

## ТРЕНДИ В РОБОТИЗАЦІЇ МОБІЛЬНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗАСОБІВ

Погорілий В.,

<https://orcid.org/0000-0002-6867-8120>

Муха В.,

<https://orcid.org/0000-0001-7870-0187>

УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

### Анотація

**Метою роботи** є дослідження рівня розвитку й особливостей запропонованих світовими виробниками аграрних роботів і напрямів їхньої роботизації та технологічного використання у польових сівозмінах; структуризація та оцінка перспектив застосування роботизованих сільськогосподарських автономних засобів (роботів) у польових сівозмінах.

**Методи досліджень:** Case study роботизованих сільськогосподарських автономних засобів (роботів,) які пропонуються для виконання механізованих процесів у польових сівозмінах; структуризація технічних рішень роботів за їхніми технологічними особливостями та джерелами отримання енергії; аналіз алгоритмів навігації, сенсорних систем, штучного інтелекту та інших важливих компонентів, властивих польовим роботам; ідентифікація ключових розробників/виробників польових роботів, особливості запропонованих ними напрямів роботизації та технологічного використання у польових сівозмінах; оцінка перспектив і технологічних переваг використання польових роботів із урахуванням таких викликів, як правові аспекти, безпека та прийняття технології фермерами.

**Результати досліджень.** Проведені факторні аналізи структурних елементів польових роботів свідчать, що для трансформації енергії в тягово-приводну спроможність використовуються як традиційні трактори, так і спеціальні шасі, досягається різний рівень сенсорного та програмного забезпечення. Це дало змогу оцінити рівні автономності польових роботів і спрогнозувати сферу використання залежно від потужності.

Трактор, дооснащений сенсорами й відповідними програмами, забезпечує в напівавтономному режимі виконання основних операцій в агрегаті з традиційними сільськогосподарськими машинами в польових сівозмінах, але присутність людини все ще залишається обов'язковою.

**Висновки.** Нові напрями розвитку польових роботів використовують конвергентні технології, базуються на глибокій модернізації тракторів і застосуванні спеціально сконструйованих шасі з власними трансмісіями (концепти), використанні нових джерел енергії та значно вищим рівнем автономності й дистанційним контролем за режимами роботи.

Концепти створюються як єдині конструкції, орієнтовані на виконання окремих операцій в агрегаті з сільгоспмашинами або зі спеціальними навісками робочих органів, навіть в однорядному виконанні. Вони, як правило, мають електричну трансмісію, але невисоку потужність, що обмежує сферу їхнього застосування.

**Ключові слова:** роботизовані сільськогосподарські засоби, польові роботи, автономні трактори, електротрактори, сільськогосподарські роботи, системи керування сільськогосподарських засобів, мобільні автономні засоби.

**Вступ.** У сучасному світі спостерігається стрімкий розвиток технологій, що суттєво впливає на всі сфери людської діяльності. Однією з галузей, яка відчуває значні перетворення, є сільське господарство. У зусиллях підвищити продуктивність, зменшити залежність від ручної праці та забезпечити сталість виробництва все більшої популярності набуває роботизація мобільних сільськогосподарських транспортних засобів [Moorehead, 2012; Duckett et al., 2018; Marinoudi et al., 2021; Sparrow, Howard, 2021; Ghobadpour et al., 2022; Debauche et al., 2022; Saha et al., 2022]. Нестача робочої сили, спричинена зменшенням зацікавленості молодого покоління у сільськогосподарській праці, стає серйозною перешкодою для досягнення ефективності та стабільності виробництва. Окрім того, зміна кліматичних умов, зростання попиту на продукти харчування та необхідність збереження природних ресурсів вимагають розробки нових підходів і технологій для сільськогосподарського виробництва.

За останні роки вчені та фахівці з усього світу активно досліджують роль роботизації мобільних сільськогосподарських засобів у вирішенні цих проблем. Результати досліджень учених із Китаю та Японії свідчать про ефективність використання автоматизованих машин і роботів у сільському господарстві. Вони демонструють, що роботизація може забезпечити точне і швидке виконання робіт, зменшити вплив на довкілля та збільшити продуктивність [Liu, Wu, 2014; Ito et al. 2022; Xu et al., 2022; Li et al., 2022].

Це дослідження зосереджується на аналізі мобільних сільськогосподарських засобів як ключовому елементі роботизації в АПК та покликане розкрити можливі сфери застосування цих засобів при виконанні механізованих операцій у польових сівозмінах.

Практичне значення роботи полягає у структурному огляді сучасного стану роботизації мобільних сільськогосподарських засобів, що є корисним для науково-дослідницької спільноти, сільсько-

господарських підприємств і фахівців у галузі сільського господарства. Результати дослідження можуть стати підґрунтям оцінки ризиків та ефективності впровадження технологій роботизації та стратегій управління в агропромисловому виробництві.

**Постановка завдань.** Роботизовані мобільні засоби можуть значно підвищити ефективність виконання польових сільськогосподарських операцій. Технологічні прийоми, які раніше виконувалися за безпосередньої участі оператора, мають реальні перспективи бути автоматизованими та забезпечити збільшення робочої швидкості, точності і термінів проведення. Це допоможе збільшити врожайність, знизити втрати та підвищити якість сільськогосподарської продукції.

Також сільське господарство стикається з проблемою нестачі робочої сили, оскільки все менше людей бажають працювати в цій галузі. Роботизація мобільних сільськогосподарських транспортних засобів може допомогти замінити людей у монотонних і важких роботах для виконання більш складних завдань. Це може полегшити працю фермерів і підвищити привабливість сільськогосподарської галузі для молодих людей.

Роботизовані сільськогосподарські засоби створюють нові виклики, зокрема необхідність розробки складних алгоритмів для оптимального керування в різноманітних польових умовах за обов'язково високого рівня безпеки. Функція контролю людини буде полягати в моніторингу роботів, вирішенні несподіваних ситуацій та ухваленні рішень у випадках, коли автоматична система не здатна самостійно справитися із завданням або виникають проблеми.

