

І.В. Мусієнко, Л.М. Казаченко, Е.В. Захарова

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

АНАЛІЗ ВИСОТНИХ ПОХИБОК GOOGLE EARTH З МЕТОЮ ВИКОРИСТАННЯ У ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБОТАХ

Розглянуто проблему використання геопорталу Google Earth в геодезичних цілях, обґрунтовано її актуальність. У статті розглянуто цю проблему з боку аналізу висотних похибок. Розглянуто «еталонний» об'єкт, по якому є просторові дані, отримані геодезичними методами заданої точності. У геопорталі Google Earth побудовано трасу дороги та поздовжній профіль. Систематизовано отриману інформацію і проаналізовано відносно точності висотних просторових даних.

Ключові слова: геопортал Google Earth, точність висотних просторових даних, план траси, поздовжній профіль, просторові дані.

Постановка проблеми

На даний момент на ринку ІТ-послуг активно розвивається сервіс Google Планета Земля (більш відомий як Google Earth). Останньою версією є Google Планета Земля Pro Pro 7.3. Це інформаційна система з широким функціоналом, яка використовується в системі Інтернет, для мобільних пристроїв і для стаціонарних комп'ютерів. Система являє собою «віртуальний глобус», побудований на об'єднаних фотознімках з доданням просторової інформації, яка надається компанією Alphabet Inc у системі координат – WGS 84 і універсальній поперечній проекції Меркатора [1].

В системі є можливість прокласти лінію траси, отримати поздовжній профіль цієї лінії з відмітками і ухилом. Однак залишається питання точності просторової інформації. Відповідь на це питання дозволить виділити спектр інженерних, геодезичних та проектних завдань, які можна вирішити за допомогою цього сервісу.

Точність просторової інформації Google Earth можна оцінити способом порівняння з еталонним об'єктом, для якого виконані геодезичні вишукування. У якості такого об'єкта у цій роботі узяті дані коригування проектної документації на будівництво автомобільної дороги в обхід м. Новий Буг (П черга) у Миколаївській області.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В цілому, використання GIS Google Планета Земля в геодезичних цілях в науковій літературі розглянуто мало. Разом з тим в нечисленних джерелах на цю тему обґрунтовується актуальність даного напрямку. Окрім загальних обзорів сучасних геопорталів [2], зокрема розглядається використання картографічних web-сервісів для геодезичних цілей [3].

Картографічні web-сервіси діляться на веб-додатки (web-based maps) і десктопні програми (virtual globus) з підвантаженням картографічних даних. Аналіз картографічних сервісів (Google Maps, Visicom Maps, Карти Yandex, Bing Maps, Kosmosnimki.ru, Yahoo! Maps, Карти mail.ru) показує їх орієнтування на систему координат WGS-84 [3]. У нас в маркшейдерських, земельно-кадастрових та топографо-геодезичних роботах використовуються СК-42, СК-63, УСК-2000 і місцеві СК, тому при використанні картографічних web-сервісів доцільний перехід до системи координат WGS-84 [3]. Перетворення систем координат для шарів і карт розглянуто у [4].

Google Earth відноситься до класу геопорталів, або геоінтерфейсів. Основу даних в системі Google Earth представляють супутникові знімки компанії DigitalGlobe. В джерелі [5] автор приводить деяку інформацію відносно точності просторових даних системи Google Earth. Базове покриття системи Google Earth здійснюється знімками, точність яких відповідає точності карт масштабу 1:25000. Ці знімки отримані компанією EarthSat і мають підсумкову роздільну здатність на місцевості 15 м/пк. Великі міста і значна частина обжитих територій відображаються з точністю масштабу 1: 2000 [5]. Ці знімки зроблені з супутників GeoEye-1 (роздільна здатність 0,41 м/пк), і QuickBird-2 (роздільна здатність 0,68 м/пк). Знімки на малообжитих територіях, що надаються компанією Terra Metrics, часто бувають штучно загублені і мають роздільну здатність близько 100 м/пк [5].

