

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На правах рукопису



ЧИРЧЕНКО ДМИТРО ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

УДК 519.874:577.23:005.53

**СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ПРИ КЕРУВАННІ ПРОЦЕСОМ ЗБИРАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР
ДЛЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шворов Сергій Андрійович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
професор кафедри автоматичної та
робототехнічних систем ім. акад. І. І. Мартиненка

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Субач Ігор Юрійович,
Військовий інститут телекомунікацій та
інформатизації, Міністерство оборони України,
професор кафедри комп'ютерних інформаційних
технологій

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Ковалець Іван Васильович,
Інститут проблем математичних машин
та систем НАН України,
завідувач відділом інформатики навколишнього
середовища

Захист відбудеться «27» червня 2017 року о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розіслано «26» червня 2017 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
К 26.058.05,
к. т. н., доцент



О. М. М'якшило

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На даний час актуальною проблемою є розробка високоефективних технологій щодо видобутку біометану для заміщення природного газу. При цьому для отримання найбільших об'ємів біометану доцільно використовувати не тільки відходи сільськогосподарських підприємств, а й спеціально вирощені енергетичні культури (ЕК). Для ефективного вирішення цих завдань на сьогодні виникає необхідність у розробці інформаційних технологій підтримки прийняття рішень щодо формування пропозицій зі збирання енергетичних культур на основі моніторингу актуального стану полів за даними з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та прогнозування отриманих результатів від їх переробки у біогазових установках.

Різним аспектам підвищення ефективної організації збиральних робіт присвячено ряд праць таких вчених, як В.А. Каверін, М.С. Капланович, А.Ю. Ізмайлов, Ю.М. Блинський, Ю.Ф. Ладигін, Д.Г. Войтюк, А.І. Бойко, В.М. Барановський, А.В. Калініченко та ін. Проте, залишається необхідність у подальшому вирішенні питань, що стосуються підтримки прийняття рішень при керуванні збирально-транспортними роботами у режимі реального часу з урахуванням умов динамічного та частково визначеного зовнішнього середовища. Це пов'язано з тим, що на даний час недостатньо повно розроблені методи, системи та інформаційні технології моніторингу обсягів енергетичних культур на основі обробки даних з БПЛА та підтримки прийняття рішень щодо збирання ЕК з подальшою їх переробкою у біогаз.

У зв'язку з цим актуальним науковим завданням є розробка методів та засобів системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень (СППР), як інформаційної технології, що заснована на методах визначення обсягів енергетичних культур, планування збиральних робіт, синтезу маршрутів руху безпілотних комбайнів та продукційних правилах підтримки рішень в умовах апріорної невизначеності характеру, структури та істинних станів біомаси на полях.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у рамках науково-дослідних робіт Національного університету біоресурсів і природокористування України «Розроблення системи дистанційного моніторингу стану посівів для раціонального використання добрив» (номер державної реєстрації 0116U005634, 2016–2017 рр.) та наукової тематики: «Розробка концепції наукових і прикладних засад створення єдиної інформаційної системи розповсюдження національної шкали часу з використанням ІР-технологій» (номер державної реєстрації 0115U006060, 2015–2016 рр.).

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності проведення збиральних робіт за рахунок створення та використання системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень, що заснована на методах визначення обсягів енергетичних культур, планування збиральних робіт, синтезу маршрутів руху безпілотних комбайнів та продукційних правилах підтримки рішень.

Для досягнення мети необхідно було розв'язати такі задачі:

- проаналізувати існуючі системи керування технологічним процесом збирання енергетичних культур;
- розробити метод та алгоритм визначення обсягів енергетичних культур на шляху руху безпілотної збиральної техніки з безпілотною літальною апаратурою;
- розробити метод планування збиральних робіт безпілотною збиральною технікою;
- удосконалити метод синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху БЗТ з урахуванням довжини маршрутів, обсягів енергетичних культур та перешкод на шляху безпілотною комбайнів;
- розробити методику організації функціонування гібридної інтелектуальної СППР шляхом системної інтеграції методів, алгоритмів та програм інтелектуальної підтримки прийняття рішень при керуванні процесом збирання енергетичних культур.

Об'єктом дослідження є процес визначення обсягів та організації збирання енергетичних культур для їх переробки у біогаз.

Предметом дослідження є методи та методики інтелектуальної підтримки прийняття рішень при керуванні процесом збирання енергетичних культур.

Методи дослідження. Для вирішення зазначених задач було використано методи моделювання та оптимізації, математичної статистики та теорії штучного інтелекту. Для визначення обсягів енергетичних культур на полях використовувалися методи математичної статистики та теорії штучного інтелекту. З метою оптимізації планування збиральних робіт та синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху застосовувався метод динамічного програмування. Експериментальна перевірка теоретичних положень проводилась у виробничих умовах. Верифікація результатів, отриманих за запропонованими у роботі методами, показала достатньо високу збіжність при їх порівнянні з відповідними результатами експериментальних та аналітичних досліджень, проведених раніше.

