

О. М. ОЛІЙНИК, О. О. ОСТРОВЕРХ

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК У ТРАКТОРОБУДУВАННІ

У статті проведено комплексний аналіз сучасних тенденцій розвитку та впровадження енергетичних установок у тракторобудуванні. Розглянуто особливості дизельних енергетичних установок нового покоління, гібридних, електричних та альтернативних силових систем, а також проаналізовано світовий і вітчизняний досвід їх застосування у серійних тракторах. Визначено основні переваги, обмеження та перспективні напрями розвитку енергетичних установок з урахуванням вимог енергоефективності, екологічної безпеки та умов аграрного виробництва.

Ключові слова: тракторобудування, енергетична установка, гібридний трактор, електрифікація, енергоефективність, альтернативні джерела енергії.

О. OLINYK, O. OSTROVERKH

ANALYSIS OF DEVELOPMENT TRENDS AND IMPLEMENTATION OF MODERN POWER PLANTS IN TRACTOR MANUFACTURING

This paper presents an analytical review of current trends in the development and implementation of modern power units in agricultural tractor engineering, considering technical, economic, and environmental requirements. Increasing demands for energy efficiency, reduced fuel consumption, and compliance with stringent environmental regulations have intensified the need to improve tractor power units, which play a decisive role in determining traction performance, operational reliability, and overall efficiency.

The study examines the main types of power units used in modern tractors, including advanced diesel engines, hybrid diesel-electric systems, fully electric drivetrains, and power units based on alternative energy sources. Particular attention is paid to next-generation diesel engines, which remain predominant due to their high efficiency and adaptability to heavy agricultural operating conditions. Hybrid power units are analyzed as a promising solution for optimizing engine load, reducing fuel consumption, and lowering emissions during variable-duty cycles. Fully electric and alternative-fuel tractors are assessed in terms of their environmental advantages and current technological limitations.

In addition, the paper analyzes the practical implementation of modern power units in serial tractor models and identifies key challenges limiting their widespread adoption, such as high costs and infrastructure constraints. Directions for further development are defined, including the integration of intelligent control systems, modular power unit designs, and adaptation to real agricultural operating conditions.

Key words: tractor construction, power plant, hybrid tractor, electrification, energy efficiency, alternative energy sources.

Вступ. Сучасний етап розвитку тракторобудування характеризується зростанням вимог до енергоефективності, екологічної безпеки та експлуатаційної надійності машин, що зумовлено збільшенням сільськогосподарського виробництва, підвищенням вартості енергоресурсів і посиленням екологічних норм. У цих умовах особливого значення набуває вдосконалення енергетичних установок тракторів як ключового елемента, що визначає їх техніко-економічні та експлуатаційні показники. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю адаптації тракторної техніки до сучасних умов функціонування аграрного сектору та впровадження інноваційних технічних рішень у галузі тракторобудування.

Енергетичні установки відіграють визначальну роль у формуванні тягово-швидкісних характеристик тракторів, рівня паливної економічності, екологічних показників і загальної ефективності використання машинно-тракторних агрегатів. Розвиток дизельних двигунів нового покоління, гібридних та електрифікованих силових установок, а також систем автоматизованого керування енергоспоживанням створює передумови для істотного підвищення продуктивності тракторної техніки та зниження її негативного впливу на довкілля.

Необхідність аналізу сучасних тенденцій розвитку та впровадження енергетичних установок у тракторобудуванні зумовлена динамічними змінами технологічних підходів, появою нових конструктивних рішень і зростанням вимог до ефективності та екологічності

тракторів. Системний аналіз зазначених тенденцій дозволяє визначити перспективні напрями розвитку енергетичних установок та обґрунтувати доцільність їх впровадження у сучасну тракторну техніку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У вітчизняній науковій літературі значну увагу приділено теоретичним та експериментальним аспектам удосконалення енергетичних установок тракторів. Так, у працях и [1, 2] розглядаються шляхи підвищення паливної ефективності дизельних двигунів тракторів за рахунок удосконалення процесів згоряння та оптимізації режимів роботи. У дослідженні [3] проаналізовано вплив модернізації енергетичних агрегатів на тягово-експлуатаційні показники тракторної техніки. Робота [4] присвячена оцінці ресурсозбереження та довговічності тракторних двигунів за умов інтенсивної сільськогосподарської експлуатації. Окремі публікації [4] торкаються питань застосування багатофункціональних енергетичних систем у складі сучасних машинно-тракторних агрегатів з урахуванням потреб аграрного виробництва.

