

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ЦИФРОВОЇ 3D-МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ ОБ'ЄКТІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРЮВАНЬ МОБІЛЬНИМ ЛАЗЕРНИМ СКАНЕРОМ

Дорожко Є. В.¹, Трегуб М. В.², Янкін О. Є.², Онищенко О. С.³

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

³ТОВ «Автомагістраль-Південь»

Анотація. У статті обґрунтовано доцільність використання мобільного лазерного сканера для збору та оброблення інформації щодо об'єктів транспортної інфраструктури. Це дає змогу швидко та якісно створювати цифрові моделі місцевості, необхідні для розроблення проектів капітального ремонту, реконструкції, прийняття рішень щодо експлуатаційного утримання, адже вимірювання мобільним лазерним сканером може впроваджуватися на всіх етапах життєвого циклу споруди. Розглянуто технічні параметри мобільного лазерного сканера Trimble MX2 та його функціональні можливості. Наведено особливості побудови цифрової 3D-моделі місцевості об'єктів транспортної інфраструктури.

Ключові слова: GNSS, панорамний знімок, програмний комплекс, мобільний лазерний сканер, технічні параметри, цифрова модель.

Вступ

Швидко та якісно розроблення проектних рішень щодо об'єктів транспортної інфраструктури та інших лінійних штучних споруд ґрунтується на застосуванні систем автоматизованого проектування. Сучасні системи автоматизованого проектування як вихідну інформацію використовують цифрові 2D- та 3D-моделі місцевості [1]. Розвитку цифрового моделювання місцевості сприяє поширення систем автоматизованого проектування та спеціалізованого геодезичного обладнання. Функціональні можливості сучасного геодезичного обладнання в сукупності із системами автоматизованого оброблення результатів геодезичних вимірювань дають змогу значно зменшити час виконання вимірювань та оброблення показників і суттєво підвищити якість здобутих результатів.

Цифрові моделі місцевості використовуються на всіх етапах життєвого циклу об'єктів транспортної інфраструктури [2, 3]. Тому створення цифрових моделей місцевості автомобільних доріг супроводжує кожен проект капітального ремонту, реконструкції чи нового будівництва.

Аналіз публікацій

Вихідна інформація, необхідна для створення цифрової моделі місцевості об'єктів транспортної інфраструктури, може бути отримана дистанційними або наземними методами збору геопросторової інформації

[4, 5]. Кожен із методів має свої переваги та недоліки [6, 7]. Щодо лінійних об'єктів, таких як автомобільна дорога, зважаючи на їх протяжність та величезну кількість інформації, яку необхідно отримати й обробити, найбільш прогресивним і продуктивним є метод, оснований на використанні мобільної лазерної сканувальної системи.

Особливості побудови цифрової 3D-моделі місцевості об'єктів транспортної інфраструктури внаслідок вимірювань мобільним лазерним сканером розглянемо на прикладі сучасного багатофункціонального сканера Trimble MX2, що належить ТОВ «Автомагістраль-Південь».

Мета та постановка завдання

Метою є аналіз особливостей побудови цифрової 3D-моделі місцевості об'єктів транспортної інфраструктури за результатами вимірювань мобільним лазерним сканером.

Для досягнення поставленої мети необхідно розкрити функціональні можливості мобільної лазерної сканувальної системи; подати принцип оброблення результатів вимірювань мобільним лазерним сканером та побудови цифрової моделі місцевості.

Функціональні можливості та технічні параметри мобільного лазерного 3D-сканера Trimble MX2

Мобільний лазерний сканер марки MX2 від виробника Trimble – це швидкісна й високоп-

родуктивна система сканування місцевості, що призначена для монтажу на даху автомобіля. Сканер є швидкісною мобільною системою лазерного сканування місцевості, призначеною для геопросторової зйомки в русі. Мобільний лазерний сканер *Trimble MX2* може комплектуватися одним чи двома лазерами, що сканують на відстані до 250 м навколо сканера. Лазери мають кут огляду на 360° та дають змогу отримувати показники з похибкою, що не перевищує 1 см на 50 м. Технічні характеристики сканера *Trimble MX2*:

- частота сканування становить 20 Гц на кожен сканувальну головку;
- швидкість отримання результатів становить 36 тис. точок за секунду на кожен сканувальну головку;
- GNSS-плата на 220 каналів.

