

Рудь А.В.

<https://orcid.org/0000-0002-7206-7103>

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Рудь А.В.

<https://orcid.org/0000-0002-1714-2596>

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ АГРОМАШИНИ В СИСТЕМАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА: АВТОМАТИЗАЦІЯ, СЕНСОРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЙ

Сучасний розвиток аграрного виробництва супроводжується активним впровадженням цифрових технологій, автоматизованих систем керування та сенсорного моніторингу виробничих процесів. За таких умов інтелектуальні агромашини стають ключовими елементами технологічної інфраструктури точного землеробства, забезпечуючи адаптацію польових операцій до просторової неоднорідності ґрунтів, кліматичних факторів і стану посівів. Метою дослідження є визначення особливостей застосування інтелектуальних агромашин у системах точного землеробства й обґрунтування напрямів підвищення ефективності агротехнологічних операцій на основі автоматизації, сенсорного моніторингу та цифрового управління виробничими процесами. У дослідженні використано методи наукового узагальнення, системного аналізу та порівняння сучасних підходів до автоматизації сільськогосподарської техніки. По результатах дослідження встановлено, що інтелектуалізація агромашин базується на поєднанні автоматизованого керування рухом агрегатів, адаптивного регулювання параметрів робочих органів і використання сенсорних систем моніторингу виробничого середовища. Доведено, що інтеграція навігаційних модулів, оптичних сенсорів, датчиків технічного стану машин і цифрових платформ управління дозволяє підвищити точність виконання технологічних операцій і забезпечити оперативне коригування режимів роботи агрегатів. Систематизовано функціональні можливості сенсорних технологій у процесі моніторингу стану посівів, контролю параметрів польових операцій та управління технічним станом машин. Визначено, що ефективність функціонування інтелектуальних агромашин значною мірою залежить від рівня інтеграції сенсорного забезпечення, алгоритмів обробки даних та автоматизованих систем керування. Запропоновано напрями вдосконалення агроінженерних систем, які передбачають поєднання конструктивно-технічних рішень, інформаційно-аналітичних технологій та організаційних підходів до впровадження інтелектуальної техніки у виробничу практику. Проведене дослідження підтверджує, що використання інтелектуальних агромашин створює технічну основу для підвищення точності агротехнологічних операцій і формування адаптивних систем управління польовими процесами. Наукова новизна роботи полягає в систематизації технічних і функціональних компонентів інтеграції автоматизованих машинних систем, сенсорних технологій та алгоритмічної обробки даних в єдину модель функціонування агроінженерних систем точного землеробства.

Ключові слова: агроінженерні системи, роботизовані платформи, цифрове управління агровиробництвом, навігаційні системи, сенсорний моніторинг, диференційовані технологічні операції.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток аграрного виробництва характеризується переходом до високотехнологічних систем управління польовими процесами, де ключову роль відіграють інтелектуальні агромашини та технології точного землеробства. Зростання потреби в підвищенні продуктивності сільськогосподарських

культур, оптимізації використання ресурсів і зниженні антропогенного навантаження на довкілля зумовлює активне впровадження автоматизованих машинних систем, здатних працювати на основі цифрових даних, сенсорних вимірювань та алгоритмів штучного інтелекту (далі – ШІ). У цьому контексті агроінженерія дедалі більше інтегрує

інформаційні технології, робототехніку та системи дистанційного моніторингу, що забезпечують формування нової парадигми управління агротехнологічними операціями [1; 2, с. 2278–2280].

Однією з ключових проблем сучасного землеробства є необхідність підвищення точності виконання технологічних операцій за умов значної просторової неоднорідності ґрунтів, кліматичних факторів і стану посівів. Традиційні агротехнічні підходи, засновані на усереднених параметрах обробки поля, не забезпечують достатньої ефективності використання матеріальних ресурсів та енергії. У зв'язку з цим активно розвиваються системи точного землеробства, які передбачають застосування інтелектуальних машин, оснащених сенсорами, навігаційними модулями, системами автоматичного керування та програмними засобами аналізу даних [3; 4]. Такі системи дозволяють адаптувати технологічні операції до конкретних умов ділянки поля та забезпечувати більш раціональне використання добрив, засобів захисту рослин і паливно-енергетичних ресурсів.

