УДК 004.94:658.01

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ ЗБИРАЛЬНИМИ КОМБАЙНАМИ

ВАСИЛЕНКО В.В.[1], ШВОРОВ С.А.[2]

[1] д-р. техн. наук, професор, ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут", м. Ніжин;

[2] д-р. техн. наук, професор, НУБіП України, м.Київ

Анотація. В даній статті розглянуті методичні основи побудови авто-матичних систем керування (АСК) безпілотними збиральними комбайнами (БЗК), метод розпізнавання та визначення обсягів урожаю на полях за допо-могою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), метод синтезу оптимальних маршрутів БЗК з урахуванням перешкод та процеси їх практичного застосування і контролю.

Актуальність. Як показує практика, неоптимальне планування польових робіт призводить до накладання маршрутів руху збиральної техніки, затримок в її роботі і, як наслідок, надмірних витрат пального. З метою усунення цих недоліків за допомогою АСК повинно виконуватися планування збиральних робіт і розрахунок оптимальних траєкторій руху збиральної техніки, які вводяться в навігаційне обладнання кожного збирального засобу. Реалізація оптимальних траєкторій в процесі збиральних робіт передбачає зменшення витрат пального за рахунок мінімізації часових затримок збиральної техніки та кількості накладання маршрутів їх руху з урахуванням особливостей та геометричної форми поля.

Однак, на даний час недостатньо повно досліджені методи визначення обсягів та щільності зміни врожайності з БПЛА, планування збиральних робіт, синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху перспективної безпілотної роботизованої збиральної техніки та побудови інтелектуальних автоматичних систем керування щодо збирання урожаю. У звязку з цим подальша розробка методичних

основ побудови автоматичних систем керування (АСК) безпілотними збиральними комбайнами (БЗК), в тому числі методу розпізнавання та визначення обсягів урожаю на полях за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та методу синтезу оптимальних маршрутів БЗК з урахуванням перешкод, являє собою актуальну наукову задачу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій [1-8] показує, що на даний час широко застосовуються глобальні і локальні методи навігації мобільних роботів (МР). Глобальні методи засновані на тому, що перед початком руху МР повністю відома карта місцевості. Знаючи своє місцезнаходження, точку фінішу, а також розташування всіх перешкод, МР, користуючись заданим алгоритмом дій, забезпечує знаходження найкоротшого шляху від старту до фінішу і після цього долає цей шлях. На практиці найбільш часто використовуються методи фронту хвилі, A *, дерева квадратів, видимого графа [1-4]. До недоліків таких методів відноситься необхідність збереження карти місцевості (найчастіше великих розмірів) і підвищена обчислювальна складність. Локальні методи навігації використовуються в тих випадках, коли МР невідомі стаціонарні (пасивні) та рухомі (активні) перешкоди, які можуть з'являтися і зникати та змінювати своє місце розташування. У цьому випадку МР отримує навігаційну інформацію про локальну область зовнішнього середовища, перебуваючи у межах дії його датчиків. До таких методів навігації МР можна віднести: методи, засновані на використанні потенціальних полів перешкод [2], методи сімейства BUG [5, 6], що використовують для отримання навігаційної інформації тактильні датчики, а також методи сімейства VisBUG [6-8], які припускають отримання навігаційної інформації від ультразвукових датчиків. До переваг методів локальної навігації слід віднести їх обчислювальну простоту. Недоліки цих методів, порівняно з методами глобальної навігації, полягають у відхиленні реальної траєкторії руху МР від оптимального маршруту і більш складній процедурі локалізації МР у просторі. Для обох груп методів навігації МР характерна проблема своєчасного визначення пасивних та, особливо, активних перешкод на шляху руху МР. Крім того, існуючі методи та алгоритми розв'язання задач планування траєкторій руху наземного МР