Технічні параметри й характеристики мобільного лазерного сканера *Trimble MX2* подано в табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні параметри й характеристики мобільного лазерного сканера *Trimble MX2*

Параметр сканера	Характеристика
Модель GNSS-приймача	GPS/ГЛОНАСС L1/L2, RTK
Кількість антен	2
Модель IMU	Applanix AP20
Точність позиціонування в плані	2 см у плані / 5 см за висотою
Точність визначення курсу на місцевості	0,015° / 0,025°
Діаметр променя на виході	28 мм
Максимальне вертикальне поле зору	360°
Мінімальна дальність вимірювань	від 0,5 м
Максимальна дальність вимірювань	до 250 м
Швидкість / частота сканування	36 / 72 кГц
Швидкість / оберти за секунду	10/20 обертів / секунду
Швидкість / точки за секунду	36000 / 72000 пікселів / секунду
Точність визначення відстані	30 мм
Повторюваність (шум)	10 мм
Кількість камер сканера	6
Кількість лазерів сканера	2
Розміри сканера	80 x 45 x 25 см
Вага сканера	28 кг
Захищеність сканера	IP65
Робоча температура вимірювань	від -10 °C до +50 °C

Залежно від типу вимірювань мобільний лазерний сканер *Trimble MX2* комплектується однією чи двома ротаційними лазерними головками (рис. 1). З метою збільшення точності позиціонування використовуються інерційні датчики, що розраховують положення автомобіля (рис. 2).



Рис. 1. Зовнішній вигляд лазерного сканера з двома сканувальними головками



Рис. 2. Зовнішній вигляд інерційного датчика

Крім того, лазерний сканер *Trimble MX2* оснащений GNSS-модулем, призначеним для збору інформації щодо координат траєкторії руху сканера (рис. 3).



Рис. 3. Зовнішній вигляд GNSS-модуля, призначеного для збору інформації щодо координат траєкторії руху сканера

Кріплення сканера до транспортного засобу є швидкозмінним. Це дає змогу встановлювати сканер на різних типах транспортного засобу. Програмне забезпечення, необхідне для роботи зі сканером, достатньо легко засвоюється операторами, що дає змогу працювати без проведення тривалого спеціалізованого навчання працівників. Управління мобі-

льним сканером і налаштування його роботи виконується через консоль оператора, що є польовим контролером зі спеціалізованим програмним забезпеченням *Trimble Trident Capture*. Система управління сканером достатньо надійно захищена від зовнішніх впливів, а інтерфейс керування допомагає достатньо швидко налаштувати й регулювати процес отримання результатів вимірювань. Сканер *Trimble MX2* монтується на даху легкового автомобіля та забезпечений захистом корпусу за стандартом *IP65*, що дає змогу експлуатувати його під дощем і в запиленій місцевості. Габарити сканера *Trimble MX2* подано на рис. 4.

