

## ЗАСОБИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ АГРЕГАТІВ НА ПОВЕРХНІ ПОЛЯ: АСПЕКТИ СУЧАСНОГО СТАНУ

**Ветохін В.**, доктор техн. наук, доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-7299-3094>, e-mail: veto.vladim@gmail.com

**Загривий Р.**,

<https://orcid.org/0009-0004-8845-3780>, e-mail: roman.zahryvyi@pdau.edu.ua

**Рижкова Т.**,

<https://orcid.org/0000-0002-2403-6396>, e-mail: tetiana.ryzhkova@pdaa.edu.ua

**Сидорчук Ю.**,

<https://orcid.org/0009-0002-1840-5367>, e-mail: yurii.sydoruchuk@pdau.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

### Анотація

**Мета досліджень** – аналіз розвитку принципів позиціонування сільськогосподарських агрегатів на поверхні поля та їхніх конструктивних рішень як основи для вдосконалення та розроблення нових ґрунтообробних знарядь.

**Методи:** аналітичне дослідження технічних засобів та узагальнення принципів позиціонування сільгоспагрегата і його робочих органів відносно конкретної ділянки здійснюється з виділенням системних компонентів «речовина»/«енергія»/«інформація»/«людина» та оцінкою зміни частки компонента з розвитком засобів. Компонент «інформація» розглядається як така, що впорядковує інші компоненти системи.

**Результати.** Сільськогосподарська технологія, що містить регламенти і процеси застосування засобів механізації, може розглядатися узагальнено як сукупність процесів перетворення стану оброблюваного середовища шляхом внесення/вилучення компонент енергії, речовини та інформації.

Одночасно здійснюються процеси отримання інформації відносно поточних значень показників стану ґрунту, обробка інформації та реалізація алгоритмів зміни стану ґрунту та рослини. Такий підхід у межах точного землеробства потребує глобального й локального позиціонування робочого органа.

Стосовно ґрунтообробного агрегату глобальне позиціонування пройшло розвиток від реалізації за рахунок інтелекту людини-оператора до реалізації технологіями супутникового зв'язку. Локальне позиціонування розпочиналося від відстежування людським зором утвореної борозни до використання штучного зору з алгоритмами прив'язки до мікроділянки поля, рядку рослин або окремої рослини.

**Висновки.** Сучасний стан інформаційних технологій і засобів дав змогу безпосередньо ввести інформаційну компоненту в технологічний процес перетворення стану оброблюваного шару ґрунту. Етапи розвитку технологій характеризуються перерозподілом часток компонент у системі енергія/речовина/інформація/людина у бік збільшення компоненту «інформація» та кардинального зменшення компоненти людина шляхом заміщення людської логіки.

З розвитком систем позиціонування на полі рухомих сільгоспагрегатів, високодеталізованих електронних карт стану ґрунту, можливостей вимірювання показників стану ґрунту і рослини в реальному часі з'явилися нові агротехнологічні вимоги, що потребують розробки нових технічних засобів обробітку ґрунту та догляду за посівами.

Системи корекції положення сільгоспагрегатів у реальному часі, відомі зараз як «RTKS», з'явилися від початку розвитку засобів механізації та базувалися на логіці людини-оператора. У процесі розвитку відбулося заміщення людської логіки та людської фізичної сили на системи з машинної

логією та переходом до штучного інтелекту.

**Ключові слова:** *точне землеробство, сільгоспагрегат, засоби позиціонування, керування, система ресурсів енергія/речовина/інформація/людина.*

**Вступ.** Обґрунтування напрямків удосконалення ґрунтообробних машин і знарядь для локального внесення добрив потребує врахування вимог технологій точного землеробства. Однією з таких вимог є позиціонування сільгоспагрегата та його робочих органів відносно мікроділянки поля або окремої рослини та залежно від попередніх проходів знарядь.

Розвиток технічних засобів орієнтації просапних агрегатів детально досліджений [Ветохін та ін., 2020]. Засвідчено, що типи «керування орієнтацією агрегату пройшли розвиток від візуального контролю та ручного керування положенням агрегату безпосередньо фізичною силою, візуального контролю та керування за допомогою різноманітних підсилювачів, контактного відстеження положення рядка та керування положенням знаряддя за напрямними у ґрунті, до безконтактного оптичного відстеження рослин у рядку з автоматичним керуванням положенням культиватора електрогідравлічним приводом».

Спосіб управління станом ґрунту та рослини загалом розглядаються як процес внесення/вилучення енергії, речовини та інформації. Реалізація способу потребує визначення значень ключових показників поточного стану ґрунту конкретної ділянки та відповідні дії зі зміни стану ґрунту з урахування ефекту післядії [Ветохін, Алтибаєв, 2017]. У роботі [Кравчук та ін., 2022] проаналізовано технічні засоби потокового визначення щільності ґрунту, зазначено, що отримані й оброблені сигнали відносно стану ґрунту коригують робочі органи сільськогосподарських машин для отримання заданих агрофізичних показників.

Сучасний стан розвитку інформаційних технологій і засобів вимірювання дав змогу безпосередньо ввести інформаційний компонент у технологічний процес перетворення стану оброблюваного шару

ґрунту [Алтибаєв, Ветохін, 2022].

Вітчизняні дослідники приділяли увагу різним аспектам проблем, пов'язаних із розвитком точного землеробства [Адамчук, Мойсеєнко, 2001; Войтюк та ін., 2004; Аніскевич, 2005; Кравчук та ін., 2009; Надикто, 2010; Аніскевич та ін., 2012].

Точне землеробство характеризується як засіб покращення результатів практичного землеробства, досягнення більших прибутків за рахунок урахування існуючої просторової нерівномірності стану ґрунту [Vrchota et al., 2022].

На сьогоднішньому етапі розвитку розрізняють глобальне позиціонування (GPS), яке пов'язується зі супутниковими технологіями, та корекцію положення сільгоспагрегата в реальному часі, відому під абревіатурою «RTKS».

Зазначимо, що в сучасних роботах не знайшов відображення узагальнений ресурсний підхід у компонентах «енергія»/«речовина»/«інформація» з урахуванням компонента «людина».

**Постановка завдань.** Метою дослідження є аналіз розвитку принципів позиціонування сільськогосподарських машин на поверхні поля та їхніх конструктивних рішень як основи для вдосконалення та розробки нових ґрунтообробних знарядь. Аналітичне вивчення перерозподілу часток компонентів у системі енергія/речовина/інформація/людина у процесі розвитку технічних засобів і принципів позиціонування сільгоспагрегата і його робочих органів відносно конкретної ділянки поля та залежно від попередніх проходів знарядь.

