

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2\(40\)-485-492](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-2(40)-485-492)

УДК 528.4

**Олексій Іванович Терещук¹, Сергій Миколайович Заворотний²,
Андрій Олександрович Сучков³**

¹кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: olexter1957@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6433-9351>

ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/H-4540-2016>

²кандидат технічних наук, старший викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: zavorotnyiserhii@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2139-8877>. ResearcherID: NRY-3592-2025

³магістр, інженер-геодезист

ТОВ «УКРГЕО-ПРОЕКТ МС»

E-mail: suchkov.andriy@gmail.com

СУЧАСНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНОГО КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ МАШИНАМИ В ПРОЦЕСІ БУДІВНИЦТВА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

У роботі виконано аналіз сучасних комплексів інженерного-геодезичного контролю та керування дорожньо-будівельними машинами. Розглянуто принцип роботи та склад автоматизованих систем нівелювання. Проаналізовано комплекти обладнання, які входять до складу систем інженерного-геодезичного контролю та керування компактними машинами, екскаваторами, бульдозерами, автогрейдером, асфальтоукладачами та катками.

Ключові слова: інженерно-геодезичний контроль; автомобільні дороги; системи автоматизованого нівелювання, GNSS-технології.

Рис.: 8. Бібл.: 6.

Актуальність теми дослідження. У процесі будівництва автомобільних доріг (надалі - АД) ключове значення відіграє точне відтворення всіх геометричних параметрів АД відповідно до проєктного рішення та нормативних вимог. Ця відповідність забезпечується шляхом виконання комплексу інженерно-геодезичних робіт у процесі будівництва. Для забезпечення інженерно-геодезичного контролю будівництва АД використовуються такі геодезичні прилади: тахеометри, нівеліри та цифрові нівеліри, лазерні сканери, GNSS-приймачі та супутникові технології, безпілотні літальні апарати.

На сьогодні на будівельних майданчиках найбільш поширеними методами є комбіноване використання комплексу приладів. Тобто проведення інженерно-геодезичного контролю будівництва параметрів земляного полотна, піщано-щебеневих шарів основи та покриття АД вимагає найбільш точних та ефективних методів. Вирішення цієї проблеми полягає у використанні сучасних систем автоматизованого інженерно-геодезичного контролю та керування дорожньо-будівельними машинами.

Постановка проблеми. Відомі класичні методи нівелювання та інженерно-геодезичного контролю будівництва автомобільних доріг є достатньо складним процесом, який вимагає великої кількості фахівців інженерів-геодезистів та значної кількості часу для виконання робіт. Системи автоматизованого інженерно-геодезичного контролю та керування дорожньо-будівельними машинами є сучасним підходом до вирішення проблеми точності контролю з паралельним збільшенням продуктивності робіт.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні нормативні вимоги до проєктування та будівництва автомобільних доріг регламентується [1; 2]. Питанням автоматизованих систем нівелювання займалися такі науковці як О. С. Онищенко, Г. С. Саркісян, Е. В. Захарова та ін. Зокрема в роботі [3] виконано аналіз та узагальнення технології влаштування земляного полотна із залученням системи автоматичного нівелювання робо-

чим агрегатом землерийної техніки. Основні елементи системи автоматичного нівелювання Торсон досліджені в [5]. Аналіз конструкції зовнішнього автоматичного механізму нівелювання в радарах наведено в [6].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На підставі виконаного аналізу літературних джерел зауважено, що значна увага досліджень приділяється питанню будови та принципам роботи системи автоматизованого нівелювання будівництва земляного полотна, тоді як питання інженерно-геодезичного контролю інших елементів автомобільної дороги недосліджені.

Метою статті є виконання аналізу автоматизованих систем інженерно-геодезичного контролю процесу будівництва автомобільних доріг.

Виклад основного матеріалу. До систем автоматизованого інженерно-геодезичного контролю та керування дорожньо-будівельними машинами належать системи: автоматизованого керування компактними машинами, землерийними та землерийно-транспортними машинами, асфальтоукладачами та котками.

