

<https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-2-22>

УДК 631.356.2

Аналіз використання систем автоматичного керування на знищенні бур'янів в умовах органічного вирощування овочевих та просапних культур

Борис А. М.,

к.т.н., заступник директора з наукової роботи, Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН; ORCID iD 0000-0003-2874-7053

Савченко І. Ф.,

к.т.н., с.н.с., завідувач відділу механіко-технологічних проблем овочівництва, Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН; ORCID iD 0000-0002-0349-2886

Рихлівський П. А.,

к.т.н., с.н.с., Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН; ORCID iD 0000-0001-6567-192X

Усік О. І.,

аспірант, Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН; ORCID iD 0009-0005-3001-8935

Галай В. С.,

головний інженер-конструктор, ТОВ «АЗТЕХ-Україна»; ORCID iD 0000-0002-8097-9356

Анотація

Мета. Проаналізувати стан розроблення систем автоматичного керування МТА у світі та Україні й визначити раціональний напрям розроблення нових систем. Зменшення затрат ручної праці на знищення бур'янів під час вирощування екологічно безпечних овочевих та просапних культур. Зменшення захисних зон під час знищення бур'янів у міжряддях та рядках овочевих і просапних культур.

Методи. Монографічний, аналітичний, абстрактно-логічний, конструкційного моделювання, проектування та виготовлення альтернативних систем автоматичного керування МТА для реалізації ефективних способів боротьби з бур'янами в системі органічного землеробства.

Результати. Проведено аналіз технологічних рішень із використанням спеціалізованих технічних засобів, обладнаних автоматизованими системами керування МТА. Проведено техніко-економічний аналіз використання технічних засобів для автоматизованого керування МТА. Обґрунтовано структурно-функціональну схему системи автоматичного підведення робочих органів просапного культиватора до рядка культурних рослин.

Висновки. За результатами аналізу встановлено, що для автоматичного водіння МТА в агрегативанні із сільськогосподарськими технічними засобами найактуальніше використовувати засоби GNSS, які являють собою систему супутникової навігації, створену з метою позиціонування (визначення місця розташування в просторі, тобто координат) об'єктів.

Розроблена в ІМА АПВ НААН система автоматичного керування дозволить забезпечити збільшення продуктивності роботи та якість виконання операцій знищення бур'янів механічними культиваторами під час роботи з мінімальними захисними зонами (2–3 см) або знищення бур'янів у рядку сільськогосподарських культур (кукурудза, соняшник, розсада томатів, часник) поліуретановими пальчиково-зірчастими дисками.

Ключові слова: система автоматичного керування, система управління, штучний інтелект, камера відеозору, технічні засоби, машинно-тракторні агрегати, боротьба з бур'янами, органічне вирощування.

UDC 631.356.2

Analysis of the use of automatic control systems for the destruction of weeds in the conditions of organic cultivation of vegetable and row crops

Boris A. M.,

Ph.D., Head of the department of automation of technological processes and equipment in agro-industrial production, Institute of Mechanics and Automatics of Agroindustrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine; ORCID iD 0000-0003-2874-7053

Savchenko I. F.,

Ph.D., Senior Research Fellow, Head of the Department of Mechanical and Technological Problems of Vegetable Growing, Institute of Mechanics and Automatics of Agroindustrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine; ORCID iD 0000-0002-0349-2886

Rykhliivskyi P. A.,

Ph.D., Senior Researcher, Institute of Mechanics and Automatics of Agroindustrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine; ORCID iD 0000-0001-6567-192X

Usik O. I.,

Postgraduate, Institute of Mechanics and Automatics of Agroindustrial Production of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine; ORCID iD 0009-0005-3001-8935

Galai V. S.,

chief design engineer, LLC "AZTECH-Ukraine"; ORCID iD 0000-0002-8097-9356

Annotation

Purpose. To analyze the state of development of MTU automatic control systems in the world and Ukraine and determine the rational direction for the development of new systems. Reducing the cost of manual labor for the destruction of weeds when growing environmentally friendly vegetable and row crops. Reduction of protective zones during the destruction of weeds in row-spacings and rows of vegetable and tilled crops.

Methods. Monographic, analytical, abstract-logical, structural modeling, design and manufacture of alternative MTU automatic control systems for the implementation of effective methods of weed control in the organic farming system.

Results. The analysis of technological solutions was carried out using specialized technical means equipped with automated control systems of the MTU. A technical and economic analysis of the use of technical means for the automated control of the MTU was carried out. The structural and functional scheme of the system for automatically bringing the working bodies of the row cultivator to the row of cultivated plants is substantiated.

Conclusions. According to the results of the analysis, it was found that for automatic driving of the MTU in aggregation with agricultural technical means, it is most relevant to use GNSS tools, which are a satellite navigation system created for the purpose of positioning (determining the location in space – that is, coordinates) of objects.

The automatic control system developed at the IMA AIP NAAS will allow to increase the productivity and quality of weeding operations by mechanical cultivators when working with minimal protective zones (2–3 cm) or weeding in a row of agricultural crops (corn, sunflower, tomato seedlings, garlic) with polyurethane finger-star discs.

