

ОЦІНЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МАШИННО- ТРАКТОРНИМИ АГРЕГАТАМИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ БУДІВЕЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

Єфименко О.В., к.т.н., доцент кафедри підйомно-транспортних, будівельних і дорожніх машин та обладнання, Харківський національний автомобільно-дорожній університет
ORCID: 0000-0003-0628-7893

Вступ. Сучасні тенденції розвитку машинно-транспортного комплексу України характеризуються стрімким упровадженням технологій цифрового моделювання, супутникової навігації, автоматизованого керування та точного землеробства. Застосування автоматизованих систем керування (АСК) у машинно-тракторних агрегатах, зокрема на базі обладнання Leica PowerGrade, Trimble Earthworks чи Topcon 3D-MS, забезпечує суттєве підвищення ефективності виконання земляних і будівельних робіт, скорочення витрат пального, зменшення часу циклу та підвищення якості формування поверхонь.

Проблематика оцінювання економічної ефективності впровадження таких систем набуває особливої актуальності в умовах воєнного та післявоєнного відновлення інфраструктури, коли від швидкості та точності виконання робіт залежить не лише продуктивність будівельних підприємств, а й загальний обсяг відбудови. У сучасних економічних реаліях саме цифровізація технічних процесів виступає ключовим чинником зниження собівартості, підвищення конкурентоспроможності підприємств і забезпечення раціонального використання матеріально-технічних ресурсів.

Додатково, автоматизовані системи керування створюють інформаційне середовище для моніторингу параметрів експлуатації машин, накопичення даних для управлінських рішень, а також інтеграції в єдині цифрові платформи «розумного будівництва». Це визначає не лише технічну, а й стратегічну цінність цифрових інновацій у контексті переходу галузі до концепції сталого розвитку та «зеленої» економіки.

Таким чином, актуальність дослідження полягає у необхідності кількісного та якісного оцінювання ефекту від упровадження АСК на прикладі машинно-тракторних агрегатів, що дозволить обґрунтувати економічну доцільність їх використання, визначити строки окупності інвестицій і сформулювати наукові підходи до управління ефективністю цифрових технологій у будівельному секторі.

Матеріали дослідження. Базою для аналізу економічної ефективності впровадження автоматизованих систем керування в машинно-тракторних агрегатах обрано результати експлуатаційних досліджень автогрейдера *Volvo G930* та бульдозера *Caterpillar D6*, обладнаних системою *Leica PowerGrade*. Порівняння проводилося між базовими моделями без цифрового керування та

модернізованими машинами, що дало змогу оцінити зміну продуктивності, собівартості виконання робіт і витрат пального.

Аналітична методика ґрунтується на принципах техніко-економічного моделювання, відповідно до яких економічний ефект від упровадження систем автоматизованого керування визначається співвідношенням зниження собівартості робіт до обсягу інвестицій:

$$E = \frac{Z_0 - Z_1}{K} \quad (1)$$

де:

E — коефіцієнт економічної ефективності інвестицій; Z_0 — собівартість робіт до модернізації, грн/м³; Z_1 — собівартість після впровадження АСК, грн/м³; K — капітальні вкладення у систему керування, грн.

Для оцінки строку окупності використано показник:

$$T = \frac{K}{(Z_0 - Z_1) \cdot Q} \quad (2)$$

де Q — річний обсяг виконаних робіт, м³.

За результатами порівняння встановлено, що впровадження системи *Leica PowerGrade* забезпечує підвищення продуктивності машинно-тракторних агрегатів у середньому на 30–32 %, зниження витрат пального на 16–18 %, скорочення тривалості робочого циклу на приблизно 27 % та зменшення собівартості робіт на 30 %. Економічний ефект виражається у зростанні прибутковості підприємства на 15–18 % і зменшенні строку окупності інвестицій до 1,8–2,4 років.

Додатково визначено, що внутрішня норма прибутковості (IRR) перевищує 23 %, а чистий приведений дохід (NPV) має позитивне значення, що свідчить про інвестиційну привабливість та економічну доцільність цифрової модернізації техніки.

Розрахункові залежності (1)–(2) можуть бути використані як основа для побудови моделі прогнозування економічної ефективності впровадження автоматизованих систем керування в будівельній і дорожній техніці.

Результати та обговорення. Проведений аналіз показав, що використання автоматизованих систем керування у машинно-тракторних агрегатах суттєво змінює структуру витрат виробничого процесу, оптимізуючи час виконання операцій і зменшуючи споживання ресурсів. Розрахунки свідчать, що впровадження системи *Leica PowerGrade* забезпечує зниження питомої собівартості земляних робіт у середньому на 30 %, підвищення продуктивності праці на 25–32 % та економію пального до 17 % порівняно з базовими машинами.

Для узагальнення отриманих результатів побудовано графічну залежність ефективності використання техніки від рівня капітальних інвестицій (рис. 1). Як видно з діаграми, за зростання вартості цифрового обладнання економічний ефект залишається позитивним у діапазоні витрат до 600 тис. грн, що підтверджує стабільність показників окупності.