Наукова новизна одержаних результатів. Основні положення роботи, які визначають новизну наукових результатів досліджень полягають у наступному:

1. Отримав подальший розвиток метод визначення обсягів енергетичних культур за даними з БПЛА, який відрізняється від відомих методів тим, що на основі статистичної обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості та за допомогою апарату нейронних мереж визначаються обсяги енергетичних культур на шляху руху безпілотною комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішення для розподілу та керування збиральною технікою при мінімальних вартісних (порівняно з космічними знімками) витратах.

2. Вперше розроблено метод планування збиральних робіт безпілотною збиральною технікою (БЗТ), за допомогою якого на основі використання процедури динамічного програмування здійснюється оптимальний розподіл безпілотною комбайнів між полями при обмеженнях на часові та вартісні витрати, що забезпечує обґрунтоване прийняття рішень на застосування БЗТ.

3. Удосконалено метод синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотною комбайнів, заснований на використанні процедури динамічного

програмування, що забезпечує на відміну від відомих методів, визначення мінімальної довжини маршрутів руху безпілотних комбайнів з урахуванням перешкод та наявності енергетичних культур, що зменшує витрати пального.

4. Вперше розроблено методику організації функціонування гібридної інтелектуальної СППР, яка на відміну від відомих, ґрунтується на послідовному застосуванні методів та засобів визначення обсягів енергетичних культур, планування збиральних робіт, синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів та продукційних правилах, що дає змогу забезпечити інтелектуальну підтримку прийняття рішень при керуванні технологічним процесом збирання енергетичних культур.

Практичне значення одержаних результатів. На підприємстві ТДВ «Терезине» впроваджено інформаційну технологію обробки даних з БПЛА для визначення обсягів енергетичних культур та систему інтелектуальної підтримки прийняття рішень при керуванні процесом збирання ЕК, яка пройшла випробування, що засвідчується відповідним документом (Акт впровадження наукової розробки від 07.11.2016 р.). Переваги використання системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень полягають у підвищенні ефективності збирально-транспортних робіт на основі синтезу методів, алгоритмів та програм керування процесом збору та переробки органічної сировини, що забезпечує збільшення прибутку сільськогосподарського підприємства. Розроблені методи та алгоритми можуть бути використані в науково-дослідних установах при розробці перспективних СППР, як інформаційних технологій, для організації збирання енергетичних та інших сільськогосподарських культур (біомаси).

Наукові положення, теоретичні та експериментальні результати, що отримані в дисертаційній роботі, були використані при викладанні дисципліни «Оптимальні системи автоматизованого керування» на кафедрі автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка в Національному університеті біоресурсів і природокористування України.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням. Здобувачем розроблено у роботі [1] методологічні основи організації функціонування (планування, контроль, оперативне управління) роботизованих систем. У роботі [2] здобувачем запропонована методика параметричного синтезу інтелектуальних роботизованих систем, а також основні показники ефективності їх функціонування. Застосування нейронних мереж розпізнавання образів про навколишнє зовнішнє середовище дисертантом запропоновано в роботі [3]. У роботі [4] здобувачем вирішена задача побудови системи моніторингу місцевості на основі застосування безпілотних літальних апаратів. У роботах [5, 6] здобувачу належить метод синтезу компромісно оптимальних маршрутів руху безпілотної техніки. Елементи математичної моделі руху платформи робота-маніпулятора з багатокоординатним електромеханічним приводом запропоновані здобувачем у роботі [7]. Задача оптимального керування щодо завантаження БГУ різними видами сировини та домішками вирішена здобувачем у роботі [9]. У роботі [10] здобувачем створено основні складові Системи моніторингу стану енергетичних культур для отримання біометану.