Зарубіжні дослідження характеризуються більш широким спектром інноваційних підходів до розвитку енергетичних установок. Зокрема, у праці [5] проведено порівняльний аналіз дизельних та перспективних гібридних силових установок із фокусом на підвищення енергоефективності та зниження витрат пального. Дослідження [6] присвячені інтеграції електрифікації та використанню альтернативних джерел енергії в сільськогосподарських тракторах. У роботі [7] проаналізовано впровадження інтелектуальних систем керування енергоспоживанням із використанням алгоритмів оптимізації та елементів штучного інтелекту для підвищення ефективності роботи тракторних енергетичних установок.

Таким чином, як вітчизняні, так і зарубіжні наукові праці формують значну базу знань щодо сучасних енергетичних установок тракторів, проте фокус досліджень часто змінюється від базових технічних аспектів до застосування передових технологій.

Аналіз наукових джерел дозволяє виділити кілька ключових напрямів розвитку енергетичних установок:

1. Підвищення енергоефективності традиційних дизельних двигунів, включаючи вдосконалення систем уприскування палива, турбонаддуву та систем після очистки відпрацьованих газів.

2. Розробка та впровадження гібридних силових установок, що поєднують внутрішнє згоряння та електричні компоненти для зниження витрат пального та зменшення викидів.

3. Електрифікація тракторних агрегатів, що включає повністю електричні або частково електричні системи живлення, акумуляторні технології та інтелектуальні системи управління енергетичними потоками.

4. Застосування альтернативних джерел енергії, таких як водневе паливо або біодизель, з метою досягнення екологічних стандартів та зменшення залежності від викопних ресурсів.

5. Інтеграція систем автоматизованого та адаптивного керування, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання в процесі виконання різних видів робіт.

Попри значний обсяг наукових праць, низка аспектів енергетичних установок тракторів залишається недостатньо вивченими. Зокрема:

1. Комплексна оцінка ефективності гібридних та електричних систем у реальних умовах сільськогосподарської експлуатації досі недостатньо представлена, особливо з урахуванням сезонних та режимних змін навантаження.

2. Методи адаптивного керування енергетичними потоками за участю штучного інтелекту перебувають на ранніх стадіях впровадження, а їх вплив на надійність і довговічність тракторних машин потребує подальших досліджень.

3. Економічна оцінка повного життєвого циклу енергетичних установок із використанням альтернативних джерел енергії залишається фрагментарною, що ускладнює обґрунтування доцільності їх широкого впровадження.

4. Вплив нових стандартів екологічності на конструктивні рішення енергетичних установок потребує більш глибокого аналізу, зокрема в контексті їх застосування вітчизняного виробництва.

Аналіз наявних наукових досліджень свідчить, що наукова прогалина у цій предметній області полягає у відсутності комплексного та систематизованого аналізу тенденцій розвитку й практичних аспектів. Більшість існуючих наукових праць зосереджена або на окремих конструктивно-технічних рішеннях, або на теоретико-методологічних аспектах функціонування енергетичних установок, тоді як цілісний системний підхід, що поєднує аналіз тенденцій розвитку, оцінювання ефективності та обґрунтування перспектив впровадження сучасних технологій, залишається недостатньо опрацьованим. Зазначене зумовлює необхідність проведення подальших досліджень, спрямованих на узагальнення сучасного стану розвитку енергетичних установок, визначення перспективних напрямів їх удосконалення та наукове обґрунтування інноваційних рішень у галузі тракторобудування.

Мета та постановка задачі. Метою даної роботи є аналіз сучасних тенденцій розвитку та впровадження енергетичних установок у тракторній техніці з урахуванням технічних, економічних та екологічних вимог.

Класифікація сучасних енергетичних установок тракторної техніки. Розвиток тракторобудування характеризується значним різноманіттям енергетичних установок, що відрізняються принципами перетворення енергії, конструктивними особливостями та рівнем екологічності. Класифікація енергетичних установок тракторної техніки ґрунтується на типі первинного джерела енергії, способі її перетворення та рівні інтеграції електричних компонентів у силову систему трактора. З урахуванням сучасних тенденцій розвитку доцільно виділити дизельні енергетичні установки нового покоління, гібридні силові установки, а також електричні та водневі енергетичні системи.