Системи автоматизованого нівелювання [3] – це програмно-апаратний комплекс, який використовує геодезичні автоматизовані технології тахеометрії та GNSS технології, а також різні типи датчиків, для забезпечення часткової автоматизації виконання робіт. Дані системи встановлюються на машини (грейдери, бульдозери, скрепери, екскаватори, котки, асфальтоукладальники) під час виконання будівництва або реконструкції АД, аеродромів, площадок тощо.

Ці системи складаються з комплексу датчиків, гідравлічного керування елементів машини, GNSS-системи та апарату управління, яке дозволяє виконувати керування машиною з можливістю миттєвого визначення параметрів конструкції, що будується. Такий підхід дозволяє виконувати поточний інженерно-геодезичний контроль у процесі будівництва, що зменшує похибки, не потребує великої кількості спеціалізованих фахівців, зменшує час на визначення параметрів конструкцій.

Залежно від параметрів АД існують три основні різновиди систем, які можуть бути використані при будівництві АД [3]:

1D система – автоматична робота в одній площині (дотримання рівня або ухилу робочого елемента);

2D система – робота у площині з нахилом;

3D система – автоматизоване визначення перевищення та нахилу з врахуванням проектного положення та напрямку руху машини.

Враховуючи комплексний підхід до будівництва АД та велику кількість виробників, у цій роботі було вирішено розглянути сучасні 3D-системи автоматизованого інженерно-геодезичного контролю та керування машинами фірми TOPCON.

Системи інженерно-геодезичного контролю та керування компактними машинами. Система MC-Mobile поєднує технології інженерної геодезії та керування компактними машинами з метою підвищення ефективності робіт та зменшення потреби в персоналі для малих і середніх проєктів АД або для локального вирішення задач [4].

Система складається з датчика нахилу IMU, контролера, 3D роботизованого тахеометра. призми або GNSS приймача. На рис. 1 наведено приклад складу системи MC-Mobile.

Такий тип машин використовується для влаштування відкосів, транспортування матеріалів на невеликі відстані, будівництво траншей, влаштування дренажних каналів, допоміжні роботи тощо.



*Рис. 1. Системи інженерно-геодезичного контролю та керування компактними машинами MC-Mobile [4]:
1 – датчик нахилу IMU; 2 – контролер; 3 – планшет на Android;
4 – 3D роботизований тахеометр; 5 – призма або GNSS приймач*

Системи інженерно-геодезичного контролю та автоматизованого керування землерийними та землерийно-транспортними машинами.

Система 3D-MC Mobile GNSS TWIN складається з інерційних датчиків TS-i4 (для вимірювання обертання та нахилу), контролеру керування машиною MC – X1 (для керування машиною), системи GNSS управління (створення навігаційної бази), бездротової системи контролю (портативні планшети, що слугують приладовою панеллю для керування), роботизованого тахеометра та системи призми (для планування та контролю якості). На рис. 2 наведено приклад системи інженерно-геодезичного контролю та автоматизованого керування землерийними машинами 3D-MC Mobile GNSS TWIN.



Рис. 2. Системи інженерно-геодезичного контролю та автоматизованого керування землерийними машинами 3D-MC Mobile GNSS TWIN [4]

Така система забезпечує виконання одночасного інженерно-геодезичного контролю та керування машиною для влаштування кюветів, траншей для дренажних систем, влаштування виїмок або насипів тощо. За допомогою сучасних інерційних датчиків система в автоматичному режимі визначає кут нахилу, що дозволяє за допомогою контролера керувати процесом різання ґрунту. На рис. 3 наведено приклад, у якому вигляді система сприймає перевищення щодо проєктного рішення.

