВГІЗ

Лазерне сканування. Робота лазерного сканера заснована на вимірюванні похилої дальності *D* від джерела вимірювання (лазера) до наземного об’єкта (дороги), що є перешкодою на шляху поширення лазерного променя. Така перешкода викличе появу відбитого імпульсу, який буде зареєстрований приймачем, а за часом затримки від моменту випромінювання зондуючого імпульсу до реєстрації відбитого імпульсу можна визначити дальність *D* (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Лазерний сканер і результати його роботи

Одночасно визначаються координати просторового положення носія *X, Y, Z* за рахунок використання системи супутникової навігації, а також кути орієнтації зондуючого променя [13].

Знання цих 6-ти параметрів зовнішнього орієнтування дозволяє математично перейти до координат точки, що викликала відображення. Основним результатом роботи лазерного локатора є отримання лазерно-локаційного зображення або «хмари» лазерних точок. Відзначимо важливу деталь – лазерно-локаційне зображення завжди дискретно.

GPS-зйомка (системи супутникової навігації). Цей вид зйомки, останнім часом, досить масово застосовується при дослідженнях автомобільних доріг. Однак, з причини того, що прилад (режим «кінематика») встановлюється на автомобіль (підресорена частина), точність таких вимірювань залишається низькою (рисунок 2.4) [14].

В режимах «статика» і «*stop and go*» *GPS* є гідною альтернативою тахеометричній зйомці.



Рисунок 2.4 – Система супутникової навігації

Істотним недоліком цього методу є і те, що в закритій місцевості показання *GPS* можуть давати збої і відмови. Уникнути цього можна спільним застосуванням супутникових і гіроскопічних систем.

2.2 Інженерно-геологічні вишукування

Інженерно-геологічні вишукування повинні забезпечувати комплексне вивчення інженерно-геологічних умов району проектованої автомобільної дороги, включаючи рельєф, геологічна будова, геоморфологічні та гідрогеологічні умови, склад, стан і властивості ґрунтів, геологічні й інженерно-геологічні процеси, зміна умов освоєних (забудованих) територій, складання прогнозу можливих змін інженерно-геологічних умов у сфері взаємодії проектованих об’єктів з геологічним середовищем.

До складу інженерно-геологічних вишукувань дороги входять [15]:

– збір і обробка матеріалів вишукувань минулих років;

– дешифрування космо-, аерофотоматеріалів і аеровізуальні спостереження;

– маршрутні спостереження (рекогносцирувальне обстеження);

– проходка гірничих виробок;

– геофізичні дослідження;

– польові дослідження ґрунтів;

– гідрогеологічні дослідження;

– сейсмологічні дослідження;

– лабораторні дослідження ґрунтів і підземних вод;

– камеральна обробка матеріалів;

– складання прогнозу змін інженерно-геологічних умов;

– оцінка небезпеки і ризику від геологічних та інженерно-геологічних процесів.

Інженерно-геологічні вишукування повинні виконуватися із застосуванням прогресивних методів робіт, сучасних приладів і обладнання, які забезпечують підвищення продуктивності праці, поліпшення якості і скорочення тривалості вишукувань.

Основний обсяг вишукувальних робіт для побудови геолого-літологічних розрізів, відбору зразків ґрунту, вивчення їх властивостей, вивчення гідрогеологічних умов виконується бурінням свердловин.

Крім бурових і шурфовочних робіт, для вивчення інженерно-геологічних умов прокладання проектованої дороги, застосовують геофізичні методи і георадарні технології [16].

Георадар – цифровий, портативний, геофізичний прилад, призначений для вирішення широкого спектру геотехнічних, геологічних, екологічних, інженерних та інших завдань, де є необхідність оперативного моніторингу середовища, отримання розрізів ґрунту, не вимагаючи буріння або розкопок (рисунок 2.5)

Його дія заснована на випромінюванні імпульсів електромагнітних хвиль і реєстрації сигналів, відбитих від меж розділу шарів зондуючого середовища, що мають різницю за діелектричної проникності.



Рисунок 2.5 – Георадар

В даний час георадар широко застосовується в дорожній галузі для наступних цілей: визначення товщини конструктивних шарів дорожнього одягу і якості ущільнення дорожньо-будівельних матеріалів; вишукування кар'єрів дорожньо-будівельних матеріалів та оцінки основ під транспортні споруди; розподілу глибини промерзання в ґрунтових масивах і дорожніх конструкціях; змісту вологи в ґрунті земляного полотна і підстилаючих ґрунтових підставах; ерозії ґрунтів на ділянках мостових переходів [16].

2.3 Інженерно-екологічні вишукування

Інженерно-екологічні вишукування автомобільних доріг виконуються для екологічного обґрунтування будівництва та іншої господарської діяльності з метою запобігання, зниження чи ліквідації несприятливих екологічних і пов'язаних з ними соціальних, економічних та інших наслідків і збереження оптимальних умов життя населення.

Інженерно-екологічні вишукування доріг повинні забезпечувати:

– комплексне вивчення природних і техногенних умов території, її господарського використання і соціальної сфери;

– оцінку сучасного екологічного стану окремих компонентів природного середовища та екосистем в цілому, їх стійкості до техногенних впливів та здатності до відновлення;

– розробку прогнозу можливих змін природних (природно-технічних) систем при будівництві, експлуатації та ліквідації об’єкта;

– оцінку екологічної небезпеки і ризику;

– розробку рекомендацій щодо запобігання шкідливих і небажаних екологічних наслідків інженерно-господарської діяльності та обґрунтування природоохоронних і компенсаційних заходів по збереженню, відновленню і оздоровленню екологічної обстановки;

– розробку заходів щодо збереження соціально-економічних, історичних, культурних, етнічних та інших інтересів місцевого населення;

– розробку рекомендацій і (або) програми організації та проведення локального екологічного моніторингу, відповідального етапам (стадіям) перед проектних і проектних робіт.

