

включені в один маршрут, а розмір партії вантажу для кожного споживача слід вибирати пропорційно попиту.

Література

1. Босняк М.Г. Вантажні автомобільні перевезення. Навчальний посібник. -2-е вид. – К.: Видавничий дім „Слово”, 2013 – 408 с.
2. Шматко Д.З., Коробочка О.М., Авер’янов В.С., Сасов О.О., Вернигора В.Д. Організація та планування автомобільних вантажних перевезень. Наукове видання – Кам’янське: ДДТУ, 2020 – 166 с.
3. Карнарчук В.Є., Курніков І.П. Виробничі системи на транспорті: підручник. –К.: Вища школа, 2017 - 359 с.
4. Кислий В.М., Біловодська О.А., Олефіренко О.М. Логістика: теорія та практика: навч. посіб. –К.: Центр учбової літератури, 2015-360 с.
5. Карнарчук В.Є., Курніков І.П. Виробничі системи на транспорті: підручник. – К.: Вища школа, 2017 – 359 с.

УДК 625.73:62-522:528.9

GNSS/RTK-НАВІГАЦІЯ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ

Балака Максим Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури,
e-mail: balaka.mm@knuba.edu.ua, ORCID: [0000-0003-4142-9703](https://orcid.org/0000-0003-4142-9703)

Горбатюк Євгеній Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури,
e-mail: gorbatiuk.iev@knuba.edu.ua, ORCID: [0000-0002-8148-5323](https://orcid.org/0000-0002-8148-5323)

Міщук Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури,
e-mail: mischuk.do@knuba.edu.ua, ORCID: [0000-0002-8263-9400](https://orcid.org/0000-0002-8263-9400)

Сучасний розвиток транспортного будівництва визначається інтенсивною цифровізацією виробничих процесів і впровадженням концепції «розумного будівельного майданчика». Одним із ключових інструментів цього напрямку є системи GNSS/RTK-навігації та 3D-контролю, що інтегрують машини для земляних робіт в єдину цифрову модель об’єкта [1–5]. Це забезпечує суттєве підвищення точності виконання земляних робіт, скорочення їх тривалості, раціональне використання ресурсів і прозорість виробничого процесу.

Традиційні методи виконання та контролю земляних робіт базуються на ручних геодезичних вимірюваннях і відмітках, що потребує значних трудових і часових ресурсів. Такі підходи мають підвищену ймовірність похибок, особливо при масштабних роботах, що призводить до перевитрат пального і матеріалів, збільшення собівартості та затримок. Відсутність безперервного

моніторингу робіт і оперативного зворотного зв'язку з проектними даними знижує керованість процесом та ускладнює оптимізацію графіків робіт.

Інтеграція GNSS/RTK-навігації дозволяє під'єднати будівельні машини до єдиної цифрової моделі об'єкта. Бортові контролери з GNSS-приймачами та інерційними сенсорами визначають просторове положення робочих органів у глобальній системі координат і автоматично коригують їх рух за проектними відмітками [6]. Мінімізуються ручні вимірювання, знижується вплив людського фактора та забезпечується рівномірність профілювання поверхні (табл. 1).

Практичні результати впровадження технологій навігації підтверджують їх вплив на продуктивність та якість виконання земляних робіт (рис. 1). Приміром, використання бульдозерів Komatsu D61i-23 з інтегрованим GPS-драйвом дало близько 13% приросту продуктивності на етапі грубого вирівнювання ґрунту, зменшило кількість повторних проходів і забезпечило стабільну відповідність проектному профілю [1, 3]. На етапі фінішного профілювання моделі грейдерів John Deere GP Smart Grade та системи Trimble GCS900 забезпечують стабільність RTK-сигналу і автоматичну корекцію положення леза, що дає можливість досягати точності профілювання до 2–3 см та скоротити тривалість робіт на 15–20%. Завдяки автоматизованим алгоритмам утримання леза на проектній висоті оператор зосереджується на контролі безпеки та логістиці руху, а не на ручних відмітках. Скрепери, обладнані системами Trimble Grade Control чи John Deere iGrade, формують запроєктовані поверхні без необхідності геодезичної розбивки, зменшують перевитрати матеріалу на 10–15% та скорочують час планування до 25% [6–8]. Це критично для об'єктів великої площі, де ручна розбивка потребує значних трудових і часових ресурсів.