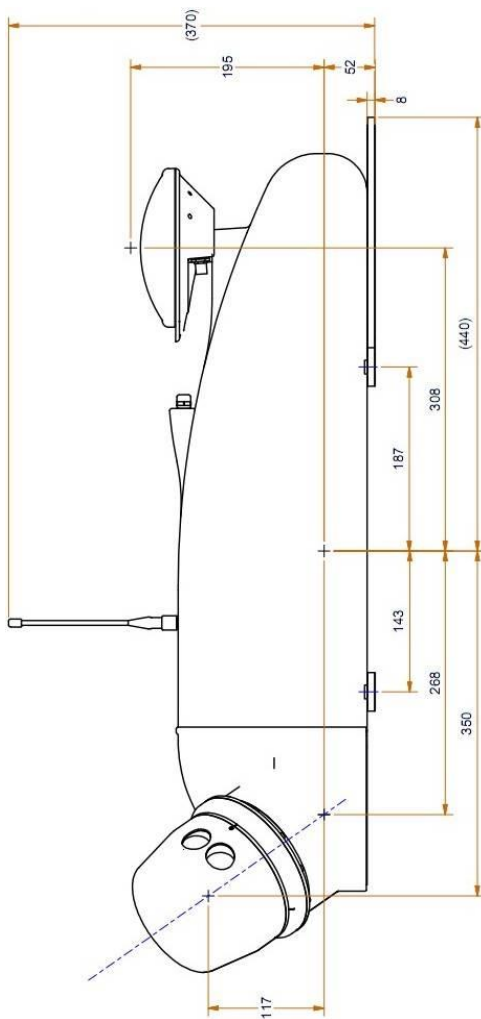


Рис. 4. Габарити та схема кріплення сканера *Trimble MX2*

Зовнішній вигляд сканера *Trimble MX2*, встановленого на даху автомобіля в повній комплектації, наведено на рис. 5.



Рис. 5. Мобільний лазерний сканер *Trimble MX2* в повній комплектації

Технічні параметри та функціональні можливості цього сканера допомагають виконувати сканування дорожнього покриття та прилеглих до дороги об'єктів швидко й безпечно для працівників, а також створювати цифрову 3D-модель без зупинки руху транспортного потоку на дорогах. Сканер дає змогу виконувати цю роботу, навіть за умови інтенсивного трафіку. Мобільний комплекс для збору просторових показників змонтований на даху легкового автомобіля. Для обслуговування сканера достатньо одного інженера-геодезиста.

Основні елементи системи – камера, що знімає на 360 градусів, *GNSS*-приймачі та сканувальні головки дають змогу отримати хмару точок із високою точністю позиціонування.

Особливості побудови цифрової 3D-моделі місцевості лінійних споруд за результатами вимірювань мобільним лазерним сканером

Управління системою виконується через консоль оператора в салоні автомобіля (рис. 6). Як результати сканування можна отримати у високій роздільній здатності плоскі двовимірні фотографії елементів автомобільної дороги та прилеглої території та елементів ситуації, що дає змогу аналізувати їх стан (рис. 7). Також створюються панорамні знімки на 360 градусів, що також допомагає аналізувати їх стан та позиціонування на місцевості (рис. 8), і найважливіше – сканувальна система дає змогу отримати хмару точок, що є основою для побудови цифрової 3D-моделі (рис. 9).

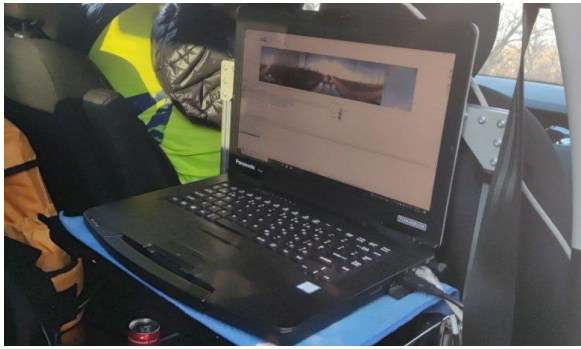


Рис. 6. Видгляд робочого місця оператора сканера *Trimble MX2* в автомобілі



Рис. 7. Приклад відтворення отриманих результатів у вигляді плоскої двовимірної фотографії



Рис. 8. Приклад відтворення отриманих результатів у вигляді панорамного знімку на 360 градусів

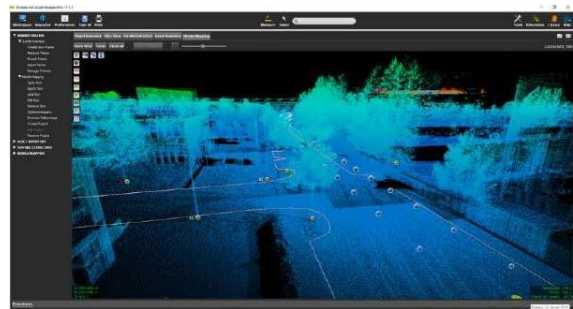


Рис. 9. Приклад відтворення отриманих результатів у вигляді хмари точок

Завдяки наявним у сканувальній системі *Trimble MX2* GNSS-приймачів та за допомогою програмного комплексу *Trident Imaging Hub* або *CREDO 3D СКАН* результати вимірювань прив'язуються до потрібної системи координат (рис. 10), та виконується візуалізація маршруту сканувальної системи, що дає змогу виконувати прив'язку всіх отриманих результатів з абсолютно чітким позиціонуванням на місцевості (рис. 11).