До складу інженерно-екологічних вишукувань входять:

– збір, обробка та аналіз опублікованих і фондових матеріалів і даних про стан природного середовища, пошук об’єктів-аналогів для розробки прогнозів;

– екологічне дешифрування аерокосмічних матеріалів з використанням різних видів зйомок;

– маршрутні спостереження з по компонентним описом природного середовища та ландшафтів в цілому, стану наземних та водних екосистем, джерел і візуальних ознак забруднення;

– проходка гірничих виробок для встановлення умов поширення забруднень і геоекологічного випробування;

– випробування ґрунтів, поверхневих і підземних вод та визначення в них комплексів і візуальних ознак забруднювання;

– дослідження та оцінка радіаційної обстановки;

– газо-геохімічні дослідження;

– дослідження і оцінка фізичних впливів;

– еколого-гідрогеологічні дослідження (оцінка впливу техногенних факторів на зміну гідрогеологічних умов);

– ґрунтові дослідження;

ВГЗ

– вивчення рослинності і тваринного світу;

– соціально-економічні дослідження.

Інженерно-екологічні вишукування виконуються на всіх стадіях проектування: передінвестиційної (концепції, програми) та інвестиційної (обґрунтування інвестицій, проект, робоча документація).

Основний обсяг інженерно-екологічних вишукувань виконують на стадії програм та обґрунтування інвестицій з метою забезпечення своєчасного прийняття об'ємно-планувальних, просторових і конструктивних рішень, які гарантують мінімізацію екологічного ризику і запобігання несприятливих чи необоротних екологічних наслідків.

Матеріали інженерно-екологічних вишукувань повинні забезпечувати розробку розділів «Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС)» [17] в обґрунтуваннях інвестицій і «Охорона навколишнього середовища» в проекті будівництва (реконструкції) автомобільних доріг.

Оскільки інженерно-екологічні вишукування виконують, в основному, на перед проектній стадії (програми, обґрунтування інвестицій), то як базові автоматизовані технології для їх обробки, розрахунків і подальшої візуалізації, використовують не системи автоматизованого проектування (САПР), а, як правило, геоінформаційні системи (ГІС) [17].

ВГЗ

3 Аналіз існуючих методів побудови цифрової моделі рельєфу (ЦМР)

3.1 Основні визначення

При системному автоматизованому проектуванні результатом топографо-геодезичних робіт є цифрова модель (масив точок) зони проектування. При геодезичній зйомці або її камеральній обробці точкам надають певні атрибути, необхідні для адекватного моделювання поверхонь, ситуації і коректної реалізації всіх наступних проектних процедур.

Таким чином, для побудови рельєфу і ситуації зони проектування формуються такі вихідні дані:

– точки, що мають ім’я (*Name*), координати (*x*, *y*, *z*), коди умовних знаків, коди належності їх до ліній і контурів;

– структурні лінії, уздовж яких має місце порушення гладкості поверхні (лінії обривів, вододіли, тальвеги, межі річок, озер, штучних споруд тощо).

Точки зазвичай відображають графічно у вигляді масиву точок з підписом їх висотного положення (рисунок 3.1, а). Точка може нести інформацію про точкові об’єкти (стовп, дерево, геодезичний знак і ін.). Позначення цих об’єктів вибирають з відповідних бібліотек умовних знаків і розміщують, як правило, в окремий шар відображення.

Оскільки, в реальних проектах складних споруд, інженер має справу з масивами розмірністю в десятки і сотні тисяч точок, то, природно, що сучасні САПР повинні володіти розвинутими засобами їх візуального редагування. У режимі редагування точок, як правило, передбачають контекстне меню. Склад команд контекстного меню залежить від кількості і типу виділених точок [19].

Наведемо лише кілька команд з редагування точок: «Виділити все» – виділяє всі точки активної поверхні для подальшого їх редагування; «Виділити за ознакою» – відкриває підменю, з якого можна вибрати одну із запропонованих ознак виділення точок або задати свою ознаку; «Виділити всі лінії, пов’язані в точці» – виділяє всі лінії, що проходять через виділену точку. Команда недоступна, якщо

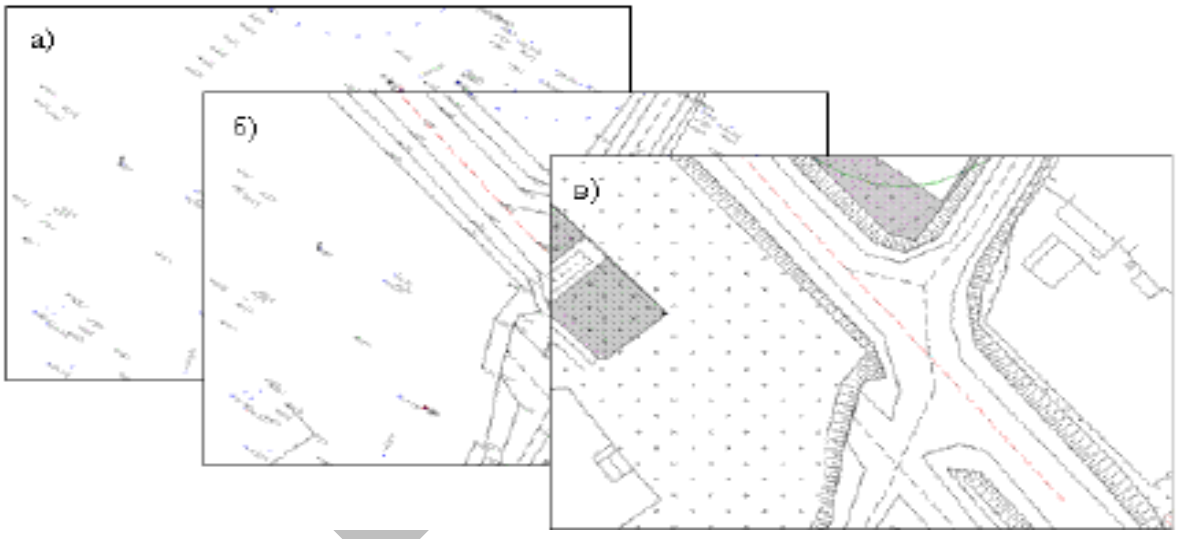
ВГЗ

виділено кілька точок; «Копіювати в шар» – копіює або переміщує виділені точки в зазначений шар.