Методичні основи побудови СППР зі збору органічної сировини запропоновані здобувачем у роботі [11]. На основі застосування апарату нейронних мереж розпізнавання образів та генетичного алгоритму для її налаштування, здобувачем у роботі [12] удосконалено метод та алгоритм розпізнавання активних і пасивних перешкод з безпілотних комбайнів на шляху їх руху. Удосконалено структуру гібридної інтелектуальної СППР з керування руху безпілотних комбайнів шляхом системної інтеграції у базі знань алгоритмів, які ґрунтуються на методах динамічного програмування і штучного інтелекту, що дало змогу забезпечити інтелектуальну підтримку прийняття рішень при керуванні процесом збирання енергетичних культур [13, 14]. У роботі [15] здобувачем розроблено методичний апарат організації та функціонування робототехнічних систем. Окремі складові технічної реалізації інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень щодо управління процесами збирання та переробки органічної сировини здобувачем запропоновані у роботі [16].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та матеріали дисертаційних досліджень доповідалися та обговорювалися на науково-технічних конференціях: наукових конференціях Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ, 2012–2016 рр.); III-IV міжнародних науково-технічних конференціях студентів, аспірантів та молодих вчених, «Інформаційні технології: економіка, техніка, освіта» (м. Київ, 2012-2013 рр.); XX міжнародній науково-практичній конференції «Contemporary aspects of production engineering» (м. Варшава, Республіка Польща, 2012р.); IX всеукраїнській науковій конференції студентів та аспірантів "Сучасні проблеми екології та геотехнологій", (м. Житомир, 2012 р.); міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених "Актуальні проблеми наук про життя та природокористування» (м. Київ, 2013 р.); International scientific conference «Problems and prospects of power engineering, electrotechnology and automation in agriculture» (м. Київ, 2013); XX міжн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених «ЛОМОНОСОВ-2013» (м. Москва, Російська Федерація МГУ 2013 р.); II-IV міжн. конф. «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК», (м. Київ, 2014-2016 рр.); I-V міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених «Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в АПК» (м. Київ, 2013-2016 рр.); XXIII міжн. наук.-практ. конф. «Contemporary aspects of production engineering» (м. Варшава, Республіка Польща, 2014 р.); XXI міжнародній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «ЛОМОНОСОВ-2014» (м. Москва, Російська Федерація МГУ 2014 р.); II-III міжн. конф. «Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві», (м. Київ, 2014-2015 рр.); I-III міжн. наук.-тех. конф. «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, 2014-2016 рр.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладено у 32 наукових працях, із них 14 статей у наукових та фахових виданнях України, 2 статті у закордонних наукових фахових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 16 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 134 найменувань і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 210 сторінок, у тому числі 168 сторінок основного тексту, 52 рисунків, 15 таблиць і 10 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання наукового дослідження, визначено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів роботи, зв'язок з науковими програмами та планами НДР, визначено особистий внесок здобувача в опублікованих роботах, представлено інформацію щодо апробацій результатів дисертації, наведено результати реалізації та впровадження основних положень роботи.

У першому розділі *«Аналіз напрямків підвищення ефективності керування збиральною технікою на основі застосування сучасних інформаційних технологій»* проводиться аналіз сучасних методів організації та підходів до моделювання збиральних робіт в рослинництві, досліджуються основні напрями застосування інформаційних систем при керуванні процесом збирання енергетичних культур та здійснена постановка задач дисертаційного дослідження [8].

Описано етапи розробки, стан та проблеми створення інформаційних систем та СППР у сільськогосподарському виробництві. Розглянуто особливості об'єкту досліджень; підходи до вивчення складних систем; сучасний стан та досягнення науки у вирішенні питання розробки СППР при керуванні збиранням енергетичних культур для біогазових установок.

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 системи підтримки прийняття рішень 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.

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 врахуванням умов динамічного та частково визначеного зовнішнього середовища. Це викликано тим, що на даний час не достатньо повно досліджені методи визначення обсягів енергетичних культур з БПЛА, планування збиральних робіт, синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху перспективної безпілотної збиральної техніки (БЗТ) та побудови інтелектуальних СППР щодо збирання енергетичних культур для біогазових установок.

У другому розділі «Розробка методів та засобів моніторингу стану та визначення обсягів енергетичних культур» проводиться аналіз технологічного процесу збирання енергетичних культур, розроблені методи та алгоритми визначення обсягів ЕК та перешкод на шляху руху БЗТ за даними з БПЛА.

Завдання позиціонування БПЛА полягає у визначенні за двома орієнтирами, що потрапляють у поле зору камери, положення (X_c, Y_c, Z_c) і орієнтації $R(\alpha, \beta, \delta)$ БПЛА. Для цього матрицю орієнтації БПЛА можна задати, використовуючи кути Ейлера (рис.1):

$$R(\alpha, \beta, \delta) = R_\delta^{Z''} R_\beta^{X'} R_\alpha^{Z'} = \begin{pmatrix} \cos \delta & \sin \delta & 0 \\ -\sin \delta & \cos \delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \beta & \sin \beta \\ 0 & -\sin \beta & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$



Рис. 1. Прив'язка до місцевості знімків з БПЛА по опорних точках

де $\alpha \in [0, 2\pi]$, $\beta \in [0, \pi/2]$, $\delta \in [0, 2\pi]$.

$$\begin{aligned} x_i &= -f_x \frac{r_{11}(X_i - X_c) + r_{12}(X_i - X_c) + r_{13}(X_i - X_c)}{r_{31}(X_i - X_c) + r_{32}(X_i - X_c) + r_{33}(X_i - X_c)} + a_x, \\ y_i &= f_y \frac{r_{21}(X_i - X_c) + r_{22}(X_i - X_c) + r_{23}(X_i - X_c)}{r_{31}(X_i - X_c) + r_{32}(X_i - X_c) + r_{33}(X_i - X_c)} + a_y, \end{aligned} \quad (2)$$

де $r_{ij} = r_{ij}(\alpha, \beta, \delta)$, $i, j = 1, 2, 3$.

При накладених обмеженнях система (2) істотно спрощується: кути β та δ стають рівними нулю, а значить орієнтація БПЛА задається одним кутом α .

