

5. Eneji, A. E., Olatunde, O. O., & Onyemaechi, I. (2021). *The rise and fall of leaded gasoline*. *Environmental Health News*. Retrieved from <https://www.ehn.org/leaded-gasoline-2655957427/the-rise-and-fall-of-leaded-gasoline?utm>
6. The Man Who Accidentally Killed The Most People In History. Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=IV3dnLzthDA>
7. Bordes, A., Jarry, F., & Le Pape, Y. (2024). Assessment of run-off waters resulting from lithium-ion battery firefighting. *Batteries*, 10(4), 118. <https://doi.org/10.3390/batteries10040118>. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2313-0105/10/4/118>
8. Meelapchotipong, P., et al. (2024). Seawater submersion for cylindrical lithium-ion batteries: experimental feasibility study. (*article abstract on ScienceDirect*). <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.113377>. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X24029633>

УДК 621.436.8

ВІД ДИЗЕЛЬНИХ ДО ЕЛЕКТРИЧНИХ ПРИВОДІВ БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН: ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІСТЬ

Федишин Богдан Миколайович, аспірант, асистент кафедри удівельних машин, Київський національний університет будівництва і архітектури, e-mail: fedyshyn_bm@knuba.edu.ua, ORCID: [0000-0003-2420-7332](https://orcid.org/0000-0003-2420-7332)

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)

Лисак Сергій Іванович, викладач, ВСП Миколаївський будівельний фаховий коледж Київського національного університету будівництва і архітектури, e-mail: roterdam85as@gmail.com, ORCID: [0009-0009-8695-8925](https://orcid.org/0009-0009-8695-8925)

Будівництво об'єктів транспортної інфраструктури перебуває на етапі глибокої трансформації, зумовленої механізацією та цифровізацією виробничих процесів. Зростання масштабів та ускладнення інфраструктурних проєктів зумовлює потреби у підвищенні технологічного рівня земляних та дорожніх робіт [1–4]. Це, своєю чергою, вимагає не лише удосконалення технологічних схем і організації будівельного виробництва, але й також ретельної оптимізації технічних рішень, зокрема вибору типу приводу будівельних машин.

Сьогодні саме тип приводу – дизельний, гібридний, дизель-електричний чи повністю електричний (табл. 1) – є одним з ключових чинників ефективності роботи машинного парку. Він визначає не лише рівень енергоспоживання та собівартість виконання робіт, але й обсяг шкідливих викидів, вуглецевий слід будівельного майданчика, відповідність сучасним екологічним стандартам, а також отримання фінансування в рамках «зелених» інвестиційних програм.

Дизельні двигуни внутрішнього згорання протягом десятиліть залишаються базовим джерелом енергії для більшості будівельних машин [5, 6]. Водночас їхній коефіцієнт корисної дії рідко перевищує 30–35%, що свідчить про значні втрати енергії у вигляді тепла. Це призводить до підвищеного споживання пального, зростання собівартості робіт, інтенсивних викидів CO₂ NO_x та твердих частинок, погіршення умов праці та негативного впливу на навколишнє середовище.

Додатковим чинником є постійне підвищення вартості дизельного палива та посилення нормативних вимог щодо викидів шкідливих речовин (Stage V, Tier 4 Final). У цих умовах будівельні компанії дедалі активніше впроваджують альтернативні технічні рішення – гібридні, дизель-електричні трансмісії та повністю електричні приводи, які дають можливість знизити енерговитрати, скоротити експлуатаційні витрати та забезпечити відповідність екологічним регламентам [6–10]. Дизельні приводи залишаються найпоширенішим і поки що найзручнішим рішенням завдяки своїй простоті, автономності та широкій доступності пального. Так, типовий екскаватор масою 20 т споживає 10–12 л дизеля на годину, що відповідає близько 115 кВт·год вхідної енергії (табл. 2).

Таблиця 1 – Енергоефективність машин для земляних і дорожніх робіт

| Тип машин | Джерело енергії | Рівень викидів CO ₂ | Енергоефективність |
|--|---|---|---|
| Дизельні (екскаватори, бульдозери, автосамоскиди, скрепери) | Дизельне паливо | Високий – до 88% загального споживання енергії в земляних роботах | Середня, залежить від конструкції й стану двигуна; економія до 10–15% завдяки сучасним системам упорскування і турбонаддуву |
| Гібридні (екскаватори, навантажувачі з рекуперацією енергії) | Дизель + електромотор (рекуперація) | На 10–20% нижчий порівняно з дизельними машинами | Економія пального до 15–25% завдяки рекуперації та оптимізації роботи двигуна |
| Дизель-електричні (кар’єрні самоскиди, великі екскаватори) | Дизель-генератор + тягові електро-двигуни | Нижчий на 15–20% порівняно з класичними дизельними приводами | Висока, дизель працює у сталому режимі; оптимальне використання потужності, зменшення втрат на трансмісії |
| Електричні (навантажувачі, бульдозери, грейдери, катки) | Акумулятор або підключення до мережі | Нульовий рівень локальних викидів | Дуже висока: ККД електроприводу у 2–3 рази вищий, ніж у двигуна внутрішнього згорання |