застосовуються в два етапи: спочатку знаходиться глобальна траєкторія по картографічних даних, яка потім у процесі руху періодично уточняється за даними бортової системи технічного зору (СТЗ) МР. Такому підходу властиві суперечності і недоліки, обумовлені суттєвою відмінністю масштабів подання інформації на цих двох етапах. Використання СТЗ на базі БПЛА, що поставляє проміжну між етапами планування інформацію про ділянки місцевості, дозволяє з одного боку оперативно уточнювати картографічні дані, а з іншого – на порядок розширити зону огляду бортової СТЗ МР, що підвищує ефективність вирішення всіх цільових завдань БЗК. Незважаючи на значний обсяг досліджень в даній області, проблема навігації РЗТ з використанням БПЛА для визначення (уточнення) маршрутів та різних видів перешкод на шляху руху безпілотної збиральної техніки залишається відкритою.

Мета досліджень полягає в розробці методичних основ побудови автоматичної системи керування безпілотними збиральними комбайнами.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі:

розробка методу і алгоритму визначення обсягів та щільності зміни врожайності за допомогою безпілотних літальних апаратів;

обґрунтування методу синтезу компромісно-оптимальних маршрутів та швидкості руху роботизованої збиральної техніки з мінімальною довжиною шляхів руху БЗК та з урахуванням щільності зміни врожайності, а також пасивних (нерухомих) перешкод;

розробка методу та алгоритму розпізнавання активних (рухомих) перешкод на шляху пересування БЗК;

обґрунтування функціональної структури АСК БЗК шляхом створення бази знань і системної інтеграції методів, алгоритмів та продукційних правил інтелектуальної підтримки прийняття рішень.

За допомогою запропонованої АСК повинні вирішуватися наступні задачі: визначення обсягів та щільності зміни врожайності на основі застосування БПЛА; розпізнавання активних і пасивних перешкод на шляху руху БЗК, розподіл БЗК по полях та планування

оптимальних маршрутів їх руху для збору урожаю; оперативне управління процесами збирання урожаю.

Результати досліджень.

Для вирішення перерахованих задач АСК повинна включати підсистеми моніторингу, планування та оперативного управління процесами збору урожаю.

На даний час все більше уваги приділяється «точному землеробству», що забезпечує максимальну продуктивність сільськогосподарських робіт. Найбільш перспективним є використання безпілотних літальних апаратів для планування та керування рухом безпілотної збиральної техніки в залежності від наявності врожаю та перешкод на кожній ділянці поля.

Підсистема моніторингу ЕК являє собою геоінформаційну систему, яка отримує дані про кількість і якість сировини з датчиків інформації, що розташовані на БПЛА, а також з інших інформаційних джерел. На основі цих даних формується множина припустимих рішень щодо поліпшення стану енергетичних культур, а також організації їх збору.

Як показують результати експериментальних досліджень, звичайні цифрові фотокамери БПЛА можна ефективно використовувати при визначенні обсягів урожаю та ідентифікації різних перешкод на шляху руху БЗК на кожній ділянці поля. Після проведення фотозйомки на електронній карті поля на основі статистичної обробки RGB-сигналів визначається декілька контрастних за оптичними характеристиками зон (ділянок). Для кожної із цих зон експериментально розраховуються контрольні обсяги врожаю, які використовуються для навчання нейронної мережі. За допомогою спеціального програмного забезпечення обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості з використанням апарату нейронних мереж визначаються обсяги та щільність зміни врожаю на шляху руху безпілотних комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішень для їх розподілу, планування маршрутів та керування швидкістю рухом БЗК.

Основою підсистеми є спеціальні методи та алгоритми розпізнавання образів, за допомогою яких забезпечується вирішення наступних задач: сприйняття образу (технічний вимір), попередня обробка отриманого сигналу (фільтрація), виділення потрібних характеристик і класифікація образу (прийняття рішення). Для цього синтезована нейромережева структура і перевірений на адекватність відповідний багатошаровий персептрон. Обробка графічних даних за результатами фотозйомки з БПЛА здійснюється з використанням інформаційної технології, що базується на застосуванні спеціального програмного забезпечення виробництва НУБіП LDE – Land damage expert. Програма має можливість на основі статистичної обробки RGB сигналів визначати координати перешкод для БЗК на електронній карті місцевості та обсяги врожаю.