Як правило, оцінка стану рослинності за допомогою зйомки БПЛА визначається на основі використання нормалізованого вегетаційного індексу NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Цей індекс розраховується як різниця значень відображення в ближній інфрачервоній і червоній областях спектру, поділена на їх суму. При цьому використовується спеціальна NIR-модифікована камера, що значно збільшує вартість зйомки порівняно зі звичайною фотоапаратурою [10, 16].

Як показують результати експериментальних досліджень, звичайні цифрові фотокамери можна ефективно використовувати при прогнозуванні врожаю та визначенні різних перешкод на шляху руху БЗТ на кожній ділянці поля [12]. Після проведення фотозйомки на електронній карті поля на основі статистичної обробки RGB-сигналів визначається декілька контрастних за оптичними характеристиками зон (ділянок). Для кожної з цих зон (рис. 2, ділянки 1 – 5) вимірюються контрольні обсяги врожаю, ці данні використовуються для навчання нейронної мережі. Таким чином, на основі статистичної обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості та



Рис. 2. Представлення карти місцевості з БПЛА

Для обробки графічних даних за результатами фотозйомки з БПЛА використовувалася інформаційна технологія, що базується на використанні спеціального програмного забезпечення виробництва НУБіП LDE – Land damage expert. Програма має можливість на основі статистичної обробки RGB сигналів визначати координати перешкод для БЗТ на електронній карті місцевості та обсяги ЕК (рис. 3).

Синтез та дослідження нейронної мережі було проведено за допомогою пакету прикладних програм STATISTICA (рис. 4).

за допомогою апарату нейронних мереж визначаються обсяги врожаю на шляху руху безпілотних комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішень для розподілу, планування маршрутів та керування рухом збиральної техніки при мінімальних вартісних (порівняно з космічними зйомками) витратах [12].

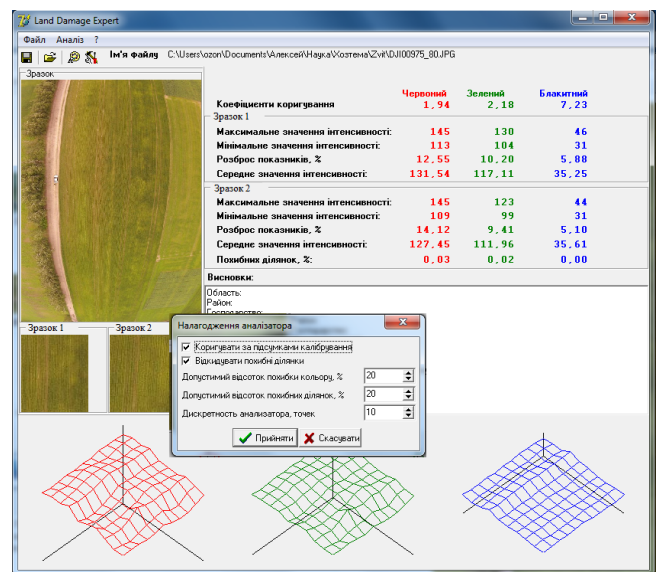


Рис. 3. Интерфейс та блок налагодження програми Land damage expert

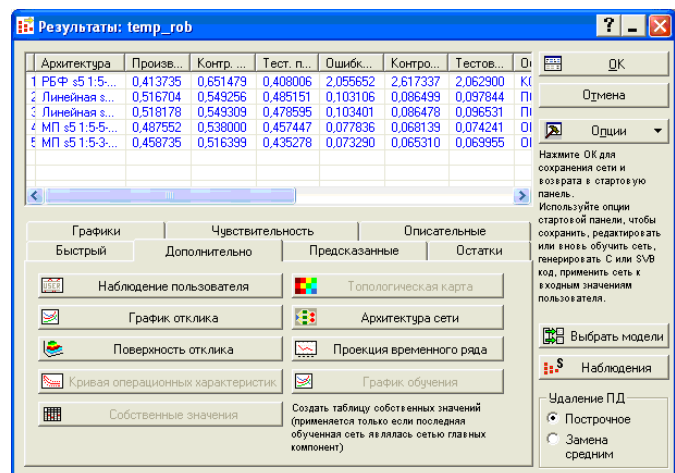
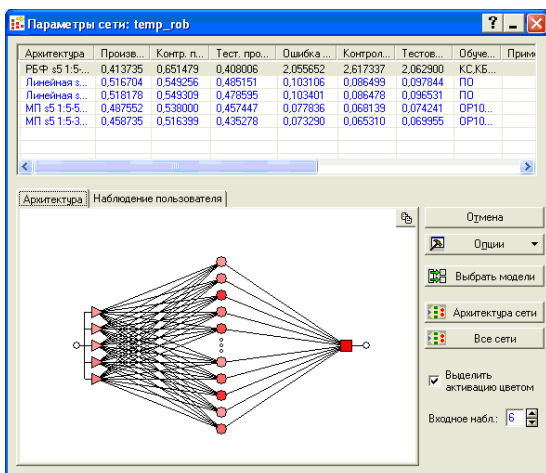


Рис. 4. Синтез та дослідження нейронної мережі за допомогою пакету прикладних програм STATISTICA

З метою визначення за допомогою БПЛА координат перешкод на полях та ділянок без енергетичних культур (що показано у вигляді ділянки 1 на рис. 2), використовується алгоритм, який включає ряд кроків:

1. Сприйняття образу (технічне вимірювання).
2. Попереднє опрацювання отриманого сигналу (фільтрація).
3. Виділення потрібних характеристик (індексація).
4. Класифікація образу (прийняття рішення) [11].