Дизельні енергетичні установки нового покоління залишаються домінуючими у тракторній техніці завдяки високій енергоємності палива, надійності та адаптованості до складних умов експлуатації. Основними напрямками їх розвитку є підвищення паливної економічності та зниження токсичності відпрацьованих газів шляхом застосування систем високоточного упорскування палива типу Common Rail, багатоступеневого турбонаддуву, а також сучасних систем післяочистки викидів. Використання електронних систем керування робочими процесами двигуна дозволяє оптимізувати режими роботи залежно від навантаження, що сприяє зменшенню питомих витрат пального та підвищенню експлуатаційної ефективності тракторів.

Гібридні силові установки є перспективним напрямом розвитку тракторної техніки, оскільки поєднують традиційні двигуни внутрішнього згоряння з електричними приводами та накопичувачами енергії. Така комбінація забезпечує можливість рекуперації енергії, оптимізації навантаження на двигун та зниження витрат пального під час змінних режимів роботи. Гібридні системи можуть бути реалізовані у паралельній, послідовній або комбінованій конфігураціях, що визначає їх функціональні можливості та ефективність застосування. В умовах сільськогосподарського виробництва гібридні установки сприяють підвищенню енергоефективності та зменшенню негативного впливу на довкілля, особливо під час виконання операцій з частими змінами навантаження.

Електричні та водневі енергетичні системи розглядаються як інноваційні рішення, спрямовані на досягнення нульового або мінімального рівня шкідливих викидів. Повністю електричні трактори базуються на використанні акумуляторних батарей або інших накопичувачів енергії та характеризуються високою керованістю, низьким рівнем шуму та простотою обслуговування. Водневі енергетичні системи, зокрема установки на основі паливних елементів, забезпечують вироблення електроенергії безпосередньо на борту трактора, поєднуючи екологічні переваги з достатнім енергетичним потенціалом. Водночас їх широке впровадження стримується обмеженнями, пов'язаними з інфраструктурою, вартістю та технічною складністю реалізації.

Тенденції розвитку енергетичних установок у тракторобудуванні. Розвиток енергетичних установок у сучасному тракторобудуванні визначається сукупністю технічних, економічних та екологічних чинників, що формують вимоги до ефективності, надійності та екологічної безпеки тракторної техніки. Аналіз сучасних наукових досліджень і практики машинобудування дозволяє відокремити низку ключових тенденцій, які визначають напрями удосконалення енергетичних установок тракторів.

Однією з провідних тенденцій є підвищення паливної та енергетичної ефективності. Це досягається шляхом оптимізації робочих процесів двигунів, удосконалення систем подачі та згоряння палива, застосування багатоступеневого турбонаддуву та зменшення механічних втрат. Використання електронних систем керування дозволяє адаптувати режими роботи енергетичної установки до змінних навантажень, що особливо важливо для сільськогосподарських тракторів, які працюють у широкому діапазоні режимів.

Важливою тенденцією є зниження рівня шкідливих викидів, що обумовлено посиленням екологічних нормативів і стандартів. У цьому контексті впроваджуються сучасні системи післяочистки відпрацьованих газів, удосконалюються процеси згоряння та використовуються альтернативні види палива з меншим екологічним навантаженням. Зменшення викидів оксидів азоту, твердих частинок і вуглекислого газу сприяє підвищенню екологічної безпеки експлуатації тракторної техніки.

Суттєвого розвитку набуває інтеграція електронних систем керування в енергетичні установки тракторів. Застосування мікропроцесорних систем, сенсорних мереж і програмних алгоритмів дає змогу здійснювати моніторинг технічного стану двигуна, оптимізувати енергоспоживання та підвищувати надійність роботи силових агрегатів. Інтелектуальні системи керування забезпечують адаптацію енергетичної установки до умов експлуатації, що сприяє зменшенню витрат пального та зниженню зносу основних вузлів.

Перспективною тенденцією є використання альтернативних джерел енергії, зокрема електричної енергії, біопалива та водню. Впровадження гібридних, електричних і водневих енергетичних установок відкриває можливості для суттєвого зниження залежності від традиційних викопних палив і підвищення екологічної стійкості аграрного виробництва. Разом із тим реалізація цих рішень потребує подальших досліджень щодо їх економічної доцільності, технічної надійності та адаптації до реальних умов експлуатації тракторної техніки.

