

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-33>

УДК 631.372:629.05

ЛИПНИЦЬКИЙ РОМАН

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0009-0001-3711-5632>

e-mail: lroma5105@gmail.com

РЯБОШАПКА ВАДИМ

Вінницький національний аграрний університет

<https://orcid.org/0000-0003-1812-1030>

e-mail: vadymryaboshapka@gmail.com

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ КЛАСИЧНИХ ТРАКТОРІВ СИСТЕМАМИ АВТОМАТИЧНОГО ВОДІННЯ

У статті досліджено модернізацію парку сільськогосподарської техніки шляхом встановлення систем автоматичного водіння, що є ключовим напрямом підвищення ефективності агровиробництва. Проаналізовано сучасні технології автоматизованого керування, їхні особливості та перспективи розвитку. Особливу увагу приділено впливу таких систем на продуктивність тракторів, зниження витрат та покращення умов праці операторів.

На основі аналізу літературних джерел визначено основні технологічні переваги автоматичного водіння: підвищення точності виконання операцій, зменшення витрат паливно-мастильних матеріалів, оптимізацію використання ресурсів і мінімізацію впливу людського фактора. Розглянуто економічні аспекти впровадження, включаючи окупність інвестицій, можливість модернізації техніки та адаптацію до різних типів господарств.

Ключові слова: система автоматичного водіння, трактор, автоматизація, RTK-приймач

LIPNITSKIY ROMAN

Vinnitsia National Agrarian University

RYABOSHAPKA VADYM

Vinnitsia National Agrarian University

The article examines the modernisation of the agricultural machinery fleet by installing automatic driving systems, which is a key area for improving the efficiency of agricultural production. Modern automated driving technologies, their features and development prospects are analysed. Particular attention is paid to the impact of such systems on tractor productivity, cost reduction and improvement of working conditions for operators.

Based on the analysis of literature sources, the main technological advantages of automated driving are identified: increasing the accuracy of operations, reducing the consumption of fuel and lubricants, optimising the use of resources and minimising the impact of the human factor. The economic aspects of implementation are considered, including return on investment, the possibility of modernising equipment and adaptation to different types of farms.

The influence of vibrations during the operation of machinery on the stability of RTK correction signals is investigated. Vibration loads can cause temporary deviations in the reception of satellite signals, which affects the positioning accuracy. Methods of compensating for this impact are considered, including the use of damping platforms, signal filtering and software correction algorithms.

The technical, economic, and organisational challenges associated with the conversion of tractors are also considered. A comparative analysis of the types of automatic driving systems and their compatibility with existing equipment is carried out. The criteria for selecting optimal solutions for modernisation are determined.

Recommendations for the planning and implementation of tractor fleet modernisation projects are proposed, taking into account economic feasibility, technical compatibility and prospects for further automation. The results obtained can be used to introduce innovative technologies in agricultural production in order to increase its efficiency and competitiveness.

Keywords: automatic driving system, tractor, automation, RTK receiver

Стаття надійшла до редакції / Received 11.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 26.04.2025

Постановка проблеми

Сучасні тенденції у сфері сільськогосподарського виробництва спрямовані на впровадження автоматизованих і цифрових технологій для підвищення ефективності, точності та економічності виконання агротехнічних операцій. Одним із ключових напрямів модернізації сільськогосподарської техніки є оснащення тракторів системами автоматичного водіння (САВ), що дозволяє значно зменшити людський фактор, оптимізувати витрати пального, зменшити ущільнення ґрунту та покращити точність руху техніки.

Проте значна частина тракторного парку сільськогосподарських підприємств України представлена класичними моделями, які не оснащені сучасними системами автоматичного керування. Закупівля нових тракторів з інтегрованими САВ потребує значних капіталовкладень, що не завжди є можливим для агровиробників. У зв'язку з цим актуальним постає питання доцільності переобладнання наявних класичних тракторів системами автоматичного водіння як альтернативного шляху модернізації.

Основними проблемами, які потребують дослідження, є технічна сумісність САВ із традиційними тракторами, економічна ефективність переобладнання, вплив на продуктивність і якість

виконання агротехнічних операцій, а також окупність інвестицій у подібну модернізацію. Важливим також є аналіз нормативно-правових аспектів переобладнання та можливості адаптації існуючих технологій до специфічних умов експлуатації вітчизняного сільського господарства.