Для планування руху БЗТ відомою інформацією є координати площі, на якій планується збирання врожаю, початкове місце знаходження кожної БЗТ та кінцеві точки їх маршруту, координати перешкод та ділянок без врожаю, що отримані за допомогою БПЛА та оброблені програмним забезпеченням Land damage expert.

Результати аналізу обсягів врожаю та координати перешкод використовуються для оптимізації керування збирально-транспортною технікою (рис. 5).

Таким чином, науково обґрунтовано застосування методу визначення обсягів енергетичних культур з БПЛА, який на відміну від відомих методів, відрізняється тим, що на основі статистичної обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості та за допомогою апарату нейронних мереж визначаються обсяги енергетичних культур на шляху руху безпілотних комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішення для розподілу та керування збиральною технікою.

У третьому розділі «*Розробка методів, моделей та засобів планування процесу збирання енергетичних культур*» побудовано структуру бази знань інтелектуальної підтримки прийняття рішень, синтезовано логічну модель подання знань про технологічний процес збиральної кампанії, розроблено метод планування збиральних робіт БЗТ і математичну модель розподілу транспортних засобів по полям, удосконалено метод синтезу компромісно-оптимальних маршрутів, синтезовано процедуру розв'язування задач керування збиральною кампанією.

За допомогою СППР, відпрацьовуються проекти збирання ЕК, обґрунтовуються рішення щодо розподілу технічних засобів (комбайнів та автомобілів) на полях. Залежно від наявності технічних засобів і прогнозованих умов $u^p \in U$ збиральної кампанії генерується множина варіантів $\{V\}$ виконання збиральних робіт. Серед існуючої множини таких варіантів визначається

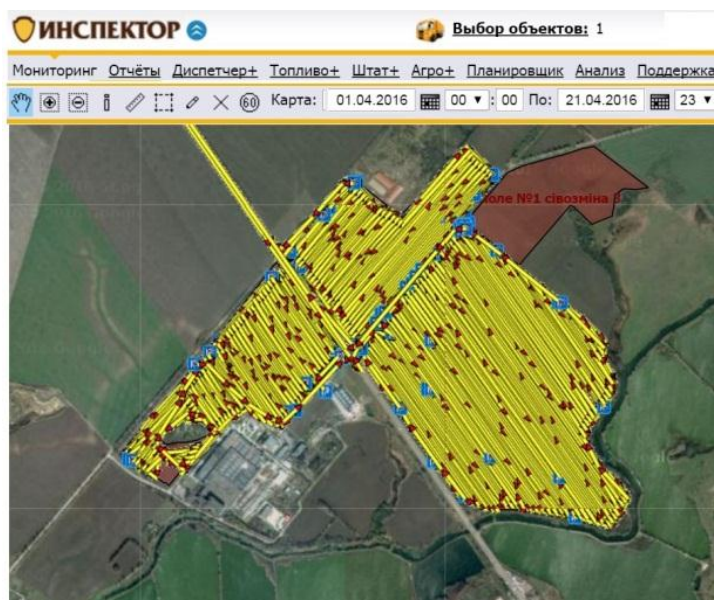


Рис. 5. Моніторинг фактичної ситуації руху техніки по полю

раціональний $v^p \in V$, який забезпечує отримання максимального прибутку (P) від реалізації біометану:

$$P(v^p) = W - (B + Z) \rightarrow \max \quad (3)$$

при $u^p \in U$,

де W – відповідно прогнозований дохід від реалізації ЕК або отриманого з них біометану, B – витрати пального БЗТ при реалізації v^p -го варіанта збирання ЕК, Z – витрати на моніторинг стану, перевезення та переробку ЕК для отримання біометану, грн. [13, 14].

Максимізація прибутку (P) досягається за рахунок оптимального планування збиральних робіт при вирішенні задачі (4), а також на основі зменшення витрат на проведення моніторингу стану ЕК (шляхом обробки даних з БПЛА) та на основі скорочення витрат пального БЗТ – шляхом застосування методу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів.

При розробці методу та алгоритму планування збиральних робіт (ЗР) для БЗТ передбачається, що процес планування ЗР являє собою керований N -етапний динамічний процес, який на кожному (n -му) етапі характеризується двома видами параметрів: параметрами керування m_n (кількістю спланованих безпілотних комбайнів) і параметрами стану $G_n(m_n)$ (об'ємом зібраної біомаси на n -му етапі).