Keywords: automatic control system, control system, artificial intelligence, video vision camera, technical means, machine and tractor units, weed control, organic cultivation.

Постановка проблеми. На сьогодні в Україні відсутні спеціалізовані технічні

засоби для автоматизованого керування МТА. Відома система паралельного водіння для сільського господарства розробки КБ «Центр», проте вона не забезпечує автоматичне управління курсом трактора та отримання корекції для точного навігаційного рішення в режимі кінематики реального часу.

Економічна ефективність розробки нової системи автоматичного керування та підведення робочих органів проривного культиватора до рядків культурних рослин забезпечує збільшення продуктивності праці на 10 % та зменшення витрат технологічних матеріалів до 30 % [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найвідомішими виробниками GNSS засобів, що застосовуються в сільському господарстві, є такі, як: NovAtel Glide, EPS, Emlid, Trimble CFX-750, E-farmer, Геометр.

NovAtel компанія – розробник функціонально безпечних інтегрованих технологічних рішень глобального позиціонування. Технологія GLIDE – це технологія високопродуктивної передачі даних для таких додатків, як сільське господарство.

Перевагою застосування технології GLIDE є забезпечення згладжування положення ровера, підходить для більшості сільськогосподарських операцій та машинних систем наведення.

Також на ринку присутні рішення від світових брендів навігації AG leader, Raven, John Deere. Ці системи є професійними закінченими продуктами, які включають усі наведені вище функції, проте працюють вони зазвичай у складі готових систем навігації й несумісні з іншими системами [1–9].

Мета досліджень. Проаналізувати стан розроблення систем автоматичного керування МАТ у світі та Україні й визначити раціональний напрям розроблення нових систем.

Зменшення затрат ручної праці на знищення бур'янів під час вирощування екологічно безпечних овочевих та просапних культур. Зменшення захисних зон під час знищення бур'янів у міжряддях та рядках овочевих і просапних культур.

Методи досліджень. Монографічний, аналітичний, абстрактно-логічний, конструкційного моделювання, проєктування та виготовлення альтернативних технічних засобів для реалізації ефективних способів боротьби з бур'янами в системі органічного землеробства.

Результати досліджень. У світі останніми роками широко розповсюджується застосування штучного інтелекту для виконання механізованих сільськогосподарських операцій. Зокрема, на боротьбі з бур'янами під час руху прополувального агрегату камери відеозору стежать за рядками рослин, інформація передається та аналізується на терміналі й звідти команда надходить на виконавчі

робочі органи. У процесі роботи прополувальних агрегатів, зокрема за використання механічних та вогневих культиваторів, важливе точне їх водіння [1–9].

Einböck, один із провідних виробників сільськогосподарської техніки в Австрії, виготовляє сільськогосподарські технічні засоби, які обладнують автоматичними системами керування на базі камер ROW-GUARD (рис. 1). Система керування на базі камер ROW-GUARD за допомогою пересувної рами управляє прополувальним знаряддям з абсолютною точністю. Завдяки цьому забезпечується точна робота прополувального знаряддя та полегшується праця механізатора навіть за високої швидкості. Навіть для дуже маленьких рослин (від 2 см), рослин різних кольорів або за великої кількості бур'янів система управління на базі камер ROW-GUARD забезпечує підвищену точність в органічному та традиційному землеробстві [4].



Рис. 1. Автоматична система керування на базі камер ROW-GUARD
Fig. 1. Automatic control system based on ROW-GUARD cameras

Налаштування автоматичної системи керування на базі камер легко виконується за допомогою терміналу керування, розташованого в кабіні трактора. За допомогою різних параметрів налаштування, адаптованих до культури (міжряддя, кількість рядків у зоні огляду камери, ширина та висота рослин), поверх зображення накладається відповідна координатна сітка. Із цих даних за допомогою пересувної рами прополувальний агрегат центрується точно вздовж рядка й цим забезпечує вузьку смугу прополювання, що гарантує максимальне знищення бур'янів.

Система точно розпізнає різні просапні культури, працює на різних польових культурах таких кольорів: зелений/синій, зелений/жовтий і

червоний. Використовується за міжряддя від 12,5 см та розміру рослини 1 см (залежно від виду рослини).

Ще більш точне розпізнавання рослин – завдяки 2-й камері (рис. 2). Додаткова камера підвищує експлуатаційну безпеку завдяки дворазовому збільшенню огляду рядків рослин. Для знарядь із системою гідравлічного паралелограмного підйомного механізму SECTION-CONTROL 2-а камера дає значні переваги. Зокрема, на поворотних смугах із гострими кутами рядок рослин завжди залишається в зоні видимості камери, що гарантує повне прополювання аж до останнього ще необробленого рядка.