Таким чином, дослідження доцільності переобладнання класичних тракторів системами автоматичного водіння має важливе наукове та практичне значення, оскільки може сприяти підвищенню технологічного рівня аграрного виробництва, зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню конкурентоспроможності українських агропідприємств.

Аналіз літературних джерел

У процесі дослідження теми "Доцільність переобладнання класичних тракторів системами автоматичного водіння" значну увагу приділено аналізу літературних джерел, що висвітлюють як технологічні, так і економічні аспекти цього процесу.

Одним із ключових напрямів у розгляді цієї теми є підвищення ефективності сільськогосподарської техніки шляхом використання систем автоматичного водіння. У роботах Булгакова В. М., Заришняка А. С., Головача І. В. [1], зазначається, що автоматизація процесів, зокрема водіння тракторів, є важливим кроком до підвищення продуктивності та зменшення точності виконання агротехнічних операцій. Автоматичні системи дозволяють значно зменшити вплив людського фактору, підвищити точність руху техніки та забезпечити більш ефективне використання ресурсів, таких як паливо та витратні сільськогосподарські матеріали.

Дослідження Веселовської Н. Р. [2] підтверджують важливість точності в агрономії, що є досягнутим завдяки автоматизованим системам керування, зокрема при зондуванні ґрунтів. Зокрема, такі системи дозволяють забезпечити високу точність виконання операцій, що особливо важливо в умовах сучасного точного землеробства.

Згідно з дослідженнями Дмитренка М. П. [3], впровадження інтелектуальних систем управління в сільське господарство, включаючи системи автоматичного водіння тракторів, є важливим кроком для покращення технологічних процесів. Такі системи здатні не лише автоматизувати керування технікою, але й значно знизити експлуатаційні витрати, що в сукупності з високою точністю роботи дає значні переваги в аграрному виробництві.

Економічні аспекти впровадження автоматизованих систем водіння тракторів також висвітлюються в роботах Коваленка Т. В. [5] та Гарькавого А. Д. [6]. Автори зазначають, що впровадження таких систем дозволяє значно знизити витрати на обслуговування техніки, паливо та матеріали, а також підвищити продуктивність праці. Це важливо для господарств, які прагнуть до скорочення витрат і підвищення економічної ефективності.

Котляр А. П. [7] у своїй роботі зазначає особливості використання гусеничних тракторів, що можуть бути оснащені автоматичними системами водіння для покращення ефективності роботи на різних ґрунтових фонах. Технологічні переваги таких тракторів при застосуванні систем автоматичного водіння підвищують точність і зменшують витрати.

З іншого боку, вивчення можливих технічних проблем, пов'язаних з переобладнанням тракторів, розглядається у роботах Кувачова В. П. [8] та Петренка С. О. [10]. У цих джерелах акцентується увага на необхідності забезпечення технічної сумісності компонентів тракторів з новими автоматизованими системами. Вони підкреслюють важливість правильного вибору компонентів і технологій для модернізації, а також підготовки персоналу для ефективної експлуатації нових систем.

Крім того, екологічні переваги від використання автоматизованих систем водіння тракторів висвітлені в роботах Піроженка О. І. [11]. Він зазначає, що такі системи сприяють зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема через оптимізацію руху техніки і зменшення витрат на паливо та мастила, що в сукупності допомагає знизити викиди вуглекислого газу.

Таким чином, літературний аналіз показує, що переобладнання класичних тракторів системами автоматичного водіння є економічно обґрунтованим і технічно доцільним кроком для аграрного виробництва. Це дозволяє зменшити витрати, підвищити точність виконання операцій, покращити умови праці та знизити екологічний вплив, що робить такий процес важливим для впровадження в рамках розвитку сталого землеробства.

Дмитренко М. П. [3] у своїх дослідженнях акцентує увагу на перспективах впровадження інтелектуальних систем в сільському господарстві, зазначаючи, що автоматизація керування технікою є одним із ключових напрямків модернізації галузі. Автор наголошує на необхідності системного підходу до впровадження таких технологій з урахуванням специфіки вітчизняного агропромислового комплексу.

Коваленко Т. В. [5] досліджує особливості функціонування автоматизованих систем управління сільськогосподарськими машинами та відзначає, що впровадження систем автоматичного водіння дозволяє підвищити продуктивність праці на 15-20% при одночасному зниженні витрат паливно-мастильних матеріалів.