*Завдання дослідження:*

- описати узагальнюючими термінами розрізнені технічні засоби;
- при вивченні засобу позиціонування або сільгоспагрегата визначити, які складові засобів відносяться до кожного з ресурсних компонентів системи енергія/речовина/інформація/людина;

- виділити етапи розвитку технічних засобів позиціонування;

- визначити тенденції методів і технічних засобів позиціонування сільгоспагрегата та його робочих органів, що можуть бути враховані при розробці та вдосконаленні вітчизняних знарядь.

**Методи і матеріали.** Аналітичне дослідження технічних засобів і узагальнення принципів позиціонування сільгоспагрегата і його робочих органів відносно конкретної ділянки поля залежно від попередніх проходів знарядь, здійснюється з виділенням системних компонентів «речовина»/«енергія»/«інформація»/ та оцінкою зміни долі компонента з розвитком засобів. Компонентна інформація буде розглядатися як така, що впорядковує інші компоненти системи. Гіпотезу дослідження становить припущення, що глобальне й локальне позиціонування сільськогосподарських знарядь у технологічному процесі здійснювалося від початку механізації, а у ході техніко-технологічного розвитку змінювалися технічні засоби та принципи їхньої реалізації. Кардинальне зменшення витрат ресурсів речовина/енергія можливе за рахунок збільшення частки компонента «інформація» у системі.

Аналітична оцінка проводиться з виділенням того, яким чином здійснюється:

- відстеження положення знаряддя (людським зором, механічним або оптичним засобами, за електромагнітним випромінюванням/сигналом);

- обробка інформації (сигналу) та ко-

манда керування (людською логікою, механічна, електро-гідро-механічними автоматами, комп'ютерна);

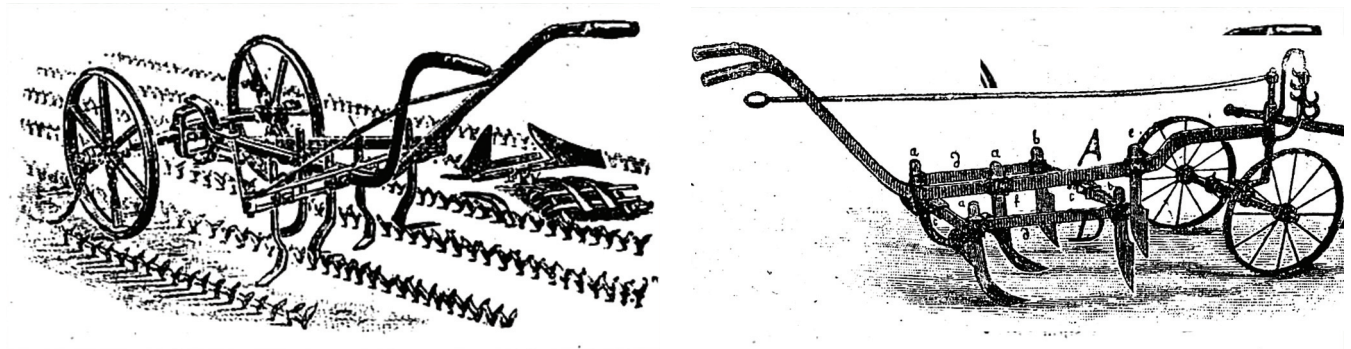
- реалізація сигналу керування (фізичною силою людини, електро-гідро-механічними та іншими перетворювачами).

У дослідженні використана відома методика роботи з технічними інформаційними ресурсами [Ветохін та ін., 2023].

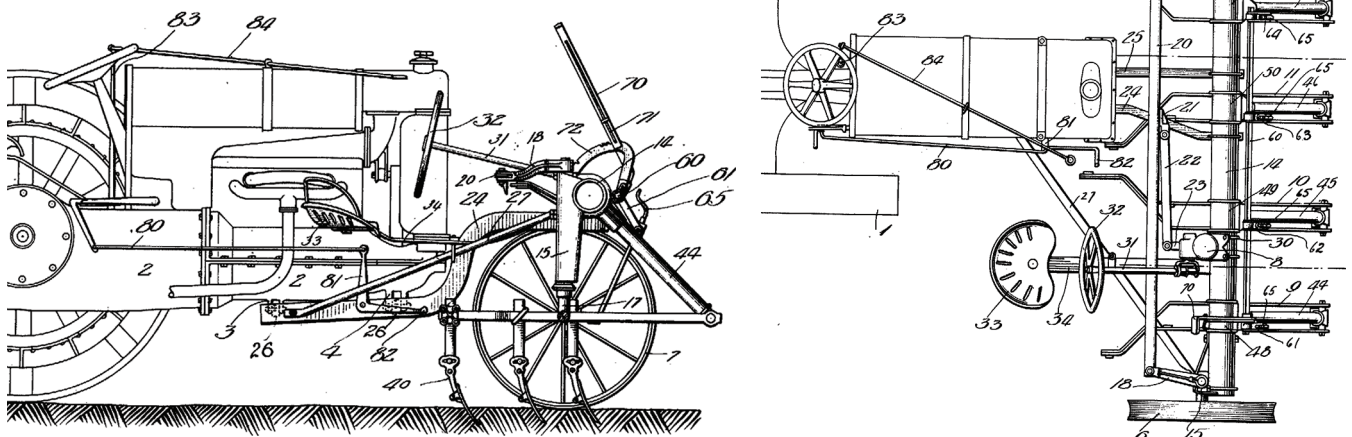
**Результати й обговорення.** Появу особливих вимог до локального позиціонування можливо пов'язати з інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва та технологій багатопрохідності агрегатів полем, наприклад, рядковий висів/висаджування з подальшим підживленням добривами, особливо для просапних технологій. На новому етапі – смугові технології обробітку та вирощування.

На початку механізації рільництва відстеження положення знаряддя, обробка інформації та реалізація сигналу керування здійснювалася людськими зором, логікою (людським інтелектом) і фізичною силою (рис. 1). Компоненти в системі речовина/енергія/інформація/людина впорядковувалися людською логікою.