Є два рівня точності знімків: Level-2 (розмір елемента в 1 кутову секунду (30x30 м) з 20-метровою точністю по висоті, використовуються Міністерством оборони США) і Level-1 (дані комплектуються по квадратах розміром 1x1 градус, при

максимальному доволі 3 кутові секунди (90х90 м); такий квадрат є матрицею розміром 1201х1201 елементів (пікселів). Вихідні дані, що використовуються в системі Google Earth, доступні на весь світ в готовому вигляді, тобто їх не потрібно спеціальним чином обробляти. Однак ці дані не можна специфічним чином налаштувати (як це робиться в професійних пакетах ГІС), наприклад, змінити систему координат, комбінацію каналів даних дистанційного зондування (ДЦЗ), поліпшити географічну прив'язку тощо [5]. У цілому розбіг висот складає 20 м.

Також є можливість імпортування даних Google Earth в AutoCAD Civil 3D для побудови цифрової моделі рельєфу [6]. Як вказує автор, ця можливість доцільна при виконанні ескізного проекту, попереднього планування, оцінці обсягів робіт, тобто на тому етапі, коли ще відсутня актуальна детальна топографічна зйомка місцевості [6].

У [7] розглядається використання інтернет-карт в САПР і ГІС в якості підкладок, запропоновано алгоритм трансформації для кожної точки карти. Відносно точності автоматичної прив'язки, навіть в тій точці карти, координати якої в СК проекту були обчислені явно, а не отримані інтерполяцією в ході проектного перетворення, розбіжність з відомим положенням відповідного об'єкта може досягати близько 10 м на самих детальних рівнях. І лише в малому ступені це пов'язано з точністю переходу від глобальної системи координат WGS 84 до місцевої, в якій найчастіше визначені координати об'єкта [7].

У [8] дається коротка характеристика універсальної проекції Меркатора (UTM) і наводиться технологія перетворення координат точок земної поверхні з проекції Меркатора в проекцію Гаусса-Крюгера. Запропонована технологія може бути використана у виробництві.

Картометричні обчислення на поверхні еліпсоїда дозволяють мінімізувати спотворення результату обчислень, особливо в порівнянні з обчисленнями в площинах різних картографічних проекцій [9]. Подібний підхід може бути успішно реалізований в середовищі сучасних САПР і ГІС. Однак, на сьогоднішній день, ні в одній з широко поширених ГІС не існує апарату призначеного для виробництва широкого спектру картометричних робіт на поверхні Земної еліпсоїда [10]. Таким чином, очевидна актуальність даного напрямку.

Метою цієї статті є проведення аналізу вертикальних похибок надання просторових даних геопорталом Google Earth через порівняння з геодезичною польовою зйомкою з метою використання у геодезичних роботах.

Виклад основного матеріалу

На першому етапі розглянемо «еталонний» об'єкт, по якому є просторові дані, отримані геодезичними методами заданої точності.

Коригування проектної документації на будівництва автомобільної дороги в обхід м. Новий Буг (II черга) у Миколаївській області потрібно у зв'язку зі зміною нормативно-кошторисної бази, введення в дію національних стандартів та інфляційного зростання цін. Робочий проект будівництва автомобільної дороги Обхід м. Новий Буг у Миколаївській області, що коригується, було виконано інститутом АТЗТ «Київсоюзшляхпроект» на підставі завдання № 15-2/06 на розроблення проектно-кошторисної документації від 03.08.2006 року, виданого Службою автомобільних доріг у Миколаївській області і затвердженого Державною Службою автомобільних доріг України.

Коригування робочого проекту виконано з урахуванням інженерно-геологічних вишукувань, та інженерно-геодезичних вишукувань виконаних у 2018 році ПП «Парк нових технологій».

При розробці проекту використані діючі будівельні норми і правила, типові проекти та відомчі рекомендації.

По схваленому напрямку варіанта траси виконані докладні інженерні вишукування і прокладена траса дороги. Початок траси прийнятий на км 230+188 дороги Р-55 Вознесенськ - Новий Буг.

Кінець траси прийнятий на км 235+375 дороги Н-11 Дніпро-Миколаїв (через Кривий Ріг).

Загальна довжина траси від точки відмикання на дорозі Р-55 до точки примикання до дороги Н-11 складає 9,341 км (рис. 1).

