

УДК 629.034.2

## АКТУАЛЬНІСТЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ АВТОГРЕЙДЕРІВ

*Божко І.О.*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків*

У статті розглядається актуальність автоматизації автогрейдерів у дорожньо-будівельній сфері. Проаналізовано сучасний стан використання автогрейдерів, основні напрямки автоматизації, переваги та виклики впровадження автоматизованих систем. Розглянуто приклади сучасних технологій управління, таких як Trimble GCS900, Topcon 3D-MC, Leica iCON grade та Cat Grade Control. Висвітлено перспективи розвитку автономних систем, інтеграцію з цифровими моделями місцевості та інтелектуальними транспортними системами. Показано, що автоматизація дозволяє підвищити точність профілювання, зменшити витрати матеріалів, скоротити тривалість будівництва та знизити залежність від людського фактору, що робить її стратегічно важливою для розвитку сучасної дорожньої інфраструктури.

**Вступ.** Автоматизація дорожньо-будівельної техніки є ключовим етапом розвитку сучасної транспортної інфраструктури. Автогрейдери — основна техніка для планування, профілювання та вирівнювання дорожнього полотна — сьогодні потребують підвищеної точності та ефективності роботи. Впровадження автоматизованих систем керування дозволяє зменшити вплив людського фактору, підвищити продуктивність праці, оптимізувати витрати матеріалів та скоротити терміни будівництва [1, 2].

**1. Сучасний стан використання автогрейдерів.** Автогрейдери традиційно експлуатуються з ручним керуванням, що потребує високої кваліфікації операторів.

Недоліки ручного керування:

- нерівномірне вирівнювання поверхні;
- перевитрата щебеню та асфальту;
- висока ймовірність помилок при складних рельєфах.

В сучасних умовах цифровізації будівництва активно впроваджуються системи автоматичного керування:

- GNSS-навігація (GPS, GLONASS, Galileo) для визначення точного положення ножа;
- лазерні та ультразвукові датчики для регулювання висоти та нахилу відвалу;
- системи машинного контролю (Machine Control) для інтеграції з цифровими моделями рельєфу [3, 4].

Популярні системи автоматизації наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Популярні системи автоматизації автогрейдерів

Виробник	Система	Опис
Trimble	GCS900	GNSS-контроль ножа, сумісність з 3D-моделями місцевості
Topcon	3D-MC	Автоматичне керування висотою та нахилом відвалу
Leica	iCON grade	Інтеграція з BIM, дистанційний моніторинг процесу
Caterpillar	Cat Grade Control	Підвищення точності до $\pm 10$ мм, контроль продуктивності

## 2. Основні напрями автоматизації

**Інформаційний рівень.** Датчики положення, нахилу та швидкості збирають дані про роботу автогрейдера в реальному часі. Це дозволяє коригувати положення ножа з точністю до міліметра.

**Керуючий рівень.** Автоматичне регулювання положення ножа за цифровими моделями рельєфу з урахуванням нахилу та швидкості.

**Аналітичний рівень.** Інтеграція з системами BIM та Machine Control дозволяє віддалено контролювати ефективність роботи, прогнозувати витрати матеріалів і оцінювати продуктивність [5, 6].

## 3. Переваги автоматизації автогрейдерів

- Точність профілювання  $\pm 10$  мм;
- Зменшення витрат матеріалів на 10–20 %;
- Скорочення тривалості будівництва до 30 %;

- Зниження навантаження на оператора, мінімізація людського фактору;
- Можливість роботи в складних умовах (ніч, пил, туман).

#### **4. Проблеми та виклики**

- Висока вартість обладнання та обслуговування;
- Необхідність підготовки операторів;
- Залежність від якості GNSS-сигналу;
- Обмежене впровадження на старому парку машин [7].

#### **5. Перспективи розвитку**

- Повністю автономні автогрейдери;
- Інтеграція в інтелектуальні транспортні системи (ITS);
- Використання LIDAR, машинного зору та штучного інтелекту для адаптивного керування [8, 9].

Ці технології забезпечать стабільну якість дорожнього покриття та оптимізацію ресурсів у будівництві.

**Впровадження автоматизації автогрейдерів в Україні.** В Україні впровадження автоматизованих автогрейдерів знаходиться на початковому етапі, однак спостерігається позитивна динаміка завдяки модернізації дорожньо-будівельного парку та цифровізації процесів.