Зі зростанням робочих швидкостей агрегатів і постійними потребами у збільшенні продуктивності вишукувалися технічні рішення з полегшення роботи людини-оператора шляхом наближення до робочої зони, задіянням окремих операторів для глобального позиціонування сільгоспмашин і для коригування положення робочого знаряддя або робочих органів (рис. 2) [Rose, 1922]. На початко-



**Рисунок 1** – Вигляд ґрунтообробних знарядь наприкінці XIX-го століття [Ветохін та ін., 2020]: а- полільник Ельворті, б – розпашник Грінаковського



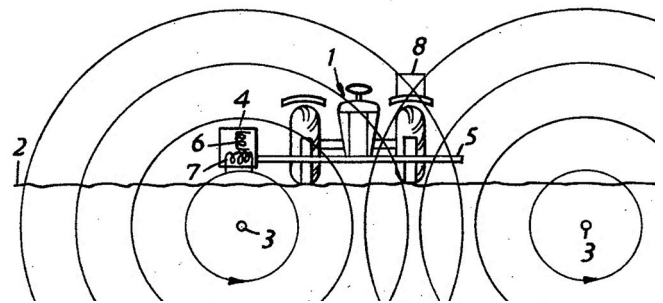
**Рисунок 2** – Засіб коригування положення знаряддя на поверхні поля за патентом «Навісне обладнання для тракторів» [Rose, 1922]

вому етапі це здійснювалося механічними засобами з візуальним відстеженням людиною. Технічні засоби, що використовувалися, – різноманітні маркери, борозноутворювачі, дроти на поверхні ґрунту, при квадратно-гніздовому способі – дроти з маркерами відстані тощо. При цьому компоненти, задіяні в системі позиціонування, принципово не змінювалися.

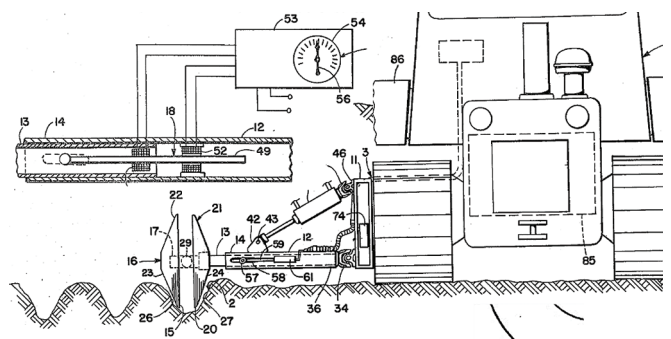
Наступний етап розвитку засобів механізації базується на контактному чи безконтактному відстеженні положення знаряддя відносно матеріального носія інформації, наприклад, електромагнітного випромінювання від сигнального електричного дроту в шарі ґрунту (рис. 3) [Hobday, Hobday, 1970] або змін у механічній реакції стінок борозни на поверхні поля (рис. 4) [Newell, 1980]. Обробка інформації (сигнала) та передача сигналу керування здійснюється електро-гідро-механічними автоматами, реалізація команди керування – електро-гідро-механічними та іншими підсилювачами.

Конструктивно у «Системі керування гусеничним трактором» пристрій стеження за борозною прикріплений до гусеничної рами і складається з конічних коліс, установлених на штанзі з можливістю поперечного переміщення. Він містить передавально-приймальні засоби, що дають сигнал оператору або гідравлічній системі рульового керування відносно відстані від борозни до трактора (рис. 4).

У спрощеному варіанті конструкції за-

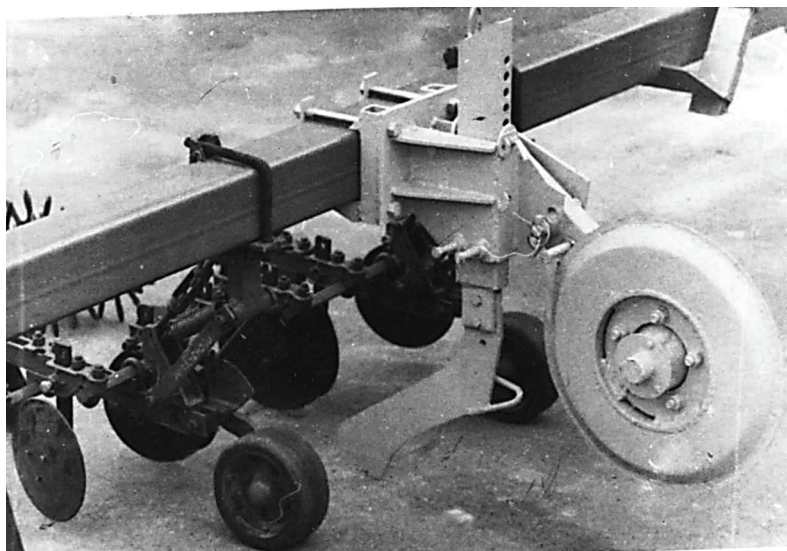


**Рисунок 3** – Схема використання електромагнітного випромінювання від дроту у товщі ґрунту за патентом «Системи ведення колісного засобу» US3679019A - Vehicle guidance systems (1970) [Hobday, Hobday, 1970]

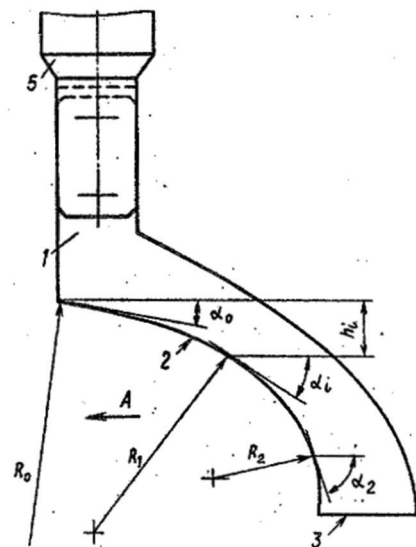


**Рисунок 4** – Схема «Системи ведення гусеничних тракторів» з використанням борозни на поверхні ґрунту за патентом US4298084A - Guidance system for tracklaying tractors 1980 [Newell, 1980]

собу коригування положення знаряддя на поверхні поля, датчик і виконавчий механізм поєднано в одній конструкції та виконано у вигляді ножа для утворення та відстеження щілинув ґрунті, що жорстко



а



б

**Рисунок 5** – Засіб коригування положення знаряддя на поверхні поля у вигляді орієнтатора просапних машин за напрямними щілинами у ґрунті, розробки НПО «Цукрових буряків»: а – конструктивне виконання для культиватора «Глай»; б – форма ножа для утворення та відстеження щілин у ґрунті за винаходом [Глуховський та ін., 1986]

встановлений на рамі знаряддя (рис. 5) [Глуховський та ін., 1986]. Реакція стінок утвореної борозни/щілини через бічні поверхні ножа передається на раму знаряддя з робочими органами, чим виконується його локальне позиціонування.