Таким чином, сучасні тенденції розвитку енергетичних установок у тракторобудуванні спрямовані на досягнення балансу між енергоефективністю, екологічною безпекою та експлуатаційною надійністю, що визначає перспективи подальшого вдосконалення тракторної техніки.

Аналіз впровадження сучасних енергетичних установок у серійних тракторах. Впровадження сучасних енергетичних установок у серійне виробництво тракторів є важливим етапом розвитку тракторобудування, оскільки дозволяє оцінити практичну ефективність новітніх технічних рішень та їх відповідність вимогам аграрного виробництва. Аналіз світового та вітчизняного досвіду свідчить про поступове зростання частки тракторів, оснащених енергоефективними та екологічно безпечними силовими установками, що відповідають сучасним стандартам.

Світовий та вітчизняний досвід демонструє, що провідні виробники тракторної техніки активно впроваджують дизельні двигуни нового покоління з удосконаленими системами керування, а також гібридні та електрифіковані силові установки. У світовій практиці серійно випускаються трактори з інтегрованими системами енергозбереження, автоматизованим керуванням режимами роботи двигуна та зниженим рівнем викидів. Вітчизняні виробники зосереджуються переважно на модернізації традиційних дизельних енергетичних установок, адаптуючи їх до сучасних екологічних вимог та умов експлуатації, що зумовлено економічними й технологічними чинниками.

Порівняльна оцінка технічних параметрів серійних тракторів із різними типами енергетичних установок свідчить про істотні відмінності у показниках паливної економічності,

потужності, рівня викидів та експлуатаційної надійності. Дизельні двигуни нового покоління забезпечують високі тягові характеристики та стабільність роботи, водночас гібридні установки дозволяють знизити витрати пального та підвищити енергоефективність за рахунок оптимізації режимів навантаження. Електричні та водневі системи характеризуються мінімальним рівнем шкідливих викидів, однак поступаються за автономністю та універсальністю застосування в порівнянні з традиційними рішеннями.

Так компанія Zoomlion презентувала модель сільськогосподарського трактора DX7004 рис. 1 з потужністю двигуна 700 к.с. з додатково встановленими допоміжними електромоторами потужністю 500 к.с., що сумарно дозволяє досягти пікової потужності силової установки 1200 к.с. і 4500 Н·м, на даний момент це найпотужніший трактор у світі у своєму тяговому класі. [8]

У аналогічному тяговому класі існує гібридний трактор Lingong модель X6004-9E рис. 1 з шарнірно-зчленованою рамою [9].

В якості силової установки застосовано 16-літровий шестициліндровий двигун Yuchai (YCK16-400) потужністю 400 кВт (600 к.с.). З послідовно встановленим генератором, який може подавати живлення як на акумулятор, так і безпосередньо на електротрансмісію типу E-CVT. Гідравлічні насоси та вал відбору потужності (ВВП) працюють від електродвигунів. При гальмуванні трактор може рекуперувати енергію.



а)



б)

Рис. 1 – Гібридні дизель-електричні трактори: а – Zoomlion DX7004; б – Lingong X6004-9E

На ринку також представлені трактори лише на електротязі невеликої потужності. Наприклад, фірма ZSHX Advanced Tractors представляє модель Xeevo E904i рис. 2, це 4-тонний трактор номінальною потужністю 90 к.с. (66,1 кВт), з можливим короткочасним підвищенням до 122 к.с. (89,5 кВт). Місткість акумулятора становить 103 кВт год, що забезпечує роботу трактора від 4 до 8 годин залежно від робіт, що виконуються. А наявність потужної зарядної станції на 120 кВт дозволить виконати швидку зарядку протягом години (під час технічної перерви).

У тракторі встановлено два електродвигуни один для трансмісії, інший для та валу відбору потужності (ВВП). [10]



Рис. 2 – Електричний трактор, модель Xeevo E904i

Повністю електричний трактор потужністю 130 к.с. (96,94 кВт) представляє компанія John Deere E-Power рис. 3, з можливістю встановлення до п'яти акумуляторів ємністю 39 кВт год (сумарно до 195 кВт год). Потужність електричної трансмісії становить 82 кВт, і вал відбору потужності (ВОМ) 87 кВт.