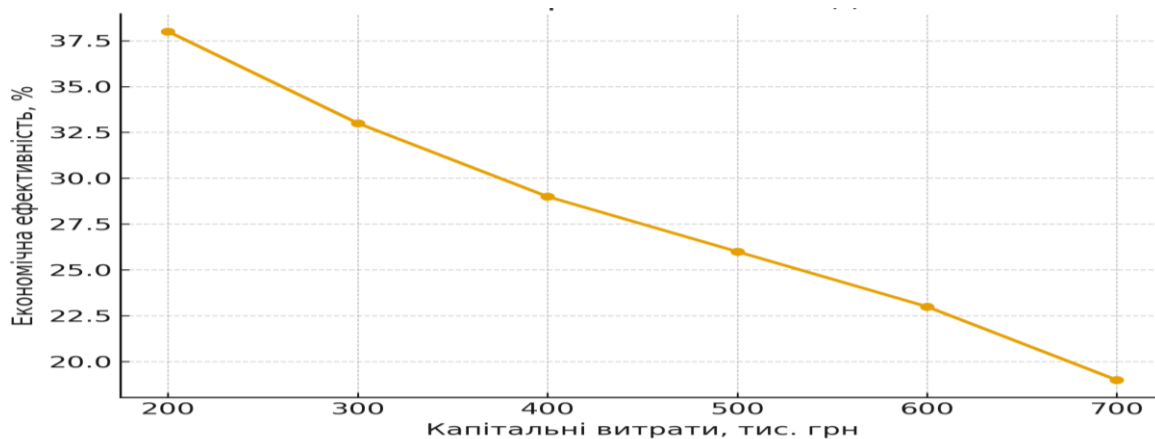


Рисунок 1 – Залежність економічної ефективності впровадження автоматизованої системи керування від капітальних витрат, %

Узагальнені показники порівняльної ефективності наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльні техніко-економічні показники ефективності машинно-тракторних агрегатів

Показник	Базова машина	Модернізована машина (з АСК)	Відхилення, %
Продуктивність, м ³ /год	160	210	+31,3
Витрати пального, л/м ³	0,48	0,40	-16,7
Собівартість робіт, грн/м ³	112,0	78,5	-29,9
Тривалість циклу, хв	8,5	6,2	-27,1

За результатами розрахунків строк окупності інвестицій становить 1,8–2,4 роки, внутрішня норма прибутковості (IRR) – понад 23 %, що перевищує нормативне значення ставки дисконту. Показники чистого приведенного доходу (NPV) і прибутковості інвестицій (PI) мають позитивні значення, що підтверджує доцільність упровадження систем автоматизованого керування у будівельній і дорожній техніці.

Порівняння з аналогічними зарубіжними системами (*Trimble Earthworks*, *Torcon 3D-MS*) свідчить про близькі рівні економічного ефекту: підвищення продуктивності в межах 25–35 % і скорочення паливних витрат на 15–20 %, що підтверджує конкурентоспроможність використаних технологічних рішень.

Таким чином, результати дослідження доводять, що цифрова модернізація машинно-тракторних агрегатів створює не лише короткостроковий економічний ефект, а й стратегічну основу для переходу підприємств до концепції «розумного будівництва», підвищуючи інвестиційну привабливість галузі та рівень технологічної зрілості виробництва.

Висновки. Отримані результати дослідження підтверджують високу ефективність упровадження автоматизованих систем керування у машинно-тракторних агрегатах, що забезпечує комплексне підвищення продуктивності та раціональне використання ресурсів під час виконання земляних робіт.

Встановлено, що використання системи *Leica PowerGrade* сприяє зростанню продуктивності машинно-тракторних агрегатів у середньому на 30–32 %, зниженню собівартості робіт приблизно на 30 %, скороченню витрат пального до 17 % та тривалості робочого циклу на 27 %. Проведені техніко-економічні розрахунки показали, що строк окупності інвестицій становить від 1,8 до 2,4 років, а внутрішня норма прибутковості перевищує 23 %, що свідчить про економічну доцільність та інвестиційну привабливість цифрової модернізації техніки. Застосування автоматизованих систем керування забезпечує не лише короткостроковий економічний ефект, але й створює основу для довгострокового розвитку будівельних підприємств за принципами «розумного будівництва», у якому цифрові технології виступають ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності, ефективності та екологічної стійкості виробництва.

Література

25. Kim, J. Y., Park, S., Lee, H., & Cho, J. (2024). Path planning strategy for implementing a machine control (MC) technology for graders in earthmoving operations. *Applied Sciences*, 14(20), 9432. <https://doi.org/10.3390/app14209432>
26. Liu, Z., & Kim, J. I. (2025). Autonomous earthwork machinery for urban construction: A review of integrated control, fleet coordination, and safety assurance. *Buildings*, 15(14), 2570. <https://doi.org/10.3390/buildings15142570>
27. Pan, M., Linner, T., Cheng, H., & Bock, T. (2018). A framework of indicators for assessing construction automation and robotics in the sustainability context. *Journal of Cleaner Production*. <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1484303>
28. You, K., Zhang, D., Chen, L., & Li, S. (2022). Smart T-box of unmanned earthwork machinery for Internet-of-Things application in bulldozers, graders and rollers. *Automation in Construction*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580522004599>
29. Heikkilä, R., Salonen, T., & Kähkönen, K. (2019). Development of an earthmoving machinery autonomous excavator development platform. *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2019)*, Banff, Canada. https://www.iaarc.org/publications/fulltext/ISARC_2019_Paper_206.pdf