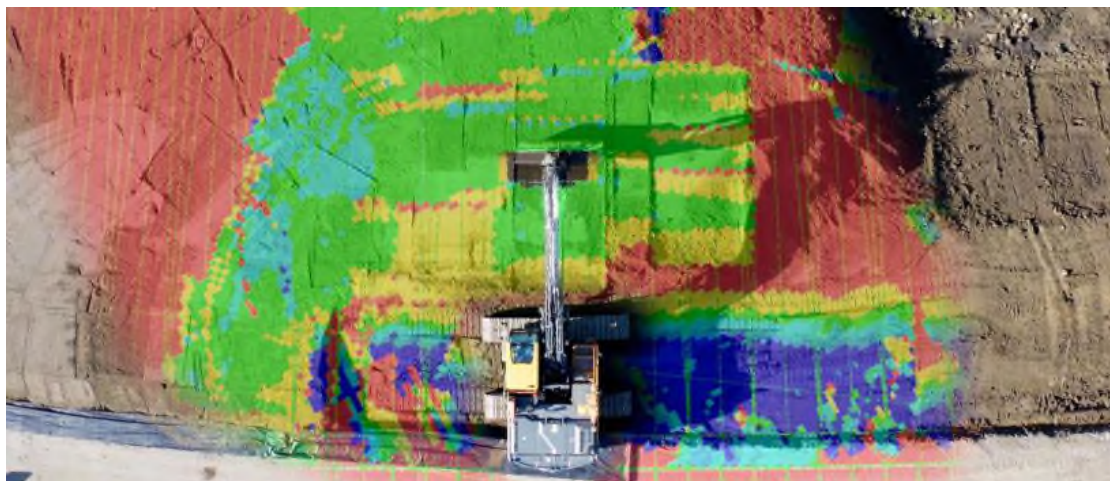


Рис. 3. Кольорова діаграма перевищень та виямок системи 3D-MC Mobile GNSS TWIN [4]

Отримана інформація з датчиків трансформується в цифровий сигнал та відображається на панелі контролера, який розташований у кабіні оператора машини. Таким чином оператор повністю контролює процес різання ґрунту, кут нахилу ковша, положення стріли та за допомогою кольорової діаграми визначає різницю де потрібно досипати ґрунт, а де навпаки зрізати. Приклад відображення інформації на панелі контролера системи 3D-MC Mobile GNSS TWIN наведено на рис. 4.



Рис. 4. Приклад відображення інформації на панелі контролера системи 3D-MC Mobile GNSS TWIN [4]

Для землерійно-транспортних машин використовуються системи 3D-MC Max GNSS TWIN та 3D-MC Max tmGNSS.

Система 3D-MC Max GNSS TWIN використовують для автоматизації керування бульдозерами. Особливістю даної системи є можливість виконання швидкого перемикання між системами GNSS та роботизованим тахеометром, що дозволяє зменшити витрати часу на переналаштування системи в місцях, де відсутній сигнал. Також усувається необхідність присутності інженера-геодезиста на будівельному майданчику. Аналогічним чином ця система 3D-MC Mobile GNSS TWIN оснащена комплектом геодезичного обладнання та датчиків, які відображають результати процесу нівелювання земляного полотна на контролері (рис. 5).

Враховуючи, що найбільшу частину процесу будівництва земляного полотна та інших земляних споруд виконують за допомогою бульдозера, ця система є найбільш поширеною серед автоматизованих систем.



Рис. 5. Приклад відображення інформації на панелі контролера системи 3D-MC Max GNSS TWIN [4]

Автогрейдер є провідною машиною в процесі будівництва земляного полотна АД. Відповідно до робочих органів автогрейдера виробниками була розроблена система 3D-MC Max mmGNSS, що використовується для автоматизації керування автогрейдером (рис. 6).