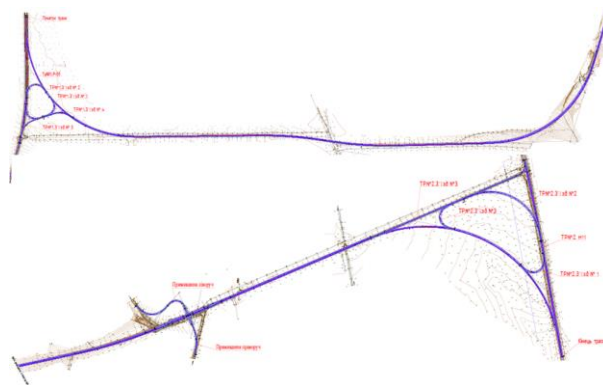


Рис. 1. План дороги (загальний вид)

При проектуванні поздовжнього профілю дотримані вимоги за нормативами для умов рівнинної місцевості, для дороги II категорії, при розрахунковій швидкості 90 км/год (рис. 2).

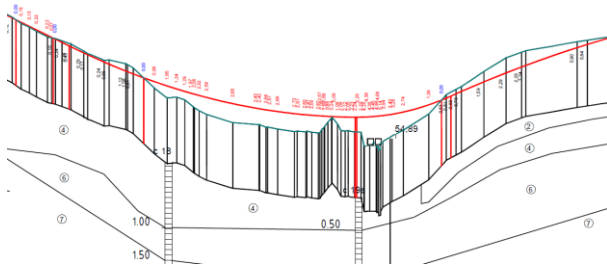


Рис. 2. Поздовжній профіль (на складній ділянці перетину балки Куцої на ПК 50)

Поздовжній профіль дороги, зокрема відмітки земної поверхні, доцільно використовувати у якості просторових даних для аналізу. Вони наведені у сітці поздовжнього профілю від початку до кінця траси через кожні 20 м траси.

На другому етапі потрібно у системі Google Earth коректно побудувати трасу дороги та вивести поздовжній профіль. Для побудови траси потрібно мати ситуаційні орієнтири, які є і серед даних геодезичної зйомки і на фотографіях Google Earth. У нашому випадку – це ґрунтові дороги, вздовж яких проходить наша траса. Складніше знайти початок і кінець траси, тому були відкладені значення тангенсів від вершин кутів (рис. 3).

Для побудови лінії траси дороги потрібно в програмі Google Earth у головному меню знайти вкладку «Інструменти», в цій вкладці натиснути на галочку напроти команди «Лінійка». З'явиться вікно, у якому потрібно обрати вкладку «Путь». Після цього за допомогою маніпулятора «Миш» можна прокласти трасу (рис. 3).

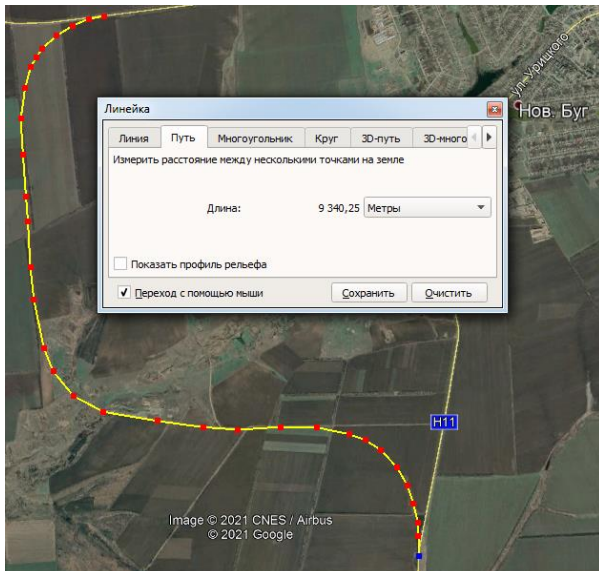


Рис. 3. Траса дороги у Google Earth

Для виведення поздовжнього профілю потрібно на лінії траси натиснути за допомогою правої клавіші миші, та обрати опцію «Показати профіль рельєфу». Під лінією з'являється поздовжній

профіль (рис. 4), по якому є інформація відносно ухилу, відміток і відстані у кожній дискретній точці (через певні інтервали).



Рис. 4. Поздовжній профіль лінії у Google Earth

На третьому етапі потрібно систематизувати отриману інформацію і проаналізувати. Дискретні точки поздовжнього профілі лінії у Google Earth не співпадають з 20-метровими відрізками поздовжнього профілю запроектованої дороги, тому потрібно виконати лінійну інтерполяцію.