Петренко С. О. [10] розглядає інтелектуальні системи управління сільськогосподарською технікою як невід'ємну складову сучасного аграрного виробництва. Автор підкреслює важливість правильного вибору технічних рішень при переобладнанні наявної техніки та необхідність врахування економічної доцільності таких модернізацій.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз досліджень систем автоматичного водіння

Автор	Рік	Основні висновки	Практичні рекомендації
Коваленко Т. В.	2019	Підвищення продуктивності на 15-20%	Комплексна оцінка економічної ефективності
Петренко С. О.	2020	Важливість правильного вибору технічних рішень	Індивідуальний підхід до кожного господарства
Піроженко О. І.	2021	Екологічний аспект автоматизації	Врахування природоохоронних вимог
Дмитренко М. П.	2022	Системний підхід до впровадження	Поетапна модернізація парку техніки

Таблиця 2

Хронологія розвитку систем автоматичного водіння

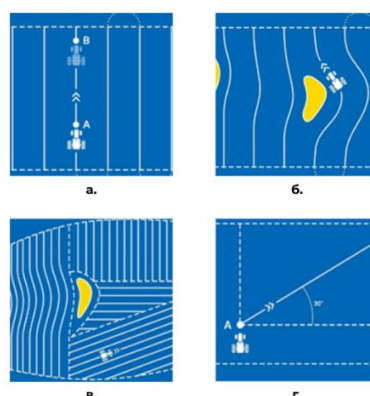
Період	Технологічний етап	Основні характеристики	Ефективність впровадження
2000-2010	Базові системи паралельного водіння	GPS-навігація, точність ± 30 см	Зниження перекриттів на 10%
2011-2015	Удосконалені системи автопілотування	RTK-корекція, точність ± 2 см	Економія ресурсів до 15%
2016-2020	Інтелектуальні системи управління	Інтеграція з системами точного землеробства	Підвищення продуктивності на 25%
2021-теперішній час	Автономні системи керування	ІІІ, машинне навчання, віддалений контроль	Комплексна оптимізація процесів

Технологічні переваги систем автоматичного водіння

Впровадження систем автоматичного водіння (САВ) на класичних тракторах відкриває широкі можливості для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. САВ кардинально змінюють підхід до транспортних засобів у сільському господарстві, будівництві та логістиці. Вони базуються на високоточних технологіях, які забезпечують ефективність, економічність і безпеку роботи.

Однією з ключових переваг є можливість роботи в будь-який час та за різних погодних умов. Завдяки системам автоматичного керування трактори, комбайни та інша техніка можуть працювати навіть вночі або в умовах поганої видимості (туман, дощ, сніг). Це дозволяє збільшити обсяг загальної продуктивності і використовувати робочий час більш раціонально.

Сучасні САВ використовують машинне навчання та штучний інтелект, що дає можливість аналізувати дані в реальному часі та отримувати оптимальні рішення щодо руху техніки які зображено на рисунку 1.

**Рисунок 1 Схеми руху, які використовують сучасні автопілоти**

а. - рух по прямій; б. - об'їзд перешкоди; в. - група напрямних ліній; г. - рух по діагоналі

Наприклад, система може отримати особливості рельєфу, щільність ґрунту, рівень вологості, і на основі цих даних може коригувати траєкторію для досягнення максимальної ефективності. Ще один важливий аспект – зменшення навантаження на оператора.

Іванишин В. В. [4] зазначає, що використання систем автоматичного водіння дозволяє виконувати польові роботи в умовах обмеженої видимості, включаючи нічний час та туман. Це суттєво розширює часові можливості виконання технологічних операцій та підвищує сезонне навантаження на техніку. Автоматичне водіння дозволяє знизити рівень другого водія, що особливо важливо під час довгих сезонних робіт. Людина може зосередитися на контролі параметрів техніки, замість того щоб постійно керувати транспортним засобом. Системи автоматичного водіння сприяють зниженню впливу людського фактора. Це зменшує ризик помилок, таких як перекриття або пропуски при посіві та обробці полів. У результаті покращується рівномірність розподілу добрив, засобів захисту рослин та врожаю.

Впровадження автоматичного водіння відкриває можливість для роботи з безпілотною технікою. Вже зараз розробляються автономні трактори, комбайни та вантажівки, які можуть працювати без присутності людини, підвищуючи ефективність сільськогосподарських і транспортних процесів. Такі системи мають екологічні переваги. Оптимізація техніки руху зменшує викиди шкідливих речовин у повітря, скорочує витрати пального та мінімізує вплив на ґрунт, зменшуючи його ущільнення. Це сприяє сталому розвитку сільського господарства та збереженню природних ресурсів.