Носій інформації – щілина у шарі ґрунту, де сигнал на коригування положення виникає внаслідок змін у механічній реакції стінок щілини. Обробка інформації (сигналу) та реалізація команди керування здійснюється за фізико-механічними властивостями знаряддя та ґрунту. Деякі аспекти, що виявляються в експлуатації, – помітність борозни, стійкість борозни/щілини у часі, стійкість борозни/щілини за механічного відстеження.

Як зазначалося вище, відправною точкою точного землеробства вважається впровадження супутникового наведення трактора [Scarfone et al., 2021]. Поєднання сигналу відносно положення агрегата від супутникових систем глобального позиціонування та гідромеханічних виконавчих механізмів здійснено у конструкції знаряддя фірми «Orthman Manufacturing, INC» (рис. 6) [Implement Guidance, 2023]. GPS-антена, встановлена на рамі знаряддя, надсилає інформацію про положення

знаряддя на полі до контролера. Гідроциліндр реалізує команди керування та змінює орієнтацію дискових ножів, що виконують функцію рульових коліс.

Розробці технічного засобу в наведеному вигляді (див рис. 6) передувала патентна публікація 1977 р. «Кермовий пристрій для просапного культиватора» (рис. 7) [Orthman, 1977]. Метою заявленого винаходу була компенсація поперечного зміщення знаряддя для просапного культиватора шляхом створення пристрою керування для стабілізації задньої осі трактора. Цей засіб реалізований на електрогідравлічних автоматах. Датчик положення виконано у вигляді колеса, що рухається борозною.

Наступний етап розвитку точного землеробства відбувся у галузях мехатроніки, штучного зору, технологій розпізнавання образу, алгоритмів обробки даних, сенсорів тощо. Зазначений етап розвитку характеризується прив'язкою технологічної дії сільськогосподарського знаряддя до ділянки поля, зайнятою окремою одиничною рослиною.

Так, якщо у 2017 р. фірма «Claas E Systems KGaA mbH» патентує систему, засновану на штучному (машинному) зорові

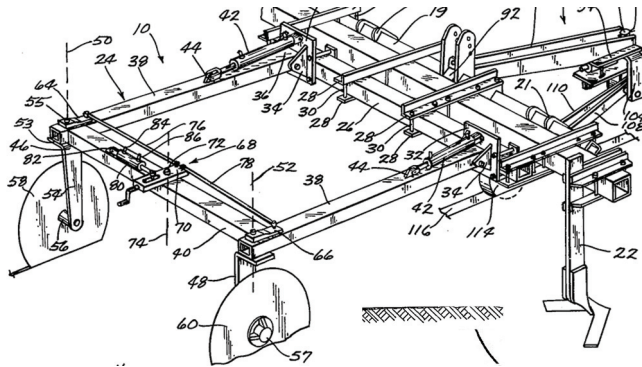


а

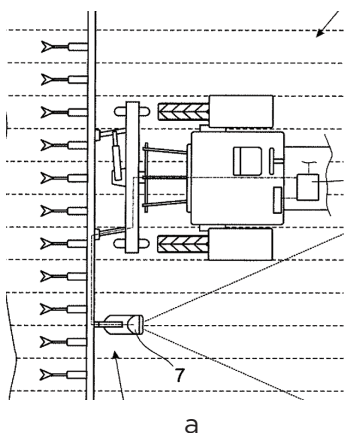


б

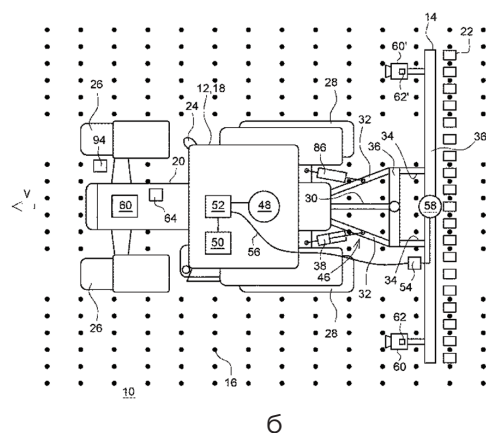
**Рисунок 6** – Засіб позиціонування агрегату відносно поверхні поля фірми «ORTHMAN MANUFACTURING, INC». [Scarfone et al., 2021; Implement Guidance, 2023]: а – вигляд знаряддя «Tracker IV system», де 1 - гідравлічний циліндр керування орієнтацією дискових ножів, 2 - корпус шарніру з вертикальною віссю для зміни орієнтації дискових ножів, 3 - тяги повідців дискових ножів, 4 - GPS-антена, 5 - рама, 6 - кронштейн дискових ножів зі зрізним болтом; б - знаряддя «Tracker IV system» у роботі в складі ґрунтообробно-посівного агрегата



**Рисунок 7** – Кермовий пристрій для просапного культиватора за патентом US4184551 заявника «Orthman Manufacturing, Inc.», 1980 р. [Orthman, 1977]



а



б

**Рисунок 8** – Схеми систем для керування положенням знаряддя відносно рослин шляхом зміщення знаряддя відносно транспортного засобу: а - за патентом DE102017113726A1 [Jensen et al., 2017], б - за патентом US11324158 [Kremmer et al., 2019]

для ведення вздовж рядків (рис. 8 а) [Jensen et al., 2017], то у 2019 р. фірма «Deere and Co» патентує конструктивно схожу систему, але її реалізація відбувається на визначенні положення окремої рослини (рис. 8 б) [Kremmer et al., 2019].

Технології штучного зору та відповідні технічні засоби використовуються як штатна комплектація в серійних агрегатах «Deere & Company» (рис. 9) [AutoTrac™ Vision, 2023].

Завдяки фронтальній камері система розпізнає ранні сходи кукурудзи, соєвих бобів і бавовни висотою від 10 см до 15 см, придатна для роботи з системами контрольованого трафіку (коліїні системи) під час обробки невисоких злаків. Система забезпечує центральне положення коліс транспортного засобу між рядками та зменшує загальне пошкодження культур, посіяних без систем навігації або для полів, де недоступні лінії навігації [AutoTrac™ Vision, 2023].

Наразі стандартом технічних засобів позиціонування сільськогосподарських агрегатів на поверхні поля є поєднання глобального позиціонування з використанням супутникових систем (GPS) і локального коригування положення агрегату системою «Guidance Radio RTK», розроблених і впроваджених фірмою «Deere & Company» (рис. 10). Система «забезпечує точність +/- 1 дюйм від проходу до проходу сезон за сезоном і рік за роком» [Radio RTK 900, 2023].