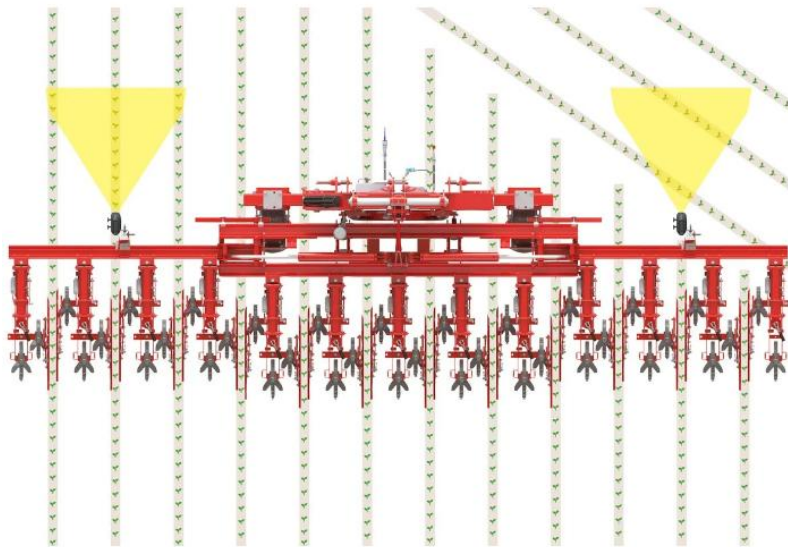


Рис. 2. Автоматична система керування на базі двох камер ROW-GUARD
Fig. 2. Automatic control system based on two ROW-GUARD cameras

Robocrop InRow Weeder від Garford (Швеція) – це рядкові лапи з обертовою сапою (рис. 3). Ці агрегати обладнані високотехнологічними камерами, які оглядають рядки, що підлягають обробці, й реєструють рослини. Потім за допомогою комп'ютера обертові подрібнювачі (сапи) направляються в простір між рослинами. Ефективно видаляються бур'яни як у міжряддях, так і між рослинами, не пошкоджуючи їх [5].



Рис. 3. Прополувальний культиватор Robocrop InRow Weeder з високоточною системою відеозору

Fig. 3. Weeding cultivator Robocrop InRow Weeder with a high-precision video vision system

У культиватора для внутрішньорядкового оброблення Garford Robocrop InRow Weeder використовуються надійні методи аналізу відеозображення Robocrop для виявлення окремих рослин із метою механічного видалення бур'янів усередині рядка між рослинами.

Прополувальний культиватор Robocrop InRow був розроблений для обробки розсадних культур, таких як салат, капуста, селера і т. д., але його можна використовувати для більшості сільськогосподарських культур із рівномірними інтервалами між рослинами та рядками, коли

листя попередньої рослини чітко відокремлено від листя наступної.

Точності обробки, 8 мм від стебла рослини, цілком достатньо, оскільки бур'яни, що знаходяться на відстані менше 8 мм, пригнічуються культурною рослиною. Отже, ця машина забезпечує ефективну боротьбу з бур'янами по всьому полю.

Robocrop InRow Weeder ідеально підходить для фермерів, які вирощують салат та овочі без використання гербіцидів, що дозволяє ефективно боротися з бур'я-

нами та економити на зарплаті за ручну працю.

З 2019 року в рамках пілотного проекту для технологічного стартапу в Сієтлі Carbon Robotics розробили технічний засіб Autonomous LaserWeeder для знищення бур'янів лазером (рис. 4). Агрегат рухається полями зі швидкістю п'ять миль на годину та здатний обробляти від 15 до 20 акрів щодня, в агрегаті використовують комбінацію лазерних технологій, GPS навігації та штучного інтелекту, щоб знищувати 100 000 бур'янів на годину [6, 7].



Рис. 4. Технічний засіб Autonomous LaserWeeder для знищення бур'янів лазером
Fig. 4. Autonomous LaserWeeder technical tool for destroying weeds with a laser

Лазери Autonomous LaserWeeder знищують бур'яни, тоді як GPS, камери та технології штучного інтелекту дозволяють машинам працювати самостійно та допомагають відрізнити бур'яни від культурних рослин. Оскільки ці технології використовують теплову енергію для видалення бур'янів замість фізичного втручання, як-от механічний обробіток землі чи внесення гербіцидів, компанія запевняє, що дія машини не впливає на фізико-механічний стан ґрунту.

ТОВ «А3Тех-Україна» пропонує систему високоточного наведення EXACT (рис. 5), яка забезпечує точне ведення по міжряддю секції культиватора за допомогою захоплення відеокамерою декількох рядків рослин на великій площі. Для роботи системи використовується методика накладання ліній (решіток) на зображення рядків рослин, яке передається через відеосигнал із відеокамери. Така методика забезпечує можливість проведення міжрядного обробітку навіть із невеликим міжряддям (зернові культури) або в разі стрічкової сівби (50x20, 45x15, 10x20 см), або сівби технічних культур із міжряддями 35, 45, 50, 56, 70, 75 і навіть 140 см, з великою швидкістю – 12–15 км/год. Зображення з відеокамери аналізується зі швидкістю 30 кадрів в секунду й передається на монітор у кабіні трактора. Накладені на рядки рослин лінії (сітка) забезпечують точне ведення секції культиватора в міжряддях [8].