Таблиця 2 – Енергоспоживання машин залежно від типу привода

| Маса машини, т | Завантаження, % | Дизель, л/год | Дизель-привод, кВт·год/год | Корисна потужність, кВт | Електропривід, кВт·год/год |
|----------------|-----------------|---------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 5 | 60 | 2,4 | 23,3 | 7,0 | 7,8 |
| 10 | 60 | 4,8 | 46,6 | 14,0 | 15,5 |
| 20 | 60 | 10,8 | 104,8 | 31,4 | 34,9 |
| 30 | 60 | 16,8 | 163,0 | 48,9 | 54,4 |
| 40 | 60 | 24,0 | 232,8 | 69,8 | 77,6 |

Гібридні машини поєднують роботу двигуна внутрішнього згорання з акумуляторними або гідравлічними накопичувачами енергії. Така комбінація дозволяє рекуперувати частину енергії при гальмуванні, знизити навантаження на двигун і економити до 15–25% пального [8, 10]. Особливо помітний ефект досягається під час циклічних операцій (копання, підйому та опускання стріли).

Дизель-електричні трансмісії, які дедалі ширше застосовуються у важких бульдозерах, кар'єрних самоскидах і навантажувачах, забезпечують підвищення загального коефіцієнта корисної дії силової установки до 40–45%. Це дозволяє більш плавно розподіляти потужність, зменшувати механічні навантаження на вузли та агрегати й, як наслідок, скорочувати витрати на обслуговування.

Електричні машини – як акумуляторні, так і ті, що працюють від стаціонарних джерел живлення, – є найбільш екологічним рішенням. Вони повністю усувають локальні викиди забруднювальних речовин (див. табл. 1), істотно знижують шумове навантаження (на 6–10 дБ), забезпечують стабільну роботу та передбачувані енергетичні витрати завдяки високому (до 90%) коефіцієнту корисної дії електроприводу (рис. 1).

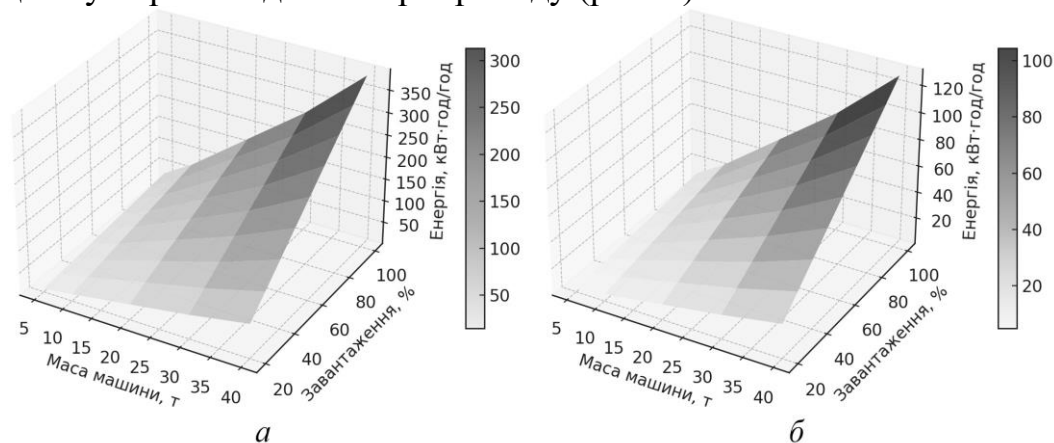


Рисунок 1 – Енергоспоживання дизельних (а) та електричних (б) машин

Ефективність цих рішень підтверджується практичними прикладами [1, 3, 8–10]. Так, гібридний екскаватор Komatsu HB365LC-3 демонструє економію пального до 20% у типовому робочому циклі. Бульдозер Caterpillar D7E з дизель-електричною трансмісією споживає на 20% менше палива порівняно з машинами класичної конструкції та потребує рідших сервісних втручань. А

електричний екскаватор Volvo EC230 Electric при річному напрацюванні 1800 мотогодин забезпечив зниження операційних витрат на 30%, що підтверджує економічну доцільність його використання на великих об'єктах з тривалими циклами роботи.