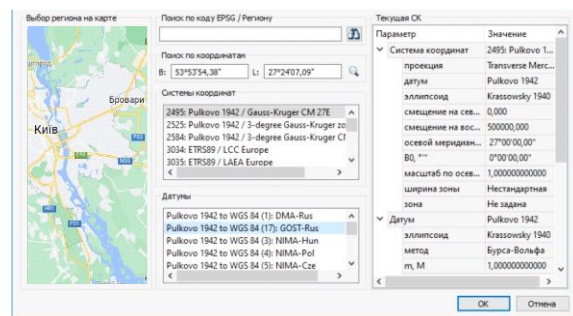


Рис. 10. Вибір системи координат

Ще під час руху сканер миттєво візуалізує перші хмари точок і кольорові панорами, а на базі цієї інформації створюється просторова цифрова модель (рис. 12). Зазвичай геопросторову модель виконує декілька геодезистів упродовж приблизно трьох тижнів, а використання сканувальної системи *Trimble MX2* дає змогу скоротити цей термін майже втричі.

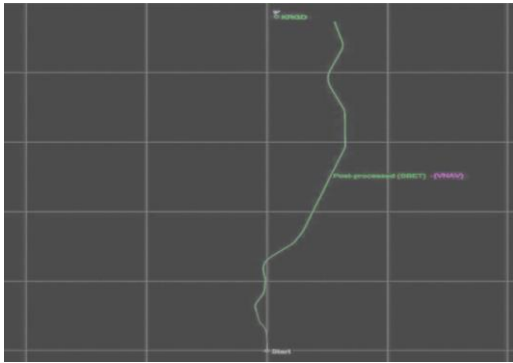


Рис. 11. Візуалізація маршруту сканувальної системи *Trimble MX2* на ділянці автомобільної дороги

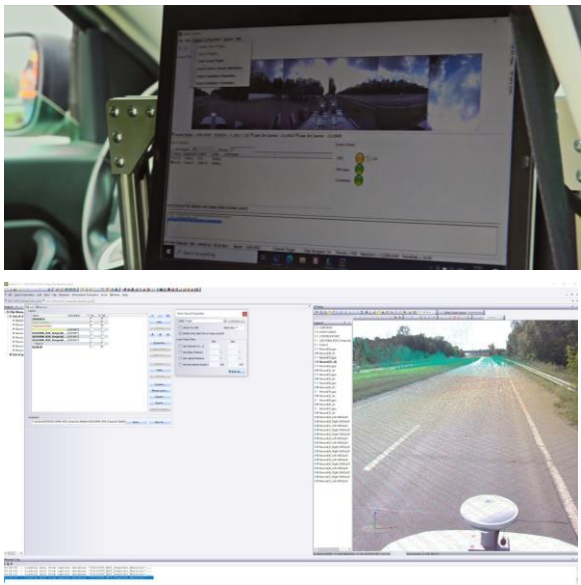


Рис. 12. Візуалізація створення цифрової моделі місцевості одразу під час знімання

За допомогою програмного комплексу *Trident Imaging Hub* або *CREDO 3D СКАН* виконується трансформація хмари точок у геопросторову модель місцевості, завдяки чому можна отримати високоякісну 3D-модель автомобільної дороги (рис. 13) в разі швидше й точніше, ніж методами вишукувань із використанням тахеометричного знімання.

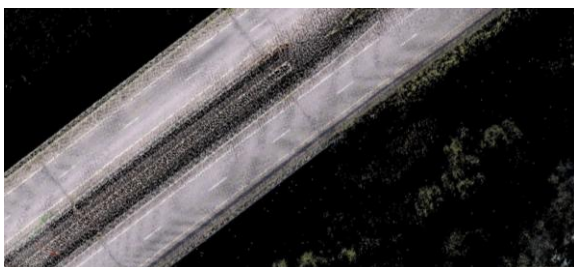


Рис. 13. Результати створення цифрової 3D-моделі сканувальною системою *Trimble MX2*

Висновки

Мобільний лазерний 3D-сканер *Trimble MX2* дає змогу виконувати лазерне сканування дорожнього покриття й прилеглої території та створювати вихідну інформацію для побудови цифрової моделі місцевості. Цифрову модель місцевості за такою технологією можна створювати й водночас не зупиняти рух транспортного потоку.