Структурні лінії будують строго по рельєфних точках і по своїй суті вони є тривимірними ламаними лініями (рисунок 3.1, б). Слід зазначити, що структурні лінії не можуть перетинатися, але можуть примикати одна до одної. Структурні лінії можуть робити істотний вплив на обриси поверхонь [19].

Ситуаційні лінії і контури можуть проходити як по рельєфним точкам, так і по ситуаційним (не мають координати *z*). Умова проходження цих ліній і контурів через точки не є строгою. Для них немає також заборони на перетинання і накладення (рисунок 3.1, в) [19].

Як ситуаційні, так і структурні лінії мають атрибути кольору, товщини і стилю. Контури мають атрибути заливки кольором або текстурою (умовними знаками).



а) масив точок; б) структурні лінії; в) ситуаційні лінії і контури

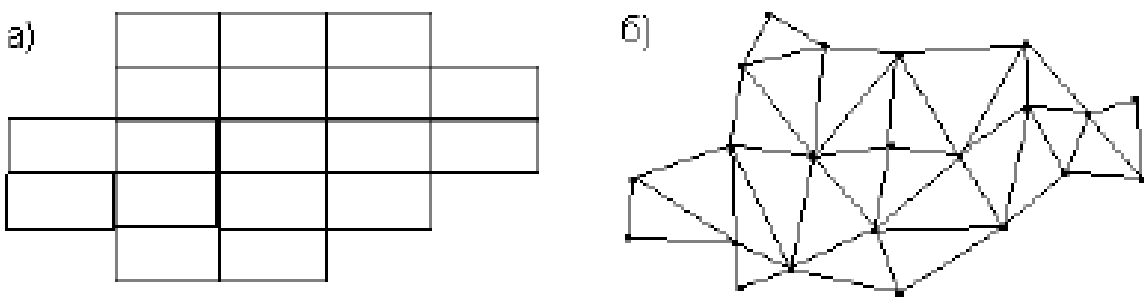
Рисунок 3.1 – Вихідні дані для побудови рельєфу і ситуації

У разі заливки контурів один шар, (наприклад, ситуація) може закривати інший (наприклад, тріангуляція). Послідовність накладення шарів один на одного

визначається проектувальником і може в процесі проектування, при необхідності, змінюватися.

3.2 Тріангуляція Делоне і способи її редагування

Для моделювання поверхонь існують різні види структур: по горизонталях, по структурних лініях, по поперечникам до траси або магістрального ходу, статистичні [20]. На практиці найчастіше використовують два основних види структур: регулярна (рівномірна прямокутна, рисунок 3.2, а) і нерегулярна (рисунок 3.2, б).



а) регулярна; б) нерегулярна

Рисунок 3.2 – Види структур ЦММ

Масив точок для регулярних моделей може бути представлений в наступному вигляді:

$$F, m, n, X_0, Y_0, Z_{11}, \ldots, Z_{1m}, \ldots, Z_{nm}, \quad (3.1)$$

де F – крок сітки;

m – число точок по горизонталі;

n – число точок по вертикалі;

X_0, Y_0 – координата початкової точки сітки;

$Z_{11}, \ldots, Z_{1m}, \ldots, Z_{nm}$ – відмітки точок в вузлах сітки.

Таким чином, для однозначного подання регулярної сітки розмірністю m×n потрібно зберігати все $m \times n+5$ чисел. Однак для адекватного представлення поверхні з заданою точністю потрібна висока щільність точок, що пов'язане зі значною роздільністю робіт з підготовки вихідної інформації. До того ж, на увазі обмеженості швидкодії комп'ютерів і масивів оброблюваних даних доводиться вибирати між точністю подання (розміром комірки) і розміром оброблюваної поверхні.

Для нерегулярних моделей масив точок описується послідовністю:

$$\Sigma X_i,\ Y_i,\ Z_i,\ T_i,\ R_i,\ L_i, \tag{3.2}$$

де $X_i,\ Y_i,\ Z_i$ – координати i-тої точки (масив i =1,…,k);

$T_i,\ R_i,\ L_i$ – відповідно приналежність i-тої точки T_i трикутнику, зв'язок i-тої точки з R_i і L_i точками в трикутнику.

Розмірність нерегулярної сітки становить 6k, що майже в 6 разів вище розмірності регулярної сітки, але, в той же час, для адекватного відображення поверхні потрібно істотно менша кількість точок.

Задача побудови поверхні способом тріангуляції є однією з базових в обчислювальній геометрії. До неї зводяться багато інших, пов'язані з моделюванням поверхонь і рішенням просторових завдань в машинній графіці, системах автоматизованого проектування і геоінформаційних системах [21].

Завданням побудови тріангуляції по заданому набору точок називається задача з'єднання точок непересічними відрізками так, щоб утворилася тріангуляція. Це завдання не є однозначним, тому виникає питання, яка з двох різних тріангуляції краща (оптимальна).

Розглянемо деякі алгоритми побудови тріангуляції. Наприклад, тріангуляція Делоне, названа на честь математика Б. Н. Делоне [20], заснована на ряді практичних властивостей:

ВГЗ

– тріангуляція, задовольняє умові Делоне, якщо всередину кола, описаного навколо будь-якого побудованого трикутника, не потрапляє жодна із заданих точок тріангуляції;

– пара сусідніх трикутників тріангуляції задовольняє умові Делоне, якщо цій умові задовольняє тріангуляція, складена тільки з цих двох трикутників;

– тріангуляції задовольняє умові Делоне, якщо цій умові задовольняє тріангуляція, складена тільки з цього трикутника і трьох його сусідів (якщо вони існують).

