

УДК 625.72.

Савчук С.О., Соколенко Т.В.

ЗАСТОСУВАННЯ СУПУТНИКОВИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ КАРТ ПРИ ВИШУКУВАННІ ТА ПАСПОРТИЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Анотація. В статті розглянуто застосування супутникових геодезичних карт та GPS технологій для розробки паспорту автомобільної дороги. Приведена методика розрахунку параметрів автомобільної дороги (план та поздовжній профіль) за даними отриманими з GPS приймача.

Ключові слова: автомобільна дорога, супутникові геодезичні карти, координати, параметри дороги, GPS.

Аннотация. В статье рассмотрено использование спутниковых геодезических карт и GPS технологий для разработки паспорта автомобильной дороги. Приведена методика расчета параметров автомобильной дороги (план и продольный профиль) за данными полученными от GPS приемника.

Ключевые слова: автомобильная дорога, спутниковые геодезические карты, координаты, GPS, параметры дороги.

Annotation. The article considers application of satellite geodesic maps and . GPS of technologies for development to the passport of road. Shown methodology of calculation of parameters of road (plan and longitudinal profile) from data got from GPS of receiver .

Keywords: road, satellite geodesic maps, coordinates, GPS, parameters of road.

Супутникові карти - це фотографії земної поверхні, отримані із супутника. Першу фотографію земної поверхні було отримано 17 серпня 1959 року американським штучним супутником «Explorer б», а перший знімок отриманий з орбіти в реальному часі був зроблений в 1977 році. Так розпочалася ера супутникових фотографій. Трохи більше ніж через тридцять років топографічні і супутникові зображення прив'язані до координатної сітки, стали доступними

в онлайн картографічних сервісах. Завдяки достатньо високій точності та зручності використання супутникові карти знайшли застосування в сільському господарстві, лісовій промисловості, геодезії, геофізиці та ін. Супутникові карти використовують для вивчення місцевості, визначення координат, розрахунку відстаней, вимірювання довжини та площі, визначення рельєфу, вивчення географії, визначення маршрутів для руху по дорогам та інших цілях.

Супутникові карти є інтерактивними, тобто з їх допомогою можна визначати координати в будь якій точці супутникового зображення, що дозволяє розраховувати довжину по карті і відстань між об'єктами, розраховувати площу будівель та форм рельєфу на планеті, відстань по дорозі, вимірювати кути та визначати азимути [1].

Таким чином, за допомогою супутникових геодезичних карт можна визначити основні елементи автомобільної дороги, такі як ширина проїзної частини, радіуси горизонтальних кривих, поздовжні похили, радіуси вертикальних кривих, пікетажне. Кожна точка на карті характеризується географічними координатами X , Y та висотою Z .

Супутникові карти google (3gplaneta) використовують геодезичну систему координат WGS-84. Ця геодезична система являє собою загально земну референтну систему.

Система WGS-84 є правостороння ортогональна система координат, початок якої суміщений з центром мас Землі, точність складає менше 2 см. В WGS-84 нулевим меридіаном вважається опорний меридіан, який проходить в $5,31''$ до сходу від Гринвічського меридіана. За основу взятий еліпсоїд з великим радіусом – 6 378 137 м (екваторіальний) та менший – 6 356 752,3142 м (полярний). Відрізняється від геоїда менш ніж на 200 м. Вісь Z направлена на Умовний земний полюс. Цей напрямок відповідає напрямку на Загальноземний полюс за визначенням Міжнародного бюро часу на епоху 1984 року з похибкою $0,005''$. Вісь X направлена в точку перетину нульового меридіана з площиною екватора, які встановлені Міжнародною службою обертання Землі. Вісь Y розміщена в площині екватора під кутом 90 градусів на схід від осі X [3].