Сучасний стан розвитку інформаційних технологій і засобів дав змогу безпосередньо ввести інформаційний компонент у технологічний



**Рисунок 9** – Автоматичне рульове керування агрегатами на полях, що були засаджені без використання систем навігації з оптичним відстеженням рядків «AutoTrac™ Vision» фірми «Deere & Company» [AutoTrac™ Vision, 2023]

**Рисунок 10** – Ілюстрація системи корекції положення агрегата «Guidance Radio RTK» фірми «Deere & Company» [Radio RTK 900, 2023]

процес перетворення стану оброблюваного шару ґрунту. Одночасно здійснюються процеси отримання поточних значень показників стану параметрів ґрунту, обробка інформації та реалізація зміни стану ґрунту шляхом внесення біологічного матеріалу, енергії та речовини [Levy et al., 2016].

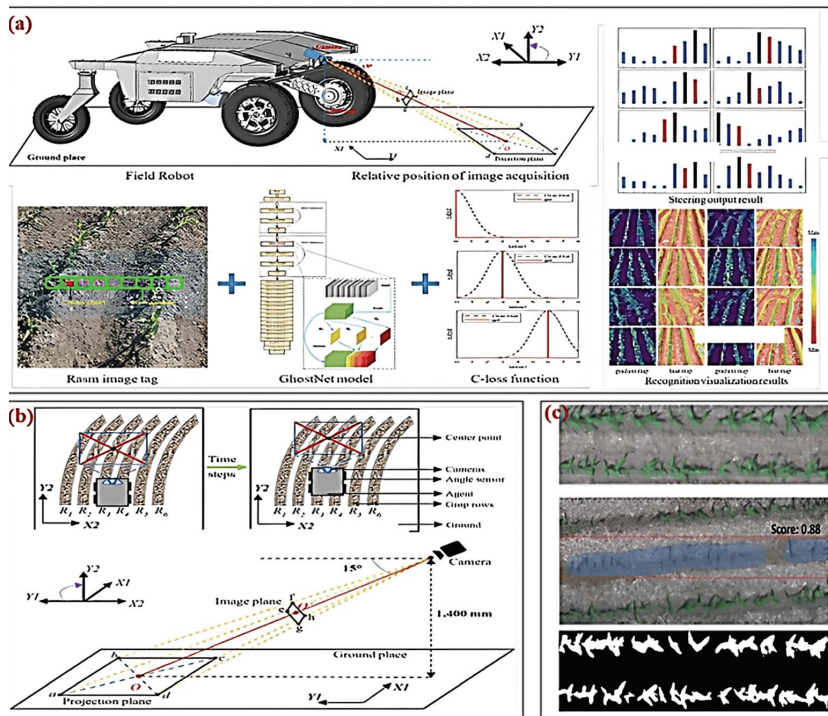
У дослідженнях Scarfone et al. (2021) визначено, що відправною точкою точного землеробства можна вважати впровадження супутникового наведення трактора. Наприклад, завдяки напівавтоматичному й автоматичному керуванню трактором фермери можуть отримати економічну вигоду від більшої точності та високої продуктивності трактору в ході одночасного виконання декількох сільськогосподарських операцій, наприклад, оранки, боронування, посіву й внесення добрив. Порівняння напівавтоматичного керування з механічним керуванням під час сівби пшениці, оцінка таких параметрів, як продуктивність машини, подача насіння та експлуатаційні витрати обох конфігурацій засвідчило, що супутникове наведення дає вищу точність, витрати на посів, а споживання палива зменшуються. Це було досягнуто за рахунок точності позиціонування до одного сантиметра в GNSS з алгоритмом RTK.

У дослідженні Pang et al. (2020) визначено, що дистанційне зондування на основі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та подальше використання дескрипторів інформації засобами нейронних мереж

застосовується для визначення насаджень кукурудзи в ранній період на відносно великих територіях. Алгоритм сегментує ряд культур незалежно від умов рельєфу поля. Такий метод, на відміну від традиційного, зокрема ручної інспекції, дає змогу не лише економити на людських ресурсах, але й забезпечує точність оцінки до 95,8% та за рахунок високої точності застосовується в режимі реального часу.

В оглядовому дослідженні Shi et al. (2023) аналізується навігація і позиціонування сільськогосподарських роботів та автономних транспортних засобів на полях із просапними культурами на основі виявлення рядків. Відмічається, що виявлення рядків культур є однією з основоположних і ключових елементів технологій навігації та автоматизованого землеробства на таких полях (рис. 11).

За дослідженнями Lachgar et al. (2022) визначено, що використання методу глибокого машинного навчання (Deep Machine Learning Method) застосовується для створення алгоритмів машинного виявлення посівів. «На відміну від традиційного поверхневого навчання, глибоке навчання приділяє більше уваги глибини та особливостям вивчення модельних структур з метою створення нейронної мережі, яка може аналізувати та навчатися у спосіб, подібний до людського мозку» [Kamilaris, Prenafeta-Boldo, 2018]. Цей метод продемонстрував значні покращення порівняно з традиційними алгоритмами комп'ютерного зору для ідентифікації



**Рисунок 11** – Схема виявлення рядків сільськогосподарських культур [Shi et al., 2023]: (a) – схема процесу оптичного виявлення та обробки зображення рядка на кукурудзяному полі; (b) - схема положення відеокамери під час збору даних; (c) - результати розпізнавання зображень рядків культур за допомогою нейронної мережі [Pang et al., 2020]

рядків посівів, особливо в таких складних умовах, як змінне освітлення, погода та польові умови.

У науковому доробку Doha et al. (2021) узагальнюється те, що «дослідження використовували такі методи глибокого машинного навчання, як Faster R-CNN, YOLOv3, Mask R-CNN і DeepLabv3+, для виявлення рядів культур із зображень, зроблених дронами, тракторами чи роботами. Значною проблемою виявлення культур на основі глибокого навчання є відсутність анотованих даних навчання для конкретних культур, стадій росту та польових умов [Pison et al., 2022]. Створення таких наборів даних потребує значного часу та ресурсів, а їхня якість і розмір можуть значно вплинути на точність і надійність моделей. Окрім того, «обчислювальні витрати на навчання моделей глибокого машинного навчання можуть бути непомірно високими для пристроїв і систем з обмеженими ресурсами» [de Silva

et al., 2022].

Таким чином, у ряді досліджень визначено, що людський мозок є еталоном, тобто компонент «людина» не може бути замінений компонентами «енергія»/«речовина»/«інформація».