Рис. 5. Система високоточного наведення EXACT
Fig. 5. High-precision guidance system EXACT

Крім цього, відеокамера, що використовується в цій системі, здатна розпізнавати велику кількість однакової за пігментацією (колірною гамою) концентрації однорідних рослин (у цьому разі йдеться про рядки рослин) і відрізнити їх від іншої пігментації бур'янів, що зі свого боку забезпечує точну роботу відеокамери, монітора та системи водіння або системи підведення робочих органів просапних культиваторів до рядків культурних рослин. У корпусі монітора знаходяться мікросхеми комп'ютера, які взаємодіють із блоком управління гідроблока системи вирівнювання (підведення). На 3-ох точкову начіпку трактора кріпиться одна частина системи підведення робочих органів просапних культиваторів до рядків культурних рослин, а на раму культиватора – друга, які між собою рухаються за допомогою роликів і гідроциліндрів. У разі відхилення нанесеної лінії на моніторі від рядка посіву комп'ютер обробляє сигнал і подає команду на гідравлічні циліндри системи зсуву, які вирівнюють секції культиватора й постійно тримають їх по центру міжрядь. Це забезпечує точну роботу культиватора без підрізання рядка посіву. Крім цього, внаслідок миттєвої реакції, навіть під час бічного зсуву трактора на схилах, завдяки вільному ходу двох частин системи підведення робочих органів просапних культиваторів до 30 см як вліво, так і вправо від центру трактора, обробіток посівів можливий без підрізання рядків культурних рослин. За потреби здійснюється обробіток посівів цілодобово, камера має можливість розпізнавати рядки навіть уночі. Для більш якісної обробки й впевненості можна зробити підсвітку в зоні захоплення відеокамери за допомогою звичайної фари. У разі сильної засміченості посівів для точного ведення культиватора в

міжряддях на раму культиватора по обидва боки трактора кріпляться під різними кутами відеокамери, які одночасно подають сигнал на монітор із різних площин поля. Монітор може одночасно працювати із 4-ма відеокамерами й якісно здійснювати роботу системи вирівнювання культиватора в міжряддях [7].

В Україні та світі для автоматичного водіння сільськогосподарських агрегатів найчастіше використовують засоби GNSS. GNSS, які являють собою систему супутникової навігації, створену з метою позиціонування (визначення місця розташування в просторі – тобто координат) об'єктів. Окрім визначення місця розташування об'єкта, сучасні навігаційні системи дозволяють визначити напрямок його руху та швидкість [9].

У сільськогосподарських додатках ефективно використовується технологія GLIDE, яка характеризується високопродуктивною передачею даних.

Особливостями технології GLIDE є:

- можливість працювати з одно- та двочастотними приймачами;
- здатність автоматичного перемикання між динамічним та статичним режимами роботи;
- працює лише з GPS або GPS + ГЛОНАСС;
- працює в усіх режимах позиціонування, включаючи Single Point, DGPS та SBAS.

Перевагою застосування технології GLIDE є забезпечення згладжування положення ровера, підходить для більшості сільськогосподарських операцій та машинних систем наведення [1].

На ринку України представлені такі моделі GNSS приймачів.

NovAtel AG-Star-10Hz. Цей приймач є одночастотний. Працює з відносною точністю

до 30 см, яка досягається завдяки програмним фільтрам Novatel GLIDE. За допомогою зовнішнього програмного забезпечення може бути реалізований метод одночастотного RTK із зовнішнім процесором та ПО RTKlib. Добре підходить для невимогливих до особливої точності сільськогосподарських операцій, зокрема: оранка, культивування, боронування, обприскування та ін. Цей приймач доцільно застосовувати у складі систем паралельного водіння та курсовказівників. Абсолютна точність цього приймача в режимі DGPS становить до 0,5 м. Її можна покращити до рівня 4 см у режимі RTK, але застосування зовнішнього процесора здорожчує та ускладнює систему до рівня приймачів з апаратним RTK, тому у складі систем автоматизованого водіння цей приймач застосовувати недоцільно.

Окремої уваги заслуговує приймач вітчизняного виробництва *Agro-Dream* від фірми EPS (Україна, м. Харків) на базі плати NovAtel OEMSTAR-10Hz. Він є повним функціональним аналогом NovAtel AG-Star-10Hz, але вартість його вдвічі менша.

Emlid reach RS2 та ***Emlid reach M2***. Двочастотні приймачі фірми Emlid підтримують режими DGPS, RTK. У режимі DGPS абсолютна точність становить до 0,5 м, а відносна – до 0,3 м. У режимі RTK абсолютна похибка становить до 4 см у плані та до 5 см по висоті. Приймач Emlid reach RS2 може працювати в режимі базової станції та ровера. Він обладнаний 3G модемом та LORA модемом для отримання RTCM корекції. Також фірма Emlid надає NTRIP Caster для організації власної закінченої Ntrip мережі. Слід зазначити, що приймач Emlid Reach RS2 призначений для геодезії, але легко може бути адаптований до встановки на сільськогосподарські агрегати після дообладнання магнітним штативом та адаптером живлення від бортової мережі трактора або іншого сільськогосподарського енергозасоба. Інший приймач Emlid Reach M2 призначений для безпілотних літальних апаратів і потребує крім відповідних кронштейнів та адаптерів гальванічно розв'язаного джерела живлення напругою 5 В та струмом не менше 2 А. Також приймач вимагає зовнішнього USB або WI-FI модема для доступу до Ntrip Castera. Зважаючи на доступність приймача Emlid Reach M2 та його низьку вартість, таке переобладнання є економічно доцільним і дозволяє отримати комплект RTK (базова станція та ровер) із мінімальними витратами. Отже, приймачі фірми Emlid можуть бути

адаптовані до потреб сільськогосподарської навігації й їх доцільно застосовувати як для паралельного водіння, так і для організації автоматизованих систем водіння сільськогосподарських агрегатів.