Особливого значення набуває інтеграція сенсорних технологій, роботизованих механізмів та автоматизованих робочих органів у конструкцію сучасних сільськогосподарських машин. Наприклад, дослідження експлуатаційних характеристик агротехнічних агрегатів свідчать, що застосування автоматизованих систем контролю параметрів роботи робочих органів дозволяє значно підвищити якість виконання польових операцій і зменшити втрати урожаю [5, с. 304–306]. Водночас розвиток роботизованих систем і технологій на основі ШІ відкриває нові можливості для автономного управління агротехнічними процесами, включаючи диференційовану сівбу, точкове внесення препаратів та інтелектуальний моніторинг стану посівів.

Разом із тим впровадження інтелектуальних агромашин у системах точного землеробства супроводжується низкою наукових і практичних викликів. Серед них слід виокремити необхідність оптимізації алгоритмів управління технологічними операціями, забезпечення надійної роботи сенсорних систем у польових умовах, інтеграцію машинних комплексів із цифровими платформами аграрного менеджменту й економічну доцільність їх використання в різних типах господарств. Незважаючи на значну кількість досліджень у цій сфері, питання комплексної автоматизації агротехнологічних процесів та ефективного використання сенсорних даних для управління інтелектуальними машинами залишаються недостатньо

розкритими, що обумовлює актуальність подальших наукових досліджень у галузі агроінженерії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика застосування інтелектуальних агромашин у системах точного землеробства активно досліджується в сучасній агроінженерній науці. Вагомий внесок у дослідження розвитку технологій точного землеробства зробили М. Падхіарі (M. Padhiary) та ін., які проаналізували перспективні напрями використання робототехніки, ШІ та автоматизованих платформ у сучасному аграрному виробництві [6]. Подібну позицію висловлюють С. Мансур (S. Mansoor) ін., детально дослідивши роль сенсорних технологій та Інтернету речей (далі – IoT) у моніторингу стану агроєкосистем [3]. Водночас у зазначених роботах обмежено розглянуто питання оптимізації конструктивних параметрів сільськогосподарських машин, що потребує подальших досліджень.

Важливе значення для розвитку інтелектуальних агромашин мають дослідження конструктивних і технологічних параметрів робочих органів сільськогосподарських агрегатів. Так, В. Надикто (V. Nadykto) та ін. експериментально дослідили роботу агрегату для скошування рослин із одночасним подрібненням і загортанням пожнивних решток у ґрунт [5]. Подібний підхід простежується в дослідженні Д. Хорта (D. Khort) та ін., які розробили автоматизований мобільний генератор гарячого туману для обробки садових культур. Автори показують, що використання автоматизованих систем управління дозволяє підвищити ефективність обробки рослин, проте їх дослідження обмежене окремими технологічними операціями [7]. Суттєвий внесок у розвиток механічних систем агротехніки зробили В. Осадчий (V. Osadchyy) та ін., які дослідили конструкцію регульованого вібраційного збуджувача для технічних систем [8].

Серед українських науковців дослідження автоматизації агротехнічних процесів є перспективним науковим напрямом. Так, А. Рудь обґрунтовує перспективи розвитку автоматизованих систем сівби та їх роль у підвищенні ефективності аграрного виробництва [9]. У свою чергу, Ю. Осіпов, А. Рудь та Ю. Ляшко розглядають можливості застосування робототехніки та ШІ для управління агрономічними процесами [10].

Дослідження ефективності впровадження технологій точного землеробства на рівні аграрних підприємств представлені у роботі А. Нефтіссова (A. Neftissov) та ін. [11]. Подібні результати отримали Б. Петрович (B. Petrovic) та ін., які дослідили

використання дронів, сенсорів і роботизованих технологій у фермерських господарствах країн Вишеградської групи [12]. Разом із тим більшість досліджень у цьому напрямі зосереджена на технологічних аспектах моніторингу, а не на оптимізації конструкції машин.

Окрему групу становлять дослідження сенсорних технологій для моніторингу стану рослин. Зокрема, А. Махляйн (A. Mahlein) та ін. дослідили можливості використання оптичних сенсорів і роботизованих систем для раннього виявлення хвороб рослин [13]. Також О. Головня та Ю. Чемерис здійснили аналіз тенденцій інноваційності ринку сільськогосподарської техніки та відзначили зростання попиту на високотехнологічні машини з елементами автоматизації [14].