У вигляді обмежень виступає сумарний ресурс часу збиральних робіт (T) та витрат пального (C), що виділяється на збиральну кампанію.

Кінцевою метою планування ЗР (W_N) є виконання БЗТ максимальної кількості ЗР.

Загалом задача оптимального планування ЗР різних видів ЕК та їх відпрацювання БЗТ може бути подана наступним чином.

Знайти

$$\max W_N = \sum_{n=1}^N G_n(m_n) \quad (4)$$

при

$$T_N \leq T; \quad C_N \leq C, \quad (5)$$

де T_N – використаний час на протязі N етапів збиральної кампанії; C_N – витрати пального на протязі N етапів ЗР.

Таким чином, необхідно знайти таку кількість БЗТ або їх проходжень (m_n) на кожному етапі, щоб максимізувати цільову функцію (4) при наступних обмеженнях:

$$\left. \begin{array}{l} a) \quad m_n = 0, 1, 2, \dots, \\ \hat{a}) \quad \sum_{n=1}^N t_n m_n \leq T, \\ \hat{a}) \quad \sum_{n=1}^N c_n m_n \leq C, \end{array} \right\} \quad (6)$$

де t_n – час виконання робіт на n -ій ділянці поля; c_n – вартісні витрати застосування БЗТ при виконанні n -го етапу ЗР.

Для знаходження оптимальних значень (m_n) застосовується метод динамічного програмування [1, 5, 9].

Після нескладних перетворень приходимо до наступного основного рекурентного співвідношення динамічного програмування:

$$\Lambda_k(\xi_T, \xi_C) = \max_{0 \leq m_k \leq \delta_k} [G_k(m_k) + \Lambda_{k-1}(\xi_T - t_k m_k; \xi_C - c_k m_k)] \quad (7)$$

де Λ_k – кількість виконаних робіт на k -му етапі; G_k – обсяги ЕК, зібраних на k -му етапі; ξ_C – параметр, що характеризує вартість витраченого палива; ξ_T – параметр, що характеризує часові витрати; λ – множник Лагранжа.

Найбільш ваговою перешкодою у вирішенні цієї задачі є велика її розмірність. Тому, з метою зниження розмірності, від задачі (7) перейдемо до задачі з одним обмеженням

$$\max W_1 = \max_{\{m_n\}} \sum_{n=1}^N G_n(m_n) - \lambda \sum_{n=1}^N c_n m_n. \quad (8)$$

Основне рекурентне співвідношення динамічного програмування має наступний вигляд

$$\Lambda_k(\xi_C) = \max_{m_k} [G_k(m_k) - \lambda c_k m_k + \Lambda_{k-1}(\xi_C - c_k m_k)]. \quad (9)$$

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

Постановка задачі синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів полягає у наступному.

Відомою інформацією є координати площі, на якій знаходиться біомаса ЕК, початкове місце знаходження кожної БЗТ, та кінцева точка її маршруту, координати пасивних перешкод та координати ділянок без біомаси (див. рис. 2), які отримані за допомогою підсистеми моніторингу стану та визначення обсягів енергетичних культур з БПЛА.

Необхідно знайти такі компромісно-оптимальні маршрути руху БЗТ, при яких забезпечується:

- а) мінімальний шлях руху БЗТ;
- б) об'їзд стаціонарних перешкод;
- в) об'їзд ділянок без біомаси.

Метод синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів включає виконання наступних операцій:

1. Відправна задача приводиться до дискретного виду.
2. Для кількісної оцінки небезпеки наближення безпілотних комбайнів до пасивних перешкод застосовується метод потенційних функцій:

$$B(\rho) = K \cdot e^{-\alpha \rho}, \quad (10)$$

де $\rho = \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2}$; (x^*, y^*) – координати точок-носіїв потенціалу небезпеки (пасивних перешкод); (x, y) – координати БЗТ; α та K – позитивні коефіцієнти, що визначають ступінь небезпеки наближення до тих або інших конфліктуючих предметів (задаються евристично).

3. Довжина шляху характеризується довжиною переходу з рівня $j-1$ по координаті j на рівень y . При цьому довжина переходу визначається за формулою

$$D_{j-1,i}^{j,m} = \sqrt{(x_m - x_i)^2 + (y_j - y_{j-1})^2}, \quad (11)$$

де (x_i, y_{j-1}) – координати БЗТ на $j-1$ -му рівні мережі; (x_m, y_j) – координати допустимої точки на j -му рівні мережі.

4. Критерій заходу безпілотних комбайнів в район відсутності енергетичних культур визначається за формулою:

$$\lambda = \exp(\mu R_{\min}), \quad (12)$$

де μ – позитивний коефіцієнт; R_{\min} – відстань між БЗТ та районом без ЕК.