Таблиця 1 – Традиційні та автоматизовані методи земляних робіт

Критерій	Традиційні методи	Автоматизовані системи керування
Точність профілювання	±5–8 см	±2–3 см, стабільне дотримання проектних відміток
Витрати пального	Вищі на 10–15% внаслідок нераціональних робочих ходів	Оптимізовані, економія до 12–18%
Контроль обсягів робіт	Виконується вручну, похибка до 10%	Автоматизований контроль, похибка до 2–3%
Виконавча документація	Паперові журнали та акти, ручне внесення даних	Автоматична електронна звітність з прив'язкою до цифрової моделі
Організація будівельного процесу	Вимагає постійної присутності геодезистів, значні витрати на розмітку	Зменшення потреби у геодезичному супроводі, робота за даними 3D-моделі
Моніторинг	Обмежений, контроль переважно візуальний	Дистанційний, у режимі реального часу, «геозони»
Гнучкість управління	Обмежена можливість оперативних змін	Миттєве оновлення цифрових моделей, інтеграція у BIM-середовище

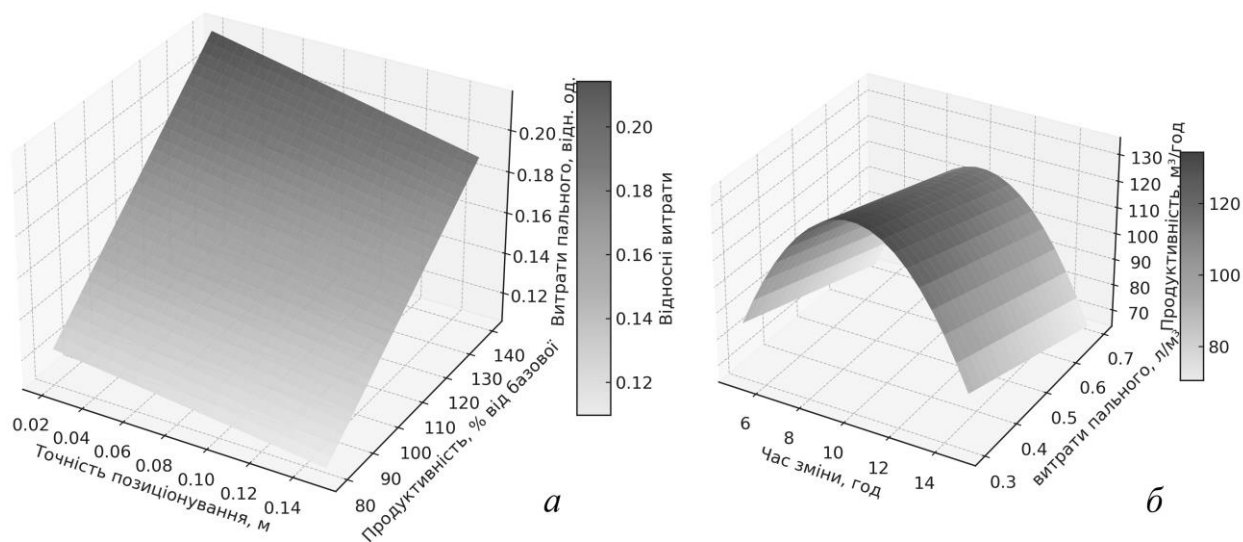


Рисунок 1 – Залежність продуктивності та питомих витрат пального від точності позиціонування машини (а) та часу зміни (б)

Додатковою перевагою є можливість формування архіву as-built даних [1], візуалізації траєкторій руху машин у режимі реального часу і оперативного виявлення відхилень від проектної поверхні (рис. 2). Це створює основу для інтеграції ВІМ-технологій у процес управління земляними роботами та переходу до комплексного управління будівельним циклом.