Як показує практика, неоптимальне планування польових робіт призводить до накладання маршрутів руху збиральної техніки, затримок в її роботі і, як наслідок, надмірних витрат пального. З метою усунення цих недоліків за допомогою АСК повинно забезпечуватися планування збиральних робіт і розрахунок оптимальних траєкторій руху збиральної техніки, які вводяться в навігаційне обладнання кожного збирального засобу. На основі отриманої інформації про врожайність з БПЛА забезпечується планування маршрутів руху та розподіл БЗК по технологічним ділянкам з використанням методів динамічного та лінійного програмування.

При розробці методу та алгоритму планування збиральної техніки передбачається, що процес планування збиральних робіт являє собою керований багатоетапний динамічний процес, який на кожному етапі характеризується двома видами параметрів: параметрами керування (кількістю спланованих безпілотних комбайнів) і параметрами стану (об’ємом зібраної біомаси на кожному етапі). У вигляді обмежень виступає сумарний ресурс часу збиральних робіт та витрат пального, що виділяється на збиральну кампанію. Кінцевою метою планування збиральних робіт на кожному полі є максимальний обсяг зібраних ЕК.

У підсистемі планування, залежно від наявності роботизованих технічних засобів і прогнозованих умов збиральної кампанії,

генерується множина варіантів виконання робіт БЗК. Серед існуючої множини варіантів визначається такий, що забезпечує отримання максимального прибутку. За допомогою ГІС забезпечується формування електронної карти місцевості та визначення обсягів урожаю на кожній ділянці, а також визначення компромісно-оптимальних маршрутів руху збиральної техніки на полях з перешкодами та складними геометричними формами. Застосування запропонованої технології передбачає більш високу оперативність та точність керування БЗК, а також зменшення вартісних витрат на збиральну кампанію.

Таким чином, розроблено метод планування збиральних робіт БЗК, за допомогою якого на основі використання процедури динамічного програмування здійснюється оптимальний розподіл безпілотних комбайнів між полями при обмеженнях на часові витрати, що забезпечує обґрунтоване прийняття рішень на застосування БЗК.

Постановка задачі синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів полягає у наступному. Відомою інформацією є координати площі, на якій знаходиться біомаса, початкове місце знаходження кожного БЗК, та кінцева точка її маршруту, координати пасивних перешкод та координати ділянок без біомаси, які отримані за допомогою підсистеми моніторингу стану та визначення обсягів енергетичних культур з БПЛА. Необхідно знайти такі компромісно-оптимальні маршрути руху БЗК, при яких забезпечується: мінімальний шлях руху БЗК, об’їзд перешкод, об’їзд ділянок без біомаси.

Метод синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів включає виконання наступних операцій: відправна задача приводиться до дискретного виду; для кількісної оцінки небезпеки наближення безпілотних комбайнів до перешкод застосовується метод потенційних функцій [2]; довжина шляху визначається довжиною можливих переходів з початкової до кінцевої точки поля з урахуванням об’їзду безпілотними комбайнами перешкод і районів відсутності урожаю; задача синтезу оптимальної траєкторії руху безпілотних комбайнів у заданих умовах розв’язується методом динамічного програмування з узагальненим критерієм оптимальності

по нелінійній схемі компромісів [16]. При цьому для визначення оптимального шляху в кожну допустиму точку по координатах кожного рівня на кожному кроці розв'язується функціональне рівняння Беллмана. Структура узагальненого критерію будується у відповідності з методологією нелінійної схеми компромісів з урахуванням оцінки небезпеки наближення безпілотних комбайнів до перешкод, довжини маршруту руху безпілотних комбайнів, оцінки імовірності заходу безпілотних комбайнів в район відсутності рослин.

Реалізація оптимальних траєкторій у процесі збиральних робіт передбачає зменшення витрат пального за рахунок мінімізації часових затримок збиральної техніки та кількості накладання маршрутів їх руху з урахуванням особливостей та геометричної форми поля.