Фірма Trimble випускає доступне рішення для сільського господарства у вигляді монітора Trimble CFX-750 з інтегрованим двочастотним приймачем, яке представляє закінчену систему паралельного водіння з можливістю модифікації до автоматизованого водіння. Це рішення ідеально підходить для завдань паралельного водіння, які не потребують точності сантиметрового рівня. Проте подальша модифікація пристрою під режим роботи приймача RTK передбачає придбання додаткового обладнання та відповідної ліцензії, що в сумі може переважати вартість самого приладу. Також надалі система може бути розширена до автоматизованого водіння внаслідок підключення сервоприводу рульового керування.

Фірма E-farmer пропонує для ринків Європи та України комплект, який складається з приймача FieldBee RTK та базової станції. Ця система є закінченою RTK системою, яка орієнтована суто на сільськогосподарське виробництво. Присутній радіоінтерфейс для передачі корекційних даних. Для використання інтернет-каналів необхідний зовнішній модем, в якості якого може бути використаний будь-який побутовий модем із функцією точки доступу WI-FI.

GNSS приймач GM RTK від фірми Геометр Інтернешнл – простий двочастотний приймач із радіоінтерфейсом для підключення до систем паралельного та автоматизованого водіння. Підтримує RTK режим, проте потребує зовнішнього NTRIP модема для передачі поправок на приймач.

Також на ринку присутні рішення від світових брендів навігації AG Liader, Raven, John Deere. Ці системи є професійними закінченими продуктами, які включають усі наведені вище функції, проте працюють вони зазвичай у складі готових систем навігації й несумісні з іншими системами.

Усі вищенаведені варіанти GNSS обладнання, крім Trimble CFX-750, не містять монітора і програмного забезпечення для сільськогосподарських робіт, а програмне забезпечення Trimble CFX-750 поставляється тільки з обладнанням і окремо недоступне. На сьогодні існує великий вибір програмного забезпечення для сільськогосподарських робіт.

Доступні на ринку України та Європи підкермові пристрої для автоматизованого водіння. На відміну від GNSS обладнання для автоматизованого водіння на ринку України присутні тільки високовартісні рішення від лідерів у цій галузі Trimble, John Deere, Raven, Ag Leader. Це обладнання добре себе зарекомендувало в аграрних підприємствах України, проте через високу вартість навіть великі агроформування обладнують ними тільки дорожу високопродуктивну техніку на відповідальних операціях, де це економічно доцільно. Також ці системи є повністю закритими і не підтримують навігаційні приймачі сторонніх виробників. Зокрема, на великій кількості тракторів мінського тракторного заводу, а також ХТЗ взагалі немає засобів навігації, або ж є тільки курсовказівники низької якості.

Серед альтернативних варіантів доступних автопілотів слід розглянути комплекти від Trimble, eFarmer, FJ Dynamics, Cerea, Farmtek, IMA-1A.

Слід зазначити, що автопілот Trimble є лідером і підтримує такі унікальні функції, як керування сільськогосподарською машиною через систему ISO BUS, прийом корекційних сигналів через супутникові канали зв'язку та ін. Проте він є високовартісним продуктом і не по кишені пересічному споживачу.

Найбільш близьким його функціональним аналогом в Україні є IMA-1A. Поступається йому лише можливістю навігаційної системи приймати корекцію через супутникові канали зв'язку, що може бути компенсовано базовою станцією з радіозв'язком [9].

Також доступним варіантом є китайський комплект від Fj Dynamics, проте в ньому відсутні функції авторозворотів та відключення секцій.

У відділі агронавігації та атоматизації мобільних процесів Інституту механіки та автоматики АПВ НААН (колишній ННЦ «ІМЕСГ») проводяться науково-дослідні роботи з розробки системи автоматичного підведення робочих органів просапного культиватора до рядків культурних рослин за допомогою начіпки МТА (рис. 6). За результатами літературно-патентного пошуку та техніко-економічного аналізу ефективності використання обладнання, для створення цієї розробки використано системи навігації на основі комплексування даних від систем GNSS RTK та допоміжні системи машинного зору, які доповнюють та корегують дані GNSS. Для корегування даних GNSS вибраний метод лазерного сканування навколишнього простору та побудова карт прохідності за допомогою систем ROS та алгоритмів SLAM.