#### **Особливості та проблеми впровадження:**

- Обмежений парк сучасної техніки. Більшість автогрейдерів на підприємствах — старого покоління, що потребує технічної модернізації.
- Вартість обладнання. Системи Trimble GCS900, Topcon 3D-MS або Leica iCON grade коштують від \$20 000 до \$50 000 за один автогрейдер, що суттєво для малих і середніх підприємств.
- Підготовка персоналу. Автоматизовані системи потребують навчання операторів, які раніше працювали виключно вручну.

#### **Приклади впровадження:**

- Державне підприємство «Укравтодор» у деяких регіонах застосовує автогрейдери з системами GNSS для вирівнювання дорожнього полотна на великих автошляхах [1].

- Приватні компанії, що займаються будівництвом автодоріг, тестують автоматизовані системи для скорочення часу будівництва та оптимізації витрат матеріалів.

Впровадження автоматизації в Україні розпочалося, але потребує комплексного підходу: модернізації техніки, навчання персоналу та фінансових інвестицій.

**Порівняння з міжнародним досвідом.** На міжнародному рівні автоматизація автогрейдерів має широкий спектр застосування, особливо в США, Європі та Японії.

**Досвід провідних країн:**

- США: багато компаній застосовують системи Trimble та Topcon на великих будівельних майданчиках. Застосування автоматизації дозволило скоротити витрати матеріалів на 15–20 % та підвищити точність профілювання до  $\pm 10$  мм.

- Європа: у Німеччині та Швеції використовують інтеграцію автогрейдерів із BIM-системами, що дозволяє віддалено моніторити роботу машин і контролювати якість поверхні.

- Японія: використання автономних систем з LIDAR та штучним інтелектом для будівництва автомагістралей, що забезпечує високий рівень безпеки та продуктивності.

Міжнародний досвід показує, що автоматизація автогрейдерів забезпечує економічну ефективність, точність робіт та безпеку, що є стратегічним орієнтиром для України.

**Перспективи розвитку автоматизації автогрейдерів пов'язані з інтеграцією сучасних технологій:**

1. автономні автогрейдери - машини, здатні виконувати профілювання без участі оператора, з високою точністю та безперервністю роботи;

2. інтеграція зі штучним інтелектом (AI) - системи з машинним зором та LIDAR здатні аналізувати рельєф і адаптувати положення ножа в режимі реального часу;

3. інтелектуальні транспортні системи (ITS) - можливість синхронізації з іншою дорожньо-будівельною технікою та віддаленого моніторингу за допомогою хмарних технологій;

4. економічна та екологічна ефективність - зменшення перевитрат матеріалів, скорочення часу будівництва та зниження викидів CO<sub>2</sub>.

Розвиток автоматизації автогрейдерів сприятиме підвищенню продуктивності, якості та безпеки дорожніх робіт, відповідаючи сучасним світовим тенденціям цифровізації будівництва.

**Висновки.** Актуальність автоматизації автогрейдерів визначається потребою підвищення продуктивності, точності та безпеки дорожньо-будівельних робіт.

Впровадження автоматизованих систем є стратегічно важливим для розвитку транспортної інфраструктури України та відповідає світовим тенденціям цифровізації будівництва.

### **Література:**

1. Бойко, В., Кравченко, С. Цифрові технології в дорожньому будівництві. Київ: Наукова думка, 2021.
2. Іваненко, П. Автоматизація дорожньо-будівельної техніки: сучасний стан. Львів: ЛНУ, 2020.
3. Trimble Inc. GCS900 Grade Control System. URL: <https://geospatial.trimble.com>
4. Topcon Positioning Systems. 3D-MC Machine Control Solutions. URL: <https://www.topconpositioning.com>.
5. Leica Geosystems. iCON grade for graders. URL: <https://leica-geosystems.com>.
6. Caterpillar Inc. Cat Grade Control Systems. URL: <https://www.cat.com>.
7. Caterpillar Inc. Cat Grade Control Systems. URL: <https://www.cat.com>.
8. Zhang, H., Li, Y. Autonomous Grader Systems: Trends and Applications. Journal of Construction Engineering, 2021.
9. Smith, J., Johnson, R. Machine Vision in Road Construction. International Journal of Civil Engineering, 2020.