Отже, аналіз сучасних наукових досліджень свідчить про значний інтерес до проблем автоматизації агротехнічних процесів, розвитку сенсорних технологій і використання ШІ в сільському господарстві. Водночас більшість робіт зосереджена на окремих аспектах точного землеробства: цифровому моніторингу, сенсорних мережах або роботизованих платформах. Питання комплексної інтеграції інтелектуальних агромашин, сенсорних систем та алгоритмів оптимізації технологічних операцій досліджено недостатньо.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження особливостей застосування інтелектуальних агромашин у системах точного землеробства та визначення напрямів підвищення ефективності агротехнологічних операцій на основі автоматизації і сенсорних технологій. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання дослідження:

1. Дослідити сучасні підходи до автоматизації сільськогосподарських машин у системах точного землеробства.

2. Проаналізувати роль сенсорних технологій і цифрових систем моніторингу в підвищенні точності агротехнологічних операцій.

3. Виявити перспективні напрями вдосконалення інтелектуальних агромашин і сформулювати рекомендації щодо підвищення ефективності їх використання в сучасних агроінженерних системах.

Виклад основного матеріалу. Сучасні інтелектуальні агромашини функціонують як елементи цифрово-керованих виробничих систем, в яких механічні вузли поєднуються з програмними модулями, навігацією й автоматичним контролем технологічних параметрів. Автоматизація агромашин найактивніше розвивається за трьома напрямками: автоматизоване водіння та

позиціонування, адаптивне керування робочими органами й автономне виконання окремих операцій [2, с. 2278–2280]. У праці А. Рудя встановлено, що для посівних систем найбільше значення мають автоматичне дозування, контроль глибини загортання насіння та синхронізація руху агрегату з параметрами висіву [9, с. 74–75]. Це свідчить, що ефективність інтелектуалізації техніки визначається не лише рівнем цифровізації, але і точністю узгодження механічних та електронних компонентів.

Експериментальні праці з агроінженерії підтверджують, що автоматизація дає найкращий результат тоді, коли вона враховує специфіку конкретної операції. Оптимізація режимів роботи агрегату для скошування, подрібнення і загортання решток безпосередньо впливає на стабільність процесу та якість обробітку. Подібний підхід простежується у роботі Д. Хорта та ін., де мобільний генератор гарячого туману розглядається як автоматизований технічний засіб із регульованими параметрами обробки [7]. Отже, автоматизація в точному землеробстві повинна розглядатися як технологія керування функціональними режимами машини, а не лише як засіб зменшення участі оператора.

Систематизація основних технічних напрямів автоматизації інтелектуальних агромашин дозволяє визначити ключові функціональні компоненти сучасних машинних систем точного землеробства. Основні характеристики цих напрямів узагальнені в таблиці 1.

Функціонування інтелектуальних агромашин у системах точного землеробства неможливе без сенсорного забезпечення, яке формує інформаційну основу для прийняття технічних рішень. У сучасних агроінженерних системах використовуються сенсори положення, оптичні сенсори, датчики вологості, температури, тиску, вібрації і біометричних показників рослин [3; 4]. Їх основне призначення полягає у фіксації змін середовища та технічного стану машини в реальному часі. Поєднання дистанційного погодного моніторингу з технологіями точного землеробства підвищує обґрунтованість виробничих рішень на рівні аграрного підприємства [11, с. 86–88]. У цьому випадку сенсорика виконує не допоміжну, а системоутворюючу функцію.

Для агроінженерії принциповим є те, що сенсорні технології забезпечують перехід від усереднених до локалізованих технологічних впливів. У роботах С. Мансура (S. Mansoor) та ін. показано, що інтеграція сенсорів та IoT-систем ство-

рює основу для диференційованого внесення ресурсів та оперативного контролю стану поля [3]. Б. Маноно (B. Manono) та ін. також акцентують, що точність рішень залежить як від наявності датчиків, так і від якості їх інтеграції в єдину систему збору й обробки даних [4]. У дослідженні А. Махляйна (A. Mahlein) та ін. встановлено, що оптичні сенсори та роботизовані засоби здатні підвищувати точність виявлення фітопатологічних змін на ранніх стадіях розвитку рослин [13]. Тому сенсорний контур інтелектуальної агромашини слід розглядати як інженерний механізм підтримки технологічної точності.

Ефективність роботи інтелектуальних агромашин значною мірою залежить від використання сенсорних технологій, які забезпечують отримання оперативних даних про стан середовища та технічних систем. Функціональні можливості основних типів сенсорів наведено в таблиці 2.