**Метою роботи** є дослідження рівня розвитку й особливостей запропонованих світовими виробниками аграрних роботів, напрямів їхньої роботизації та технологічного використання у польових сівозмінах; структуризація та оцінка перспектив застосування роботизованих сільськогосподарських автономних засобів (роботів) у

польових сівозмінах.

**Методи досліджень:** case study роботизованих сільськогосподарських автономних засобів (роботів), які пропонуються для застосування виконання механізованих процесів у польових сівозмінах; структуризація технічних рішень роботизованих сільськогосподарських автономних засобів за їхніми технологічними особливостями та джерелами отримання енергії; аналіз алгоритмів навігації, сенсорних систем, штучного інтелекту та інших важливих компонентів, властивих польовим роботам; ідентифікація ключових розробників і виробників польових роботів та особливості запропонованих ними напрямів роботизації та технологічного використання в польових сівозмінах; оцінка перспектив застосування автономних сільськогосподарських роботів та їхніх технологічних переваг із урахуванням таких викликів, як правові аспекти, безпека та прийняття технології фермерами.

**Результати.** Технологічна конвергенція на сьогодні є невід'ємною складовою «Індустрії 4», і швидкими темпами формує майбутнє «Агро індустрія 4». Процес зближення і об'єднання різних технічних рішень у новій технології фіксує глобальну та локальну динаміку розвитку нових технологій, що пропонується до впровадження. Однак на етапах появи нових технічних рішень, у тому числі й роботизованих мобільних сільськогосподарських засобів, мало відомо про кінцеві результати технологічного розвитку та їхні наслідки, оскільки технологічні розробки ще не знайшли широкого впровадження. Водночас коли ці розробки стануть більш стабільними, помітними і широко застосованими, складно буде щось змінити.

Одним із завдань наукових досліджень і попередження можливих негативних наслідків є case study дослідження, базовані на структуризації та оцінці технічних рішень, аналізів алгоритмів, ідентифікацій ключових розробників і перспективах застосування автономних сільськогосподарських роботів із використанням даних у вільному інформаційному просторі. Та-

ким чином, можливо оцінити потенційні вигоди та ризики в довгостроковій перспективі за умови, що фактичних доказів ще немає.

Роботизований мобільний сільськогосподарський засіб (далі — робот) — це автоматизована машина або пристрій, який спеціально розроблений для виконання різних завдань у сільському господарстві. Як правило, він складається з енергетичного засобу (модернізованого трактора чи спеціально розробленого), оснащеного різними сенсорами, системами візуального спостереження та навігації, а також програмним забезпеченням для керування і ухвалення рішень. Зазвичай він працює на базі безпілотної технології, що дає йому змогу автономно переміщатися полем і виконувати необхідні сільськогосподарські операції з мінімальною людською участю. Також він оснащений навісними пристроями для агрегування із традиційними сільськогосподарськими машинами або пристроями для навішування спеціальних робочих органів.

У подальшому наші дослідження пов'язані з роботизованими мобільними сільськогосподарськими засобами, які використовуються або пропонуються для виконання механізованих операцій у польових сівозмінах. Поза увагою ми залишимо роботизацію процесів в окремих сегментах сільськогосподарського виробництва (овочівництво в закритому та відкритому ґрунті, садівництво й виноградарство тощо). Цей сегмент заслуговує окремого аналізу, оскільки умови роботи машин ту ньому трохи відрізняються.

Проведений факторний аналіз структурних елементів енергетичної частини різних типів роботизованих мобільних сільськогосподарських засобів (таблиця 1) засвідчує, що на сьогоднішній день існує велика різноманітність підходів із трансформації енергії в тягово-приводну спроможність мобільного агрегату. Уже зараз інтенсивно використовуються під час механізації процесів у польових сівозмінах традиційні серійні трактори (СТ), які практично є роботами саме під час

виконання технологічних процесів, але перебувають під постійним контролем людини та на ручному керуванні транспортуються до поля. Такий підхід можна назвати першим і єдиним на сьогоднішній день етапом роботизації, що широко застосовується у польових сівоzmінах. Інші наведені конструкції, як правило, проходять випробування, демонструються на різних заходах, мають значно більший рівень роботизації, використовують різні конструктивні підходи і практично ще не знайшли широкого застосування.

Виконання механізованих операцій у сільськогосподарському виробництві має значні відмінності від інших галузей виробництва, де машини, механізми та інші технічні засоби мають значно вищий рівень роботизації і знайшли практичне використання. Насамперед це пов'язано з необхідністю забезпечення переміщення агрегату значними площами, які мають різні параметри та характеристики, відмінні як територіально, так і в часі. При цьому тягове зусилля і навантаження на мобільний засіб (трактор) не є постійною величиною, а змінюється в широких діапазонах і часто досягає та перевищує критичні значення. З розвитком роботизованих сільськогосподарських мобільних засобів і систем керування суттєво змінюється їхня енергетична частина. Найбільш широко застосованим є серійний трактор (СТ) без зміни енергетичної частини, далі додатково дооснащений серійний трактор (ДСР) або навіть глибока модернізація трактора у варіанті МСТ. Прогрес, особливо стосовно використання нових джерел енергії (гібридні системи, електрична, сонячна тощо), призвів до того, що значна гамма робіт має не тільки механічну чи автоматичну трансмісію, а й використовують електричні трансмісії та нові джерела енергії. При цьому сама машина вже сконструйована спеціально і має суттєві відмінності від звичайного трактора (табл. 1).

Основним завданням роботизації сільськогосподарських засобів є мінімізація використання живої праці людини і в

перспективі повне її виключення, підвищення точності та якості роботи, а також збільшення добових термінів використання машин. Завдяки досягненню в ІТ індустрії (GPS, цифровізація, програмування, створення ефективних сенсорів) дало змогу розвиватися і роботизованим сільськогосподарським мобільним засобам. Особливості цієї конвергенції відслідковуються в різноманітті пропозицій (табл. 2). Трактор (ДСТ) робить лише частину роботи, а малогабаритний автономний робот (МАР) може працювати самостійно та навіть мати певні ознаки штучного інтелекту. Зараз на ринку пропонуються різні варіанти: автономний режим роботи за заданим маршрутом, розрахунок ширини та довжини поля і його площі, візуалізація непередбачуваних обставин та автоматичне реагування на них. Водночас на початкових етапах трактор міг тільки рухатися заданими паралельними робочими маршрутами, а маневрування проводилося оператором у ручному режимі.