Було виконано 4 експерименти, кожний експеримент включає близько 60 точок просторових даних, які отримані двома методами (рис. 5–8).

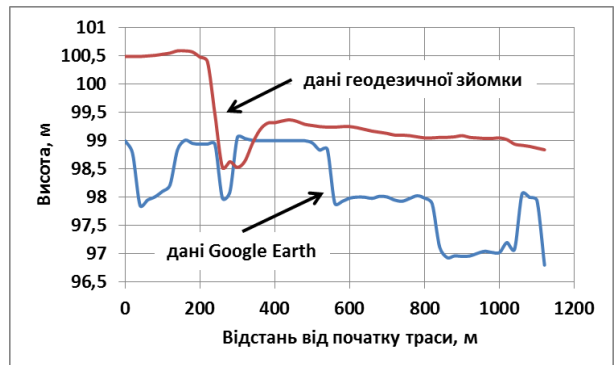


Рис. 5. Перша ділянка дослідження

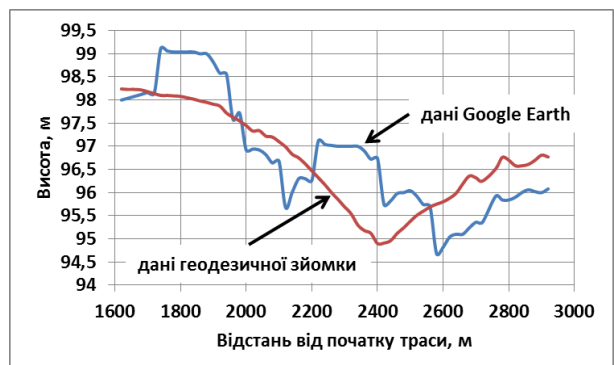


Рис. 6. Друга ділянка дослідження

Збіг рядів даних доцільно оцінити за коефіцієнтом парної кореляції (r) та за середньою різницею ($\Delta_{сер}$). Щоб запобігти вплив на результат розрахунку

середньої різниці від'ємних чисел, потрібно брати квадратний корінь від квадрату Δ :

- 1 ділянка дослідження: $r = 0,35$; $\Delta_{\text{сер}} = 1,28$ м;
- 2 ділянка дослідження: $r = 0,73$; $\Delta_{\text{сер}} = 0,76$ м;
- 3 ділянка дослідження: $r = 0,96$; $\Delta_{\text{сер}} = 1,36$ м;
- 4 ділянка дослідження: $r = 0,97$; $\Delta_{\text{сер}} = 3,21$ м.

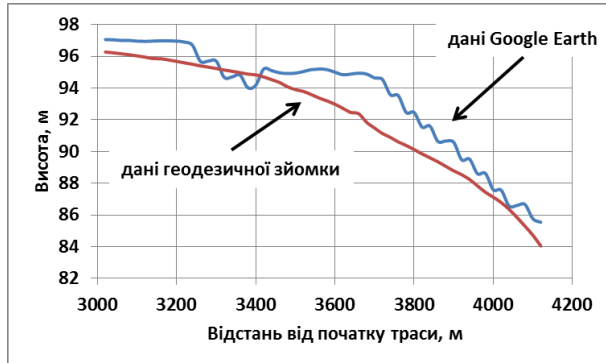


Рис. 7. Третя ділянка дослідження

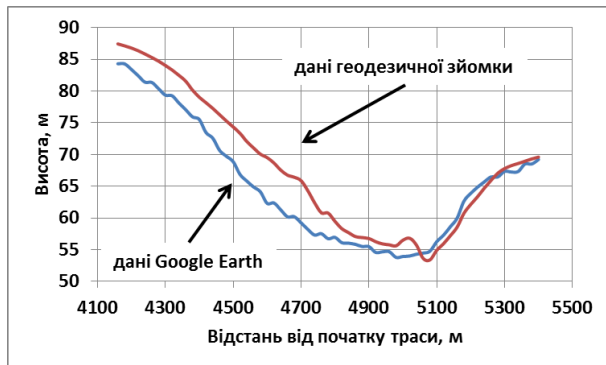


Рис. 8. Четверта ділянка дослідження

В цілому ми бачимо якісь хаотичні розбіжності з еталоном даних, отриманих з геопорталу Google Earth.