**Висновки.** Сучасний стан інформаційних технологій і засобів дав змогу безпосередньо ввести інформаційний компонент у технологічний процес перетворення стану оброблюваного шару ґрунту. Етапи розвитку технологій характеризуються перерозподілом часток компонентів у системі енергія/речовина/інформація/людина у бік збільшення компонента «інформація» та кардинального зменшення компонента «людина» шляхом заміщення людської логіки.

З розвитком систем позиціонування на полі рухомих сільгоспагрегатів, високодеталізованих електронних карт стану ґрунту, можливостей вимірювання показників стану ґрунту й рослини у реальному часі з'явилися нові агротехнологічні вимоги, що спонукає до розробки нових технічних засобів обробітку ґрунту та догляду за посівами.

Системи корекції положення сільгоспагрегатів у реальному часі – «RTKS» – з'явилися від початку розвитку засобів механізації та базувалися на логіці людини-оператора. У процесі розвитку відбулося заміщення людської логіки та людської фізичної сили на системи з машинної логікою та автоматизацією виконавчих механізмів із переходом до штучного інтелекту.



## Перелік літератури

- Адамчук, В. В., Мойсеєнко, Д. О. (2001). Землеробство майбутнього і техніка для нього. Вісник аграрної науки, 11, 55–60.
- Алтибаєв, А. Н., Ветохін, В. І. (2022). Інформаційно-технологічні аспекти прикладних досліджень процесів машиновикористання. Збірник наукових доповідей ХХІІ Міжнародної наукової конференції «Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» (23 вересня 2022 року), УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 13-16. URL: [http://www.ndipvt.com.ua/uploads/zbirnyk-tez\\_09-2022.pdf](http://www.ndipvt.com.ua/uploads/zbirnyk-tez_09-2022.pdf).
- Аніскевич, Л. В. (2005). Системи керування нормами внесення матеріалів в технологіях точного землеробства [Автореф. дис... д-ра техн. наук, Національний аграрний ун-т]. 36 с.
- Аніскевич, Л. В., Войтюк, Д. Г., Захарін, Ф. М. (2012). Навігація і управління рухом безпілотних польових машин. Київ : КМ України, НУБіП України. 95 с.
- Ветохін, В. І., Алтибаєв, А. Н. (2017). Аналіз властивостей ґрунту стосовно процесу управління його станом з мінімальними витратами ресурсів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарства України, 21, 332-338. Відновлено з: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar\\_2017\\_21\\_46](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2017_21_46).
- Ветохін, В. І., Амосов, В. В., Голдибан, В. В., Боровик, О. Ю., Біловод, І. В. (2020). Огляд розвитку засобів для орієнтації просапних знарядь вздовж рядків, зокрема при вирощуванні цукрових буряків. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарства України. 26(40). 30-46. [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2020-1-26\(40\)-2](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2020-1-26(40)-2).
- Ветохін, В. І., Рижкова, Т. Ю., Негребський, І. С., Сало, Я. М. (2023). Методика досліджень інформаційних науково-технічних ресурсів з використанням сервісу GOOGLE PATENTS. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарства України. 32(46). 198-208. [dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-1-32\(46\)-18](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-1-32(46)-18).
- Войтюк, Д. Г., Аніскевич, Л. В., Михайлевський, В. А. (2004). Інформаційні технології точного землеробства. Відновлено з: <http://www.picad.com.ua/0104/pdf/28.pdf>.
- Глуховский, В. С., Ветохин, В. И., Данченко, В. Н., Мухин, Ю. С., Бернасовский, К. К., Чернявский, Г. В. (1986). Рабочий орган для нарезки щелей в почве. Патент СССР 1396975. Ужгород: Государственный комитет СССР по делам изобретений и открытий. <https://patents.google.com/patent/SU1396975A1/en?q=su1396975>.
- Кравчук, В. І., Сінченко, В. М., Іванюта, М. В., Шустік, Л. П. (2022). Потоків визначення щільності ґрунту. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарства України. 30(44). 107-114.
- Кравчук, В., Любченко, С., Ковтуненко, О. (2009). Інтегрована система технологій керованого землеробства. Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого «Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарства України». 13 (27). Кн. 2. 50–52.
- Надикто, В. Т. (2010). GPS – навігатор на сівбі просапних. The Ukrainian Farmer, 3, 94-95.
- AutoTrac™ Vision (2023). Deere and Co. Retrieved from <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/auto-trac-vision/>.
- de Silva, R., Cielniak, G., Wang, G., Gao, J. (2022). Deep learning-based Crop Row Following for Infield Navigation of Agri-Robots. arXiv, arXiv:2209.04278. <http://arxiv.org/abs/2209.04278>
- Doha, R., Al Hasan, M., Anwar, S., Rajendran, V. (2021). Deep learning based crop row detection with online domain adaptation. In Proceedings of the 27th ACM SIGKDD

Conference on Knowledge Discovery Data Mining, Singapore, 14-18 August 2021, pp. 2773-2781.

Hobday, St. W., Hobday, D. St. (1970). Vehicle guidance systems. (Patent US No. 3679019A). *Applic.* 1970-06-29; *Public.* 1972-07-25. <https://patents.google.com/patent/US3679019A/en?q=US3679019A>

Implement Guidance (2023). Orthman Manufacturing, Inc. Retrieved from <https://orthman.com/wp-content/uploads/2020/08/orthman-implement-guidance.pdf>.

Jensen, M. F., Lisouski, P., Andersen, G. L., Blas, M. R. (2017). Landwirtschaftliche Arbeitsmaschine. (Patent DE No. 102017113726A1). *Applic.* Claas E Systems KGaA mbH and Co KG 2017-06-21; *Public.* 2018-12-27. <https://patents.google.com/patent/DE102017113726A1/>

Kamilaris, A., Prenafeta-Boldo, F.X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Comput. Electron. Agric.*, 147, 70–90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>.

Kremmer, M., Schaefer, T., Lawson, J.T., Meyer, M. (2019). System and method for controlling an implement connected to a vehicle. (Patent US No. 11324158). *Applic.* Deere and Co, 2019-10-25; *Public.* 2022-05-10. <https://patents.google.com/patent/US11324158B2>.