Аналіз попередніх досліджень показав, що на даний час залишаються невирішеними питання щодо побудови систем підтримки прийняття рішень з керування збиральною технікою у режимі реального часу з урахуванням умов динамічного та частково визначеного зовнішнього середовища. З метою усунення відхилень між запланованими та фактичними показниками роботи технологічних підрозділів виникає необхідність розв'язування задачі оперативного керування та перепланування робіт. Процедура розв'язування цієї задачі складається з цих самих пунктів, що й процедура розв'язування задачі планування, відрізняється тільки початковими даними.

Підсистема оперативного керування процесами збирання урожаю побудована на базі гібридної інтелектуальної системи підтримки та прийняття рішень (СППР), до основних складових якої входять: база знань, блок імітації роботи БЗК, підсистеми моніторингу, планування, контролю та управління, модуль навчання й інтерфейс. При розробці бази знань та АСК здійснено системну інтеграцію моделей , алгоритмів і правил, які ґрунтуються на класичних методах моделювання та оптимізації систем і методах штучного інтелекту, що забезпечує ефективне розв'язування задач планування, контролю й оперативного управління процесами збору врожаю.

Висновки.

1.Практичне застосування АСК в підприємстві «Терезина» підтвердило працездатність розроблених методів та дозволило знизити

довжину маршрутів руху збиральної техніки та загальні витрати на проведення збиральної кампанії на 12-15% за рахунок оперативного визначення обсягів врожаю, планування збиральних робіт та реалізації компромісно-оптимальних маршрутів руху збиральної техніки.

2.Прибуток підприємства при застосуванні АСК збільшився більш ніж на 12%. Крім того, як показують результати практичного застосування АСК, значно скорочуються часові витрати на прийняття обґрунтованих рішень за рахунок обробки системою великих об'ємів інформації.

3.Застосування АСК дає можливість забезпечити цілодобову експлуатацію БЗК, скоротити кількість операторів та зменшити строки збирання урожаю на 16-18 відсотків.

4. Практичне застосування БПЛА значно знизило аварійність.

Список використаних джерел

1. Защелкин, К.В. Реализация комбинированного способа навигации автономного мобильного робота / К.В. Защелкин, В.В. Калиниченко, Н.О. Ульченка // Электротехнические и компьютерные системы – 2013. – № 9 (85). – 102-109.

2. Адамів, О. П. Моделі та інтелектуальні засоби адаптивного керування автономним мобільним роботом [Текст] дис. … канд. техн. наук: захищена 12.12.2007 / Адамів Олег Петрович. – Одеса, 2007. – 124 с.

3. Fahimi, F. Autonomous Robots. Modeling, Path Planning and Control / F. Fahimi – New York : Springer, 2009. – 348 p.

4. Hachour, O. Pathplanning of Autonomous Mobile robot / O. Hachour // International Journal of Systems Applications, Engineering and Development. – 2009. – Issue 4. – P. 178 – 190.

5. Lumelsky, V. Sensing, intelligence motion / V. Lumelsky – New Jersey : Wiley-Interscience,2006. – 456 p.

6. Song, H. Research on Path Planning for the Mobile Intelligent Robot / H. Song, L. Hu // World Congresson Computer Science and Information Engineering. – 2009. – № 1. – P. 121 – 144.

7. Siegwart, R. Introduction to Autonomous Mobile Robots / R. Siegwart, I. Ourbakhsh – Boston : MIT Press, 2004. – 336 p.

8. Jian, Y. Comparison of Optimal Solutions to Realtime Path Planning for a Mobile Vehicle / Y. Jian, Q. Zhihua, W. Jing, C. Kevin// IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part A: System and Humans. – 2010.– Vol. 40. – P. 721 – 725.
9. Gunchenko, Y.A. Using UAV for unmanned agricultural harvesting equipment route planning and harvest volume measuring // Gunchenko, Y.A., Shvorov, S.A., Zagrebnyuk, V.I., Kumysh, V.U., Lenkov, E.S. // 2018// 2017 IEEE 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2017 – Proceedings.