У якості експерименту можна поліпшити результат за рахунок «колібрування» рядів даних по висоті та відстані. Для прикладу візьмемо четверту ділянку, та опустимо один ряд на $\Delta H = 1,4$ м та змістимо на $\Delta L = 60$ м (рис. 9).

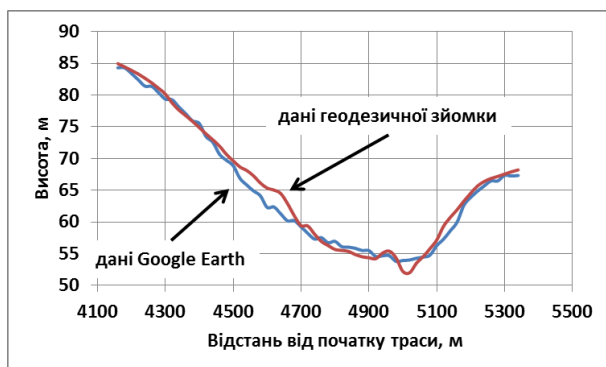


Рис. 9. 4 ділянка дослідження після «колібрування»

В результаті отримуємо $r = 0,99$; $\Delta_{\text{сер}} = 1,02$ м.

Висновки

Проблема використання геопорталу Google Earth в геодезичних цілях залишається актуальною. У статті було проаналізовано сумісність двох поздовжніх профілів, побудованих точними геодезичними методами і з використанням геопорталу. У даній роботі точність побудови поздовжнього профілю геодезичними методами була знижена внаслідок побудови чорної лінії поздовжнього профілю через цифрову модель рельєфу, а значить внаслідок стандартних похибок триангуляції Делоне. При використанні даних геометричного нівелювання сумісність двох поздовжніх профілів збільшиться. При скрупульозній підготовці вихідних даних можна домогтися метрової точності по висоті. Подання поверхні Землі з такою точністю може бути використано при вирішенні багатьох інженерних задач: варіантне проектування лінійних споруд, попередня техніко-економічна оцінка проектних рішень тощо. У подальшому потрібно оцінити горизонтальні похибки.

Література

1. Геопортал Google Earth. Офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.google.com.ua/intl/ru/earth/>. – 10.05.2021.
2. Грузинов, В.С. Сбор видеоданных об объектах местности в сети интернет : учеб. пос. В.С. Грузинов, И.В. Попапов. – М.: Издательство МИИГАиК, 2012. – 66 с.
3. Гавриленко, Д.Ю. Использование картографических web-сервисов для представления маркшейдерско-геодезической информации / Д.Ю. Гавриленко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – 2013. – № 12. – С. 356–365.
4. Турлапов, В.Е. Геоинформационные системы в экономике / В.Е. Турлапов: учеб.-метод. пос. – Нижний Новгород: НФ ГУ-ВШЭ, 2007. – 104 с.
5. Ступин, В.П. Анализ возможностей использования данных Google Earth в интересах мониторинга динамики морфосистем зоны влияния каскада Ангарских водохранилищ / В.П. Ступин // Вестник ИрГТУ. – 2011. – №8 (55). – С. 46–54.
6. Круглов, С. Данные Google Earth в AutoCAD Civil 3D / С. Круглов // САПР и графика. – 2010. – №8. – С. 2–4.
7. Медведев, В.И. Использование интернет-карт в САПР и ГИС в качестве подложек / В.И. Медведев // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – №2(5). – С. 119–125.
8. Торосян, П.Р. Использование прямоугольных координат universal transverse Mercator (UTM) в топографо-геодезических и маркшейдерских работах и ее связь с проекцией Гаусса-Крюгера / П.Р. Торосян // Вестник ИрГТУ. – 2011. – №12 (59). – С. 73–79.
9. Бернштейн, Ю.Б. Проекция в картографии / Ю.Б. Бернштейн // Наука из первых рук. – 2012. – №4 (46). – С. 116–123.
10. Голубков, С.Н. Автоматизированная система для анализа основных метрических свойств картографического изображения / С.Н. Голубков, О.А. Павлова,

Е.А. Паниди, В.М. Щербаків // *Вестник СПбГУ. Науки о Земле.* – 2008. – №4. – С. 188–193.