У трактора можливе встановлення комплекту автономного керування. [11]



Рис. 3 – Електротрактор, модель John Deere E-Power

Серед сільськогосподарської техніки, що працює на альтернативному виді палива або відновлюваному джерелі (біометан) можна виділити метан-електричний трактор компанії Auga Group рис 4. Модель Auga M1 це гібридний трактор потужністю 400 к.с., в якому двигун внутрішнього згоряння працює на метані і генерує електроенергію, що дозволяє працювати в оптимальному режимі за низьких навантажень.

В якості палива передбачається використовувати біометан. Заправка трактора може бути здійснена на метановій станції, так і за допомогою швидкої заміни блоку з шести метанових балонів. [12]



Рис. 4 – Гібридний метан-електричний трактор Auga M1

Проблеми та обмеження впровадження сучасних енергетичних установок у серійних тракторах пов'язані насамперед з високою вартістю інноваційних технологій, обмеженою інфраструктурою для обслуговування електричних і водневих систем, а також необхідністю адаптації машин до різноманітних умов експлуатації. Додатковими стримувальними чинниками є недостатній рівень підготовки персоналу та потреба в оновленні нормативно-технічної бази. Зазначені обмеження зумовлюють доцільність поетапного впровадження сучасних енергетичних установок із урахуванням економічної ефективності та специфіки аграрного виробництва.

Узагальнюючи, можна відзначити, що впровадження сучасних енергетичних установок у серійних тракторах має позитивну динаміку, проте потребує комплексного підходу, спрямованого на подолання технічних, економічних та організаційних бар'єрів.

Перспективні напрями розвитку енергетичних установок тракторної техніки.

Подальший розвиток енергетичних установок тракторної техніки зумовлений необхідністю підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів, зниження негативного впливу на довкілля та адаптації машин до змінних умов аграрного виробництва. Аналіз сучасних наукових досліджень і тенденцій розвитку машинобудування дозволяє визначити низку перспективних напрямів удосконалення енергетичних установок тракторів.

Одним із ключових напрямів є розвиток інтелектуальних енергетичних систем, що передбачає широке застосування цифрових технологій, сенсорних мереж та алгоритмів інтелектуального керування. Такі системи забезпечують адаптивне регулювання режимів роботи енергетичної установки залежно від навантаження, умов експлуатації та технічного стану основних агрегатів рис. 5 [13]. Використання елементів штучного інтелекту та систем прогнозування дозволяє підвищити енергоефективність, зменшити зношування вузлів і своєчасно виявляти потенційні несправності, що сприяє зростанню надійності тракторної техніки.

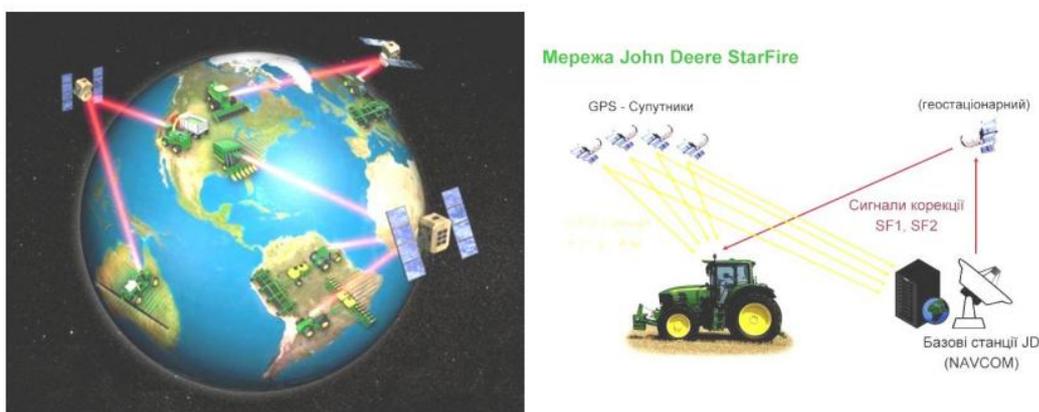


Рис. 5 – Мережа StarFire компанії John Deere

Перспективним напрямом є також створення модульних силових установок, які характеризуються уніфікованою конструкцією та можливістю конфігурації залежно від функціонального призначення трактора рис. 6 [14]. Модульний підхід дозволяє поєднувати різні джерела енергії, зокрема двигуни внутрішнього згоряння, електричні приводи та накопичувачі енергії, у межах єдиної енергетичної системи. Це забезпечує гнучкість при модернізації техніки, спрощує технічне обслуговування та підвищує адаптивність тракторів до різних умов експлуатації.