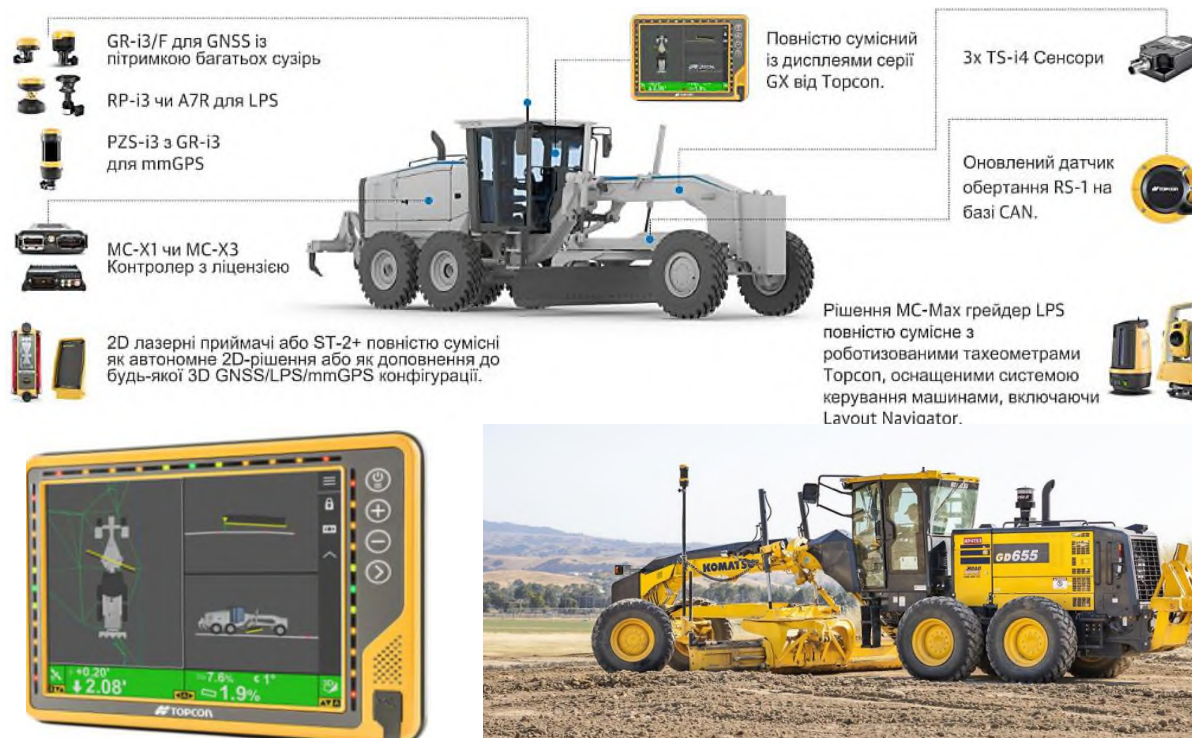


Рис. 6. Система 3D-MC Max mmGNSS для автогрейдерів [4]

Система може бути використана для: точного планування земляного полотна, відкосів насипів та виїмок, будівництва АД, підготовки піщано-щебених основ, створення ґрунтових польових або лісових доріг, вирівнювання земляного полотна, земляних робіт, обслуговування АД та смуг відведення [4]. Інерційні вимірювальні блоки (IMU) дозволяють із високою точністю визначати нахил, крен та напрям руху леза автогрейдера.

На відміну від попередніх систем дана система доповнена 2D лазерним приймачем, який може бути використаний як автономне 2D-рішення, або як доповнення до GNSS/LPS/mmGPS конфігурації. Також рішення MC-Max грейдер LPS повністю сумісно з роботизованим тахеометром, оснащеним системою керування автогрейдером. Таким чином весь процес роботи контролюється паралельною роботою тахеометра без участі оператора.

Системи інженерно-геодезичного контролю та автоматизованого керування асфальтоукладачами.

Після влаштування земляного полотна та піщано-щебеневих шарів АД завершальним етапом будівництва основних елементів конструкції АД є влаштування покриття АД. Для асфальтоукладальників використовується система 3D-MC Max mmGNSS (рис. 7).