Отримані географічні координати задані в градусах довготи та широти переводяться у прямокутну систему координат, яка являє собою три попарно перпендикулярні прямі x , y , z з точкою O на перетині цих прямих, що є

початком координат, а прями з вибраними напрямками осями координат. Вісь x називають віссю абсцис, вісь y - віссю ординат, вісь z - віссю аплікат. Початок координат розбиває кожну з осей на дві півосі - додатну (яку позначають стрілочкою) і від'ємну. Площини, які проходять відповідно через осі координат x і y , y і z , x і z називають координатними площинами xy , yz , xz . Кожній точці M простору в прямокутній системі координат відповідає впорядкована трійка чисел, а кожній впорядкованій трійці чисел - єдина точка простору. Цю трійку чисел називають координатами точки [2].

На рис.1 приведено визначення пікетажного положення автомобільної дороги Новики - Тарасів.

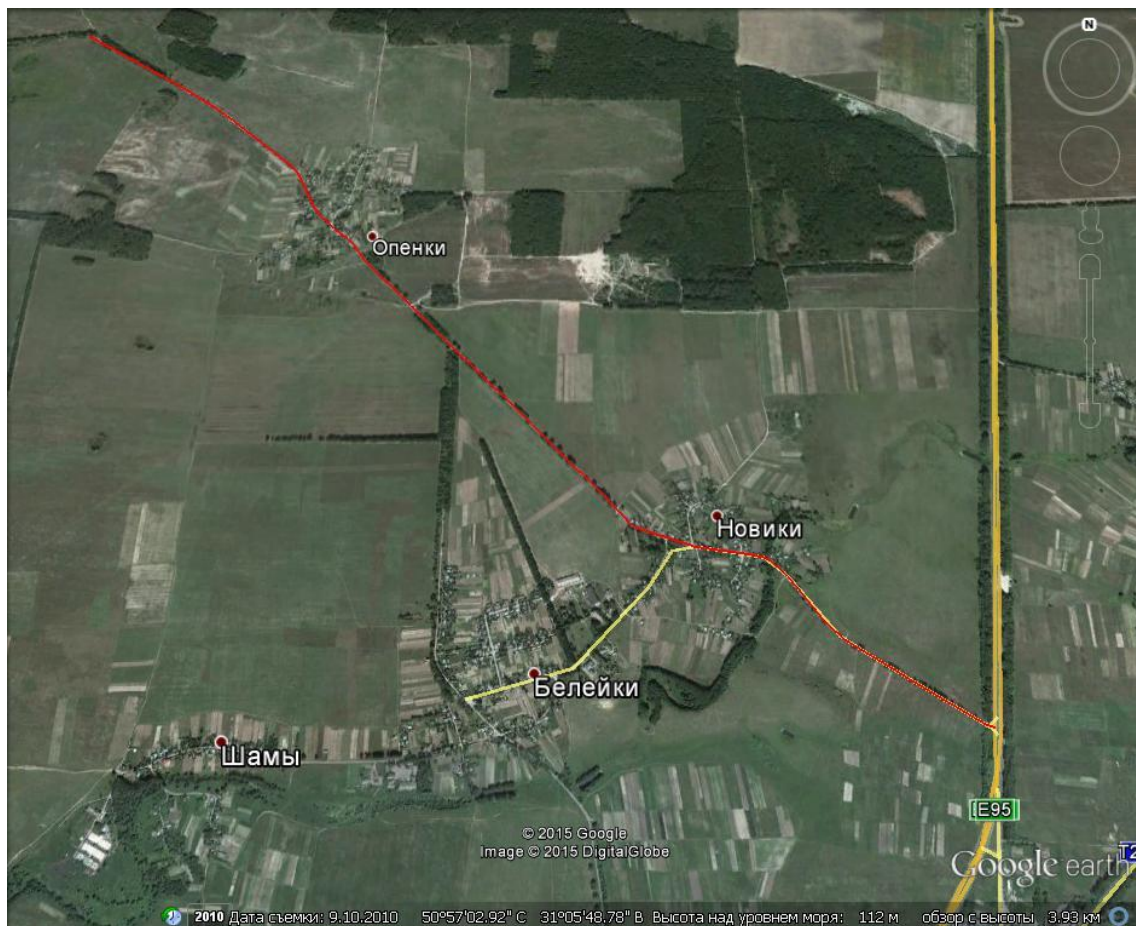


Рисунок 1 - План дороги Новики – Тарасів

З допомогою додатку для визначення географічних координат, адреси і висоти місцевості над рівнем моря по географічним картам Google ми визначили географічні координати (табл. 1).