Подальший розвиток інтелектуальних агромашин пов'язаний із поєднанням автоматизації, сенсорних систем та алгоритмічного управління в єдиному технічному контурі. Сучасні наукові підходи підкреслюють перспективність використання робототехнічних рішень і ШІ-технологій для управління агрономічними процесами й опти-

мізації польових операцій. Аналіз міжнародних досліджень також показує, що новий етап розвитку аграрної техніки пов'язаний з інтеграцією безпілотних літальних апаратів, наземних роботизованих платформ, сенсорних мереж і систем цифрового прогнозування. У контексті високоточного й органічного землеробства це означає зміну ролі сільськогосподарської техніки, коли машина поступово переходить від функції механічного виконавця до інтелектуального елемента системи управління агровиробництвом.

З інженерної точки зору найбільш результативними є напрями вдосконалення, які забезпечують одночасно високу точність технологічних операцій, адаптивність до змін умов середовища та стабільність функціонування технічних систем. Сучасні тенденції розвитку ринку аграрної техніки свідчать про зростання попиту на машини, оснащені автоматизованими системами контролю, цифровими інтерфейсами та можливістю обміну даними між окремими агрегатами і платформами управління господарством. Це дозволяє виокремити три групи практичних рекомендацій щодо вдосконалення інтелектуальних агромашин: конструктивно-технічні, інформаційно-аналітичні й організаційно-виробничі. Їх реалізація сприяє

Таблиця 1

Основні напрями автоматизації інтелектуальних агромашин у системах точного землеробства

Напрямок автоматизації	Технічний зміст	Практичний результат для технологічної операції
Автоматизоване водіння	Використання навігаційних систем, автопілотів, позиціонування агрегату	Зменшення перекриттів і пропусків під час обробки поля
Адаптивне керування робочими органами	Автоматичне регулювання висіву, обприскування, глибини обробки	Підвищення точності виконання операції
Автономне виконання операцій	Роботизовані платформи, програмовані режими роботи	Зниження залежності від оператора та стабілізація процесу
Оперативний контроль параметрів машини	Вбудовані датчики, контролери, діагностика стану вузлів	Своєчасне коригування режимів роботи
Інтеграція з цифровими системами управління	Передавання даних у програмні комплекси точного землеробства	Узгодження польових операцій із даними моніторингу

Джерело: узагальнено авторами на основі [1; 2, с. 2278–2280; 3; 7; 9, с. 74–75; 15; 16].

Таблиця 2

Функціональна роль сенсорних технологій у роботі інтелектуальних агромашин

Вид сенсорної технології	Об'єкт контролю	Технологічне призначення	Очікуваний ефект у точному землеробстві
Навігаційні датчики і GPS-модулі	Координати руху машини	Керування траєкторією та дотримання колії	Зменшення перекриттів і пропусків
Оптичні сенсори	Стан рослин, ознаки хвороб, неоднорідність посівів	Локальне виявлення стресу та пошкоджень	Адресне реагування на проблемні ділянки
Датчики погодних параметрів	Температура, вологість, опади, вітер	Коригування часу та режиму виконання операції	Підвищення обґрунтованості рішень
Датчики технічного стану машини	Вібрація, навантаження, тиск	Контроль роботи вузлів і механізмів	Стабілізація технологічного режиму
Інтегровані IoT-системи	Сукупність польових і машинних параметрів	Збирання та передавання даних у цифрову платформу	Оперативне управління процесом

Джерело: узагальнено авторами на основі [3; 4; 5, с. 305–307; 11, с. 86–88; 13; 15; 16].

підвищенню ефективності використання інтелектуальної техніки без зміни базових принципів функціонування систем точного землеробства. Систематизацію відповідних рекомендацій подано в таблиці 3.

Інтелектуальні агромашини забезпечують підвищення точності польових операцій за умови поєднання трьох компонентів: автоматизованого керування, сенсорного забезпечення й алгоритмічної обробки даних. Саме така інтеграція формує технічну основу для оптимізації операцій у системах точного землеробства та відповідає сучасним пріоритетам агроінженерії.

Висновки. Сучасний етап розвитку аграрного виробництва характеризується переходом до технологій точного землеробства, що ґрунтуються на інтеграції інтелектуальних машин, цифрових систем управління та сенсорного моніторингу польових процесів. Підвищення вимог до ефективності використання ресурсів, зниження технологічних втрат і забезпечення стабільності виробництва зумовлює необхідність вдосконалення агроінженерних систем, в яких сільськогосподарські машини функціонують як елементи комплексної інформаційно-технічної інфраструктури. У цьому контексті особливого значення набуває дослідження можливостей автоматизації агромашин, використання сенсорних технологій та оптимізації технологічних операцій у системах точного землеробства, що підтверджується результатами проведеного аналізу матеріалів статті.