Виникає питання, як швидко і яку частину роботи можуть виконувати роботизовані сільськогосподарські мобільні засоби в найближчий час у польових сівоzmінах? До цього часу висока продуктивність роботи агрегата, як правило, забезпечувалася за рахунок підвищення потужності машини, збільшення ширини захвату, зростання робочих швидкостей тощо. І цей сегмент роботизації уже на сьогодні є найбільш розвиненим і застосовуваним, оскільки він базується на дооснащених системами керування тракторами і може, при спеціальній підготовці та наявності персоналу з відповідною підготовкою, проводити практично весь комплекс механізованих технологічних операцій у польових сівоzmінах. Тому, можливо, найближчим часом цей сегмент і буде найбільше поширюватися, оскільки це не потребує створення спеціальних машин, а основні розробки в цьому напрямку проводяться відомими світовими фінансово-промисловими корпораціями з серійного виробництва тракторів і сільськогосподарських машин.

Таблиця 1 – Факторний аналіз структурних елементів енергетичної частини різних типів роботизованих мобільних сільськогосподарських засобів

| Фактори                            | Варіанти використання/реалізації енергетичних засобів |                                                                     |                                                                      |                                                                      |                                                                      |                                                            |                                                      |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                    | Серійний трактор (СТ)                                 | Дооснащений серійний трактор (ДСТ)                                  | Модернізований серійний трактор (МСТ)                                | Спеціально спроектований трактор (ССТ)                               | Спеціальне енергетичне шасі (СЕСШ)                                   | Автономне енергетичне шасі (АЕШШ)                          | Малогабаритний автономний робот (МАР)                |
| Тип виконання енергетичної частини |                                                       |                                                                     |                                                                      |                                                                      |                                                                      |                                                            |                                                      |
| Робоче місце оператора             | Кабіна машини                                         | 1. Дистанційно під час роботи<br>2. Кабіна машини при русі дорогами | 1. Дистанційно під час роботи та при русі до-рогою із супроводженням | 1. Дистанційно під час роботи та при русі до-рогою із супроводженням | 1. Дистанційно під час роботи та при русі до-рогою із супроводженням | 1. Дистанційно під час роботи.                             | 1. Дистанційно під час роботи                        |
| Базовий енергетичний засіб         | Серійний трактор                                      | Серійний трактор                                                    | Модернізований серійний трактор                                      | Спеціально спроектований автономний трактор                          | Спеціально спроектований автономний мобільний засіб (шасі)           | Спеціально спроектований автономний мобільний засіб (шасі) | Спеціально спроектований автономний мобільний засіб. |
| Трансмісія                         | Серійна, тракторна, безступінчата                     | Серійна, тракторна, безступінчата                                   | Серійна, тракторна, безступінчата                                    | Комбінована, електрична, гідравлічна                                 | Електрична                                                           | Електрична, мотор-колесо                                   | Електрична, мотор-колесо                             |
| Джерело енергії                    | Дизель                                                | Дизель                                                              | Дизель                                                               | Дизель, акумулятор, електрокабель                                    | Дизель генератор                                                     | Акумулятор, сонячні батареї                                | Акумулятор, сонячні батареї                          |

**Таблиця 2 – Факторний аналіз сенсорного та програмного забезпечення різних типів роботизованих мобільних сільськогосподарських засобів**

| Фактори                                                   | Варіанти використання/реалізації енергетичних засобів                                                                                                           |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                |                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Тип виконання енергетичної частини                        | Серійний трактор (СТ)                                                                                                                                           | Дооснащений серійний трактор (ДСТ)                                                                                                                           | Модернізований серійний трактор (МСТ)                                                                                                          | Спеціально спроектований трактор (ССТ)                                                                                                         | Спеціальне енергетичне шасі (СЕСШ)                                                                                                              | Автономне енергетичне шасі (АЕШ)                                                                                                                                                   | Малогабаритний автономний робот (МАР)                                                                                                                     |
| Участь оператора в роботі машини                          | 1. Автономний режим роботи за заданим маршрутом.<br>2. Контроль оператора під час роботи та за попередбачуваних обставин<br>3. Ручне управління рухом дорогами. | 1.Автономний режим роботи за заданим маршрутом.<br>2. Візуалізація попередбачуваних обставин та автоматичне реагування<br>3. Ручне управління рухом дорогами | 1. Автономний режим роботи за заданим маршрутом та під час руху дорогою.<br>2.Візуалізація попередбачуваних обставин та автоматичне реагування | 1.Автономний режим роботи за заданим маршрутом та під час руху дорогою.<br>2. Візуалізація попередбачуваних обставин та автоматичне реагування | 1. Автономний режим роботи за заданим маршрутом та під час руху дорогою.<br>2. Візуалізація попередбачуваних обставин та автоматичне реагування | 1. Автономний режим роботи за заданим маршрутом та під час руху дорогою.<br>2. Візуалізація попередбачуваних обставин та автоматичне реагування<br>3. Автодоставка до місця роботи | 1.Автономний режим роботи за заданим маршрутом.<br>2. Візуалізація попередбачуваних обставин та автоматичне реагування<br>3. Автодоставка до місця роботи |
|                                                           | Позиціонування картографування                                                                                                                                  | GPS, Завантажені карти                                                                                                                                       | GPS, Завантажені карти                                                                                                                         | GPS, Завантажені карти                                                                                                                         | GPS, Завантажені карти                                                                                                                          | GPS, Завантажені карти                                                                                                                                                             | GPS+візуалізація, Завантажені карти                                                                                                                       |
| Розробка маршруту та визначення попередбачуваних ситуацій | За результатами об'їзду по контуру поля та за безпосередньої участі оператора                                                                                   | За результатами об'їзду по контуру поля та без участі оператора                                                                                              | За результатами об'їзду по контуру поля та без участі оператора                                                                                | За результатами об'їзду по контуру поля та без участі оператора                                                                                | Офісна корекція по контуру поля без участі оператора                                                                                            | Офісна корекція по контуру поля без участі оператора                                                                                                                               | Офісна корекція по контуру поля без участі оператора                                                                                                      |
| Візуалізація маршруту                                     | На дисплеї монітора трактора                                                                                                                                    | На дисплеї монітора трактора                                                                                                                                 | На мобільних пристроях (смартфон, планшет, ПК)                                                                                                 | На мобільних пристроях (смартфон, планшет, ПК)                                                                                                 | На мобільних пристроях (смартфон, планшет, ПК)                                                                                                  | На мобільних пристроях (смартфон, планшет, ПК)                                                                                                                                     | На мобільних пристроях (смартфон, планшет, ПК)                                                                                                            |
| Накопичення, передача та аналізування даних               | Накопичувач, інтернет мережа, періодичне, в офісі                                                                                                               | Накопичувач, інтернет мережа, періодичне, в офісі                                                                                                            | Інтернет-мережа, постійний дистанційний моніторинг                                                                                             | Інтернет-мережа, постійний дистанційний моніторинг                                                                                             | Інтернет-мережа, дистанційний або програмний моніторинг                                                                                         | Інтернет-мережа, програмний дистанційний моніторинг                                                                                                                                | Інтернет-мережа, програмний дистанційний моніторинг                                                                                                       |