У підсумку можна констатувати, що електроприводи, порівняно з традиційними дизельними, потребують приблизно втричі менше вхідної енергії для досягнення тієї ж корисної потужності. Це відкриває шлях до зниження експлуатаційних витрат, скорочення шкідливих викидів та підвищення конкурентоспроможності компаній, які впроваджують сучасні рішення в організацію земляних і дорожніх робіт.

Висновки

Електрифікація будівельних машин є економічно доцільною за умови річного напрацювання понад 1500 мотогодин. У таких умовах забезпечується зниження сумарних викидів CO₂ до 90% та скорочення витрат на енергію на 20–30%, що підвищує конкурентоспроможність будівельних компаній і сприяє досягненню екологічних цілей. Водночас гібридні системи залишаються оптимальним перехідним рішенням у процесі декарбонізації будівельної техніки – вони забезпечують баланс між автономністю роботи, зменшенням витрат пального та зниженням шкідливих викидів, особливо на об'єктах із циклічними режимами роботи.

Вибір типу приводу повинен базуватися на комплексному техніко-економічному аналізі, що враховує витрати на паливо або електроенергію, витрати на технічне обслуговування і ремонт, доступність інфраструктури для заряджання та екологічні вимоги до об'єкта будівництва. Максимальний екологічний ефект від впровадження електричних машин досягається у міському середовищі та на об'єктах із жорсткими нормативами щодо шуму й шкідливих викидів, де додатковими перевагами стають зменшення шумового навантаження та поліпшення умов праці.

Література

1. Mannering F. L., Washburn S. S. Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis. 7th ed. Hoboken. Wiley, 2020. 416 p.
2. Тетерятник О., Балака М. Аналіз шляхів забезпечення енергонезалежності будівельної техніки з використанням відновлювальних джерел енергії. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2021. Вип. 97. С. 24–35. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0301>.
3. From Diesel to Electric: Transforming Heavy Machinery [Electronic resource]. URL: <https://turntide.com/community/transforming-heavy-machinery-from-diesel-to-electric-with-turntide-technology/> (access date 19.09.2025).
4. Міщук Д. О., Балака М. М. Моделювання розподілення енергетичних потоків машин та механізмів. К.: КНУБА, 2023. 132 с.
5. Балака М. М., Лисак С. І., Міщук Д. О., Репін В. Ю. Проблеми та перспективи застосування альтернативних видів палива на автотранспорті. Сучасні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. до Дня автомобіліста та дорожника (23–25 жовт. 2023 р.). Харків: ХНАДУ, 2023. С. 93–96.

6. Maintenance Matters: The Pros and Cons of Electric vs. Diesel Construction Equipment [Electronic resource]. URL: <https://heavyvehicleinspection.com/blog/post/electric-vs-diesel-construction-equipment> (access date 19.09.2025).

7. 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.

8. Drive systems for hybrid and fully electric construction machinery [Electronic resource]. URL: <https://www.baumueller.com/us/industries/e-mobility/construction-vehicles> (access date 19.09.2025).

9. 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.

10. Міщук Д. О., Міщук Є. О., Балака М. М. Оцінка можливостей накопичення енергії приводом автонавантажувача. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2021. Вип. 95. С. 171–177. URL: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.171>.

УДК 621:43

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ДВЗ

Філатова Ганна Євгенівна, д.т.н., проф., проф. кафедри комп'ютерної інженерії та програмування Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (НТУ "ХПІ"),
e-mail: filatova@khpri.edu.ua, ORCID: 0000-0003-1982-2322;

Воронков Олександр Іванович, д.т.н., проф., професор кафедри ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: dralexadi@gmail.com, ORCID 0000-0003-2744-7948;

Афонін Валентин Миколайович, генеральний директор, Приватна фірма «ПРОМЕНЕРГО», e-mail: v_afonin@ukr.net, ORCID: 0009-0006-5695-4796;

Авраменко Андрій Миколайович^{1,2}, 1 – д.т.н., пров. наук. співр. відділу термогазодинаміки енергетичних машин ІЕМС НАН України, 2 – професор кафедри ДВЗ, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: an0100@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8130-1881

Актуальність роботи пов'язана з необхідністю подальшого вдосконалення показників поршневих ДВЗ, зокрема дизелів, дослідженням і доведенням їх робочих процесів, що не можна на сьогодні уявити без математичного моделювання.

Мета дослідження полягає у створенні математичної моделі та розробці програмного комплексу для розрахунку робочих процесів дизелів, а також верифікації їх за експериментальними даними.