Загалом, система автоматичного керування є етапом у розвитку сучасних технологій. Вони не тільки підвищують ефективність виробництва, а й відкривають нові перспективи для автоматизації та впровадження різних інноваційних рішень у галузях.

Згідно з дослідженнями Булгакова В. М. та співавторів [1], автоматизація процесу керування забезпечує істотне покращення якості виконання технологічних операцій.

Основною технологічною перевагою є підвищення точності руху агрегатів. Веселовська Н. Р. та співавтори [2] відзначають, що використання систем автоматичного водіння дозволяє зменшити перекриття проходів до 2-3 см, тоді як при ручному керуванні цей показник становить 30-40 см. Це призводить до економії посівного матеріалу, добрив та засобів захисту рослин.

Федоренко В. І. [14] підкреслює важливість гідравлічних систем у забезпеченні точності керування. Автоматичне водіння дозволяє підтримувати оптимальну швидкість руху та забезпечує рівномірність внесення технологічних матеріалів. За даними досліджень Кувачова В. П. [8], це сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур на 7-12%.

Таблиця 3

Порівняння ефективності різних систем автоматичного водіння

Тип системи	Точність позиціонування, см	Економія ресурсів, %	Підвищення продуктивності, %	Вартість впровадження, тис. грн
Базова GPS-система	15-20	5-8	10-15	150-200
RTK-система	2-3	10-15	20-25	300-400
Інтегрована система	1-2	15-20	25-30	500-600
Автономна система	1-1,5	20-25	30-35	700-800

Таблиця 4

Вплив автоматичного водіння на експлуатаційні показники

Показник	Без автоматичного водіння	З автоматичним водінням	Покращення, %
Витрата палива, л/га	12,5	10,2	18,4
Продуктивність, га/год	2,8	3,5	25,0
Перекриття проходів, см	35	2,5	92,9
Час простоїв, хв/год	15	5	66,7

За даними досліджень Рудя А.В. та співавторів [12], автоматизація водіння забезпечує зменшення фізичного та психологічного навантаження на оператора, що позитивно впливає на продуктивність праці та якість виконання робіт. Системи автоматичного водіння також сприяють кращому збереженню ґрунтової структури завдяки оптимізації траєкторії руху та зменшенню кількості проходів по полю.

Вплив вібрацій що виникають при роботі трактора на точність САВ

Вібрації, які виникають під час роботи трактора, можуть мати значний вплив на точність сигналу RTK (Real-Time Kinematic), адже вони створюють механічні та електронні перешкоди для навігаційної системи.

Одна з основних проблем – це мікрозміщення або коливання антени RTK-приймача. Вібрації можуть змінити кут її положення, що спричиняє нестабільність у прийомі сигналів від супутників та

базової станції. Також невеликі зміщення антени можуть спричинити похибки в загальній координаті, особливо якщо RTK-система працює з точністю до сантиметрів.

Ще один важливий фактор – вплив вібрацій на електронні компоненти RTK-приймача. Довготривалий вплив механічних коливань може призвести до мікротріщин у пайці, розхитування контактів або деградації з'єднання, що може спричинити збої в роботі пристрою. Деякі системи RTK мають вбудовані алгоритми фільтрації та згладжування даних, які можуть компенсувати короточасне коливання, але сильні або постійні вібрації можуть спричинити значні порушення в позиціонуванні.

Також варто втратити, що вібрації можуть спричинити тимчасові втрати сигналу. Якщо антену коливає, то геометрія прийому сигналів змінюється, що може виключати тимчасові перешкоди або повне припинення зв'язку з супутниками. Це особливо критично при використанні системи автоматичного водіння, де важлива стабільність і безперервність сигналу.

Для впливу на зменшення вібрацій необхідно забезпечити надійне кріплення антени, використовуючи амортизаційні підставки або демпферні системи, які зменшують передачу коливань від трактора до приймача. Також варто використовувати високоякісні RTK-приймачі з адаптивними алгоритмами корекції, які здатні частково компенсувати похибки, викликані вібраціями.

Додатково можна покращити точність, калібруючи систему перед початковою роботою, а також проводячи регулярне технічне обслуговування для запобігання механічним пошкодженням обладнання. У деяких випадках можна встановити доцільні антени в іншому місці трактора, де вібрації мінімальні, наприклад, на спеціальних кронштейнах або на даховій частині кабіни.

Загалом, вплив вібрацій на RTK-систему можна значно зменшити за рахунок правильної установки та використання відповідних методів стабілізації.