Lachgar, M., Hrimech, H., Kartit, A. (2022). Optimization techniques in deep convolutional neuronal networks applied to olive diseases classification. *Artif. Intell. Agric.*, 6, 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2022.06.001>

Levy, K., Radtke, I., Leman, T. (2016). Systems, methods, and apparatus for agricultural liquid application. (Patent WO No. 2016/205421A1). *Applic.* Deere and Co, 2016-06-15; *Public.* 2016-12-22. <https://patents.google.com/patent/WO2016205421A1/en?q=WO2016%2f205421A1>

Newell, M. H. (1980). Guidance system for tracklaying tractors. (Patent US No. 4298084A). *Applic.* 1980-04-10; *Public.* 1981-11-03. <https://patents.google.com/patent/US4298084A/en?q=US4298084A>

Orthman, H. K. (1977). Steering device for row crop cultivator. (Patent US No.

4184551). *Applic.* Orthman Manufacturing, Inc., 1977-11-16; *Public.* 1980-01-22. <https://patents.google.com/patent/US4184551A/>

Pang, Y., Shi, Y., Gao, S., Jiang, F., Veeranampalayam-Sivakumar, A.N., Thompson, L., Liu, C. (2020). Improved crop row detection with deep neural network for early-season maize stand count in UAV imagery. *Comput. Electron. Agric.*, 178, 105766. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105766>.

Picon, A., San-Emeterio, M.G., Bereciartua-Perez, A., Klukas, C., Eggers, T., Navarra-Mestre, R. (2022). Deep learning-based segmentation of multiple species of weeds and corn crop using synthetic and real image datasets. *Comput. Electron. Agric.*, 194, 106719.

Radio RTK 900 (2023). Deere and Co. Retrieved from <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/rtk-radio-900/>.

Rose Ch. B. (1922). Tractor attachment. (Patent US No. 1472888). *Applic.* MOLINE PLOW Co Inc., 1922-02-09; *Public.* 1923-11-06.

Scarfone, A., Picchio, R., del Giudice, A., Latterini, F., Mattei, P., Santangelo, E., Assirelli, A. (2021). Semi-Automatic Guidance vs. Manual Guidance in Agriculture: A Comparison of Work Performance in Wheat Sowing. *Electronics*, 10, 825. <https://doi.org/10.3390/electronics10070825>

Shi, J., Bai, Y., Diao, Z., Zhou, J., Yao, X., Zhang, B. (2023). Row Detection BASED Navigation and Guidance for Agricultural Robots and Autonomous Vehicles in Row-Crop Fields: Methods and Applications. *Agronomy*, 13(7), 1780. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071780>.

Vrchota, J., Pech, M., Љвереловб, I. (2022). Precision Agriculture Technologies for Crop and Livestock Production in the Czech Republic. *Agriculture*, 12, 1080. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081080>.

## References

Adamchuk, V. V., & Moiseenko, D. O. (2001). Farming of the future and machinery

for it. *Bulletin of Agricultural Science*, 11, 55-60.

Altibaev, A. N., & Vetokhin, V. I. (2022). Information and technological aspects of applied research of machine use processes. Collection of scientific reports of the XXII International Scientific Conference «Scientific and Technical Bases of Development, Testing and Forecasting of Agricultural Machinery and Technologies» (23 September 2022), L. Pogorilyi UkrNDIPVT, 13-16. URL: [http://www.ndipvt.com.ua/uploads/zbirnyk-tez\\_09-2022.pdf](http://www.ndipvt.com.ua/uploads/zbirnyk-tez_09-2022.pdf).

Aniskevych, L. V. (2005). Systems for controlling the norms of material application in precision farming technologies [PhD thesis... Doctor of Technical Sciences, National Agrarian University].

Aniskevych, L. V., Voytyuk, D. G., & Zakharin, F. M. (2012). Navigation and motion control of unmanned field machines. Kyiv: CM of Ukraine, NULES of Ukraine. 95 c.

AutoTrac™ Vision (2023). Deere and Co. Retrieved from <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/auto-trac-vision/>.

de Silva, R., Cielniak, G., Wang, G., & Gao, J. (2022). Deep learning-based Crop Row Following for Infield Navigation of Agri-Robots. arXiv, arXiv:2209.04278. <http://arxiv.org/abs/2209.04278>

Doha, R., Al Hasan, M., Anwar, S., & Rajendran, V. (2021). Deep learning based crop row detection with online domain adaptation. In *Proceedings of the 27th ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery Data Mining*, Singapore, 14–18 August 2021, pp. 2773–2781.

Glukhovskii, V. S., Vetokhin, V. I., Danchenko, V. N., Mukhin, Y. S., Bernasovskiy, K. K., & Cherniavskiy, G. V. (1986). Working tool for cutting slots in the soil. USSR patent 1396975. Uzhhorod: USSR State Committee for Inventions and Discoveries. <https://patents.google.com/patent/SU1396975A1/en?q=SU1396975>.

Hobday, St. W., & Hobday, D. St. (1970). Vehicle guidance systems. (Patent US No. 3679019A). *Applic.* 1970-06-29; *Public.*

1972-07-25. <https://patents.google.com/patent/US3679019A/en?q=US3679019A>

Implement Guidance (2023). Orthman Manufacturing, Inc. Retrieved from <https://orthman.com/wp-content/uploads/2020/08/orthman-implement-guidance.pdf>.

Jensen, M. F., Lisouski, P., Andersen, G.L., & Blas, M. R. (2017). Landwirtschaftliche Arbeitsmaschine. (Patent DE No. 102017113726A1). *Applic.* Claas E Systems KGaA mbH and Co KG 2017-06-21; *Public.* 2018-12-27. <https://patents.google.com/patent/DE102017113726A1/>

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldo, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Comput. Electron. Agric.*, 147, 70-90. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016>.

Kravchuk, V. I., Sinchenko, V. M., Ivaniuta, M. V., & Shustik, L. P. (2022). In-line determination of soil density. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. 30(44). 107-114.

Kravchuk, V., Lyubchenko, S., & Kovtunencko, O. (2009). Integrated system of technologies of controlled agriculture. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. 13 (27). Book 2. 50-52.

Kremmer, M., Schaefer, T., Lawson, J.T., & Meyer, M. (2019). System and method for controlling an implement connected to a vehicle. (Patent US No. 11324158). *Applic.* Deere and Co, 2019-10-25; *Public.* 2022-05-10. <https://patents.google.com/patent/US11324158B2>.