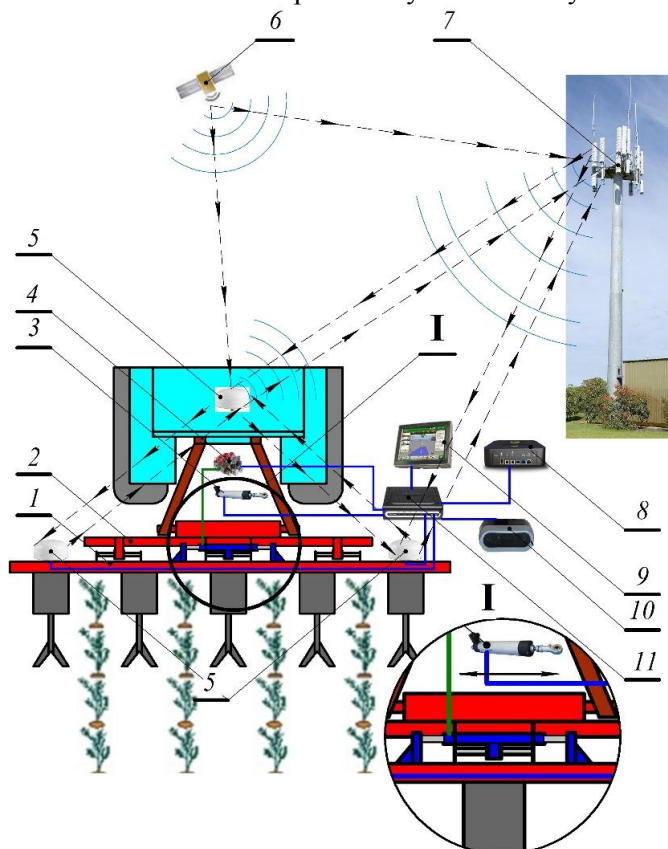


Рис. 6. Структурно-функціональна схема автоматичного підведення робочих органів просапного культиватора до рядків культурних рослин за допомогою начіпки МТА: 1 – рухома рама; 2 – нерухома рама; 3 – датчик положення; 4 – гідроблок; 5 – радіонавігаційні датчики; 6 – супутник; 7 – базова станція; 8 – модем; 9 – термінал; 10 – камера; 11 – контролер

Fig. 6. The structural and functional scheme of the automatic feeding of the working bodies of the row cultivator to the rows of cultivated plants with the help of the MTU attachment: 1 – moving frame; 2 – fixed frame; 3 – position sensor; 4 – hydraulic unit; 5 – radio navigation sensors; 6 – satellite; 7 – base station; 8 – modem; 9 – terminal; 10 – camera; 11 – controller

Розглянемо математичну модель наведення просапного культиватора на міжряддя. Технологія вирощування просапної культури передбачає сівбу рядків за прямолінійною траєкторією за допомогою трактора, керованого автопілотом. Сівба відбувається з деякою похибкою від заданої прямолінійної лінії рядка. Відповідно й фактичний центр міжряддя також буде відрізнятися від заданого прямолінійного центру міжряддя. Розглянемо рух машинно-тракторного агрегату в плоскій системі координат xu . Графічне зображення математичної моделі наведення просапного механічного культиватора на рядки наведено на рисунку 7.