Розрахунок вартості встановлення САВ та рекомендації виробництву

Ми вирішили порівняти вартість встановлення системи автоматичного водіння на трактор ХТЗ та трактор іноземного виробництва John Deere. Вартість обладнання та інші дані було взято з офіційних сторінок виробників, ці дані представлено в таблиці 5.

Таблиця 5

Данні для розрахунку вартості встановлення САВ

Найменування	Трактор ХТЗ	Трактор John Deere
Вартість САВ	258900	370000
RTK базова станція	50000	50000
Додаткові датчики	15000	18000
Сервопривод	30000	25000
Комп'ютер	20000	35000
Вартість годинної роботи техніка	500	500
Підтримка програмного забезпечення	10000	12000
Технічне обслуговування	5000	6000

Отже маючи данні в таблиці, проводимо розрахунок вартості встановлення системи автоматичного керування на трактор ХТЗ за наступною формулою:

$$\text{Вартість обладнання} = \text{Вартість САВ} + \text{RTK базова станція} + \text{додаткові датчики} + \text{сервоприводи} + \text{комп'ютер.} \quad (1)$$

Підставивши значення у формулу, отримаємо:

$$\text{Вартість обладнання} = 258900 + 50000 + 15000 + 30000 + 20000 = 373900 \text{ грн.}$$

Отже загальна вартість обладнання для трактора ХТЗ буде складати 373 900 гривень, далі розрахуємо вартість інсталяції цього обладнання на трактор, приймемо що час встановлення САВ складає 8 годин, тоді отримаємо:

$$\text{Вартість інсталяції} = \text{Час встановлення} + \text{+вартість годинної роботи техніка.} \quad (2)$$

Підставивши дані у формулу отримаємо:

$$\text{Вартість інсталяції} = 8 \cdot 500 = 4000 \text{ грн.}$$

Наступним кроком є розрахунок вартості обслуговування системи автоматичного водіння за наступною формулою:

$$\text{Вартість обслуговування САВ} = \text{Підтримка програмного забезпечення} + \text{+Технічне обслуговування.} \quad (3)$$

Отже підставивши данні отримаємо:

$$\text{Вартість обслуговування САВ} = 10000 + 5000 = 15000 \text{ грн/рік.}$$

Залишилося тільки дізнатися загальну вартість встановлення САВ на трактор ХТЗ, провівши розрахунок за наступною формулою:

$$\text{Загальна вартість} = \text{Вартість обладнання} + \text{вартість інсталяції} + \text{вартість обслуговування САВ.} \quad (4)$$

Підставивши дані отримуємо:

$$\text{Загальна вартість} = 373900 + 4000 + 15000 = 392\,900 \text{ грн.}$$

Провівши розрахунок, ми отримали вартість встановлення системи автоматичного водіння на трактор ХТЗ, і вона складає 392 900 гривень.

Тепер проведемо аналогічний розрахунок для трактора John Deere, та дізнаємося скільки буде коштувати система автоматичного водіння на цьому тракторі.

Вартість обладнання розрахуємо за формулою (1):

$$\text{Вартість обладнання на John Deere} = 370000 + 50000 + 18000 + 250000 + 35000 = 498000 \text{ грн.}$$

Вартість обладнання на трактор John Deere буде складати 498 тисяч гривень. Наступним кроком буде розрахунок вартості інсталяції обладнання на даний трактор, який ми проведемо за наступною формулою (2):

$$\text{Вартість інсталяції} = 8 \cdot 500 = 4000 \text{ грн.}$$

Далі розрахуємо вартість обслуговування обладнання за формулою (3):

$$\text{Вартість обслуговування САВ} = 12000 + 6000 = 18000 \text{ грн/рік.}$$

Отже тепер ми маємо всі дані для розрахунку вартості встановлення та обслуговування системи автоматичного водіння на трактор John Deere, розрахуємо її за формулою (4):

$$\text{Загальна вартість} = 498000 + 4000 + 18000 = 420\,000 \text{ грн.}$$

Отже провівши розрахунки, ми з'ясували скільки буде коштувати встановити систему автоматичного водіння на вітчизняного виробництва ХТЗ та трактор іноземного виробництва John Deere.

Процес переобладнання класичних тракторів системами автоматичного водіння супроводжується низкою технічних, економічних та організаційних викликів, які потребують ретельного аналізу та планування. Надикто В. Т. та Улексін В. О. [9] у своїх дослідженнях виділяють комплекс проблемних питань, пов'язаних з інтеграцією сучасних систем керування в конструкцію наявної техніки.

