

Сергій Шворов

Доктор технічних наук, професор,
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0003-3358-1297
sosdok@i.ua

Наталія Пасічник

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
ORCID: 0000-0002-2120-1552
N.Pasichnyk@nubip.edu.ua

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ЗБИРАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ БІОГАЗОВИХ ЗАВОДІВ

Анотація. У роботі розглянуті підхід до побудови інтелектуальної системи моніторингу та керування (ІСМК) процесами збирання енергетичних культур (ЕК) на землях, забруднених після чорнобильської катастрофи для біогазових заводів (БГЗ) та обґрунтована її функціональна структура. За допомогою запропонованої ІСМК вирішуються наступні задачі: моніторинг процесу вирощування та визначення обсягів ЕК на основі застосування супутникових та літакових платформ; розпізнавання активних і пасивних перешкод на шляху руху роботизованої збиральної техніки (РЗТ); розподіл РЗТ по полях та планування оптимальних маршрутів їх руху для збору ЕК; оперативне управління процесами завантаження та доставки до БГЗ сировини. Для вирішення перерахованих задач ІСМК поділяється на підсистеми моніторингу, планування та оперативного керування процесами збирання енергетичних культур. Специфіка використання супутникових та літакових платформ для визначення обсягів ЕК обумовила технічні рішення щодо вибору спектральних каналів та методик радіочастотної корекції, тобто корекції щодо змін освітлення. Підвищення точності та вірогідності результатів радіочастотної корекції щодо змін освітлення досягається шляхом паралельного використання кількох методик, а саме: штатного експонетру фотокамери, додаткового зенітного сенсору, природних чи штучних оптичних шаблонів. Запропоновано метод визначення обсягів ЕК, за допомогою якого на основі статистичної обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості та з використанням апарату нейронних мереж визначаються обсяги енергетичних культур на шляху руху безпілотних комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішення для розподілу та керування збиральною технікою. Розроблено метод синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів, заснований на використанні процедури динамічного програмування, що забезпечує визначення мінімальної довжини маршрутів руху безпілотних комбайнів з урахуванням перешкод та об'їзду ділянок, на яких відсутня біомаса енергетичних культур, за рахунок чого мінімізуються витрати пального.

Ключові слова: моніторинг, керування, енергетичні культури, безпілотний літальний апарат, біогаз, безпілотна роботизована збиральна техніка

Вступ. Одним із найважливіших завдань на сьогоднішній день є розробка та реалізація перспективних технологій промислового виробництва біометану для заміщення природного газу. Одним із напрямків отримання максимальних об'ємів біометану є використання на біогазових заводах біомаси енергетичних культур. Після чорнобильської катастрофи більше ніж 3000 кв. км ріллі, луків і пасовищ були вилучені з господарського обороту. Через 33 роки після аварії на територіях, що зазнали радіаційного забруднення, відбувається ренатуралізація і відновлення природних флористичних і фауністичних процесів. Використання половини цих зон для вирощування енергетичних рослин може дати енергетичний еквівалент у кількості 1,5-2 мільярдів кубів біогазу. Вирішення цього завдання у великих промислових масштабах передбачає розробку та застосування інтелектуальних систем моніторингу та керування процесами збирання ЕК для БГЗ. Однак, на даний час недостатньо повно досліджені

методи визначення обсягів енергетичних культур з БПЛА, планування збиральних робіт на неякісних (забруднених після чорнобильської катастрофи) землях, синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху перспективної безпілотної роботизованої збиральної техніки та побудови інтелектуальних систем моніторингу та керування процесами збирання ЕК для біогазових установок (комплексів і заводів).

Мета досліджень полягає в розробці функціональної структури інтелектуальної системи моніторингу ЕК та керування РЗТ при збиранні ЕК для біогазових заводів.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі: розробка методу та алгоритму розпізнавання та визначення обсягів біомаси на полях за допомогою безпілотної літальної апаратури; обґрунтування методу синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху роботизованої збиральної техніки з мінімальною довжиною маршрутів руху РЗТ у процесі збору біомаси та з урахуванням пасивних (нерухомих) перешкод; розробка методу та алгоритму розпізнавання ЕК та активних (рухомих) перешкод на шляху пересування РЗТ; обґрунтування функціональної структури гібридної інтелектуальної системи моніторингу та керування процесами збирання ЕК; створення бази знань і системної інтеграції методів, алгоритмів та продукційних правил інтелектуальної підтримки прийняття рішень.