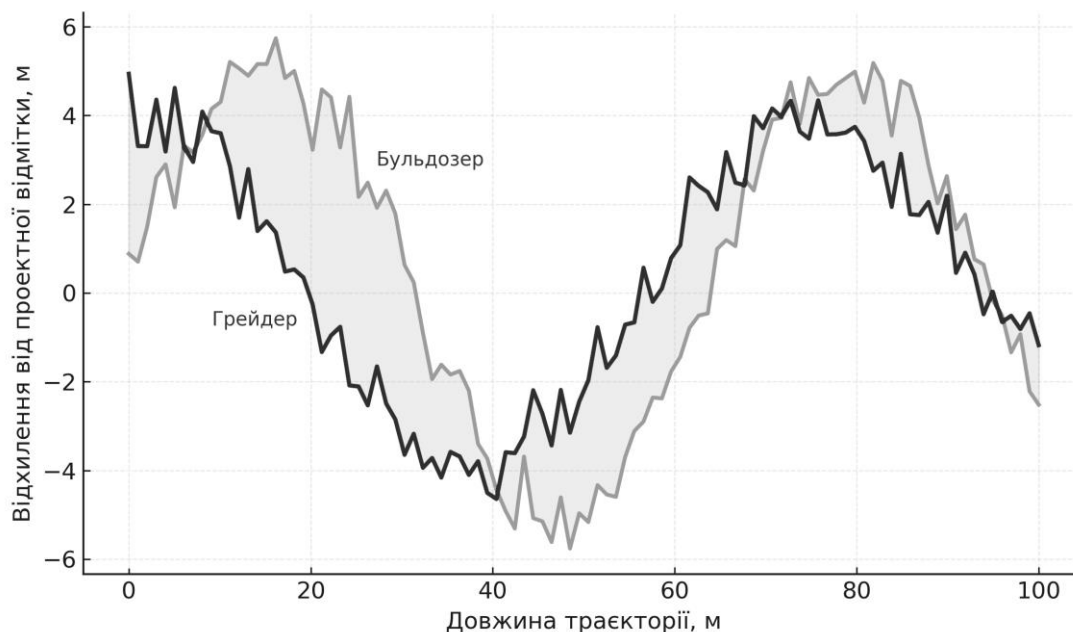


Рисунок 2 – Приклад траєкторії руху машин за даними GNSS (as-built)

Економічний ефект від впровадження GNSS/RTK-навігації полягає у зменшенні витрат пального на 12–18%, скороченні потреби в геодезичному супроводі майже вдвічі та зниженні кількості повторних проходів машин, що безпосередньо впливає на собівартість будівництва [4–6, 9]. Автоматизовані системи дозволяють досягати точності профілювання до 2–3 см, що відповідає вимогам проектної документації (рис. 3).

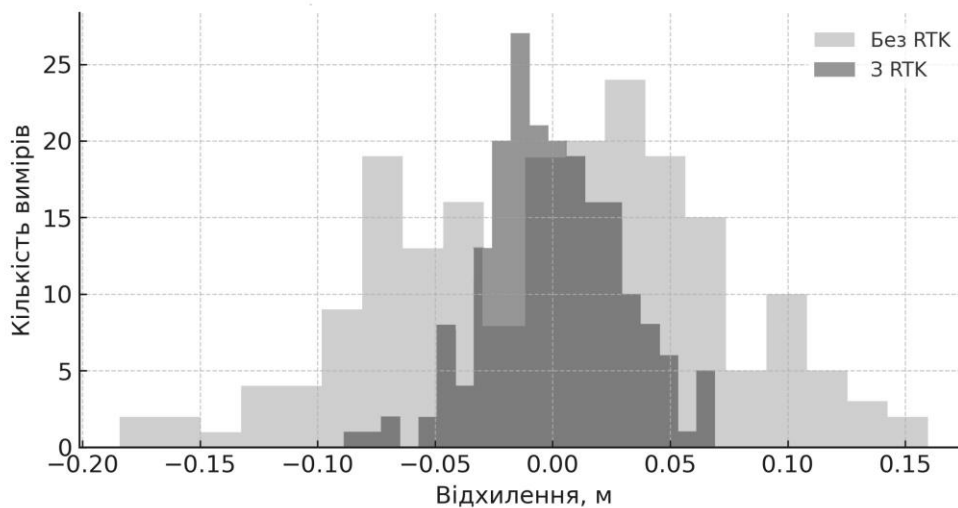


Рисунок 3 – Порівняння відхилень від проектної поверхні за відсутності RTK-позиціонування та його наявності

Таким чином, цифрові технології виступають стратегічним інструментом підвищення ефективності сучасного транспортного будівництва. Поєднання GNSS, інерційних сенсорів та спеціалізованого програмного забезпечення формує замкнений цикл керування земляними роботами – від проектування до автоматизованої фіксації результатів. Це дозволяє перейти від фрагментарного управління окремими операціями до системного контролю всього будівельного майданчика, що особливо важливо для масштабних інфраструктурних проєктів.