Водночас широко рекламуються та презентуються спеціально розроблені та виготовлені роботизовані сільськогосподарські шасі різного конструктивного виконання, рівня інтелектуалізації та навіть із власними особливостями застосування, відмінними від традиційного машино-тракторного агрегату (табл. 3). Такі рішення ще не досить потужні і можуть виконувати обмежений перелік механізованих робіт як на середніх площах, наприклад, спеціальне енергетичне шасі (СЕСШ), так і на невеликих – МАР, але з орієнтацією на можливість використання їхньої значної кількості у повністю автономному індивідуальному та груповому режимах. Окремо варто відмітити спеціально спроектовані мобільні машини (ССТ), які також пропонуються в середньому сегменті потужності і з можливістю агрегування з традиційними сільськогосподарськими знаряддями при виконанні мало- та середьоенергоємних польових операцій.

Розглянемо типових представників (продукт і виробник) із визначених груп і відмітимо їхні особливості з точки зору роботизації згідно з вищенаведеною класифікацією.

**Трактори (СР), які можуть бути обладнанні спеціальними сенсорами та програмним забезпеченням.** Відповідні продукти для обладнання трактора, які забезпечують функцію автоматичного керування заданими координатами поля, виробляють як спеціалізовані компанії («Trimble» рис. 1), так і власне виробники тракторів («John Deere AutoTrac», рис. 2). Обладнання містить системи навігації та геолокації і дає трактору змогу точно слідувати заданому маршруту й виконувати різні операції.

**Автономний серійний трактор (ДСТ).** У 2022 році американська машинобудівна компанія «John Deere» анонсувала серійне виробництво автономного трактора. Безпілотна сільгосптехніка побудована на базі трактора «John Deere 8R» (рис. 3).

Автономний трактор оснащений шістьма парами стереокамер, які охоплюють 360 градусів. Вони допомагають заздалегідь ви-



**Рисунок 1** – Конфігурація обладнання «Trimble Autopilot»



**Рисунок 2** – Конфігурація обладнання «John Deere AutoTrac»



**Рисунок 3** – Автономний трактор на базі трактора «John Deere 8R»

значати перешкоди та розраховувати відстань. Зображення камер проходять через глибоку обробку нейромережі, що вивчає кожен піксель приблизно за 100 мілісекунд.

Таблиця 3 – Прогноз сфер застосування різних типів роботизованих мобільних сільськогосподарських засобів

| Варіанти використання/реалізації енергетичних засобів |                                                                                    |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                            |                                                                                                     |                                                                                                    |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Фактори                                               | Серійний трактор (СТ)                                                              | Дооснащений серійний трактор (ДСТ)                                                         | Модернізований трактор (МСТ)                                                               | Спеціально спроектований трактор (ССТ)                                                     | Спеціальне енергетичне шасі (СЕШ)                                                                   | Автономне енергетичне шасі (АЕШ)                                                                   | Малогабаритне автономний робот (МАР)                                                  |
| Тип виконання енергетичної частини                    | 50-600                                                                             | 130-350                                                                                    | до 300-400                                                                                 | 100-200, кабельні до 700                                                                   | 2x100                                                                                               | 20-50                                                                                              | 2-10                                                                                  |
| Спосіб агрегування                                    | Традиційна триточкова навіска                                                      | Традиційна триточкова навіска                                                              | Традиційна триточкова навіска                                                              | Традиційна триточкова навіска або спеціальне?                                              | Традиційна тріох точкова навіска або спеціальне                                                     | Спеціальне                                                                                         | Єдина конструкція                                                                     |
| Характеристика виробника / розробника                 | Тракторні заводи та спеціалізовані ІТ компанії                                     | Тракторні заводи та спеціалізовані ІТ компанії                                             | Тракторні заводи                                                                           | Тракторні та машинобудівні заводи, спеціалізовані компанії                                 | Спеціалізовані компанії                                                                             | Спеціалізовані компанії                                                                            | Спеціалізовані компанії                                                               |
| Сфера та особливості застосування                     | 1. Усі польові операції.<br>2. Без обмежень площею поля<br>3. Широко розповсюджено | 1. Усі польові операції.<br>2. Без обмежень площею поля.<br>3. Спеціалізована підприємства | 1. Усі польові операції.<br>2. Без обмежень площею поля.<br>3. Спеціалізована підприємства | 1. Всі польові операції.<br>2. Без обмежень площею поля.<br>3. Спеціалізована підприємства | 1. Малоенергоємні польові операції.<br>2. Площа поля – до 100 га.<br>3. Спеціалізована підприємства | 1. Малоенергоємні польові операції.<br>2. Площа поля – до 50 га.<br>3. Спеціалізована підприємства | 1. Окремі польові операції<br>2. Малогабаритні поля<br>3. Спеціалізована підприємства |
| Стан впровадження                                     | Широко застосовується                                                              | Виробнича перевірка, наявні пропозиції на ринку                                            | Виробнича перевірка та тестові покази                                                      | Виробнича перевірка та тестові покази                                                      | Пропозиції на ринку для догляду за просапними культурами                                            | Пропозиції на ринку для догляду за просапними культурами                                           | Випробування та демонстраційні покази та ?                                            |

Автономний трактор постійно звіряє своє положення щодо геоzone та працює з точністю до дюйма. Щоб працювати автономним трактором, фермерам потрібно лише транспортувати в режимі ручного керування машину в поле.