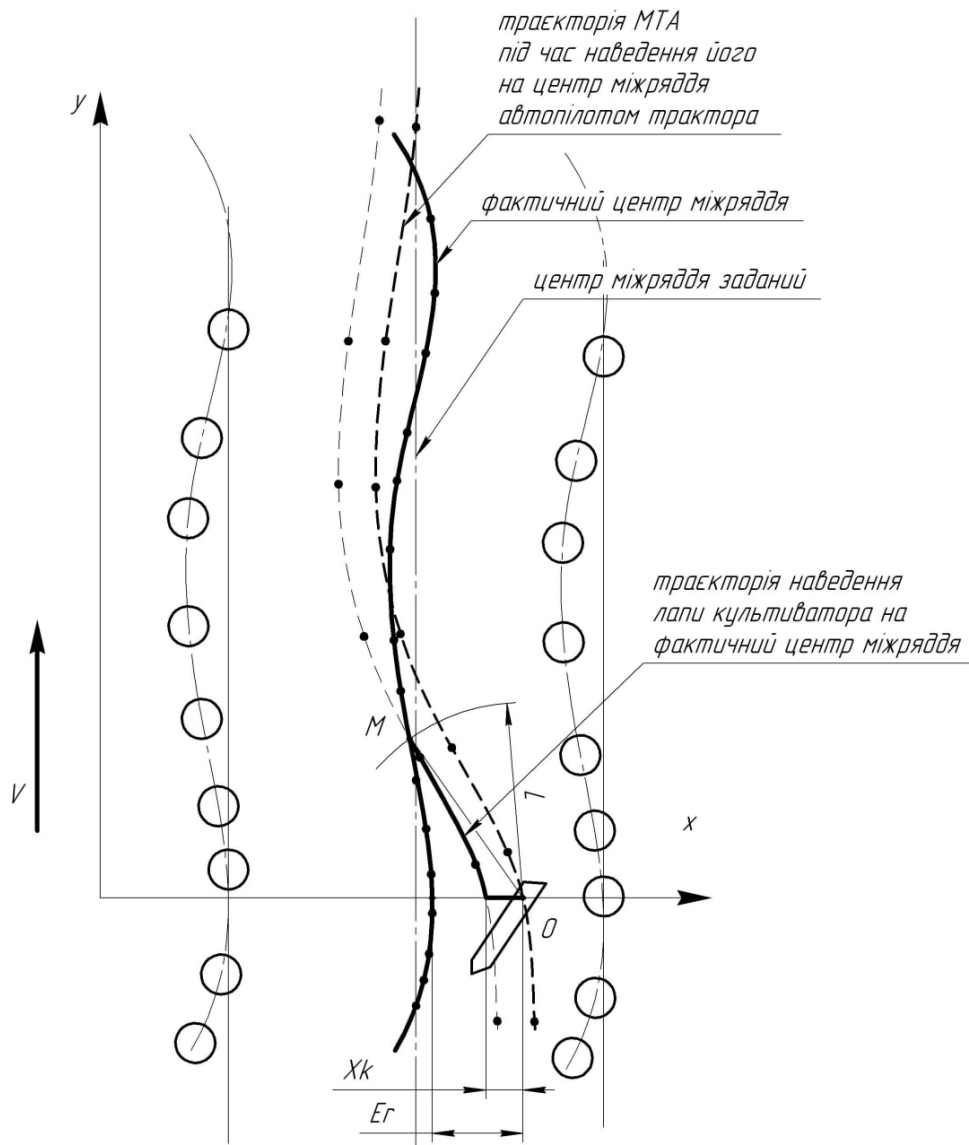


Рис. 7. Графічне зображення математичної моделі наведення просапного механічного культиватора на рядки

Fig. 7. Graphical representation of the mathematical model of guiding the row mechanical cultivator to the rows

Наведення лапи культиватора на фактичний центр міжряддя відбувається так. Розглянемо початкове зміщення лапи культиватора в точці O від фактичного центру міжряддя на величину E_r . Для компенсації зміщення лапа культиватора здійснює складний рух, який складається з переносного руху самого трактора та руху культиватора

відносно осі трактора. Для того, щоб траєкторія наведення лапи культиватора на практичний центр міжряддя була плавною, виберемо точку M на траєкторії фактичного центру міжряддя попереду. Відстань до точки M буде характеризуватися параметром математичної моделі наведення L . Надалі нашим завданням є визначення величини

компенсації в поперечному напрямку X_k . Оскільки лапа культиватора здійснює складний рух, який складається з руху трактора та руху самої лапи відносно трактора з паралельним переносом траєкторії руху трактора до перетину з фактичним центром міжряддя в точці відслідковування траєкторії. Величина цього зміщення й буде величиною корекції X_k . Отже відрізок траєкторії від точки O до точки M і буде траєкторією наведення лапи культиватора на міжряддя.

Указаний цикл наведення повторюється знову за умови отримання нової позиції від датчиків GNSS і камери.

Висновки. За результатами аналізу встановлено, що для автоматичного водіння МТА в агрегуванні із сільськогосподарськими технічними засобами найактуальніше використовувати засоби GNSS, які являють собою систему супутникової навігації, створену з метою позиціонування (визначення місця розташування в просторі, тобто координат) об'єктів.

Розроблена система автоматичного керування в ІМА АПВ НААН дозволить забезпечити збільшення продуктивності роботи та якості виконання операцій знищення бур'янів механічними культиваторами під час роботи з мінімальними захисними зонами (2–3 см) або знищення бур'янів у рядку сільськогосподарських культур (кукурудза, соняшник, розсада томатів, часник) поліуретановими пальчиково-зірчастими дисками.

Бібліографія

1. Науково-технічні основи створення і використання універсальної системи керування машинно-тракторним агрегатом: звіт (промисловий) 03.01.00.01Ф / НААН; ННЦ «ІМЕСГ»; кер. А. М. Борис; вик.: Ю. В. Косовець, В. І. Днесь, І. В. Колесник, В. В. Журавель, Ю. І. Алексєєв. Глевах, 2021. 157 с.

2. Досвід застосування системи точного водіння агрегатів на вирощуванні столових коренеплодів / В. В. Адамчук та ін. *Механізація та електрифікація сільськогосподарства* : загальнодерж. зб. наук. пр. / ННЦ «ІМЕСГ». Глевах, 2022. Вип. 15 (114). С. 131–137. <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-16>.

3. Трактор-прополовач зі штучним інтелектом. URL: <https://www.facebook.com/watch/?v=586307273092980> (дата звернення: 15.02.2023).

4. Kameralenkung ROW-GUARD. URL: <https://www.einboeck.at/produkte/ackerkulturpflege/hacktechnik-zubehoer/row-guard> (дата звернення: 15.02.2023).

5. Прополочный культиватор для внутрирядной обработки Robocrop InRow Weeder. URL: <https://garford.com/ru/robocrop-inrow-weeder/> (дата звернення: 15.02.2023).

6. Як лазерні технології допомагають фермерам боротися з бур'янами. URL: <https://landlord.ua/news/iak-lazerni-tekhnohii-dopomahaiut-fermeram-borotysia-z-bur-ianamy/> (дата звернення: 15.02.2023).