Технічні виклики насамперед пов'язані з необхідністю забезпечення сумісності електронних компонентів системи автоматичного водіння з наявними системами трактора. Войтюк Д. Г. та співавтори [13] зазначають, що особливу увагу слід приділяти питанням електромагнітної сумісності та захисту електронного обладнання від впливу зовнішніх факторів.

Економічні аспекти переобладнання детально розглянуті в роботах Гарькавого А. Д. [6]. Дослідники підкреслюють необхідність комплексної оцінки економічної ефективності впровадження систем автоматичного водіння з урахуванням як прямих витрат на обладнання та монтаж, так і непрямих ефектів від підвищення продуктивності та якості робіт.

Переобладнання класичних тракторів системами автоматичного водіння супроводжується низкою технічних, економічних та організаційних викликів. Серед основних технічних труднощів варто відзначити несумісність застарілих моделей тракторів із сучасними системами навігації. Багато машин не мають електронних систем управління, що ускладнює інтеграцію автоматичного керування. Додатковою проблемою є стабільність сигналу RTK-навігації, оскільки його якість може знижуватися через вібрації, особливості рельєфу та погодні умови. Окрім цього, автоматичні системи потребують стабільного електроживлення та коректної роботи датчиків, що іноді вимагає модернізації електросистеми трактора. Після встановлення систем необхідно проводити точне калібрування кермового механізму, гідравліки та сенсорів, що потребує участі кваліфікованих спеціалістів.

Економічні виклики пов'язані насамперед із високою вартістю модернізації, оскільки встановлення автоматичного водіння потребує значних фінансових вкладень, особливо якщо трактор не оснащений базовими електронними системами. Окупність інвестицій залежить від масштабу господарства, інтенсивності використання техніки та рівня економії ресурсів. Додаткові витрати можуть бути пов'язані з придбанням і підтримкою RTK-станції або підключенням до платних сервісів диференціальної корекції.

Серед організаційних викликів важливим аспектом є навчання персоналу, оскільки оператори тракторів повинні оволодіти нові технології та методи роботи з автоматизованими системами. Впровадження такої техніки також вимагає регулярного сервісного обслуговування, оновлення програмного забезпечення та усунення можливих несправностей. Крім того, господарствам необхідно адаптувати виробничі процеси, змінювати технологічні карти та впроваджувати нові стратегії використання техніки.

Переобладнання класичних тракторів системами автоматичного водіння є перспективним напрямом підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, проте його реалізація потребує комплексного підходу, фінансових вкладень і відповідної кваліфікації персоналу.

Планування та реалізація проєктів модернізації тракторного парку із впровадженням систем автоматичного водіння потребує комплексного підходу, який враховує економічну доцільність, технічну сумісність та перспективи подальшої автоматизації.

На першому етапі слід провести аналіз наявного тракторного парку з визначенням технічного стану кожної одиниці техніки. Це дозволить оцінити доцільність модернізації та визначити, які моделі тракторів можливо обладнати системами автоматичного водіння без значних технічних доопрацювань. Особливу увагу варто приділити наявності сумісних електронних систем управління та можливості інтеграції автоматичних систем без радикальних змін у конструкції машини.

Економічний аналіз повинен включати розрахунок витрат на встановлення систем автоматичного водіння, потенційної економії паливно-мастильних матеріалів, підвищення продуктивності та зменшення витрат на оплату праці операторів. Необхідно враховувати окупність інвестицій залежно від площі оброблюваних земель, частоти використання техніки та зниження витрат за рахунок точного внесення добрив, посівного матеріалу та засобів захисту рослин.

Вибір технології автоматичного водіння має базуватися на сумісності з наявною технікою та можливостях її подальшого розширення. Важливо обирати системи, які підтримують стандартизовані протоколи обміну даними (ISOBUS) та можуть інтегруватися з іншими цифровими рішеннями у сільському господарстві. Особливу увагу слід приділити вибору RTK-станції або сервісу корекції, що забезпечує необхідну точність позиціонування.

Для успішної реалізації проєкту необхідно розробити поетапний план модернізації, який включає вибір обладнання, його закупівлю, встановлення, налаштування та навчання персоналу. Важливим кроком є проведення тестових випробувань модернізованої техніки, що дозволить оцінити ефективність автоматичного водіння та скоригувати параметри роботи систем.