Досліджено сучасні підходи до автоматизації сільськогосподарських машин у системах точного землеробства та встановлено, що підвищення ефективності агротехнологічних операцій забезпечується поєднанням автоматизованого

водіння, адаптивного керування робочими органами й автономного виконання окремих технологічних процесів. Проаналізовано роль сенсорних технологій у формуванні інформаційного середовища інтелектуальних агромашин, що дозволяє здійснювати оперативний контроль стану посівів, технічних параметрів машин та умов виконання польових робіт. Сформовані рекомендації щодо вдосконалення інтелектуальних агромашин на основі конструктивно-технічних, сенсорно-інформаційних та алгоритмічних рішень, спрямованих на підвищення точності технологічних операцій і стабільності функціонування агроінженерних систем.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх використання під час проєктування і модернізації сільськогосподарських машин, а також при впровадженні цифрових технологій управління агровиробництвом на рівні фермерських та аграрних підприємств. Наукова новизна дослідження полягає в систематизації технічних і технологічних аспектів інтеграції автоматизованих систем керування, сенсорних технологій та алгоритмічного аналізу даних в єдину модель функціонування інтелектуальних агромашин у системах точного землеробства.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення адаптивних алгоритмів керування інтелектуальними агромашинами, удосконалення сенсорних систем моніторингу агроєкосистем та інтеграцію машинних комплексів із цифровими платформами аграрного менеджменту. Перспективним напрямом також є дослідження взаємодії роботизованих машин, безпілотних літальних апаратів і сенсорних мереж в єдиному інформаційному середовищі точного землеробства.

Таблиця 3

Напрями вдосконалення інтелектуальних агромашин і рекомендації щодо їх ефективного використання

Напря́м	Зміст удосконалення / рекомендації	Очікуваний результат
Конструктивно-технічний	Оснащення машин адаптивними системами регулювання робочих органів і вбудованою діагностикою	Стабільність технологічних режимів і зменшення втрат
Сенсорно-інформаційний	Інтеграція польових, машинних і погодних датчиків в єдину систему збору даних	Підвищення точності рішень у реальному часі
Алгоритмічний	Використання моделей ШІ для коригування норм висіву, обробки та внесення ресурсів	Адаптація операцій до умов конкретної ділянки поля
Платформний	Поєднання агромашин із цифровими платформами управління господарством	Централізоване керування технологічними процесами
Організаційно-виробничий	Поетапне впровадження інтелектуальної техніки з урахуванням спеціалізації господарства та підготовки персоналу	Підвищення фактичної віддачі від цифровізації техніки

Джерело: власна розробка авторів.

Список літератури:

1. Jiang L., Xu B., Husnain N., Wang Q. Overview of agricultural machinery automation technology for sustainable agriculture. *Agronomy*. 2025. Vol. 15. No. 6. Article 1471. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15061471> (дата звернення: 15.03.2026).
2. Adewusi A. et al. Artificial intelligence applications in precision agriculture: a review of technologies for sustainable farming practices. *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2024. Vol. 21. No. 1. P. 2276–2285. DOI: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.0314> (дата звернення: 15.03.2026).
3. Mansoor S. et al. Integration of smart sensors and IOT in precision agriculture: trends, challenges and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*. 2025. Vol. 16. Article 1587869. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1587869> (дата звернення: 15.03.2026).
4. Manono B., Mwami B., Mutavi S., Nzilu F. Precision farming with smart sensors: Current state, challenges and future outlook. *Sensors*. 2026. Vol. 26. Article 882. DOI: <https://doi.org/10.3390/s26030882> (дата звернення: 15.03.2026).
5. Nadykto V. et al. Experimental studies on the operation of agricultural crops mowing unit with simultaneous chopping and incorporation of stubble into the soil. *Agricultural Engineering*. 2023. Vol. 27. No. 1. P. 301–313. DOI: <https://doi.org/10.2478/agriceng-2023-0022> (дата звернення: 15.03.2026).
6. Padhiary M., Kumar A., Sethi L. N. Emerging technologies for smart and sustainable precision agriculture. *Discover Robotics*. 2025. Vol. 1. Article 6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44430-025-00006-0> (дата звернення: 15.03.2026).
7. Khort D. et al. Automated mobile hot mist generator: A quest for effectiveness in fruit horticulture. *Sensors*. 2022. Vol. 22. No. 9. Article 3164. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22093164> (дата звернення: 15.03.2026).
8. Osadchyy V. et al. Adjustable vibration exciter based on unbalanced motors. *Sensors*. 2023. Vol. 23. Article 2170. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23042170> (дата звернення: 15.03.2026).
9. Рудь А. Перспективи автоматизованих систем сівби та їх вплив на майбутнє сільського господарства. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2024. № 135. Ч. 2. С. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.2.9> (дата звернення: 15.03.2026).
10. Осіпов Ю., Рудь А., Ляшко Ю. Інноваційні підходи до управління агрономічними процесами з використанням робототехніки та штучного інтелекту. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2024. № 45. С. 78–84. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2024-4.11> (дата звернення: 15.03.2026).
11. Neftissov A. et al. Assessing the efficiency of using precision farming technology and remote monitoring of weather conditions in agricultural enterprises. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 4. No. 13 (130). P. 84–94. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309028> (дата звернення: 15.03.2026).
12. Petrovic B., Kononets Y., Csambalik L. Adoption of drone, sensor, and robotic technologies in organic farming systems of Visegrad countries. *Heliyon*. 2025. Vol. 11. No. 1. Article e41408. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e41408> (дата звернення: 15.03.2026).
13. Mahlein A. et al. From detection to protection: the role of optical sensors, robots and artificial intelligence in plant disease management. *Phytopathology*. 2024. Vol. 114. No. 8. DOI: <https://doi.org/10.1094/PHYTO-01-24-0009-PER> (дата звернення: 15.03.2026).
14. Головня О., Чемерис Ю. Сучасні тренди інноваційності ринку сільськогосподарської техніки в умовах глобального середовища. *Економіка та суспільство*. 2024. № 66. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-18> (дата звернення: 15.03.2026).
15. Сільськогосподарська техніка та її види в землеробстві. *EOS Data Analytics*. URL: <https://eos.com/uk/blog/silskohospodarska-tekhnika/> (дата звернення: 17.03.2026).
16. Технології точного землеробства. *CNH Industrial America*. URL: <https://www.caseih.com/uk-ua/ukraine/products/precision-technology> (дата звернення: 17.03.2026).

Rud A.V., Rud A.V. INTELLIGENT AGRICULTURAL MACHINES IN PRECISION FARMING SYSTEMS: AUTOMATION, SENSOR TECHNOLOGIES AND OPTIMIZATION OF OPERATIONS

The active introduction of digital technologies, automated control systems, and sensor-based monitoring of production processes accompanies the modern development of agriculture. In these conditions, intelligent agricultural machines become key elements of the technological infrastructure of precision agriculture, ensuring the adaptation of field operations to the spatial heterogeneity of soils, climatic factors, and crop conditions. The purpose of the study is to determine the features of the application of intelligent agricultural machines in precision agriculture systems and to substantiate directions for increasing the efficiency of agrotechnological operations based on automation, sensor monitoring, and digital control of production processes. The study used methods of scientific generalization, system analysis and comparison of modern approaches to the automation

of agricultural machinery. According to the results of the study, the intellectualization of agricultural machines is based on a combination of automated control of unit motion, adaptive regulation of the parameters of working bodies, and the use of sensor systems for monitoring the production environment. It has been proven that integrating navigation modules, optical sensors, machine condition sensors, and digital control platforms increases the accuracy of technological operations and ensures prompt adjustment of unit operating modes. The functional capabilities of sensor technologies for monitoring crop conditions, controlling field operation parameters, and managing the technical condition of machines are systematized. It is determined that the efficiency of intelligent agricultural machines largely depends on the level of integration of sensor support, data processing algorithms, and automated control systems. Directions for improving agricultural engineering systems are proposed, involving a combination of design and technical solutions, information and analytical technologies, and organizational approaches to the implementation of intelligent equipment in production practice. The conducted study confirms that the use of intelligent agricultural machines provides a technical basis for improving the accuracy of agricultural technological operations and for the development of adaptive field process management systems. The scientific novelty of the work lies in the systematization of the technical and functional components of integrating automated machine systems, sensor technologies, and algorithmic data processing into a single model of the functioning of agro-engineering systems for precision agriculture.

Keywords: *agro-engineering systems, robotic platforms, digital management of agricultural production, navigation systems, sensor monitoring, differentiated technological operations.*

Дата першого надходження статті до видання: 26.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 22.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 19.05.2026