5. Задача синтезу оптимальної траєкторії руху безпілотних комбайнів в заданих умовах розв'язується методом динамічного програмування з узагальненим критерієм оптимальності по нелінійній схемі компромісів [5]. При цьому для визначення оптимального шляху в кожному m -у допустимому точці по координаті x j -го рівня на кожному кроці розв'язується функціональне рівняння Беллмана:

$$F(j, m) = \min_{i \in I_{j-1}} [\Delta F_{j-1,i}^{j,m} + F(j-1, i)], \quad j \in [1, J], \quad (13)$$

де j – кількість рівнів переходу по координаті y на мережі; I_{j-1} – кількість допустимих точок на $j-1$ -му рівні мережі; s – номер початкової точки по координаті x на нульовому рівні мережі; $F(j, m)$ – сумарні втрати по узагальненому критерію оптимальності

6. Структура узагальненого критерію будується у відповідності з методологією нелінійної схеми компромісів та визначається виразом.

$$\Delta F_{j-1,i}^{j,m} = \frac{k_1 B_{\max}}{B_{\max} - B_{j,m}} + \frac{k_2 D_{\max}}{D_{\max} - D_{j-1,i}^{j,m}} + \frac{k_3 \lambda_{\max}}{\lambda_{\max} - \lambda_{j-1,i}^{j,m}}, \quad (14)$$

де k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти вагомості, B – оцінка небезпеки наближення безпілотних комбайнів до пасивних перешкод, D – довжина маршруту руху безпілотних комбайнів, λ – оцінка імовірності заходу безпілотних комбайнів в район відсутності енергетичних культур (рис. 6).

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.

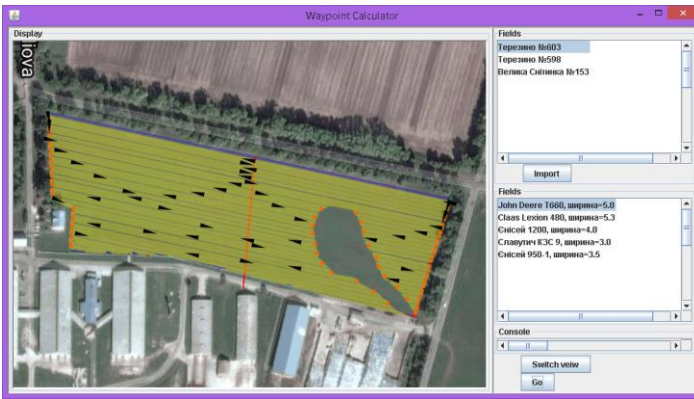


Рис. 6. Оптимізація маршруту збиральної техніки розробленою програмою Harvester – WayPoint Calculator

При розробці СППР, як інформаційної технології, здійснено системну інтеграцію моделей і алгоритмів, які ґрунтуються на класичних методах оптимізації і методах штучного інтелекту, що забезпечує ефективне розв'язування задач планування, контролю й оперативного керування процесами збирання різних видів енергетичних культур.

Необхідною умовою ефективного керування збиральною

кампанією є постійний контроль технологічного процесу збирання енергетичних культур. Відхилення від плану роботи у більшості випадків виникає внаслідок несправності технічних засобів або за несприятливих погодних умов проведення робіт. Але існують ситуації, коли на відхилення «план-факт» впливає і людський фактор, в результаті чого можливе як недовиконання плану, так і навпаки. Недовиконання плану може бути наслідком зниження інтенсивності робіт або припущення користувачем помилок при вводі початкових даних у систему, що знижує адекватність моделі реальному процесу. Збільшення планових показників може бути внаслідок підвищення швидкості проведення технологічних операцій, що може привести до додаткових втрат біомаси або зниження її якості. Також на етапі впровадження інтелектуальної системи в процес ЗР виникає необхідність донавчання системи з метою отримання більш адекватних рішень. Таким чином, при проведенні контролю необхідно встановити відповідність фактичного відхилення «план-факт» прогнозованому системою на основі даних про ситуації, що мали місце при ТПЗЕК.

З цією метою синтезовано продукційні правила підтримки рішень, які у якості приклада наведені на рис. 7.

В синтезованих продукційних правилах контролю процесами збирання та перевезення ЕК, використовуються такі позначення:

PY – погодні умови: сприятливі (G), несприятливі (B);

PZ – працездатність засобу: висока (T), середня (S), низька (H), незадовільна (C);

PP – перешкода на шляху ТЗ, відсутня (Q), можливий об'їзд (U), неможливо рухатись далі (N)

PF – фактичний відсоток виконання плану: (T), (S), (H), (O);