За допомогою запропонованої ІСМК повинні вирішуватися наступні задачі: моніторинг процесу вирощування та визначення обсягів ЕК на основі застосування БПЛА та інших інформаційних джерел; розпізнавання активних і пасивних перешкод на шляху руху РЗТ, розподіл РЗТ по полях та планування компромісно-оптимальних маршрутів її руху для збору ЕК; оперативне керування РЗТ. Для вирішення перерахованих задач ІСМК повинна включати підсистеми моніторингу, планування та оперативного керування процесами збирання ЕК. Крім того, однією з найбільш важливих задач, яка вирішується за допомогою ІСМК, є розміщення посівів різних енергетичних культур, моніторинг їх стану та їх диференційне підживлення на спеціально визначеній місцевості з урахуванням геофізичних особливостей для кожної культури. Найбільш перспективним є використання БПЛА для планування та керування рухом безпілотної збиральної техніки в залежності від наявності врожаю та перешкод на кожній ділянці поля.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Процес планування змісту та часу виконання робіт поділяється на декілька етапів, а саме: сівба ранніх озимих культур та їх збирання, сівба наступних ЕК та їх збирання. Кожний із перерахованих етапів планування має свої особливості і для їх реалізації доцільно передбачити в ІСМК відповідну базу даних та знань.

Підсистема моніторингу ЕК є геоінформаційною системою, яка отримує дані про кількість і стан ЕК 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 збору та подальшого використання органічної сировини в БГЗ. 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 врожаю на шляху руху безпілотної комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішень для їх розподілу, планування маршрутів та керування рухом РЗТ. Специфіка використання супутникових та літакових платформ для визначення обсягів ЕК обумовила технічні рішення щодо

вибору спектральних каналів та методик радіочастотної корекції, тобто корекції щодо змін освітлення. Підвищення точності та вірогідності результатів радіочастотної корекції щодо змін освітлення досягається шляхом використання штатного експонетра фотокамери, додаткового зенітного сенсора, природних чи штучних оптичних шаблонів.

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 ІСМК 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 біомасу з БПЛА забезпечується планування маршрутів руху та розподіл РЗТ по технологічних ділянках з використанням методів динамічного та лінійного програмування. Крім того, за допомогою ІСМК обґрунтовується рішення про доцільність залучення до збирання ЕК необхідної кількості роботизованих збиральних комбайнів і безпілотних транспортних засобів. При розробці методу та алгоритму планування збиральної техніки передбачається, що процес планування збиральних робіт для РЗТ 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, що виділяється на збиральну кампанію. Кінцевою метою планування збиральних робіт на кожному полі є максимальний обсяг зібраних ЕК.

У підсистемах планування та керування РЗТ, залежно від наявності роботизованих технічних засобів і прогнозованих умов збиральної кампанії, генерується множина варіантів виконання робіт РЗТ. Серед існуючої множини варіантів визначається такий, що забезпечує отримання максимального прибутку від реалізації біометану. За допомогою ГІС забезпечується формування електронної карти місцевості та відображення на кожній ділянці обсягів урожаю, а також компромісно-оптимальних маршрутів руху збиральної техніки на полях з перешкодами та складними геометричними формами.

Для вирішення даної задачі розроблено метод синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів, заснований на використанні процедури динамічного програмування, що забезпечує визначення мінімальної довжини маршрутів руху РЗТ з урахуванням перешкод та об'їзду ділянок, на яких відсутня біомаса ЕК, за рахунок чого мінімізуються витрати пального.

Як показують результати попередніх досліджень, застосування ІСМК процесами збирання енергетичних культур дозволяє зменшити довжину маршрутів руху збиральної техніки з урахуванням перешкод та загальні витрати на проведення збиральної кампанії на 12-15%.

Таким чином, застосування запропонованої інтелектуальної системи моніторингу та керування процесами збирання енергетичних культур для біогазових заводів забезпечує вищу оперативність і точність керування безпілотними комбайнами, а також зменшення вартісних витрат на збиральну кампанію.