Висновки

Впровадження GNSS/RTK-систем керування у транспортному будівництві є визначальним кроком на шляху цифрової трансформації галузі. Системи забезпечують точність виконання робіт до 2–3 см, підвищення продуктивності на 15–25%, економію пального до 18% і скорочення потреби в геодезичному супроводі майже вдвічі. Практика використання таких технологій у країнах ЄС та Японії підтверджує їхню високу ефективність і доцільність масштабного впровадження в Україні, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності будівельних підприємств та покращенню якості дорожньої інфраструктури.

Література

1. Look B. G. Earthworks: Theory to Practice – Design and Construction. Boca Raton. CRC Press, 2022. 590 p.
2. Сукач М. К., Комоцька С. Ю., Балака М. М. Будівельні машини і обладнання. Практикум. К.: КНУБА, 2016. 120 с.
3. Gorbatyuk Ie., Balaka M., Mishchuk D. Information model of bulldozer-looser movement (2021). The world of science and innovation: Abstracts of the 7th International Scientific and Practical Conference (February 10–12, 2021). Cognum Publishing House. London, United Kingdom. P. 54–59.

4. Балака М. М., Пелевін Л. Є., Аржаєв Г. О. Застосування принципів мехатроніки при тягових випробуваннях позашляхових технологічних засобів. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Харків, 2012. Вип. 57. С. 55–58.

5. Пелевін Л. Є., Балака М. М., Аржаєв Г. О. Мехатронні системи гідропневмоавтоматики. К.: Аграр Медіа Груп, 2014. 192 с.

6. Lopes J. M., Trabanco Jorge. (2022). Automated control systems for civil construction machinery using RTK-GNSS: an implementation review. Engenharia Civil UM. 28–33.

7. Балака М. М., Кім А. О., Міщук Д. О., Ходневич М. М. Особливості робочого циклу і організації скреперних робіт. Сучасні проблеми та перспективи розвитку машинобудування України: тези доповідей Міжнар. наук.-практ. онлайн конф. (23–24 верес. 2021 р.). К.: НУБіП України, 2021. С. 16–18.

8. Balaka M., Gorbatyuk Ie., Mishchuk D., Prystailo M. (2021). Characteristic properties of support surfaces for self-propelled scrapers motion. Fundamental and applied research in the modern world: Abstracts of the 6th International scientific and practical conference (January 20–22, 2021). Boston, USA. P. 53–58.

9. Балака М., Тетерятник О., Санкін І. Комплексна оцінка застосування моторних палив. Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування: матеріали 14-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (16–18 берез. 2023 р.). Херсон: ХДМА, 2023. С. 194–196.

УДК 624.21.033

АНАЛІЗ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ ТА НЕСНОЇ ЗДАТНОСТІ ТИМЧАСОВОГО МОСТУ ДЛЯ ПРОПУСКУ ВАЖКОВАГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Бугаєвський Сергій Олександрович, докт. техн. наук,
професор кафедри МКіБМ,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: bugaevskiysa@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2861-0268

Смагло Ярослав Дмитрович, аспірант, кафедри МКіБМ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: smahlo91yaruslav@gmail.com, ORCID: 0009-0004-8806-7812

Тарасенко Тетяна Миколаївна, асистент кафедри МКіБМ
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: tanya_tarasenko_dm@ukr.net ORCID: 0009-0009-2996-4923

Корнілова Зінаїда Володимирівна, магістр кафедри МКіБМ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: zinaida.pro1999@gmail.com ORCID: 0009-0006-3061-0151

Актуальність теми роботи. Військова агресія Російської Федерації проти України привела до значної руйнації транспортної інфраструктури України. З'явилися необхідність відбудови в короткі терміни великої кількості