Рис. 7. Система 3D-MC Max mmGNSS

для інженерно-геодезичного контролю та керування асфальтоукладальниками:
1 – приймачі GNSS, mmGPS, призма тощо; 2 – дисплей; 3 – роботизований тахеометр; 4 – сенсорні та інші датчики; 5 – Thermal Mapper (тепловий картограф) [4]

Системи інженерно-геодезичного контролю та автоматизованого керування котками. Ущільнення є невід'ємною частиною будівництва всіх конструктивних шарів АД. Завершальним етапом укладання асфальтобетонних сумішей є їх ущільнення. Для ущільнення використовуються гладковальцеві котки які можуть бути оснащені інтелектуальними системами укочування дорожнього покриття С-53 (рис. 8).



Рис. 8. Системи інженерно-геодезичного контролю та автоматизованого керування котками MC-53:

1 – GNSS-антена; 2 – Контролер; 3 – датчик температури;
4 – дисплей; 5 – датчик ущільнення

Система побудована на принципі постійного відстежування GNSS-приймачами проєктного положення котка під час кожного проходу відповідно до прийнятої схеми проходу. Датчики температури контролюють температуру асфальтобетонної суміші, а датчик ущільнення надає зворотний зв'язок щодо модуля пружності поверхні. Уся зібрана інформація про стан асфальтобетонної суміші під час ущільнення передається на контролер в кабінку оператора, який контролює відповідність показників до проєктних вимог [4]. Також особливістю цієї системи є можливість за рахунок Sitelink3D виконувати контроль не тільки оператору котка, а також інженеру-геодезисту.

Висновки. У результаті проведеного аналізу останніх досліджень та комплексу сучасних автоматизованих систем інженерно-геодезичного контролю та керування дорожньо-будівельними машинами можна зробити такі висновки:

- будівництво автомобільних доріг вимагає комплексного, точного та ефективного підходу до виконання інженерно-геодезичного контролю процесу будівництва автомобільних доріг;
- до складу сучасних автоматизованих систем інженерно-геодезичного контролю та керування входять: датчики (обертання, температури, щільності); системи гідравлічного керування елементів машини; GNSS системи; роботизовано тахеометри; комплект призм; контролер;
- сучасні системи автоматизованого інженерно-геодезичного контролю та керування дорожньо-будівельними машинами TOPCON забезпечують повний цикл будівництва автомобільних доріг.

Список використаних джерел

1. Технічний комітет стандартизації ТК 307 «Автомобільні дороги і транспортні споруди». (2023). *Автомобільні дороги. Терміни та визначення понять (ДСТУ 9214:2023)*. ДП «УкрНДНЦ».
2. ДерждорНДІ. (2019). *Посібник № 1: Контроль якості будівництва автомобільних доріг загального користування до ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги». Частина 1. Проектування. Частина 2. Будівництво* [Чинний від 19.01.2018 р.]. ДерждорНДІ.
3. Захарова, Е., Саркісян, Г., & Онищенко, О. (2023). Аналіз та узагальнення технології влаштування земляного полотна із залученням системи автоматичного нівелювання робочим агрегатом землерийної техніки. *SWorldJournal*, (22-01), 44–54. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-22-01-055>.
4. *Укргео-Проект МС - геодезичне обладнання*. (n.d.). UKRGEOMC. <https://ukrgeomc.com>.
5. Захарова, Е. В., Пархомович, А. В., & Джежела, В. А. (2023). Основні елементи системи автоматичного нівелювання Торсон. *Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації: матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції, 23–24 листопада 2023 р.*, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 154–158. <https://dspace2.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/22716>.
6. Zhi, S.-l., & Yang, R.-z. (2015). Design analysis of external automatic leveling mechanism in radars. In *First international conference on information sciences, machinery, materials and energy*. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/icismme-15.2015.311>.