Таблиця 1

Дані зі супутникових геодезичних карт				
№ п/п	Пікетажне положення	Координати		
		ПК +	Широта	Довгота
0	0 + 00,00	50.9409150059332	31.119527220944292	113.38
1	0 + 24,40	50.94095894896714	31.119205355862505	112.51
2	0 + 43,93	50.94104345468494	31.118958592633135	111.88
3	0 + 79,20	50.94122936672346	31.118529439190752	110.99
4	1 + 20,98	50.9414423195996	31.118025183895952	109.93
5	1 + 78,49	50.94172287507443	31.11735999606026	109
6	2 + 25,77	50.94198314791682	31.116737723568804	109
7	3 + 10,63	50.94234144321246	31.11587405193859	109.88

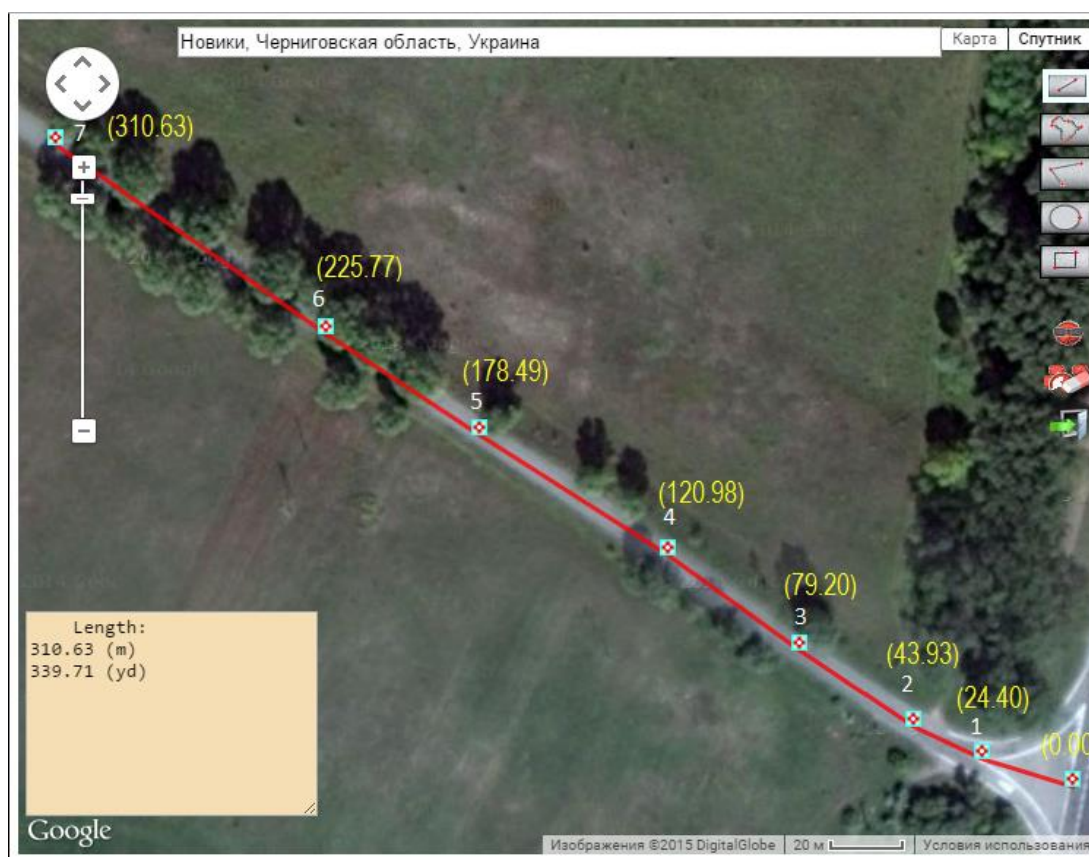


Рисунок 2 - Пікетажне положення автомобільної дороги від дороги Новики - Тарасів.