Додатково варто передбачити можливості подальшої автоматизації виробничих процесів, зокрема інтеграцію тракторів у загальну систему точного землеробства, використання технологій дистанційного моніторингу, аналізу даних та прогнозування. Це дозволить створити єдину цифрову екосистему, що сприятиме підвищенню ефективності агровиробництва та максимальному використанню переваг сучасних технологій.

Таблиця 6

Основні виклики при переобладнанні тракторів

Категорія викликів	Специфіка проблеми	Можливі рішення	Прогнозовані витрати, тис. грн
Технічні	Сумісність обладнання	Модульні системи	50-75
Організаційні	Навчання персоналу	Спеціалізовані курси	25-40
Експлуатаційні	Сервісне обслуговування	Договори з постачальниками	30-45
Програмні	Інтеграція даних	Уніфіковані протоколи	20-35

Таблиця 7

Порівняльний аналіз методів переобладнання

Метод переобладнання	Складність виконання	Термін впровадження, днів	Гарантійний термін, місяців	Необхідна кваліфікація персоналу
Повна модернізація	Висока	14-21	24	Експерт
Поетапне впровадження	Середня	7-14	18	Спеціаліст
Базова комплектація	Низька	3-5	12	Технік
Модульна система	Середня	5-7	18	Спеціаліст

Чигарев Ю.В. [9] акцентує увагу на важливості врахування особливостей ґрунтово-кліматичних умов при виборі та налаштуванні систем автоматичного водіння. Автор наголошує на необхідності проведення попередніх випробувань та адаптації систем до конкретних умов експлуатації.

Висновки

Переобладнання класичних тракторів системами автоматичного водіння є перспективним напрямом модернізації сільськогосподарської техніки, що дозволяє підвищити точність, ефективність та економічність агротехнічних операцій. Впровадження таких систем сприяє зменшенню витрат пального, оптимізації використання ресурсів та зниженню навантаження на оператора.

Однак процес переобладнання супроводжується низкою технічних, економічних та організаційних викликів. Технічні труднощі пов'язані із сумісністю електронних компонентів, впливом вібрацій на точність RTK-сигналу, необхідністю модернізації електросистеми та проведенням ретельного калібрування обладнання. Економічні аспекти включають високу вартість встановлення

систем, необхідність регулярного технічного обслуговування та можливі додаткові витрати на програмне забезпечення та навчання персоналу.

Проведений розрахунок вартості встановлення САВ для тракторів ХТЗ та John Deere показав, що загальна вартість переобладнання вітчизняного трактора становить 392 900 грн, а іноземного – 420 000 грн. Це свідчить про значні початкові інвестиції, які окупаються за рахунок підвищення продуктивності та зниження експлуатаційних витрат.

Для успішного впровадження систем автоматичного водіння необхідний комплексний підхід, що включає ретельний аналіз наявної техніки, вибір сумісного обладнання, розрахунок економічної ефективності та адаптацію технологічних процесів. Важливими є також навчання персоналу та використання сучасних методів стабілізації, зокрема амортизаційних кріплень антен, для зменшення впливу вібрацій на точність навігації.

Загалом, автоматизація керування тракторами є доцільною для середніх і великих агропідприємств, оскільки вона забезпечує високу точність руху техніки, мінімізує людський фактор і сприяє підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва.

На основі проведеного дослідження можна рекомендувати господарствам різних форм власності розглянути можливість поетапного переобладнання наявного парку тракторів системами автоматичного водіння. При цьому важливо забезпечити комплексний підхід до вибору технічних рішень та їх впровадження, враховуючи специфіку конкретного господарства та наявні ресурси.

Перспективними напрямками подальших досліджень є вивчення можливостей інтеграції систем автоматичного водіння з іншими елементами точного землеробства, розробка методик оптимізації налаштувань систем для різних видів сільськогосподарських робіт та дослідження впливу автоматизації на довговічність техніки та якості виконання технологічних операцій.