Мобільний лазерний 3D-сканер *Trimble MX2* монтується на даху легкового автомобіля та потребує залучення одного водія та одного геодезиста-оператора. Основні елементи системи – інерційний датчик, *GNSS*-приймачі та сканувальні головки – дають змогу отримати хмару точок із високою точністю позиціювання. Управління системою здійснюється через консоль оператора в салоні автомобіля. За допомогою систем автоматизованого оброблення результатів вимірювань хмара точок трансформується в геопросторову модель місцевості, що дає змогу отримати цифрову модель місцевості об'єктів транспортної інфраструктури в разі швидше, ніж із використанням традиційних методів вимірювань. Під час руху сканер допомагає отримати панорамні знімки елементів ситуації та рельєфу.

З використанням сканувальної системи *Trimble MX2* вже виконуються обстеження об'єктів транспортної інфраструктури України, що допомагає швидко та якісно розробляти проекти капітального ремонту, реконструкції та визначити необхідні заходи для належного експлуатаційного утримання об'єктів транспортної інфраструктури.

Література

1. Батракова А.Г., Дорошко Є.В., Ємець В.А. Особливості побудови цифрової моделі рельєфу за результатами геодезичної зйомки місцевості. *Комунальне господарство міст: науково-технічний збірник. Серія «Технічні науки та архітектура»*. 2021. Т. 1. Вип. 161. С. 104–108.
2. Інноваційні технології у галузі геодезії, землеустрою та проектування: монографія. Харків: ХНАДУ, 2021. 486 с.
3. Дорошко Є.В. Розробка технології наскрізної автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань при проектуванні капітального ремонту автомобільних доріг. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки»*. 2020. Т. 31 (70). № 2. Ч. 2. С. 225–229.
4. Ратушняк Г.С. *Топографія з основами картографії: навчальний посібник*. Київ: Центр навчальної літератури, 2003. 208 с.

5. Бурачек В.Г., Железняк О.О., Зацерковний В.І. Геоінформаційний аналіз просторових даних: монографія. Ніжин: Аспект-Поліграф, 2011. 440 с.
6. Карпінський Ю.О, Лазоренко-Гевель Н.Ю. Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*: збірник наукових праць Західного геодезичного товариства. Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2018. Вип. I (35). С. 204–211.
7. *Геоінформаційні системи і бази даних*: монографія / В.І. Зацерковний та ін. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2017. 237 с.

References

1. Batrakova, A., Dorozhko, Y., Emets, V. (2021) Peculiarities of the digital relief model based on the results of geodetic survey of the terrain. *Municipal government of the city: scientific and technical collection. Ser.: Technical sciences and architecture*. Vol 1, no. 161. pp. 104–108.
2. Innovative technologies in the field of geodesy, land management and design (2021): monograph, 486.
3. Dorozhko, Y. (2020). Development of the technology of the cross-cutting automated processing of the results of geodetic measurements during the design of the overhaul of motor roads. *Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadsky. Ser.: "Technical sciences"*. Vol. 31 (70), no. 2, part 2, pp. 225–229.
4. Ratushnyak, G. (2003). Topography with the basics of cartography. Tutorial. Kyiv: Center for Educational Literature, 208.
5. Burachek, V., Zheleznyak, O., Zatserkovny, V. (2011). *Geoinformational analysis of spatial data*: monograph. Nizhyn: LLC "Aspect-Polygraph Publishing House", 440.
6. Karpinskyi, Yu., Lazorenko-Hevel, N. (2018). Methods of collecting geospatial data for topographic mapping. *Modern achievements of geodetic science and production*: collection of scientific works of the Western Geodetic Society. Publishing house of Lviv Polytechnic National University. Issue I (35), pp. 204–211.
7. Zatserkovny, V. Burachek, V., Zheleznyak, O., Tereshchenko, A. (2017). *Geoinformatsiini systemy i bazy danykh*: monohrafiia. Nizhyn: NDU im. M. Hoholia, 237.