Перехід від геодезичних координат В, L, Н до просторових прямокутних X, Y, Z виконується за допомогою програмного комплексу PHOTOMOD GeoCalculator. Для цього необхідно провести підгонку координат до загрузки в програму. GeoCalculator читає текстові файли (.txt, .csv) в яких колонки

розділяються за допомогою ком, а ціла та дробова частина числа розділяються за допомогою крапки. Всього може бути не більше 4 колонок: 1-ша – ім'я точки; 2-га – широта точки; 3-тя – довгота точки; 4-та – висота точки. Потім в одній з половинок робочого вікна програми, призначених для точок, завантажуюмо точки для перерахунку. Після чого у віконці над точками вибираємо в якій системі координат вони знаходяться, а напроти – в яку систему координат ми бажаємо їх перерахувати [4].

Переведення географічних координат за допомогою додатку GeoCalculator із системи координат «Широта-довгота WGS84 – Геодезична (широта – довгота – висота над референт – еліпсоїдом) World Geodetic System 1984» в систему координат «WGS 84 / UTM 2N – 30° в. д. -36° в. д.»

Таблиця 2

Дані зі супутникових геодезичних карт				
№ п/п	Пікетажне положення	Координати		
	ПК +	Широта	Довгота	Висота над рівнем моря (м)
0	0 + 00,00	5644938.188	367885.325	113.38
1	0 + 24,40	5644943.651	367862.838	112.51
2	0 + 43,93	5644953.489	367845.743	111.88
3	0 + 79,20	5644974.930	367816.122	110.99
4	1 + 20,98	5644999.512	367781.302	109.93
5	1 + 78,49	5645031.899	367735.368	109.00
6	2 + 25,77	5645061.955	367692.393	109.00
7	3 + 10,63	5645103.344	367632.738	109.88

На основі прямокутної системи координат отримують в плані - вісь автомобільної дороги з фіксацією основних точок осі автомобільної дороги (початок дороги, кінець дороги, прямі ділянки дороги, примикання та перехрещення, горизонтальні криві, початок і кінець населеного пункту і т. д.), в профілі - поздовжній профіль та поперечні профілі автомобільної дороги, які вимірюються через кожні 20-100м в залежності від рельєфу місцевості. За допомогою розроблених методів визначається кривизна осі дороги в плані та поздовжньому профілі.

В даний час існує декілька методів визначення радіусів горизонтальних та вертикальних кривих.

Радіус кривої в плані можна визначити за допомогою геодезичних інструментів та обчислити за геометричними залежностями, користуючись відповідними розрахунковими схемами. Для визначення радіусів вертикальних кривих використовують інструментальні методи вимірювання.

До сучасних технологій вимірювання відносяться GPS системи, які є складовою частиною GPS- технології. Супутникова радіонавігаційна система або, як вона ще називається, глобальна система визначення місця розташування GPS (Global Position System) забезпечує високоточне визначення координат і швидкості об'єктів у будь-якій точці земної поверхні, у будь-який час доби, у будь-яку погоду, а також точне визначення часу.

GPS-система складається з спеціально розроблених низькоорбітальних супутників, які служать для визначення точних координат.



Рисунок 3 - Загальний вид GPS навігатора встановлений на лобовому склі автомобіля.

Положення об'єкту обчислюється завдяки використанню GPS-приймача, який приймає та оброблює сигнали від супутників, що відносяться до космічного сегменту глобальної системи позиціонування. GPS система в своєму складі має наземні центри управління для визначення точних параметрів орбіт супутників та їх керування.