Lachgar, M., Hrimech, H., & Kartit, A. (2022). Optimization techniques in deep convolutional neuronal networks applied to olive diseases classification. *Artif. Intell. Agric.*, 6, 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2022.06.001>

Levy, K., Radtke, I., & Leman, T. (2016). Systems, methods, and apparatus for agricultural liquid application. (Patent WO No. 2016/205421A1). *Applic.* Deere and Co, 2016-06-15; *Public.* 2016-12-22. <https://patents.google.com/patent/WO2016205421A1/en?q=WO2016%2f205421A1>

- Nadykto, V. T. (2010). GPS - a navigator for sowing row crops. *The Ukrainian Farmer*, 3, 94-95.
- Newell, M. H. (1980). Guidance system for tracklaying tractors. (Patent US No. 4298084A). *Applic.* 1980-04-10; *Public.* 1981-11-03. <https://patents.google.com/patent/US4298084A/en?q=US4298084A>
- Orthman, H. K. (1977). Steering device for row crop cultivator. (Patent US No. 4184551). *Applic.* Orthman Manufacturing, Inc., 1977-11-16; *Public.* 1980-01-22. <https://patents.google.com/patent/US4184551A/>
- Pang, Y., Shi, Y., Gao, S., Jiang, F., Veeranampalayam-Sivakumar, A. N., Thompson, L., & Liu, C. (2020). Improved crop row detection with deep neural network for early-season maize stand count in UAV imagery. *Comput. Electron. Agric.*, 178, 105766. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105766>.
- Picon, A., San-Emeterio, M.G., Bereciartua-Perez, A., Klukas, C., Eggers, T., & Navarra-Mestre, R. (2022). Deep learning-based segmentation of multiple species of weeds and corn crop using synthetic and real image datasets. *Comput. Electron. Agric.*, 194, 106719.
- Radio RTK 900 (2023). Deere and Co. Retrieved from <https://www.deere.com/en/technology-products/precision-ag-technology/guidance/rtk-radio-900/>.
- Rose, Ch. B. (1922). Tractor attachment. (Patent US No. 1472888). *Applic.* MO-LINE PLOW Co Inc., 1922-02-09; *Public.* 1923-11-06. <https://patentimages.storage.googleapis.com/be/3a/82/617f9fd7ec3f9d/US1472888.pdf>
- Scarfone, A., Picchio, R., del Giudice, A., Latterini, F., Mattei, P., Santangelo, E., & Assirelli, A. (2021). Semi-Automatic Guidance vs. Manual Guidance in Agriculture: A Comparison of Work Performance in Wheat Sowing. *Electronics*, 10, 825. <https://doi.org/10.3390/electronics10070825>
- Shi, J., Bai, Y., Diao, Z., Zhou, J., Yao, X., & Zhang, B. (2023). Row Detection BASED Navigation and Guidance for Agricultural Robots and Autonomous Vehicles in Row-Crop Fields: Methods and Applications. *Agronomy*, 13(7), 1780. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071780>.
- Vetokhin, V. I., & Altibaev, A. N. (2017). Analysis of soil properties in relation to the process of managing its condition with minimal resource consumption. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine, 21, 332-338. Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar\\_2017\\_21\\_46](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2017_21_46).
- Vetokhin, V. I., Amosov, V. V., Goldyban, V. V., Borovyk, O. Y., & Bilovod, I. V. (2020) Review of the development of means for orientation of row crop tools along rows, in particular in sugar beet cultivation. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. 26(40). 30-46. [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2020-1-26\(40\)-2](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2020-1-26(40)-2).
- Vetokhin, V. I., Ryzhkova, T. Y., Negrebitskyi, I. S., & Salo, Y. M. (2023). Methodology for researching information scientific and technical resources using the GOOGLE PATENTS service. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. 32(46). 198-208. [dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2023-1-32\(46\)-18](https://doi.org/10.31473/2305-5987-2023-1-32(46)-18).
- Voytyuk, D. G., Aniskevich, L. V., & Mikhailovsky, V. A. (2004). Information technologies of precision agriculture. Retrieved from: <http://www.picad.com.ua/0104/pdf/28.pdf>.
- Vrchota, J., Pech, M., & Љверелъовб, I. (2022). Precision Agriculture Technologies for Crop and Livestock Production in the Czech Republic. *Agriculture*, 12, 1080. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081080>.

UDC 631.3

## MEANS OF AGRICULTURAL AGGREGATES POSITIONING ON THE SURFACE OF THE FIELD: ASPECTS OF THE MODERN STATE

**Vetokhin V.**, D-r of Tech. Scs., Ph.D.,

<https://orcid.org/0000-0002-7299-3094>, e-mail: veto.vladim@gmail.com

**Zagriviyy R.**,

<https://orcid.org/0009-0004-8845-3780>, roman.zahryvyi@pdau.edu.ua

**Ryzhkova T.**,

<https://orcid.org/0000-0002-2403-6396>, tetiana.ryzhkova@pdaa.edu.ua

**Sydorchuk Yu.**,

<https://orcid.org/0009-0002-1840-5367>, e-mail: yurii.sydorchuk@pdau.edu.ua

Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

### Summary

**The purpose of research** – analysis of the development of the principles of agricultural machines positioning on the field surface and their constructive solutions as a basis for improvement and development of new tillage tools.

**Methods.** Analytical research of technical means and generalization of the principles of positioning of the agricultural unit and its working bodies relative to a specific area is carried out with the selection of system components substance/energy/information/ person and assessment of the change in the fate of the components with the development of means. The information component is considered as a component that organizes other system components.

**The results.** Agricultural technology, which contains regulations and processes for the use of mechanization tools, can generally be considered as a set of processes of transformation of the state of the cultivated environment by adding/removing components of energy, matter and information.

At the same time, the processes of obtaining information about the current values of soil condition indicators, processing information, and implementing algorithms for changing the condition of the soil and plants are carried out. This approach within precision agriculture requires global and local positioning of the working body.

With regard to the soil tillage unit, global positioning has evolved from implementation entirely due to the intelligence of the person operator to implementation by satellite communication technologies. Local positioning, which began as tracking a furrow from a previous pass with person vision and a variety of amplifiers, has progressed to the use of artificial vision with algorithms to map to a micro-section of a field, a row of plants, and an individual plant.

**Conclusions.** The modern state of information technologies and means allowed to directly introduce the information component into the technological process of transforming the state of the treated soil layer. The stages of technology development are characterized by the redistribution of components in the energy/substance/information/person system in the direction of an increase in the information component and a drastic decrease in the person component.

With the development of systems for positioning mobile agricultural units in the field, electronic maps of soil conditions with high detail, the ability to measure indicators of soil and plant conditions in the current time, new agro-technological requirements have appeared, which requires the development of new technical means of soil cultivation and crop care.

**Keywords:** precision agriculture, agricultural unit, means of positioning, control, resource system energy/material/information/person.