– тріангуляція Делоне має максимальною сумою мінімальних кутів всіх своїх трикутників серед усіх можливих тріангуляції;

– тріангуляція Делоне володіє мінімальною сумою радіусів кіл, описаних близько трикутників, серед усіх можливих тріангуляції.

Тріангуляцію Делоне можна отримати з будь-якої іншої тріангуляції по тому ж масиву точок, послідовно перебудовуючи пари сусідніх трикутників *ΔABC* і *ΔBCD*, не задовольняючих властивостям Делоне, в пари трикутників *ΔABD* і *ΔACD* (рисунок 3.3). Таку операцію називають фліп.

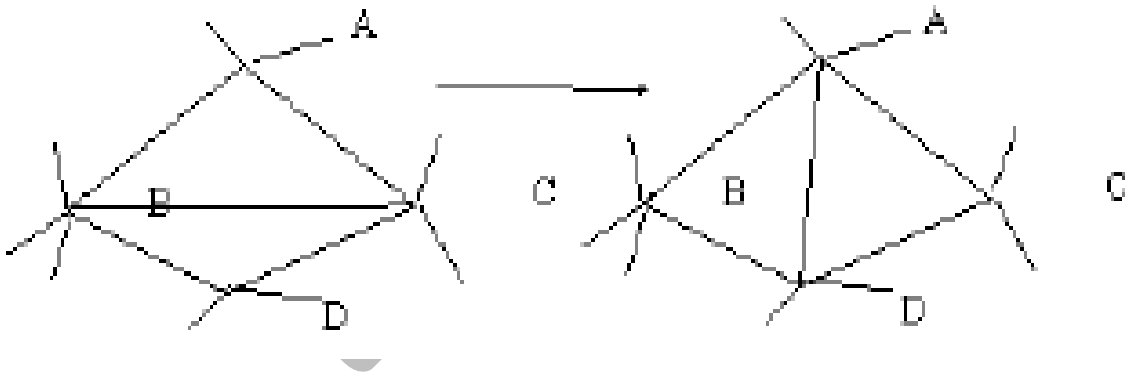


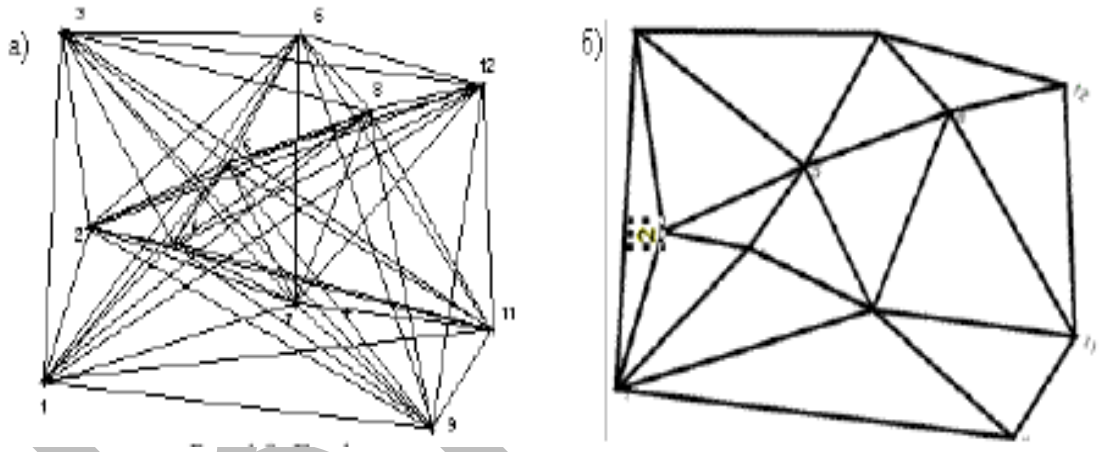
Рисунок 3.3 – Перешикування трикутників (фліп)

Важливо, що операцію фліп можна застосовувати не тільки в складі алгоритму побудови оптимальної тріангуляції поверхні, але й у складі інструментів діалогового її редагування, що дозволяє отримувати бажані для проектувальника властивості цієї поверхні.

Іншим алгоритмом, який досить просто і наочно демонструє послідовність побудови оптимальної тріангуляції, є жадібний алгоритм. В якості умови оптимізації тут прийнята мінімальна сума довжин всіх ребер серед усіх можливих тріангуляції, побудованих на тих же вихідних точках. Цей алгоритм виконується всього в 2 кроки.

Генерується список всіх можливих відрізків (рисунок 3.4, а), що з'єднують пари вихідних точок, і він сортується по довжинах відрізків.

Починаючи з самого короткого, послідовно виконується вставка відрізків в тріангуляцію. Якщо відрізок не перетинається з іншими раніше вставленими відрізками, то він вставляється, інакше – відкидається (рисунок 3.4, б).



а) з'єднання всіх точок між собою, б) кінцева тріангуляція

Рисунок 3.4 – Графічна інтерпретація жадібного алгоритму

Зауважимо, що якщо всі можливі відрізки мають різну довжину, то результат роботи цього алгоритму однозначний. Інакше він залежить від порядку вставки відрізків однакової довжини.

Від вибору того чи іншого алгоритму тріангуляції істотно залежить ефективність роботи всієї системи проектування, а також достовірність

одержуваних результатів. Суттєвим є і питання вибору структури даних для представлення тріангуляції.

В тріангуляції можна виділити 3 основних види об'єктів: вузли (точки, вершини), ребра (відрізки) і трикутники. В процесі виконання конкретних проектних завдань виникає необхідність виконання обчислювальних операцій з цими об'єктами.

Наведемо лише деякі з можливих операцій.

– трикутник → вузли: потрібно для отримання висотної позначки проектної точки, розташованої всередині конкретного трикутника. Для цього встановлюються координати вузлів цього трикутника, а далі в рівняння площини, що проходить через ці три вузла, підставляються координати *x, y* проектної точки.

– вузол → ребра: потрібно для аналізу водовідведення на розглянутій поверхні. По вузлу встановлюється список всіх суміжних ребер, кожне з яких аналізується на можливість «переливу» води.