Принцип визначення координат полягає в одночасному вимірі відстані до декількох супутників з відомими параметрами їхніх орбіт на кожний момент часу і наступному обчисленні своїх координат [5].

За допомогою GPS-комплексу для кожної точки отримують три координати X, Y, Z , де X, Y - відносяться до плоских, Z -до вертикальних координат. Дискретність отримання інформації може бути задана і становить від секунди до декількох секунд. Таким чином за допомогою ААК отримуємо план траси автомобільної дороги зафіксованого в координатах X, Y . Маючи таку множину точок координат можна визначитись з видом елементу плану автомобільної дороги - прямолінійна чи криволінійна ділянка (пряма, чи крива). Крім цього для криволінійних ділянок можна визначити і величину радіуса горизонтальної кривої.

Дані GPS навігатора по дорозі отримують у табличній формі:

№	Відмітки X	Відмітки Y	Відмітки Z	Час	Відстань
25	X=-84.04	Y=-96.84	137.20	11:04:27	128.90
26	X=-87.34	Y=-101.65	137.30	11:04:31	134.73
27	X=-92.62	Y=-109.25	137.30	11:04:33	143.99
28	X=-98.62	Y=-117.58	137.00	11:04:35	154.25
29	X=-104.50	Y=-124.99	137.00	11:04:37	163.71
30	X=-109.67	Y=-132.02	136.50	11:04:39	172.44
31	X=-113.43	Y=-137.58	136.50	11:04:41	179.15
32	X=-114.37	Y=-139.06	136.60	11:04:43	180.90
33	X=-115.08	Y=-140.72	136.60	11:04:45	182.71
34	X=-118.25	Y=-145.91	136.90	11:04:53	188.79
35	X=-122.48	Y=-153.50	135.60	11:04:55	197.48

Визначення радіусів горизонтальних та вертикальних кривих

Однак, як для горизонтальних так і вертикальних кривих виникає задача встановлення їх напрямку або їх опуклості. Для горизонтальних кривих це стосується визначення їх напрямку повороту – направо чи наліво відносно вісі дороги. Для вертикальних кривих необхідно визначитись - чи це опукла чи угнута крива. Таким критерієм для першого випадку може бути зростання чи зменшення відповідних координат X та Y , а для другого - характер зміни

координати Z . Крім цього в процесі аналізу вертикальної кривої можна встановити ділянки з постійним похилом та величину цього похилу а також його характер – спуск чи підйом.

Таким чином використання GPS технологій дозволяє вдосконалити методику проведення польових робіт та отримувати з відповідною дискретністю три координати зі швидкістю руху лабораторії від 20 до 50 км/год в залежності від кількості зафіксованих додатково елементів дороги, що знаходяться в межах придорожньої смуги. Визначення радіусів горизонтальних і вертикальних кривих на автомобільній дорозі дозволяє прискорити ці процеси у 18-25 разів у порівнянні з традиційними.

1. Визначення радіусу кривих за формулою

Визначення радіусу заокруглення кривої по 3 трьом точкам, які знаходяться на однаковій відстані одна від одної.

Три точки знаходяться на кривій з радіусом R , який є шуканою величиною. Відрізок AC – хорда з відомою довжиною l . Посередині кривої знаходиться точка B , радіус R проведений через цю точку ділить хорду на два рівних відрізка AD і DC , з довжиною $l/2$. Перевищення точки B над хордою становить величину Δ .

З цих вихідних даних створимо формулу для обчислення радіусу кривої.

