

УДК 625.7

АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДОРОЖНІМИ МАШИНАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Гнатенко О.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Вступ. У сучасних умовах цифрової трансформації дорожньо-будівельної галузі автоматизація процесів керування дорожніми машинами набуває особливого значення. Точність виконання технологічних операцій, зменшення людського фактору та підвищення продуктивності є ключовими факторами ефективності дорожнього будівництва. Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку таких систем є використання супутникових навігаційних технологій (GNSS – Global Navigation Satellite Systems) [1].

GNSS-системи дають змогу в режимі реального часу визначати координати дорожньої машини з високою точністю та використовувати ці дані для автоматичного або напівавтоматичного керування робочими органами. Це особливо важливо для грейдерів, бульдозерів, асфальтоукладачів і катків, де потрібна точність у межах кількох сантиметрів [2].

Крім того, сучасні системи керування часто інтегрують модулі телеметрії та дистанційного моніторингу, що дозволяє контролювати роботу машини та її стан у режимі реального часу з центрального офісу або мобільного пристрою. Це забезпечує своєчасне виявлення технічних несправностей, оптимізацію маршрутів та планування технічного обслуговування, підвищуючи загальну ефективність і безпеку дорожньо-будівельних робіт.

1. Структура системи керування дорожньою машиною з використанням GNSS. Система керування дорожньою машиною із супутниковою навігацією зазвичай складається з таких елементів [3]:

- GNSS-приймач – забезпечує визначення просторових координат машини.

- Контролер (ECU) – обробляє навігаційні дані та формує керуючі сигнали для виконавчих механізмів.

- Датчики положення та нахилу – здійснюють корекцію координат у реальному часі.

- Програмне забезпечення – аналізує цифрову модель місцевості, визначає відхилення та коригує рух машини.

GNSS-приймач отримує сигнали від декількох супутників (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou), після чого контролер обчислює координати точки та порівнює їх із проектними значеннями. У разі відхилення система автоматично регулює положення робочого органу (наприклад, ножа грейдера або відвала бульдозера).

2. Принцип роботи та режими позиціонування. Для забезпечення високої точності використовують режим RTK (Real Time Kinematic), який дає змогу досягати точності до 2 см завдяки диференціальній корекції від базової станції [4].

Іншим варіантом є PPP (Precise Point Positioning), що не потребує базової станції, але забезпечує трохи меншу точність.

У більшості систем позиціонування дані GNSS інтегруються з інерціальними системами (INS), які компенсують тимчасову втрату сигналу. Такий підхід підвищує стабільність і надійність роботи машин у складних умовах (тунелі, глибокі виїмки, міська забудова).

3. Переваги використання супутникових систем. Дослідження показують [2; 5], що застосування GNSS у керуванні дорожніми машинами забезпечує такі переваги:

- підвищення точності профілювання поверхні до ± 2 см;
- скорочення витрат пального на 10–15%;
- зниження витрат будівельних матеріалів;
- скорочення тривалості робіт на 20–30%;

- можливість роботи в умовах обмеженої видимості.

GNSS-технології також створюють умови для реалізації концепції інтелектуального будівництва (Smart Construction), де кожна одиниця техніки інтегрована у цифрову модель об'єкта [6].

4. Недоліки та обмеження застосування GNSS. Незважаючи на значні переваги, існують певні обмеження:

- залежність від стабільності супутникового сигналу;
- зниження точності при наявності перешкод (будівлі, мости, лісові насадження);
- висока вартість GNSS-комплектів;
- потреба у кваліфікованому персоналі для налаштування системи [7].

Для зменшення впливу цих факторів застосовують комбіновані системи, які поєднують супутникову навігацію з інерціальними датчиками, лазерними далекомірами або лідаром.

5. Приклади впровадження. Виробники дорожньої техніки активно впроваджують GNSS у свої продукти.

- Trimble Earthworks забезпечує автоматичне керування бульдозерами та екскаваторами з точністю до 2 см.
- Leica iCON дозволяє створювати цифрові моделі дорожнього полотна та контролювати процес у режимі реального часу.
- Topcon 3D-MC інтегрує GNSS і лазерні сенсори для точного формування профілю поверхні [3; 4].

Висновки. Використання супутникових навігаційних систем у керуванні дорожньо-будівельними машинами дозволяє досягти високої точності та продуктивності робіт.

Технологія GNSS сприяє зниженню матеріальних витрат і мінімізації людського фактору. Подальший розвиток систем пов'язаний з інтеграцією GNSS з інерціальними навігаційними системами, комп'ютерним зором та штучним інтелектом.

Застосування таких рішень є важливим кроком до створення повністю

автономних дорожньо-будівельних машин.

Література:

1. GNSS positioning in construction machinery // *Trimble Technical White Paper*. – Sunnyvale, USA: Trimble Inc., 2022. – 18 p.
2. Слюсар, В.І. Автоматизовані системи керування будівельною технікою на основі супутникової навігації // *Науково-технічний журнал «Автоматизація та приладобудування»*. – 2021. – №3. – С. 45–52.
3. Leica Geosystems. Machine Control Solutions for Construction. – Official site: URL: <https://leica-geosystems.com>.
4. Topcon Positioning Systems. Intelligent Construction Technologies. – Official site: URL: <https://www.topconpositioning.com>.
5. Кривенко, О.М. Інтелектуальні транспортні системи та автоматизація дорожніх робіт // *Вісник Національного транспортного університету*. – 2023. – №1(57). – С. 112–119.
6. Caterpillar Grade Control System with GNSS. – *Caterpillar Inc.*, 2020. – URL: https://www.cat.com/en_US/products.
7. ISO 17123-8:2018. Field procedures for GNSS measurements (Real-time kinematic). – International Organization for Standardization, 2018. – 36 p.