7. Will Laser-Weeding Robots Change Farming? URL: <https://modernfarmer.com/2021/12/laser-weeding-robots-laserweeder/> (дата звернення: 15.02.2023). (Англійська)

8. Система автоматичного підрулювання «Automatic Steering System». URL: <https://www.a3tech.com.ua/site/product?id=11> (дата звернення: 15.02.2023).

9. Що таке GNSS і як це працює? URL: <https://systemnet.com.ua/shho-take-gnss-i-yak-ce-pracyuye/> (дата звернення: 15.02.2023).

Bibliografia

1. (2021). Naukovo-tekhnicni osnovy stvorennia i vykorystannia universalnoi systemy keruvannia mashynno-traktornym ahrehatom: zvit (promizhnyi) 03.01.00.01F / NAAN; NNTs «IMESH»; ker. A. M. Borys; vyk.: Yu. V. Kosovets, V. I. Dnes, I. V. Kolesnyk, V. V. Zhuravel, Yu. I. Aleksiev. Hlevakha. 157 s.

2. Adamchuk V. V., Borys A. M., Savchenko I. F., Rykhliivskiy P. A., Kasprovych I. K., Kalinichenko A. P. (2022). Dosvid zastosuvannia systemy tochnoho vodinnia ahrehativ na vyroshchuvanni stolovykh koreneplodiv. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva* : zahalnodерж. zb. nauk. pr., 15 (114), 131–137 / NNTs «IMESH». Hlevakha. <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-16>.

3. Traktor-propoliuvach zi shtuchnym intelektom. Access mode: <https://www.facebook.com/watch/?v=586307273092980> (data zvernennia: 15.02.2023).

4. Kameralenkung ROW-GUARD. Access mode: <https://www.einboeck.at/produkte/ackerkulturpflege/hacktechnik-zubehoer/row-guard> (data zvernennia: 15.02.2023).

5. Propolochnyj kultivator dlya vnutrirjadnoj obrabotki Robocrop InRow Weeder. Access mode: <https://garford.com/ru/robocrop-inrow-weeder/> (data zvernennia: 15.02.2023).

6. Іак лазерні технології допомогати фермерам боротися з бур'янами. Access mode: <https://landlord.ua/news/iak-lazerni-tekhnologii-dopomahaiut-fermeram-borotysia-z-bur-ianamy/> (data zvernennia: 15.02.2023).

7. Will Laser-Weeding Robots Change Farming? Access mode: <https://modernfarmer.com/2021/12/laser-weeding-robots-laserweeder/> (data zvernennia: 15.02.2023).

8. Systema avtomatychnoho pidruliuvannia «Automatic Steering System» Access mode: <https://www.a3tech.com.ua/site/product?id=11> (data zvernennia: 15.02.2023).

9. Shcho take GNSS i yak tse pratsiuie? Access mode: <https://systemnet.com.ua/shho-take-gnss-i-yak-ce-pracyuye/> (data zvernennia: 15.02.2023).

References

1. (2021). Scientific and technical basis of creation and use of a universal control system of a machine-tractor unit: report (interim) 03.01.00.01F / NAAS; NSC "IAEE"; driver A. M. Borys; by: Yu. V. Kosovets, V. I. Dnes, I. V. Kolesnyk, V. V. Zhuravel, Yu. I. Aleksieiev; Glevakha [in Ukrainian].

2. Adamchuk, V. V., Boris, A. M., Savchenko, I. F., Rikhlovsky, P. A., Kasprovich, I. K., & Kalinichenko, A. P. (2022). Experience of using the system of precise driving of aggregates in the cultivation of table root crops / V. V. Adamchuk et al. *Mechanization and electrification of agriculture*, 15 (114), 131–137. Glevakha. <https://doi.org/10.37204/0131-2189-2022-15-16> [in Ukrainian].

3. A weeding tractor with artificial intelligence. Retrieved from: <https://www.facebook.com/watch/?v=586307273092980> [in Ukrainian].

4. Camera steering ROW-GUARD. Retrieved from: <https://www.einboeck.at/produkte/ackerkulturpflege/hacktechnik-zubehoer/row-guard> [in German].

5. Weeding cultivator for intra-row processing Robocrop InRow Weeder. Retrieved from: <https://garford.com/ru/robocrop-inrow-weeder/> [in Russian].

6. How laser technology helps farmers fight weeds. Retrieved from: <https://landlord.ua/news/iak-lazerni-tekhnologii-dopomahaiut-fermeram-borotysia-z-bur-ianamy/> [in Ukrainian].

7. Will Laser-Weeding Robots Change Farming? Retrieved from: <https://modernfarmer.com/2021/12/laser-weeding-robots-laserweeder/> [in English].

8. Automatic Steering System. Retrieved from: <https://www.a3tech.com.ua/site/product?id=11> [in Ukrainian].

9. What is GNSS and how does it work? Retrieved from: <https://systemnet.com.ua/shho-take-gnss-i-yak-ce-pracyuye/> [in Ukrainian].