Дорошко Євген Вікторович¹, к.т.н., доц. каф. проектування доріг, геодезії і землеустрою, evgeniy.dorozhko@gmail.com, тел. +380680699722;

Трегуб Микола Володимирович², к.т.н., проф. кафедри геодезії, tregub.m.v@nmu.one, тел. +380679209435;

Янкін Олександр Євгенович³, к.т.н., доц. кафедри геодезії, Yankin.O.Ye@nmu.one, тел. +380973833817;

Онищенко Олександр Сергійович³, начальник геодезичної служби ТОВ «Автомагістраль-Південь», geociveng@gmail.com

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

²Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 49005, Україна, м. Дніпро, пр. Дмитра Яворницького, 19.

³ТОВ «Автомагістраль-Південь», 65078, Україна, м. Одеса, вул. Романа Кармена, 21.

Features of building a digital 3D model of the location of transportation infrastructure objects according to the results of measurements by a mobile laser scanner

Abstract. Problem. Fast and high-quality development of project solutions for transport infrastructure objects and other linear artificial structures is based on the application of automated design systems. Modern automated design systems use digital 2D and 3D terrain models as input data. The development of digital terrain modeling is motivated by both the development of automated design systems and the development of specialized geodesic equipment. Functional capabilities of modern geodetic equipment in combination with systems for automated processing of geodetic measurement results make it possible to significantly reduce the time of measurement and processing of results and significantly improve the quality of the obtained results.

Goal. The goal is to analyze the features of building a digital 3D model of the terrain of linear structures based on the results of measurements by a mobile laser scanner. **Methodology.** The technical parameters and functional capabilities of the Trimble MX2 mobile laser 3D scanner were analyzed. The Trimble MX2 mobile laser scanner is a high-speed and productive scanning system designed for installation in a vehicle. **Results.** The Trimble MX2 mobile laser 3D scanner allows you to perform laser scanning of the road surface and the surrounding area and create output data for building a digital terrain model. A digital terrain model using this technology can be created without stopping traffic flow. The Trimble MX2 mobile laser 3D scanner is mounted on the base of a passenger car and requires the involvement of one driver and one surveyor operator. The main elements of the system – an inertial sensor, GNSS receivers and scanning heads allow obtaining a cloud of points with high positioning accuracy. The system is managed through the operator's console in the car interior. With the help of systems for automated processing of measurement results, the cloud of points is transformed into a geospatial model of the area, which allows you to obtain a digital model of the area many times faster than using traditional

measurement methods. **Originality.** Thanks to the available Trimble MX2 GNSS receivers in the scanning system and with the help of the Trident Imaging Hub software complex, the obtained measurement results are linked to the desired coordinate system and the scanning system route is visualized, which enables to link all the obtained results with absolutely clear positioning on the terrain. **Practical value.** With the use of the Trimble MX2 scanning system, road surveys of Ukraine are already being carried out, which allows to quickly and qualitatively develop capital repair and reconstruction projects and to determine the necessary measures for the proper operational maintenance of road sections.

Keywords: GNSS, panoramic image, software complex, mobile laser scanner, technical parameters, digital model.

Dorozhko Yevhen¹, Ph.D, Associate Professor of the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, evgeniy.dorozhko@gmail.com, tel. +380680699722;

Trehub Mykola², Ph.D, Professor of the Department of Geodesy, tregub.m.v@nmu.one, tel. +380679209435;

Yankin Oleksandr², Ph.D, Associate Professor of the Department of Geodesy, Yankin.O.Ye@nmu.one, tel. +380973833817;

Onyshchenko Oleksandr³, head of the geodesic service «Avtomagistral-Pivden», geociveng@gmail.com

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

²Dnipro University of Technology, 19, Dmytra Yavornytskoho av., Dnipro, 49005, Ukraine.

³«Avtomagistral-Pivden», 21, Romana Karmena str., Odessa, 65078, Ukraine.