Рис. 6 – Концепт модульної силової установки, який запропоновано дослідниками Мюнхенського технічного університету (TUM) на виставці сільськогосподарської техніки Agritechnica.

Важливим напрямом розвитку є адаптація енергетичних установок до умов аграрного виробництва, що передбачає врахування специфіки сільськогосподарських робіт, сезонності та змінних навантажень. Енергетичні установки мають забезпечувати стабільну роботу за різних кліматичних умов, рівнів запиленості та тривалих циклів навантаження. Оптимізація режимів роботи двигунів з урахуванням технологічних операцій сприяє зниженню витрат пального, підвищенню продуктивності та продовженню ресурсу тракторної техніки.

Таким чином, перспективні напрями розвитку енергетичних установок тракторної техніки пов'язані з інтеграцією інтелектуальних систем керування, впровадженням модульних конструктивних рішень та адаптацією до реальних умов аграрного виробництва, що створює передумови для формування високоефективної та екологічно безпечної тракторної техніки нового покоління.

Висновок. Здійснено комплексний аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку енергетичних установок у тракторобудуванні з урахуванням технічних, економічних і екологічних вимог аграрного виробництва. Встановлено, що традиційні дизельні енергетичні установки нового покоління залишаються базовими завдяки високій надійності та адаптованості до складних умов експлуатації, проте їх подальший розвиток пов'язаний із підвищенням паливної економічності та зниженням рівня шкідливих викидів.

Показано, що гібридні дизель-електричні установки є перспективним напрямом модернізації тракторної техніки, оскільки забезпечують оптимізацію режимів навантаження, можливість рекуперації енергії та зменшення витрат пального за змінних умов роботи. Повністю електричні та альтернативні енергетичні системи характеризуються високими екологічними показниками, однак їх широке впровадження стримується обмеженою автономністю, високою вартістю та недостатнім розвитком інфраструктури.

На основі аналізу серійних зразків тракторів встановлено, що світова практика демонструє поступовий перехід до електрифікації та використання альтернативних видів палива, тоді як вітчизняне тракторобудування переважно орієнтоване на поетапну модернізацію традиційних силових установок. Обґрунтовано, що перспективи подальшого розвитку енергетичних установок пов'язані з інтеграцією інтелектуальних систем керування, модульних конструктивних рішень та адаптацією до реальних умов експлуатації.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації енергетичних установок сучасних тракторів, а також при формуванні напрямів подальших наукових досліджень у галузі тракторобудування.

Список літератури:

1. Войтюк В. Д. Підвищення паливної ефективності дизельних двигунів сільськогосподарських тракторів / В. Д. Войтюк // *Вісник аграрної науки*. – 2014. – № 6. – С. 45–50.
2. Кравчук В. І. Енергоефективність двигунів тракторної техніки: теорія і практика / В. І. Кравчук. – Київ : ННЦ «ІМЕСГ», 2016. – 312 с.
3. Гриценко А. А. Вплив модернізації енергетичних установок на тягово-експлуатаційні показники тракторів / А. А. Гриценко // *Машинобудування*. – 2017. – № 2. – С. 78–84.
4. Пилипенко С. О. Ресурсозбереження та довговічність тракторних двигунів в умовах інтенсивної експлуатації / С. О. Пилипенко // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – 2018. – № 31. – С. 112–118.
5. Бойко М. Г. Багатофункціональні енергетичні системи машинно-тракторних агрегатів / М. Г. Бойко // *Сільськогосподарські машини*. – 2019. – № 1. – С. 25–31.
6. Grisso R. D., Perumpral J. V. Fuel efficiency and power management in agricultural tractors // *Applied Engineering in Agriculture*. – 2010. – Vol. 26, No. 2. – P. 277–284.
7. Lin T., Huang Y., Zhang Q. Electrification and alternative power systems for agricultural machinery // *Biosystems Engineering*. – 2019. – Vol. 184. – P. 1–12.
8. Kim J., Lee S., Park Y. Intelligent energy management systems for hybrid agricultural tractors // *Energy*. – 2020. – Vol. 202. – Article 117680.
9. Zoomlion Heavy Industry Science & Technology Co., Ltd. Hybrid tractor model DX7004: technical specifications and performance data. – 2023.
10. Lingong Agricultural Machinery Co., Ltd. Hybrid articulated tractor X6004-9E: product description and specifications. – 2023.