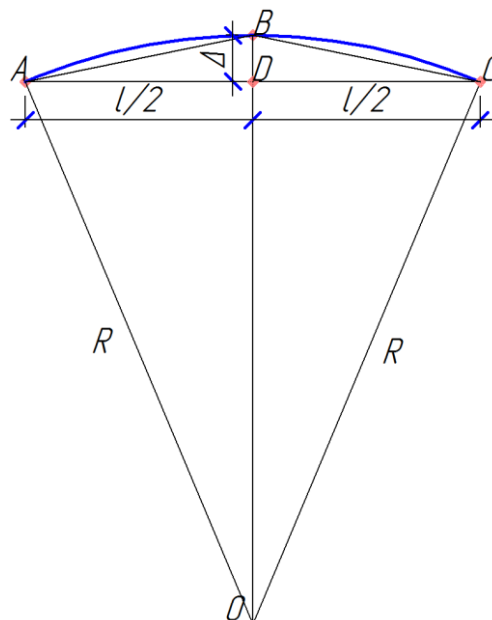


Рисунок 4 - Схема визначення радіусу заокруглення

Нехай сторона DC відноситься до сторони DO , так само як і DC до BD .

$$R = \frac{\frac{l^2}{4} + \Delta^2}{2\Delta}$$

Отримуємо універсальну формулу

$$R = \frac{4\Delta^2 + l^2}{8\Delta}$$

2. Визначення радіусу кривої графічним способом в Auto CAD

Для визначення радіусу кривої графічним способом в AutoCAD використовується додаткова команда, яку необхідно встановити в програмі AutoCAD. Команда називається Геоімпорт та дозволяє завантажити координати точок в AutoCAD та побудувати криву.

В результаті отримуємо полілінію для аналізу. В даному випадку це криві в плані. Використовуючи команду «побудувати коло за трьома точками» визначаємо радіуси заокруглень. Також за допомогою інших інструментів AutoCAD вимірюємо довжини прямих та кривих ділянок.

3. Визначення радіусу горизонтальної кривої методом подовжених хорд

Визначення радіусів горизонтальної кривої методом подовжених хорд.

Враховуючи наявність не тільки колових горизонтальних кривих а і перехідних кривих, для отримання їх радіусів виникла необхідність визначення кривизни усіх точок отриманих за допомогою GPS або супутникових геодезичних карт які характеризуються координатами X,Y,Z.

При розбивці горизонтальних кривих використовують метод хорд. В цьому методі користуються постійною величиною S та d що відповідає радіусу горизонтальної кривої [6].

Розглянемо два трикутники OK₁K₂ та BK₁K₂. Трикутники рівнобедрені.

Із подібності трикутників

$$d/S = S/R \text{ звідки}$$

$$R = S^2 / d$$

В проектуванні доріг цей метод використовується при рівних відрізках S. Так як при роботі з супутниковою геодезичною картою, або даними GPS вони будуть різної довжини і метод потребує уточнення. Для цього необхідно встановити залежність d від довжини S. Розрахункова схема показана на рисунку 3.