«Case IH» та «CNH Industrial's Innovation Group» розробили автономну модель трактора (МСТ), яка працює без оператора, взявши за основу флагманську модель трактора «Case IH», при цьому зовнішній вигляд моделі значно змінився (рис. 4). Вбудована система автоматично визначає ширину захоплення навісного обладнання та формує найбільш придатні маршрути руху з урахуванням рельєфу місцевості, перешкод, а також наявності на конкретному полі інших машин. Оператор, на відстані від трактора, може спостерігати за його роботою і контролювати траєкторію руху за допомогою інтерфейсу комп'ютера чи портативного планшета.

Завдяки наявності радара, лідара (активного далекоміра оптичного діапазону) та встановлених на тракторі відеокамер трактор може виявляти нерухомі чи рухомі перешкоди на своєму шляху і самостійно зупинитися при їхньому виявленні, чекаючи, доки оператор, попереджений про перешкоду звуковим або візуальним сигналом, відреагує та вирішить їх дистанційно. При відсутності сигналу GPS або даних про положення, а також при натисканні кнопки «Зупинка» трактор негайно припиняє рух. Операції, які виконує машина, також можна змінювати в реальному часі через віддалений інтерфейс або за допомогою автоматичних попереджень про погоду. Декілька автономних тракторів можуть працювати як єдиний транспортний парк або виконувати операції одночасно.

**Модернізований трактор від «John Deere» (МСТ)** — нова концепція трактора «John Deere». Це дуже компактний електропривод та інтегроване агрегування (рис. 5). Трактор має сумарну потужність 500 кВт і може оснащуватися як колесами, так і гусеницями. Залежно від застосування можливе гнучке баластування від



**Рисунок 4** – Концепт автономного трактора «Case IH» від «CNH»



**Рисунок 5** – Концепт від «John Deere»

5 до 15 тон, щоб зменшити ущільнення ґрунту. Завдяки електроприводу відсутні робочі викиди, а рівень шуму — низький. Передача енергії проводиться через спеціальний кабель від стаціонарного джерела або поряд із працюючим акумуляторним трактором.

**Спеціально спроектовані трактори (ССТ)** — це сільськогосподарські засоби, які пропонуються виробниками сільськогосподарських агрегатів із інноваційними технологічними рішеннями, наприклад, «Horch», «Lemken», «Krone», для покращення ефективності й автоматизації сільськогосподарських операцій. Основною ідеєю ССТ є можливість виконання робіт на полі без прямого втручання водія (оператора), що в свою чергу дозволяє змінити конструкцію тракторів і відмовитися від кабіни й органів керування для водія.

Автономний трактор від «Horch» має

різні режими роботи: автономний режим і режим дистанційного ручного керування (рис. 6). Завдяки інтегрованим сенсорам і камерам трактор може точно керувати своїм рухом і виконувати сільськогосподарські роботи з високою точністю. Транспортний засіб розроблено таким чином, що стандартні сільськогосподарські агрегати можна під'єднати до нього через триточкову зчіпку.

У результаті співпраці між «Krone» і «Lemken» (проект «Combined Power») створено автономний автомобіль «Combined Power» для цілорічної експлуатації в різноманітних умовах (рис. 7). Він складається з приводного модуля, з'єднаного з різними насадками.

Транспортний засіб вирізняється тим, що в ньому використовується функція ТІМ (Tractor Implement Management), яка дозволяє машинам, які працюють із трактором, контролювати його керування, у тому числі регулювати швидкість залежно від поточного навантаження. Для цього кожна машина оснащена додатковими датчиками та камерами, які контролюють роботу трактора. Трактор і агрегат, який зі ним працює, весь час «спілкуються», обмінюючись усіма необхідними даними. Привід агрегату — гібридна система, що складається з дизельного двигуна MTU потужністю 230 кінських сил, електросистеми з приводами осей і валу відбору потужності. На тракторах встановлено великі 38-дюймові колеса, які забезпечують високу тягу та максимальне зчеплення, а також можуть працювати на лугах, не пошкоджуючи землю.

Дві керовані осі дають змогу використовувати три різні режими керування, а на транспортному засобі розміщено камери, які постійно контролюють територію в радіусі до 20 м.

**Спеціальне енергетичне шасі (СЕСШ).** Якщо попередні автономні трактори переважно є концептуальними рішеннями, то автономні сільськогосподарські роботи вже є на світовому ринку і працюють на сільськогосподарських угіддях, наприклад, на полях Франції — «Robotti» (рис. 8).



**Рисунок 6** – Робот «RO1» з 24-рядною сівалкою «Maestro»



**Рисунок 7** – Автономні трактори проекту «Combined Power»



**Рисунок 8** – Багатофункціональний польовий робот «Robotti»

«Robotti» — це модульний універсальний чотириколісний автономний робот, оснащений двома дизельними двигунами і 3-точковою зчіпкою. Він здатний виконувати широкий спектр операцій, які зазвичай виконує трактор, у тому числі посів, прополку та оприскування.

Швидкість руху в ручному дистанційному режимі — 10 км/год, в автономному режимі — до 5 км/год. Робот стандартно оснащений чутливим до тиску бампером

і кнопками екстреної зупинки, а також системою віртуальної огорожі на основі GNSS, лазерним скануванням LIDAR і пультом дистанційного керування. Опційно доступний пакет комп'ютерного огляду, передня та задня камери, а також система освітлення.