References

1. Geoportал Google Earth. Official site [Electronic resource]. – Accessed: <https://www.google.com.ua/intl/ru/earth/>. – 10.05.2021.
2. Gruzinov, V.S. Collecting video data about terrain objects on the Internet : tutorial V.S. Gruzinov, I.V. Potapov M.: MIIGAiK Publisher, 2012. – 66 p.
3. Gavrilenko, D.YU. Using cartographic web-services for presenting mine surveying and geodetic information / D.YU. Gavrilenko // *UkrNIMI scientific works.* – 2013. – № 12. – pp. 356–365.
4. Turlapov, V.E. Geographic information systems in economics / V.E. Turlapov: teaching aid. – N. Novgorod: NF GU-VSHE, 2007. – 104 p.
5. Stupin, V.P. Analysis of the possibilities of using Google Earth data in the interests of monitoring the dynamics of morphosystems in the influence zone of the Angara reservoir cascade / V.P. Stupin // *IrGTU Bulletin.* – 2011. – №8 (55). – pp. 46–54.
6. Kruglov, S. Google Earth Data in AutoCAD Civil 3D / S. Kruglov // *CAD and graphics.* – 2010. – №8. – pp. 2–4.
7. Medvedev, V.I. Using internet maps in CAD and GIS as underlay / V.I. Medvedev // *CAD and GIS of roads.* – 2015. №2 (5). – pp. 119–125.
8. Torosyan, P.R. The use of universal transverse Mercator (UTM) rectangular coordinates in topographic, geodetic and mine surveying and its connection with the Gauss-Kruger projection / P.R. Torosyan // *IrGTU Bulletin.* – 2011. – №12 (59). – pp. 73–79.

9. Bernshtejn, YU.B. Projections in cartography / YU.B. Bernshtejn // *First hand science.* – 2012. – №4 (46). – pp. 116–123.

10. Golubkov, S.N. An automated system for analyzing the basic metric properties of a cartographic image / S.N. Golubkov, O.A. Pavlova, E.A. Panidi, V.M. Shcherbakov // *SPbGU Bulletin. Earth sciences.* – 2008. – №4. – pp. 188–193.

Рецензент: д-р техн. наук, професор А.Г. Батракова, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

Автор: МУСІЄНКО Ігор Володимирович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – rp@khadi.kharkov.ua

Автор: КАЗАЧЕНКО Людмила Михайлівна
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – rp@khadi.kharkov.ua

Автор: ЗАХАРОВА Еліна Володимирівна
асистент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – rp@khadi.kharkov.ua

ANALYSIS OF GOOGLE EARTH ALTITUDE ERRORS FOR USE IN GEODESIC WORKS

I. Musiienko, L. Kazachenko, E. Zaharova

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

The Google Earth service is an information system with extensive functionality used in the Internet, for mobile devices and for desktop computers. The system is a "virtual globe" built on pooled photographs with the addition of spatial information provided by Alphabet Inc in the coordinate system - WGS 84 and the universal cross-section of Mercator.

In the system there is an opportunity to lay a line of a route, to receive a longitudinal profile of this line with marks and a slope. However, the question of the accuracy of spatial information remains. The answer to this question will highlight a range of engineering, geodetic and design tasks that can be solved with this service.

The article considers this problem from the analysis of height errors. The accuracy of Google Earth's spatial information can be assessed by comparing it to a geodetic reference object. As such object in this work the data of adjustment of the design documentation for construction of the highway bypassing Novy Bug (the second turn) in the Nikolaev area are taken.

In the first stage, a "reference" object has been considered, for which there are spatial data obtained by geodetic methods of a given accuracy.

In the second stage, the Google Earth system built a road route and a longitudinal profile.

At the third stage the received information was systematized and analyzed.

In this work, the accuracy of construction of the longitudinal profile by geodetic methods was reduced due to the construction of a black line of the longitudinal profile through a digital terrain model, and hence due to the standard errors of Delaunay triangulation. When using geometric leveling data, the compatibility of the two longitudinal profiles will increase. With careful preparation of the original data, you can achieve meter accuracy in height. Representation of the Earth's surface with such accuracy can be used in solving many engineering problems: variant design of linear structures, preliminary feasibility study of design solutions and more. In the future, we must to assess the horizontal errors.

Keywords: Google Earth geoportал, accuracy of altitude spatial data, route plan, longitudinal profile, spatial data.