References

1. Tekhnichnyi komitet standartyzatsii TK 307 «Avtomobilni dorohy i transportni sporudy». [Technical Committee for Standardization TC 307 "Highways and Transport Structures".] (2023). *Avtomobilni dorohy. Terminy ta vyznachennia poniat (DSTU 9214:2023)*. DP «UkrNDNTs». - *Highways. Terms and definitions of concepts (DSTU 9214:2023)*. SE "UkrNDNC".
2. DerzhdorNDI (2019) Posibnyk № 1: Kontrol yakosti budivnytstva avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia do DBN V.2.3-4:2015 «Avtomobilni dorohy». Chastyna 1. Proektuvannia. Chastyna 2. Budivnytstvo [Manual No. 1 Quality control of construction of public highways to DBN V.2.3-4:2015 Highways. Part 1. Design. Part 2. Construction.] - [Valid from 01/19/2018]- K: DerzhdorNDI, 2019.
3. Zakharova E.V., Sarkisyan G.S., Onyshchenko O.S. (2023). Analiz ta uzahalnennia tekhnolohii vlashtuvannia zemlianooho polotna iz zaluchenniam systemy avtomatychnoho niveliuvannia robochym ahrehatom zemleryinoi tekhniki [Analysis and generalization of the technology of arranging the subgrade with the involvement of an automatic leveling system by a working unit of earthmoving equipment]. *SWorldJournal*, 1(22-01), 44–54. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2023-22-01-055>.

4. Official website of LLC "Ukrgeproekt" MS. <https://ukrgeomc.com>.
5. Zakharova E. V., Parkhomovich A. V., Dzhezhela V. A. (November 23–24, 2023). Basic elements of the Topcon automatic leveling system. *Road construction complex: problems, prospects, innovations: materials of the III International Scientific and Technical Conference* (pp. 154–158). National Automobile and Road Univ. <https://dspace2.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/22716>.
6. Shi-lei Zhi, Run-ze Yang (2018). Design Analysis of External Automatic Leveling Mechanism in Radars. *International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy (ICISMME 2015)* (pp. 1468-1472). <https://doi.org/10.2991/icismme-15.2015.311>.

Отримано 20.06.2025

UDC 528.4

Oleksiy Tereshchuk¹, Serhiy Zavorotny², Andriy Suchkov³

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management
National University "Chernihiv Polytechnic" (Chernihiv, Ukraine)
E-mail: olexter1957@gmail.com **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6433-9351>
ResearcherID: <http://www.researcherid.com/rid/H-4540-2016>

²PhD in Technical Sciences, senior teacher departments of geodesy, cartography and land management
National University "Chernihiv Polytechnic" (Chernihiv, Ukraine)
E-mail: zavorotnyiserhii@ukr.net **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2139-8877> **ResearcherID:** [NRY-3592-2025](https://orcid.org/0000-0002-2139-8877)

³Master, Geodetic Engineer
UKRGeo-PROJECT MS LLC
E-mail: suchkov.andriy@gmail.com

**MODERN SYSTEMS OF AUTOMATED ENGINEERING AND GEODESIC
CONTROL AND MACHINE CONTROL IN THE PROCESS
OF ROAD CONSTRUCTION**

The article analyzes the existing systems of automated engineering and geodetic control and management of road construction machines, taking into account the peculiarities of the road construction process. According to the analysis, the following systems were considered, namely: automated control systems for compact machines MC-Mobile; automated control systems for earthmoving machines 3D-MC Mobile GNSS TWIN; automated control systems for earthmoving and transport machines 3D-MC Max GNSS TWIN for bulldozers and 3D-MC Max mmGNSS for motor graders; automated control systems for asphalt pavers 3D-MC Max mmGNSS; automated control systems for rollers 3D-MC Max mmGNSS. The features and composition of the equipment set of each system are determined, and their differences are considered. The complex of temperature and pressure sensors, hydraulic control of machine elements, GNSS system and control device that allows you to control the machine with the ability to instantly determine the parameters of the structure under construction are considered. Functions of geodetic equipment reproducing design solutions in the system set are determined.

Having analyzed the systems of automated engineering and geodetic control and control of road construction machines, conclusions were drawn that allowed us to determine the main features of conducting engineering and geodetic control of highway construction. The set of geodetic equipment necessary for the formation of an automated system is determined. This article is of a review nature and is intended only for the analysis of existing automated engineering and geodetic control and control of road construction machines.

Keywords: engineering and geodetic control; highways; automated leveling systems; GNSS technologies.

Fig.: 8. **References:** 6.