Версія LR — це не лише робот для обробки полів, а й цифрова інфраструктура, що дає змогу автоматично збирати дані з поля, посівів і технічні дані. Це носій для знарядь, який може виконувати різні види польових робіт, наприклад, точний догляд за посівами, посів, прополку та оприскування. «Robotti LR» розрахований на тривалу роботу з низьким енергоспоживанням — до 60 годин без дозаправки. Він також пропонує високий крутний момент на колесах, покращену гідравліку та вантажопідйомність 1,2 т.

**Автономні енергетичні шасі (АЕШ).** Починаючи з 2018 року, на європейському ринку з'являються нові роботизовані рішення для сільського господарства.

АЕШ від «FarmDroid FD20» (рис. 9) здатний самостійно виконувати такі роботи, як посів, оприскування та механічна прополка без необхідності контролю за його роботою, а у випадку надзвичайних подій він автоматично зупиняється та надсилає відповідне сповіщення оператору. Робот не тільки дає змогу мінімізувати кількість роботи людини, а й завдяки нульовій потребі в паливі є економною та екологічною машиною. У ньому встановлено фотоелектричні панелі потужністю 4х400 Вт. Цього достатньо, щоб покрити поточну потребу в енергії та забезпечити



**Рисунок 9** – Автономний робот «FarmDroid»

ти високу інсоляцію навіть уночі. Також можна заряджати робота від мережі.

Завдяки малій вазі (всього 800 кг) машина не пошкоджує структуру ґрунту, водночас механічна прополка передбачає обмежене використання засобів захисту рослин. Знову ж таки, тут можна побачити синергію економічного та проєкологічного ефекту.

Робот використовує дуже точну технологію GPS і знає точне положення кожної рослини, тому може почати процес прополки на дуже ранній стадії вегетації. Однак робот не повинен працювати далі 10 км від базової станції, оскільки це негативно впливає на його точність. Точність близько 1 см може бути досягнута, якщо базова станція знаходиться поблизу. Робот використовується для різних видів культур, на різних ґрунтах тощо. Відстань між рядами, глибина посіву, швидкість роботи — усі ці параметри можна налаштувати під індивідуальні потреби конкретного фермера. «FarmDroid» уже рекомендував себе у вирощуванні таких рослин, як цукровий буряк, цибуля, шпинат, капуста, декілька видів квітів, ріпак. Наприклад, понад 300 машин обслуговують посівні площі в Німеччині, Данії, Франції, Канаді та Австралії.

**Малі автономні роботи (МАР).** Компанія «Naio Technologies» пропонує різні типи роботів, серед яких — версія «Orio» (рис. 10), призначений для обробки одного рядка (міжряддя) просапних культур на невеликих плантаціях.

Робот працює від 4 електродвигунів потужністю 3000 Вт і оснащений 4



**Рисунок 10** – Автономний робот «Orio» від «Naio Technologies»

залізо-фосфатними батареями ємністю 21,5 кВт/год з можливістю встановлення 6 акумуляторів ємністю 32,3 кВт/год. Завдяки цьому він може ефективно працювати до 10 годин на одному заряді, замінюючи роботу навіть декількох десятків людей одночасно, що забезпечує значне скорочення витрат. Робот рухається зі швидкістю до 5,5 км/год. За аспекти безпечного використання відповідають чутливі до тиску бампери, лазерна система вимірювання відстані LIDAR і функція віртуального огороження робочої зони — geofencing. Однією з важливих переваг робота «Ogio» є його інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, який робить налаштування пристрою дуже простим.

Варто звернути увагу ще на один концептуальний підхід до роботизації виконання механізованих процесів у польових сівозмінах, який не враховано у проведеному факторному аналізі структурних елементів польових робіт. Це варіант мостового землеробства на базі енергетичного засобу з потужністю 1000 кВт (рис. 11) (стартап «Nexat»). Пропонується і вже тестується декілька дослідних зразків із принципами модульного формування різних за призначенням машинно-тракторних агрегатів, використанням постійної колії та потенційною можливістю виконання всього комплексу польових механізованих операцій — від поверхневого обробітку до збирання.

Отже, роботизовані мобільні сільськогосподарські засоби, енергетичною частиною яких є тягово-привідна мобільна машина, вже широко застосовуються



**Рисунок 11** – Енергетичний засіб від «NEXAT»

в польових сівозмінах із використанням різнорівневих елементів інтелектуалізації як мінімум при виконанні ними робочих ходів. При цьому потужність таких машин варіює в діапазоні 180-500 к.с і навіть більше, що дає змогу закривати весь комплекс польових робіт у середньо- та великотоварному виробництві продукції в польових сівозмінах. При цьому проводиться візуальний контроль за роботою машини та реагування у випадку непередбачених ситуацій.

Розроблення і виготовлення роботизованих автономних шасі проводиться за різних концептуальних підходів. Рівень їхньої інтелектуалізації досить значний і постійно підвищується, можливий апаратний дистанційний контроль за рухом агрегатів, однак потужність не досить висока (5-50 к.с.). Вони мають невелику масу, як правило, електричну трансмісію та інтегровані робочі органи. Сфера застосування таких машин сьогодні трохи обмежена й орієнтована на виконання незначного переліку польових операцій.

**Обговорення.** Сільськогосподарські роботи — це автономні машини, які використовуються для підвищення ефективності та врожайності, зменшення залежності від робочої сили та підвищення загальної продуктивності [Ghobadpour et al., 2022]. Зрозуміло також, що легкі роботи можуть зменшити пошкодження ґрунту важкою сільськогосподарською технікою [Sparrow, Howard, 2021].

Згідно з дослідженням представника CNH «Industrial Monacelli G» дорожня карта автоматизації в сільському господарстві до 2050 року матиме 5 рівнів (рис. 12). Зараз сільськогосподарське машинобудування знаходиться на 3 рівні (автономія під наглядом) [Monacelli, 2018]. У довгостроковій перспективі електрифікація сільськогосподарських транспортних засобів і використання відновлюваних джерел енергії є важливим кроком для роботизованого та розумного землеробства в Agriculture 5.0 [Ghobadpour et al. 2022].