– трикутник → трикутник: потрібно для побудови ізоліній розглянутої поверхні. По трикутнику встановлюється список сусідніх з ним трикутників і на них обчислюється геометричне місце точок із заданою висотною відміткою.

3.3 Аналіз рельєфу (поверхонь)

Однією з базових задач аналізу тріангуляційних поверхонь є побудова розрізів: вертикальних (профілів) і горизонтальних (ізоліній) [22].

У задачі побудови профілів на поверхні задається деяка пряма, ламана або траса, уздовж якої потрібно побудувати розріз (рисунок 3.5, а). Для цього необхідно пройти вздовж цієї лінії (ламаної, траси), обчислюючи послідовно точки її перетину з ребрами тріангуляції. Результатом цієї роботи буде вертикальний розріз (рисунок 3.5, б). При проектуванні доріг це завдання є виключно актуальним, так як проектування трас супроводжується безліччю поздовжніх і поперечних профілів.

ВГЗ

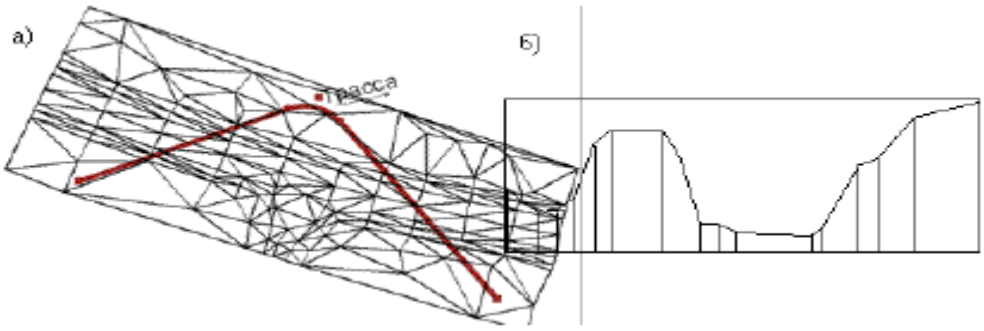


Рисунок 3.5 – Поверхня з трасою (а) і профіль по трасі (б)

Ізолініями називають лінії перетину горизонтальних площин рівня *h* з тріангуляційною поверхнею.

У практиці ручного проектування ізолінії були практично основними символами для відображення і читання рельєфу топографічних планів. За ним визначали лінії вододілу і тальвеги, площі водозбірних басейнів і експозиції схилів. На основі ізоліній, застосовуючи методи інтерполяції та екстраполяції, будували поздовжні і поперечні профілі.

При автоматизованому проектуванні ізолінії є лише одним із способів візуальної інтерпретації поверхні. Вони не є розрахунковими елементами моделей, а служать швидше допоміжним засобом для «інженерного читання» поверхонь в традиційно сформованих поняттях. Але навіть в цій якості ізолінії як і раніше залишаються потрібними в проектній та картографічній діяльності .

Алгоритм побудови ізоліній складається з двох кроків:

– позначаємо кожен трикутник тріангуляції, по якому проходить ізолінії, тобто виконується умова $min\ (z_1, z_2, z_3) < max\ (z_1, z_2, z_3)$, де z_1 – висоти трьох його вершин.

– для кожного такого трикутника виконуємо відстеження такої ізолінії в обидві сторони від даного трикутника, поки один кінець не вийде на інший або на границю тріангуляції.

Головними недоліками алгоритмів побудови ізоліній є різкі злами та їх сильна осциляція. Це пов’язано з нерівномірністю одержуваних вузлових точок ізоліній і

використовуваним лінійним методом інтерполяції [23].

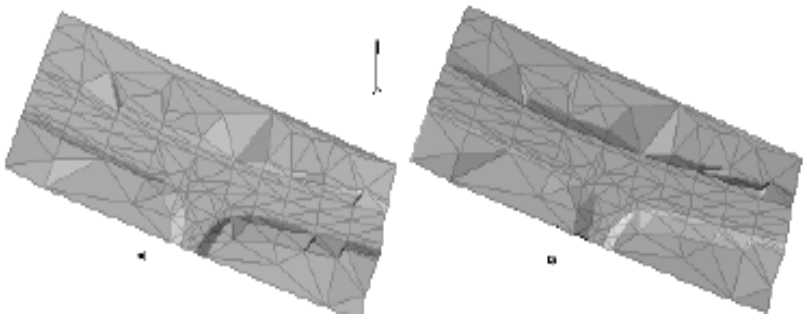
Найбільш простий і зрозумілий спосіб згладити ізолінії, це застосувати поліноми високих ступенів. Проте, в цьому випадку, можливо перетин ізоліній різних рівнів, що є ознакою неадекватного ставлення поверхонь.

Інший спосіб згладжування полягає в тому, що для всіх ізоліній будуються коридори що не перекриваються. А потім в їх межах вже будуються ізолінії у вигляді ламаних мінімальної довжини або гладких кривих Безьє [24].

Більш наочним відображенням поверхні, порівняно з ізолініями, є її відображення ізоконтурами, які по природі побудови близькі до ізоліній. Особливо наочним буде подання поверхні ізоконтурами в колірному спектрі, яке дозволяє швидко виявляти на поверхні знижені (підвищені) місця, тальвеги, вододіли, сідловини.

Ізоконтурами між рівнями h_1 на h_2 називається геометричне місце точок на поверхні, що мають висоту h є (h_1,h_2).

На (рисунку 3.6, а) наведено ділянку поверхні, що освітлюється джерелом світла, розташованим на північно-заході; а на (рисунку 3.6, б) наведено ділянку поверхні, освітлювану з південного-сходу. Як видно з (рисунку 3.6), дана поверхня являє собою фрагмент дороги з примиканням. Проте контури укосів побудовані з деякими порушеннями.