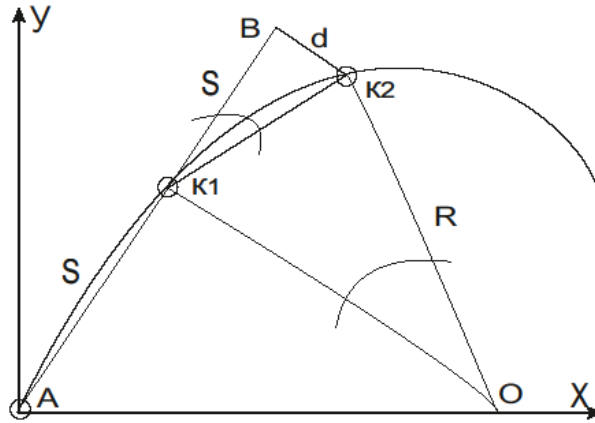


Рисунок 5 - Схема для визначення радіуса кривої

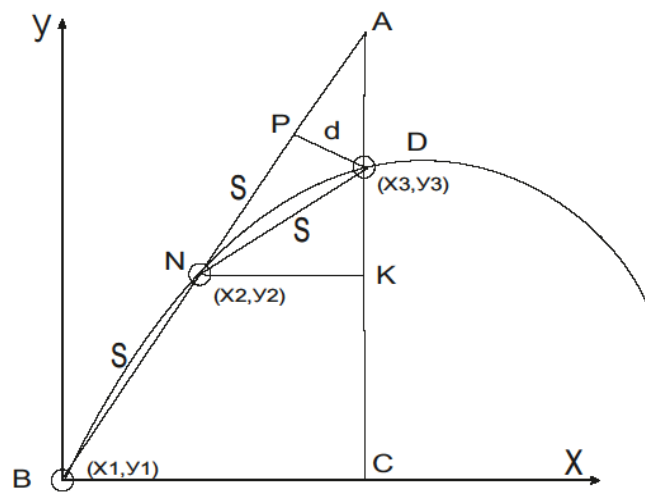


Рисунок 6 - Схема для розрахунку радіуса кривої методом подовжених хорд

1. Визначається похил подовженої хорди

$$i_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

2. Знаходяться координати точки А

$$\Delta h_A = (x_3 - x_1) \cdot i_1$$

$$y_A = y_1 + \Delta h_A$$

$$x_A = x_3$$

3. Визначається довжина хорди S

Трикутник PND є рівнобедреним, тому NP=ND. З трикутника NDK знаходиться гіпотенуза ND, що дорівнює довжині хорди S:

$$S = \sqrt{(y_3 - y_2)^2 + (x_3 - x_2)^2}$$

4. Знаходиться проміжне переміщення d

Визначається кут PND

$$\operatorname{tg} \angle ANK = \frac{AK}{NK} = \frac{y_A - y_2}{x_A - x_2}$$

$$\operatorname{tg} \angle DNK = \frac{DK}{NK} = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2}$$

$$\angle ANK = \angle ANK - \angle DNK$$

З прямокутного трикутника PND визначається проміжне переміщення d:

$$\sin \angle PND = \frac{d/2}{S}$$

$$d/2 = S \cdot \sin \angle PND$$

$$d = d/2 \cdot 2$$

5. Знаходиться радіус горизонтальної кривої R

$$R = \frac{S^2}{d}$$

1. Визначення радіуса вертикальної кривої та похилу методом перевищень

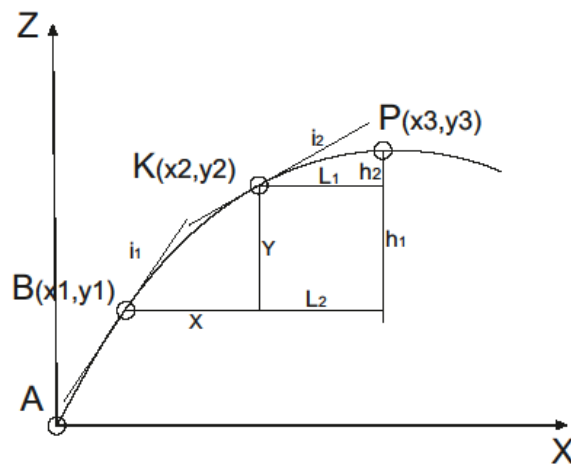


Рисунок 7 - Схема для визначення радіуса кривої

Кривизна в кожній точці знаходиться: $R = L/i$

Виходячи з цього

$$L_1 = i_1 \cdot R \quad (1.1)$$

$$L_2 = i_2 \cdot R \quad (1.2)$$

Перевищення рівні

$$h_1 = \frac{L_1^2}{2R} \quad (2.1)$$

$$h_2 = \frac{L_2^2}{2R} \quad (2.2)$$

Умовно різниця між перевищеннями називається Z

$$h_1 - h_2 = Z \quad (3)$$

Підставляється у вираз (3) вираз (2.1) і (2.2)