Також можна погодитися з твердженням Mali et al., що датчики, сенсори та лока-

## Дорожня карта для автономних транспортних засобів в



**Рисунок 12** – Дорожня карта для автономних транспортних засобів у сільському господарстві. Джерело: опрацьовано з [Monacelli, 2018]

лізація є критично важливими компонентами для навігації роботи та уникнення перешкод у полі. Використання датчиків є важливим аспектом мобільної робототехніки, що дає змогу роботам виконувати різні завдання, наприклад, стеження, навігація та уникнення зіткнень [Mail et al., 2023].

Робототехніка та автономні транспортні засоби можуть зіграти істотну роль у задоволенні потреб сільськогосподарського виробництва в найближчому майбутньому [Saiz-Rubio, Rovira-Mas, 2020]. Окрім того, сільськогосподарські польові роботи можуть допомогти підвищити експлуатаційну безпеку, покращити стан ґрунту та збільшити врожайність [Duckett et al., 2018]. Заміна важкого обладнання легшою дистанційною або автономною технікою може зменшити проблеми, пов'язані зі стисненням верхнього шару ґрунту в сільському господарстві. Роботи й автономні трактори мають багато переваг, включаючи розвиток точного землеробства, покращення умов праці, обмеження впливу на навколишнє середовище та підвищення прибутковості врожаю [Ghobadpour et al., 2019; Pearson et al., 2022].

Окрім того, можна погодитися з твердженням, що роботів, з алгоритмами штучного інтелекту в системі, відносять до загальної концепції Agriculture 5.0 [Zambon et al., 2019]. Ця концепція означає, що ферма дотримується принципів точного землеробства та використовує обладнання, яке включає безпілотні опе-

рації та автономні системи підтримки ухвалення рішень.

Розробка доступного й ефективного сільськогосподарського робота вимагає міждисциплінарного співробітництва в таких сферах, як сільськогосподарська інженерія, інформатика, мехатроніка, динамічний контроль, машинне навчання, інтелектуальні системи, сенсори та прилади, розробники програмного забезпечення та системна інтеграція [Shamshiri et al., 2018; Monsalve et al., 2021].

Серед основних викликів цифрових технологій упровадження технологій є однією з характеристик і особливостей нових технологій, які часто є складними, враховуючи рівень технічних знань дрібних фермерів [Ofori et al., 2020]. Окрім того, багато країн, що розвиваються, мають значні проблеми з цифровою інфраструктурою. Виробники поступово розробляють способи постачання цифрових пристроїв і програм меншим виробникам за нижчою ціною, щоб підвищити прибутковість і якість продукції. Ключові виклики, пов'язані з упровадженням цифрових технологій, головним чином пов'язані зі складністю технологій, сільськогосподарською культурою та їхньою адаптацією [Sott et al., 2021].

**Висновки.** Роботизація мобільних сільськогосподарських засобів (польових роботів) використовує конвергентність технологій і навіть відстаючи за темпами роботизації в інших промислових галузях, розвивається за рядом концептуальних підходів з урахуванням можливих сфер застосування і вже чітко окреслює перспективи Агроіндустрії 4,0.

З розвитком роботизації мобільних сільськогосподарських засобів змінюється серійний трактор, з'являються окремі різновиди, які мають нові шасі, трактори без кабіни та механічних органів керування, додаються нові джерела енергії, окрім традиційного дизельного палива (дизель-генератори, електроенергія, водневі та інші типи).

Сучасний дооснащений трактор вже може виконувати досить багато роботи

автономно — рухатися полем і виконувати різні операції під час польових сівозмін, однак присутність людини все ще залишається обов'язковою.

Особливості сільськогосподарських засобів як різноманіття потужності, розмірів і мас накладає свій відбиток, тому однозначно неможливо визначити, який напрямок буде переважати. На нашу думку, автономні трактори як традиційна категорія залишаться основою польової енергетики і надалі будуть широко застосовуватися у польових сівозмінах. Спеціальні польові роботи орієнтовані в найближчій перспективі на виконання окремих, найбільш важливих операцій при догляді за просапними культурами.

На практиці в роботизації мобільних сільськогосподарських засобів ще мало використовується повний штучний інтелект (ШІ), але його окремі базові елементи вже використовуються. Тому з огляду на сучасні дослідження та перспективи розвитку поява таких польових роботів є лише питанням часу.

### Перелік літератури

- Debauche, O., Mahmoudi, S., Manneback, P., Lebeau, F. (2022). Cloud and distributed architectures for data management in agriculture 4.0 : Review and future trends. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 34, 9. 7494-7514. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.09.015>
- Duckett, T., Pearson, S., Blackmore, S., Grieve, B., Chen, W., H., Cielniak, G., Cleaversmith, J., Dai, J., Davis, S., Fox, C., et al. (2018). Agricultural robotics: The future of robotic agriculture. *arXiv*, arXiv:1806.06762. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1806.06762>
- Ghobadpour, A., Boulon, L., Mousazadeh, H., Malvajerdi, A. S., Rafiee, S., (2019). State of the art of autonomous agricultural off-road vehicles driven by renewable energy systems. *Energy Procedia*, 162, 4–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2019.04.002>
- Ghobadpour, A., Monsalve G., Cardenas A., Mousazadeh H. (2022). Off-Road Electric Vehicles and Autonomous Robots in Agricultural Sector: Trends, Challenges, and Opportunities, *Vehicles*. 4 (3). <http://doi.org/10.3390/vehicles4030047>
- Ito, N., Okuda, H., Suzuki, T. (2022). Configuration-aware model predictive motion planning for Tractor-Trailer Mobile Robot. *Advanced Robotics*. 37:5, 329-343, <https://doi.org/10.1080/01691864.2022.2126733>
- Li, H., Gao, F., Zuo, G. (2022). Research on the Agricultural Machinery Path Tracking Method Based on Deep Reinforcement Learning. *Hindawi Scientific Programming*. Article 6385972, 14. <https://doi.org/10.1155/2022/6385972>
- Liu, J., Wu, L. (2014). The Study on Autonomous Agricultural Machinery Modeling and Control Method. *Sensors & Transducers*. Vol. 182, Issue 11, November, 249-255. URL: [https://www.researchgate.net/publication/302975155\\_The\\_Study\\_on\\_Autonomous\\_Agricultural\\_Machinery\\_Modeling\\_and\\_Control\\_Method](https://www.researchgate.net/publication/302975155_The_Study_on_Autonomous_Agricultural_Machinery_Modeling_and_Control_Method)
- Mail, M., Maja, J., Marshall, M., Cutulle, M., Miller, G., Barnes, E. (2023). Agricultural Harvesting Robot Concept Design and System Components: A Review. *AgriEngineering*. 5, 777-800. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5020048>
- Marinoudi, V., Lampridi, M., Kateris, D., Pearson, S., Sørensen, C.G., Bochtis, D. (2021). The Future of Agricultural Jobs in View of Robotization. *Sustainability*. 13, 12109. <https://doi.org/10.3390/su132112109>
- Monacelli, G. (2018). The future of Simulation in Agricultural Machinery towards 2050! 34 th International CAE Conference and Exhibition. [https://www.researchgate.net/publication/328840949\\_The\\_future\\_of\\_Simulation\\_in\\_Agricultural\\_Machinery\\_towards\\_2050](https://www.researchgate.net/publication/328840949_The_future_of_Simulation_in_Agricultural_Machinery_towards_2050)
- Monsalve, G., Thiery, O., De Moreau, S., Cardenas, A. (2021). Development of Agricultural Robot Platform with Virtual Laboratory Capabilities. In *Proceedings of the IECON 2021 47th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 13-16 October 2021; IEEE: 1-6. <https://doi.org/10.1109/IECON48115.2021.9589075>
- Moorehead, S., Wellington, C., Gilm-