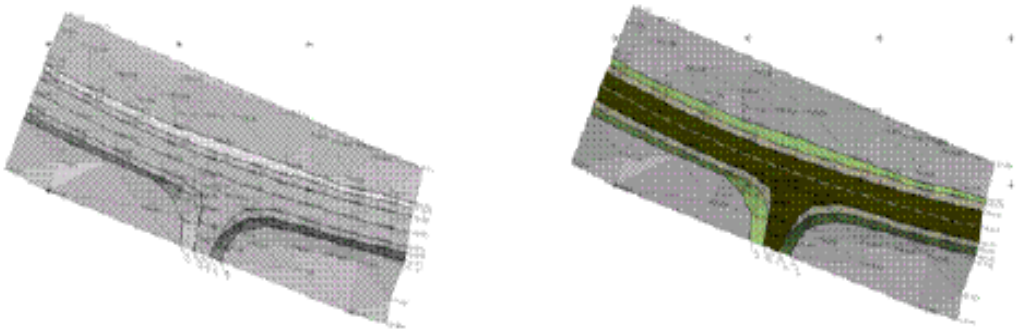


а) з північного-заходу, б) з південного-сходу

Рисунок 3.6 – Поверхня, освітлена точковим джерелом світла

ВГЗ

Їх можна скорегувати, якщо провести структурні лінії по краях, брівкам дороги і підошв укосів насипу (рисунку 3.7,а).



а) не зафарбована поверхня; б) зафарбована поверхня

Рисунок 3.7 – Поверхня, скоригована структурними лініями

Підвищити наочність також можна за рахунок того, що різні елементи дороги (укоси, узбіччя, проїзна частина) будуть зафарбовані різними кольорами (рисунок 3.7, б).

Практичний інтерес представляє побудову на тріангуляційній поверхні градієнтів по кожному трикутнику. Градієнт, як правило, позначають стрілкою по центру трикутника. Вістря стрілки вказує напрям найбільшого ухилу в даному трикутнику. Величина стрілки нормована по величині цього ухилу. Таким чином, можна відстежувати напрямки найбільшого стоку води, а також візуально фіксувати вироджені трикутники тріангуляції.

Для дорожнього проектування, також як і для генеральних планів територій, однією з цілей проектування є забезпечення відводу води з проектованого об’єкта. Тому завдання візуалізації зон застою води також є однією з практично затребуваних завдань. Алгоритм побудови таких зон полягає в наступному:

– серед всіх вершин тріангуляції знаходяться ті, які нижче, ніж усі суміжні вершини (дві вершини є суміжними, якщо вони з’єднані ребром). Таким чином, всі

знайдені вершини є «чашами» – місцями, де будуть збиратися калюжі на місцевості;

– наповнюємо кожну чашу водою і знаходимо калюжі. Для цього пересуваємося від вершини в центр кожної чаші в різні боки по ребрах до інших вершин до тих пір, поки якесь ребро не перегнеться, тобто поки ми не знайдемо вершину – точку перегину поверхні. Ці точки перегину мають властивість, що якщо калюжа переповниться, то через цю точку вода буде виливатися з калюжі. Серед усіх точок перегину ми вибираємо ту, яка має меншу висоту, і на підставі цього ми зможемо визначати ємність калюжі;

– якщо утворилися дрібні калюжі, то проводитиметься їх перевірка на злиття.

З позиції оцінки безпеки руху по дорозі завдання побудови зон і ліній видимості є також актуальним. Суть завдання полягає в тому, що по заданому положенню спостерігача (водія автомобіля, що рухається) визначають, які ділянки поверхні йому видно, а які ні. Найчастіше це завдання вирішують за спрощеним алгоритмом:

– будують промені, що виходять з точки спостерігача в різні боки;

– будують профілі поверхонь уздовж цих променів;

– методом плаваючого горизонту формуються видимі і невидимі частини цих профілів.

Розрахунок обсягів земляних робіт при традиційному (ручному) проектуванні автомобільних доріг виконують, як правило, на основі поперечних профілів. Однак цей підхід не є ні універсальним, ні найбільш точним .

На ділянках примикань, перетинів доріг, транспортних розв’язок розрахунок обсягів земляних робіт можна виконати за схемою віднімання обсягів поверхонь (проектної та вихідної). Це завдання не є тривіальним, оскільки вихідна і проектна поверхні можуть скільки завгодно раз взаємно перетинатися, породжуючи зони зрізання (виїмки) і засипки (насипу) ґрунту [25].

Алгоритм розрахунку обсягів земляних робіт як різниці двох поверхонь складається з наступних кроків:

– визначається мінімальний багатокутник, що охоплює тріангуляції вихідну (T_1) і проектну (T_2) як перетин охоплюючих тріангуляцією територій;

ВГЗ

– створюється нова тріангуляція T і в неї вносяться в якості структурних ребер всі ребра тріангуляції T_1 і T_2. Для кожного вузла тріангуляції T потрібно обчислити його висоти в тріангуляціях T_1 і T_2 відповідно;

– для кожного трикутника нової тріангуляції визначають чи не перетинаються тріангуляції T_1 і T_2в межах цього трикутника;

– якщо висоти трикутника в тріангуляції T_2 вище, ніж в тріангуляції T_1, то це – зона насипу;

– якщо висоти трикутника в тріангуляції T_2 нижче, ніж в тріангуляції T_1 то це – зона виїмки;

– якщо висоти трикутника в тріангуляції T_2 ті ж, що і в тріангуляції T_1, то це – зона нульових робіт;

– якщо одна (чи дві) висот трикутника в тріангуляції T_2 вище, ніж в тріангуляції T_1, а дві (або одна) інші нижче, то поверхні перетинаються в межах даного трикутника. Необхідно знайти перетин двох просторових трикутників у вигляді деякого відрізка, що розділяє трикутник на 2 частини, які в подальшому увійдуть в різні результуючі зони: насипу і виїмки;

– підсумовуються обсяги насипів і виїмок.