11. ZSHX Advanced Tractors. Electric tractor Xeevo E904i: technical data sheet. – 2024.
12. Auga Group. Biomethane-electric hybrid tractor AUGA M1: concept and technical overview. – 2023.
13. Інтелектуальні системи тракторів і автомобілів, сервісний супровід: підручник / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк, І. О. Шевченко. – Х.: ДБТУ, «Майдан», 2023. – 246 с.
14. Research on the electrification of agricultural machinery [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.tum.de/en/news-and-events/all-news/press-releases/details/new-modular-development-kit-for-e-tractors?utm_source=chatgpt.com

References (transliterated):

1. Voitiuk V. D. Pidvyshchennia palyvnoi efektyvnosti dyzelynykh dvyhuniv silskohospodarskykh traktoriv / V. D. Voitiuk // Visnyk ahrarnoi nauky. – 2014. – № 6. – S. 45–50.
2. Kravchuk V. I. Enerhoefektyvnist dvyhuniv traktornoї tekhniky: teoriia i praktyka / V. I. Kravchuk. – Kyiv : NNTs «IMESH», 2016. – 312 s.
3. Hrytsenko A. A. Vplyv modernizatsii enerhetychnykh ustanovok na tiahovo-eksploatatsiini pokaznyky traktoriv / A. A. Hrytsenko // Mashynobuduvannia. – 2017. – № 2. – S. 78–84.
4. Pylypenko Ye. O. Resursozberezhennia ta dovhovichnist traktornykh dvyhuniv v umovakh intensyvnoi eksploatatsii / Ye. O. Pylypenko // Visnyk NTU «KhPI». – 2018. – № 31. – S. 112–118.
5. Boiko M. H. Bahatofunktsionalni enerhetychni systemy mashynno-traktornykh ahrehativ / M. H. Boiko // Silskohospodarski mashyny. – 2019. – № 1. – S. 25–31.
6. Grisso R. D., Perumpral J. V. Fuel efficiency and power management in agricultural tractors // Applied Engineering in Agriculture. – 2010. – Vol. 26, No. 2. – P. 277–284.
7. Lin T., Huang Y., Zhang Q. Electrification and alternative power systems for agricultural machinery // Biosystems Engineering. – 2019. – Vol. 184. – P. 1–12.
8. Kim J., Lee S., Park Y. Intelligent energy management systems for hybrid agricultural tractors // Energy. – 2020. – Vol. 202. – Article 117680.
9. Zoomlion Heavy Industry Science & Technology Co., Ltd. Hybrid tractor model DX7004: technical specifications and performance data. – 2023.
10. Lingong Agricultural Machinery Co., Ltd. Hybrid articulated tractor X6004-9E: product description and specifications. – 2023.
11. ZSHX Advanced Tractors. Electric tractor Xeevo E904i: technical data sheet. – 2024.
12. Auga Group. Biomethane-electric hybrid tractor AUGA M1: concept and technical overview. – 2023.
13. Інтелектуальні системи тракторів і автомобілів, сервісний супровід: підручник / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк, І. О. Шевченко. – Х.: ДБТУ, «Майдан», 2023. – 246 с.
14. Research on the electrification of agricultural machinery [Электронный ресурс] / Режим доступа: https://www.tum.de/en/news-and-events/all-news/press-releases/details/new-modular-development-kit-for-e-tractors?utm_source=chatgpt.com

Надійшла (received) 02.12.2025 р.

Відомості про авторів / About the Authors

Олійник Олександр Михайлович (Oliinyk Oleksandr) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри автомобіле- і тракторобудування; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8614-811X>; e-mail: Oleksandr.M.Oliinyk@mit.khpi.edu.ua

Островерх Олександр Олександрович (Ostroverkh Oleksandr) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автомобіле- і тракторобудування; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8334-0286>; e-mail: ostrov.sasha@gmail.com