- ore, B., Vallespi, C. (2012). Automating Orchards: A System of Autonomous Tractors for Orchard Maintenance. Conference: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) Workshop on Agricultural Robots. URL: [https://www.researchgate.net/publication/278677045\\_Automating\\_Orchards\\_A\\_System\\_of\\_Autonomous\\_Tractors\\_for\\_Orchard\\_Maintenance](https://www.researchgate.net/publication/278677045_Automating_Orchards_A_System_of_Autonomous_Tractors_for_Orchard_Maintenance)
- Ofori, E., Griffin, T., Yeager, E. (2020). Duration analyses of precision agriculture technology adoption: What's influencing farmers' time-to-adoption decisions? *Agricultural Finance Review* 80 (5), 647-664 <http://dx.doi.org/10.1108/AFR-11-2019-0121>
- Pearson, S., Camacho-Villa, T., Valluru, R. et al. (2022). Robotics and Autonomous Systems for Net Zero Agriculture. *Curr Robot Rep* 3, 57-64. <https://doi.org/10.1007/s43154-022-00077-6>
- Saha, S., Morito, T., Ospina, R., Noboru, N. (2022). A Vision-based Navigation System for an Agricultural Autonomous Tractor. *IFAC-PapersOnLine*. 55(32). 48-53. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.11.113>
- Saiz-Rubio, V., Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>
- Shamshiri, R., Weltzien, R., Hameed, C., Yule, J., Grift, I., Balasundram, T., Pitonakova, S., Ahmad, L., Chowdhary, D. (2018). Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 11 (4), 1-14. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181104.4278>
- Sott, M., Nascimento, L., Foguesatto, C., Furstenu, L., Faccin, K., Zawislak, P., Mellado, B., Kong, J., Bragazzi, N. (2021). A Bibliometric Network Analysis of Recent Publications on Digital Agriculture to Depict Strategic Themes and Evolution Structure. *Sensors*. 21 (23), 7889. <https://doi.org/10.3390/s21237889>
- Sparrow, R., Howard, M. (2021). Robots in agriculture: Prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture* 22, 818-833. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9>
- Xu, J., Lai, J., Guo, R., Lu, X., Xu, L. (2022). Efficiency-Oriented MPC Algorithm for Path Tracking in Autonomous Agricultural Machinery. *Agronomy*. 12(7), 1662. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071662>
- Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M. G., Colantoni, A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs. *Processes*, 7 (1), 36. <https://doi.org/10.3390/pr7010036>

UDC 631.3

## TRENDS IN ROBOTISATION OF MOBILE AGRICULTURAL EQUIPMENT

Pogorilyy V., <https://orcid.org/0000-0002-6867-8120>,

Mukha V., <https://orcid.org/0000-0001-7870-0187>

L. Pogorilyy UkrNDIPVT

### Summary

**The purpose of this article** is research of the level of development and features of agricultural robots offered by global manufacturers and directions of robotics and their technological use in field crop rotations; the structuring and assessment of the prospects for the use of robotic agricultural autonomous means (robots) in field crop rotation.

**Methods:** case-studies of robotic agricultural autonomous means (robots) that are proposed for the use of mechanized processes in field crop rotations; structuring of technical solutions of robots according to their technological features and energy sources; analysis of navigation algorithms, sensor systems, artificial intelligence and other important components that are characteristic of field robots; identification of key developers/manufacturers of field robots, features of their proposed directions of robotics and technological use in field crop rotations; assessing the prospects for the application of field robots and the technological benefits of their application and taking into account the challenges such as legal aspects, safety and acceptance of the technology by farmers.

**Results.** The conducted factor analyzes of the structural elements of field robots show that both traditional tractors and special chassis are used to transform energy into traction and drive capacity, and different levels of sensor and software are achieved. This made it possible to assess the autonomy levels of field robots and predict the scope of application depending on the power.

The tractor, retrofitted with sensors and appropriate programs, provides semi-autonomous performance of basic operations in a unit with traditional agricultural machines in field crop rotations, but the presence of a person is still mandatory.

**Conclusions.** New directions for the development of field robots use convergent technologies and are based on the deep modernization of tractors and the use of specially designed chassis with their own transmissions (concepts), the use of new energy sources and a significantly higher level of autonomy and remote control of work modes.

Concepts are created as single designs and are oriented towards the performance of separate operations in a unit with agricultural machines, or with special attachments for working bodies and even in single-row execution. As a rule, they have an electric transmission, but not high power, which narrows the scope of their application.

**Keywords:** robotic agricultural tools, field robots, autonomous tractors, electric tractors, agricultural robots, control systems of agricultural tools, mobile autonomous tools.