Вище нами були розглянуті лише деякі із завдань аналізу поверхонь і приведені загальні описи алгоритмів вирішення цих завдань. У практиці проектування перелік таких завдань надзвичайно широкий і кожна з них може бути вирішена за застосуванням того чи іншого алгоритму: все залежить від характеру завдання, необхідної точності обчислень, форми подання та галузі застосування отриманих результатів.

3.4 Побудова цифрової моделі рельєфу

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) формується на основі точок, структурних ліній і контурів рельєфу. При цьому створюється мережа, що складається з трикутників, за допомогою якої можуть бути обчислені висотні відмітки точок з відомими координатами в плані, побудовані розрізи поверхні землі по заданому

ВГЗ

напрямку, виконано відображення рельєфу з використанням горизонталей, умовних зображень укосів і обривів [8].

ЦМР – засіб цифрового представлення тривимірних просторових об’єктів (поверхонь, рельєфу). У програмному середовищі це нерегулярна мережа трикутників Делоне [20].

Точки рельєфні – точки, що мають три координати *X*, *Y*, *Z*.

Структурна лінія – тривимірна лінія (*X*, *Y*, *Z*), планове положення якої визначає відповідна полі лінія, а висотне – її профіль.

ВПГЗ

4 Створення цифрової моделі ситуації (ЦМС)

Цифрова модель ситуації (ЦМС) разом із цифровою моделлю рельєфу (ЦМР) є складовою частиною цифрової моделі місцевості (ЦММ) [8].

Цифрова модель ситуації – це цифрове представлення топографічних об’єктів місцевості.

Цифрове представлення топографічних об’єктів забезпечується:

– векторними геометричними даними (точками, полілініями, масками, регіонами з їх координатами);

– семантичними параметрами у вигляді визначеного класифікатором набору тематичних характеристик.

4.1 Топографічні об’єкти цифрової моделі ситуації

Цифрова модель ситуації місцевості включає в себе площинні (ділянки земельних угідь, водойми, населені пункти, майданчики,будівлі та споруди тощо), лінійні (дороги, водотоки, лінії узбережжя, лінії електропередач і зв’язку та ін.) і точкові об’єкти. Створення цифрової моделі ситуації проводиться з використанням процедури «Ситуація».

Площинні об’єкти обмежують ламаним контуром, який може відображатися умовним знаком лінії контуру і умовними знаками заповнення. В одному контурі можливе застосування до трьох видів умовних знаків. Побудова лінії контуру здійснюється за допомогою операції «Створити» функції «Площинні об’єкти». Створити контур можна одним з 3 способів: на існуючих точках (курсор в режимі «Захвату»); при одночасному створенні точок (курсор в режимі «Вказівка»); з використанням раніше побудованих ліній (контурів рельєфу, структурних ліній, лінійних об’єктів ситуації, меж сусідніх площинних об’єктів). Побудова закінчується замиканням контуру і захопленням початкової точки побудови. Операції «Змінити» або «Видалити» дозволяють відповідно змінювати або повністю видаляти лінії контуру [17].

ВГЗ

Для створення і відображення лінійних топографічних об’єктів використовують операцію «Створити» функцію «Лінійні об’єкти». Створювати лінії можна: на існуючих точках (курсор в режимі «Захвату»); при одночасному створенні точок (курсор в режимі «Вказівки»); з використанням ліній раніше виконаних побудов. Курсором послідовно захоплюються або створюються точки лінійного об’єкта. У будь-який момент побудови за допомогою клавіші «*Esc*» або правої клавіші миші можна відмовитися від поточного кроку, а при їх послідовному натисканні – повернутися до початку побудови. Після повторного захоплення курсором останньої точки побудова закінчується і на екрані з’являється запит про вибір умовного знака, який здійснюється так само, як для площинних об’єктів.

Точкові топографічні об’єкти отримують за допомогою операції «Створити точку» функції «Точкові об’єкти». Положення точки в плані задають за допомогою курсору в режимі «Вказівка» або шляхом точного завдання координат *X* і *Y* за допомогою клавіші «*F7*». Після її натискання з’явилося вікно, вводимо координати *X* і *Y*, двічі натискають клавішу «Enter». Відразу ж з’являється запит про вибір умовного знака точки, який здійснюється в тій же послідовності, що і для лінійних об’єктів. За допомогою операції «УЗ повернути» можна повертати символ умовного знака.

4.2 Створення цифрової моделі місцевості для окремої ділянки

Цифрова модель ситуації місцевості включає в себе площинні (ділянки земельних угідь, водойми, населені пункти, майданчики, будівлі та споруди тощо), лінійні (дороги, водотоки, лінії узбережжя, лінії електропередач і зв’язку та ін.) і точкові об’єкти [4].

Переходимо до створення цифрової моделі ситуації, для ділянки, на основі підготовленої цифрової моделі рельєфу.