Література

1. Булгаков В. М., Заришняк А. С., Головач І. В. Від класичних основ землеробської механіки до сільськогосподарських машин майбутнього. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2012. Вип. 96. С.26-34.
2. Веселовська Н. Р., Брацлавець Б. С., Іскович-Лотоцький Р. Д., Шевченко В. В. Підвищення ефективності зондування ґрунтів на установках з гідроімпульсним приводом. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. №2(105). С. 52-64.
3. Дмитренко, М. П. (2022). Проблеми та перспективи впровадження інтелектуальних систем в сільському господарстві. Харків: Вища школа.
4. Експлуатація машин і обладнання : підручник Іванишин В. В., Лабазюк П. П., Рудь А. В., Грушецький С. М. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець-Подільський : ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 576 с.
5. Коваленко, Т. В. (2019). Автоматизовані системи управління сільськогосподарськими машинами. Черкаси: Академія аграрних наук.
6. Конкурентно-спроможність технологій і машин Гарькавий А. Д., Петриченко В. Ф., Спірін А. В. Вінниця: ВДАУ «Тірас», 2003. 68с.
7. Котляр, А. П. (2015). Гусеничні трактори в аграрній техніці. Харків: Аграрна наука.
8. Кувачов В. П. Механіко-технологічні основи використання спеціалізованих ширококоліїних агрозасобів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. Вип. 2 (97). С. 161-166.
9. Надикто В. Т., Улексін В. О. Колійна та мостова системи землеробства: монографія. Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок ММД», 2008. 270 с.
10. Петренко, С. О. (2020). Інтелектуальні системи управління сільськогосподарською технікою. Житомир: Полісся.
11. Піроженко, О. І. (2021). Екологічна ефективність сільськогосподарської техніки. Львів: Техніка.
12. Рудь А. В., Мошенко І. О., Бурдега В. Ю., Іліяшик В. В., Михайлова І. М. Дослідження переущільнення ґрунту та засоби механізації для його розущільнення. Збірник наукових праць ПДАТУ. 2014. Випуск 22. С. 377-385.
13. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку Д. Г. Войтюк та ін. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
14. Федоренко, В. І. (2017). Гідравлічні системи сільськогосподарських машин. Одеса: Аграрна наука.

References

1. Bulhakov, V. M., Zaryshnyak, A. S., & Holovach, I. V. (2012). From Classical Foundations of Agricultural Mechanics to Future Agricultural Machines. *Mekhanizatsiia ta elektrifikatsiia silskoho hospodarstva*, (96) 26–34 [in Ukrainian]
2. Veselovska, N. R., Bratslavets, B. S., & Iskovych-Lototskyi R. D., et al. (2022) Improving Soil Survey Efficiency on Hydraulic Pulse Drive Installations. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 2 (105), 52–64 [in Ukrainian]
3. Dmytrenko, M. P. (2022). *Problems and Prospects of Implementing Intelligent Systems in Agriculture*. Kharkiv: Higher School. [in Ukrainian]

4. Ivanishyn, V. V., Labazyuk, P. P., & Ruda, A. V., et al (2024). *Operation of Machines and Equipment: Textbook Higher Educational Institution "Podilskyi State University"*. Kamianets-Podilskyi: "Ruta Printing" Ltd., [in Ukrainian]
5. Kovalenko, T. V. (2019). *Automated Control Systems for Agricultural Machines*. Cherkasy: Academy of Agricultural Sciences. [in Ukrainian]
6. Harkavyi, A. D., Petrychenko, V. F., & Spirin, A. V. (2003). *Competitiveness of Technologies and Machines* Vinnytsia: VNAU: "Tiras"/. [in Ukrainian]
7. Kotlyar, A. P. (2015). *Crawler Tractors in Agricultural Machinery*. Kharkiv: Agricultural Science. [in Ukrainian]
8. Kuvachov V. P. (2017) *Mechanico-technological Fundamentals of Using Specialized Wide-track Agro-machines. Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 2 (97), 161-166 [in Ukrainian]
9. Nadykto V. T., Uleksin V. O. (2008) *Railway and Bridge Systems of Agriculture: Monograph*. Melitopol: "MMD Publishing House" Ltd. [in Ukrainian]
10. Petrenko, S. O. (2020). *Intelligent Control Systems for Agricultural Equipment*. Zhytomyr: Polissia. [in Ukrainian]
11. Pirozhenko, O. I. (2021). *Ecological Efficiency of Agricultural Machinery*. Lviv: Technique. [in Ukrainian]
12. Rud, A. V., Moshenko, I. O., & Burdega, V. Y., Ilyashik V. et al. (2014). *Research on Soil Compaction and Mechanization Means for Its Decomposition*. Collection of Scientific Papers of PDRTU. [in Ukrainian]
13. D. G. Voytiuk (2005) *Agricultural Machines. Fundamentals of Theory and Calculation*. Kyiv: Higher Education. [in Ukrainian]
14. Fedorenko, V. I. (2017). *Hydraulic Systems of Agricultural Machinery*. Odesa: Agricultural Science. [in Ukrainian]