$$\frac{L_1^2}{2R} - \frac{L_2^2}{2R} = Z \quad (4)$$

Різницю відстаней умовно має назву X

$$L_2 - L_1 = X \quad (5)$$

Підставляється (5) у вираз (4) і отримується

$$\frac{L_1^2}{2R} - \frac{(L_1 - X)^2}{2R} = Z$$

$$\frac{(i_1 \cdot R)^2}{2R} - \frac{(i_1 \cdot R - X)^2}{2R} = Z \quad (6)$$

Домножується друга частина рівняння на знаменник $2R$ і отримується

$$(i_1 \cdot R)^2 - (i_1 \cdot R - X)^2 = 2RZ \quad (7)$$

$$i_1^2 R^2 - i_1^2 R^2 + 2i_1 R X - X^2 = 2RZ \quad (8)$$

$$2i_1 R X - 2RZ = X^2 \quad (9)$$

$$R(2i_1 X - 2Z) = X^2 \quad (10)$$

Отже отримуємо

$$R = \frac{X^2}{2i_1 X - 2Z} \quad (11)$$

Знаходиться наступний похил

$$L_1 - L_2 = X \quad i_1 \cdot R - i_2 \cdot R = X$$

$$i_2 \cdot R = X + i_1 \cdot R$$

$$i_2 = \frac{X + i_1 \cdot R}{R} \quad (12)$$

На основі координат отриманих з GPS приймачів та команди Геоімпорт , яка дозволяє завантажити координати точок в AutoCAD будуємо просторову модель дороги, що представлена на рис. 8.

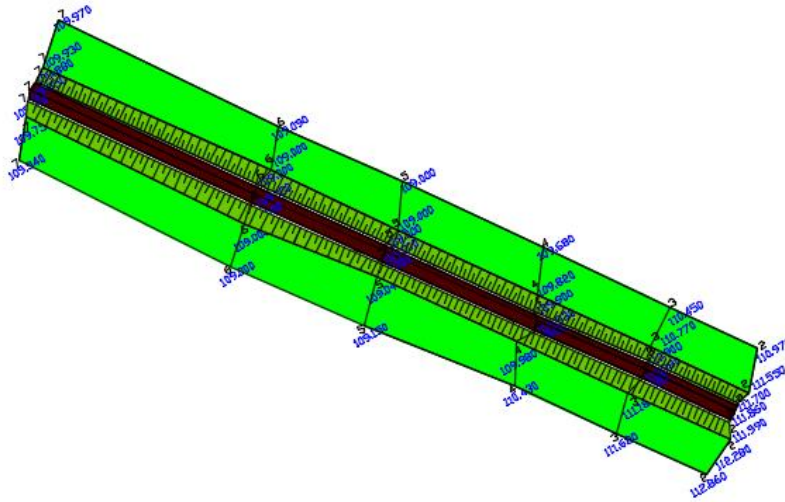


Рисунок 8 - Просторова модель дороги

Висновки

В результаті досліджень можна зробити висновки, що супутникові геодезичні карти та GPS приймачі можна застосовувати при вишукуванні та паспортизації автомобільних доріг. Даних, які отримуються з супутникових геодезичних карт та GPS приймача, достатньо для визначення таких параметрів дороги як: горизонтальні, вертикальні криві та похили. За цими даними можна побудувати просторову модель дороги та розрахувати радіуси кривих і значення похилів.

Використання GPS технологій дозволяє вдосконалити методику проведення польових робіт та отримувати з відповідною дискретністю дані для подальшої їх обробки. Вони також в значній мірі зменшують трудомісткість і час виконання робіт по збору даних для побудови плану і профілю дороги. Розроблені методи для підрахунку радіусів кривих та похилів за координатами отриманими від GPS приймача.

Література

1. URL: <http://3planeta.com/googlemaps/karty-google-maps.html>
2. URL: http://uk.wikipedia.org/wiki/Декартова_система_координат
3. Літнарівч Р.М. Основи космічної геодезії. Лабораторний практикум. – Чернігів, 2002. – 90 с.
4. URL: <http://gis-lab.info/qa/photomod-geocalc.html>
5. Шумаков Ф.Т. Супутникова геодезія. Конспект лекцій. – Харків, 2009. – 87 с.
6. URL: <http://cities-bлаго.ru/uchebnoe-posobie-po-inzhenernoj-geodezii/271-detalnaya-razbivka-krivykh.html>