ВПЗ

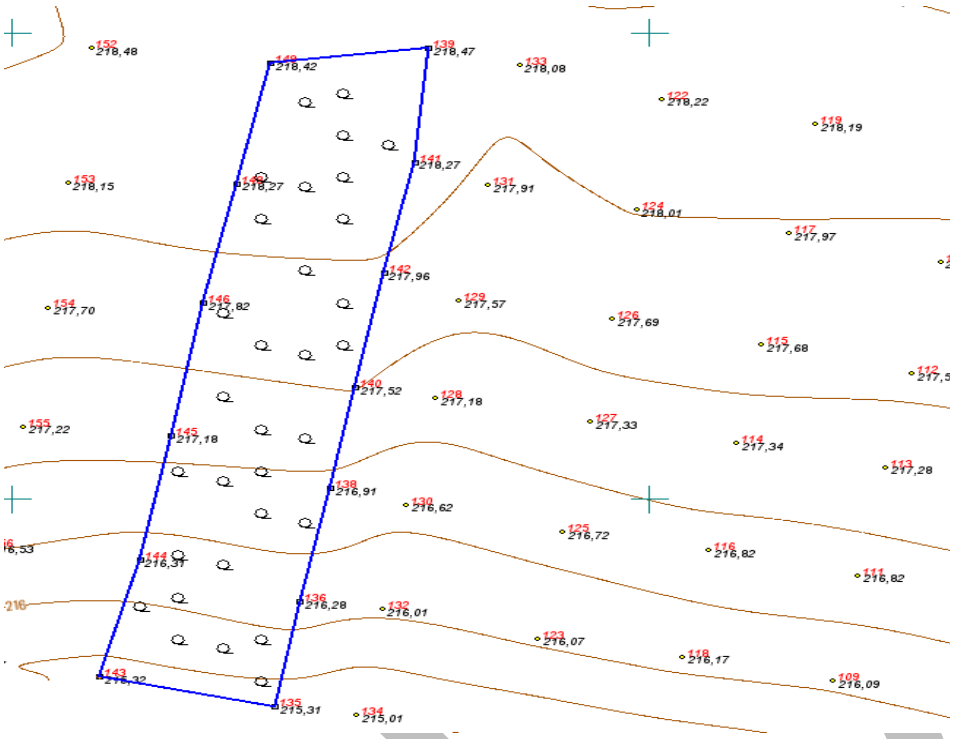


Рисунок 4.1 – Цифрова модель місцевості

ВПС

ВИСНОВКИ

Створення цифрових моделей місцевості або цифрових моделей рельєфу дозволяють вирішувати завдання топографії, вести підрахунок обсягів, розробляти проекти планування території. Використання літальних апаратів і застосування цифрових фотокамер значно спростило цю задачу. Тривимірні моделі місцевості застосовуються в маркшейдерії, геодезії, проектними інститутами для вибору оптимального маршруту лінійного об'єкта. Сучасні рішення дозволяють отримувати 3D моделі місцевості при обробці матеріалів без використання лазерного сканування. Складний алгоритм обчислень створює цифрову модель рельєфу, з якої можна отримати профілі перетину місцевості, виокремити ізолінії поверхні з необхідним кроком, визначати будь-які координати всередині моделі, відстані і висоти.

ВПІЗ

Список використаних джерел

1. Закон України «Про правовий режим воєнного стану» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/389-19#Text, вільний. – Назва з екрана.

2. Закон України «Про оборону України» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12#Text, вільний. – Назва з екрана.

3. Шевченко Р. Ю. Геоінформаційні методи обробки інформації : навчально-методичні вказівки складання карт та обробки результатів геодезичних знімань для працівників відділу туризму та рекреації природно-заповідного фонду – К. : ПНВП «Київтуркартографія», 2016. - 53 с.

4. Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність [Електронний ресурс] : Закон України від 23 грудня 1998 р. № 353-XIV. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text , вільний. – Назва з екрана.

5. Шарий Г. І. ГІС в кадастрових системах: навч. посіб. / Г. І. Шарий, Г. І. Тимошевський, В. В. Щепак,. – Полтава : ПолтНТУ, 2017. – 230с.

6. Digitals – Analytica (Digitals mapping software) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.vingeo.com/podigitals.html, вільний – Назва з екрана.

7. Програмне забезпечення у маркшейдерії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://insgeo.com.ua/programne-zabezpechennia/ , вільний – Назва з екрана.

8. «Вимоги до технічного і технологічного забезпечення виконавців топографо-геодезичних і картографічних робіт» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0395-14#Text , вільний – Назва з екрана.

9. Положення про порядок надходження, зберігання, використання та обліку матеріалів Державного картографо-геодезичного фонду України» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1344-99-%D0%BF/ed20210522#Text, вільний – Назва з екрана.

10. «Положення про Державну службу України з питань геодезії, картографії та кадастру» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/15-2015-%D0%BF#Text, вільний – Назва з екрана.

11. Законом України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо особливостей регулювання земельних відносин в умовах воєнного стану» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2247-20#Text, вільний – Назва з екрана.

12. Кузьмін В.І., Білятинський О.А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві. – К.: Вища школа, 2006. – 280 с.

13. Зуска А.В. Інженерна геодезія: навч. посіб. /А.В. Зуска; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т – Дніпро: НГУ, 2016. – 209 с.

14. Супутникова геодезія [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://eprints.kname.edu.ua/13495/1/%D0%A1%D0%A3%D0%9F%D0%A3%D0%A2%D0%9D%D0%98%D0%9A%D0%9E%D0%92%D0%90_%D0%93%D0%95%D0%9E%D0%94%D0%95%D0%97%D0%86%D0%AF_2.pdf, вільний – Назва з екрана.

15. ДБН А.2.1-1-2008 "Інженерні вишукування для будівництва" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074132130146550876?doc_type, вільний – Назва з екрана.

16. Георадар на практиці [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://promsystem.com.ua/UA/georadar-na-praktyczi/, вільний – Назва з екрана.

17. ДБН А.2.2-1:2021 "Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС)" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074091730048386648?doc_type=2, вільний – Назва з екрана.

18. Зацерковний В. І., Бурачек В. Г., Железняк О. О., Терещенко А. О. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. – Кн. 2 / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2017. – 237 с.

19. Качановський О.І.Автоматизована земельно-кадастрова інформаційна система: Навчальний практикум. – Рівне: НПЦЗ, 2014. – 154с.

20. Алгоритми побудови тріангуляції Делоне [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://studfile.net/preview/8914297/, вільний – Назва з екрана.

21. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин: НДУ, 2014. – 492 с.

22. Геодезія. Топографія [Текст]: навч. посібник / А.Л. Островський, О.І. Мороз, З.Р. Тартачинська, І.Ф. Гарасимчук. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 440 с.

23. Зацерковний В. І., Демидов В. К., Цюпа І. В., Малік Т.М. Моделювання в ГІС – 2024. – 420 с.

24. Криві Безьє. Основні поняття та властивості кривих Безьє [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.mathros.net.ua/kryvi-bezje.html, вільний – Назва з екрана.

25. Білятинський О. А., Заворицький В. Й., В. П. Старовойда В. П., Хом'як Я. В. Проектування автомобільних доріг: Підручник. для вузів. – К. : Вища школа, 1997.

ВІТЗ