PR – прогнозний відсоток виконання плану: (T), (S), (H), (O), розрахований на основі даних, отриманих з БПЛА.

```

IF( PY="B" AND( PZ="T" OR PZ="S" OR PZ="H") AND( PP="Q" OR PP="U")
AND( PF="H" OR PF="C") AND( PF="S" OR PF="H" OR PF="O") )THEN
 («невиконання плану з причини поганих погодних умов»);
IF( PY="G" AND PZ="C" AND( PP="Q" OR PP="U") AND( PF="H" OR PF="O")
AND PR="H" )THEN («невиконання плану внаслідок несправності засобу»);
IF( PY="G" AND PZ="C" AND( PP="Q" OR PP="U") AND PF="S" AND PR="H" )THEN
 («невиконання плану внаслідок несправності засобу з можливою втратою
якості збирання внаслідок швидкості переробки ОС»);
IF( PY="G" AND( PZ="T" OR PZ="S" OR PZ="H") AND( PP="Q" OR PP="U")
AND PF="T" AND( PR="H" OR PR="O") )THEN («необхідно донавчити систему»);
IF( PY="G" AND PZ="S" AND( PP="Q" OR PP="U") AND( PF="H" OR PZ="O") AND
PR="O" )THEN («невиконання плану внаслідок несправності засобу зі
зниженням інтенсивності проведення робіт»);
IF( PY="G" AND PZ="C" AND( PP="Q" OR PP="U") AND( PF="S" OR PF="H")
AND PR="T" )THEN («невиконання плану внаслідок несправності засобу»);
...
IF( PY="G" AND PZ="S" AND( PP="Q" OR PP="U") AND PF="T" AND PR="S" )THEN
 («план виконано при наявності несправності засобу, можливо була збільшена
швидкість збирання» або «необхідно донавчити систему»);
( PY="G" AND( PZ="T" OR PZ="S") AND PP="N" AND( PF="S" OR PF="H")
AND PR="T" )THEN («необхідний виліт БПЛА для аналізу перешкоди»);
( PY="G" AND PZ="T" AND( PP="Q" OR PP="U") AND PF="H" AND PR="T" )THEN
 («необхідно донавчити систему для точного прогнозування»);
...
IF( PY="G" AND PZ="T" AND PP="Q" AND PF="S" AND PR="T" )THEN
 («план частково не виконано внаслідок технологічних причин);
IF( PY="G" AND PZ="T" AND PP="Q" AND PF="T" AND PR="T" )THEN
 («план виконано»).

```

Рис. 7. Продукційні правила підтримки рішень

Процедура подання знань про збиральну компанію формується на основі сумісного застосування методів планування збиральних робіт БЗТ та синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів. Алгоритм роботи модуля контролю та управління наведено на (рис. 8).

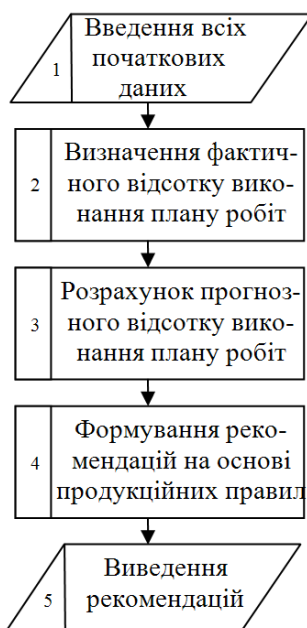


Рис.8. Алгоритм роботи модуля контролю та управління

Процедура розв'язування задачі контролю та управління проводиться згідно з такими етапами:

1. Задання початкових даних на основі фактичних і запланованих результатів роботи збиральних засобів, а також інформації про технологічні та погодні умови проведення збиральної кампанії;

2. Визначення фактичного відсотку виконання плану робіт PF для кожного технічного засобу;

3. Розрахунок прогнозного відсотку виконання плану робіт PR на основі використання даних від БПЛА;

4. Формування рекомендацій на основі продукційних правил підтримки рішень;

5. Визначення фактичного проценту виконання плану для технологічних підрозділів;

6. Формування рекомендацій, щодо складання нового плану робіт в оперативному режимі на наступний період ЗР.

Таким чином, у випадку, коли фактичні результати роботи технологічних підрозділів значно відрізняються від запланованих результатів, виникає потреба у повторному розв'язанні задачі планування ЗР для БЗТ.

Четвертий розділ «Розробка системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень та дослідження ефективності її алгоритмів» присвячено побудові структури інтелектуальної СППР і синтезу алгоритмів підтримки прийняття рішень, розробці методики організації функціонування гібридної інтелектуальної СППР, імітаційної моделі ТПЗЕК та перевірки її на адекватність, а також дослідженню ефективності алгоритмів функціонування системи.

Метою створення СППР є розробка інструментарію для прийняття рішень з організації процесу збирання енергетичних культур при обмежених часових, технічних і матеріальних ресурсах. Структурна схема підтримки прийняття рішень із збирання ЕК зображена на рис. 9.

Методика організації функціонування гібридної СППР базується на послідовному застосуванні методів та алгоритмів визначення обсягів ЕК за даними з БПЛА, планування ЗР та синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху БЗТ, процедури підтримки та прийняття рішень [13].

Оцінка ефективності функціонування розробленої СППР здійснювалася на основі імітаційної моделі ТПЗЕК.

Перевірка імітаційної моделі ТПЗЕК на адекватність та достовірність здійснена на основі статистичних даних про проведення збиральних кампаній 2014-2016 р. в ТДВ «Терезине» (рис. 10). На основі застосування t -критерію Ст'юдента був зроблений висновок, що імітаційна модель ТПЗЕК є адекватною реальним технологічним умовам.

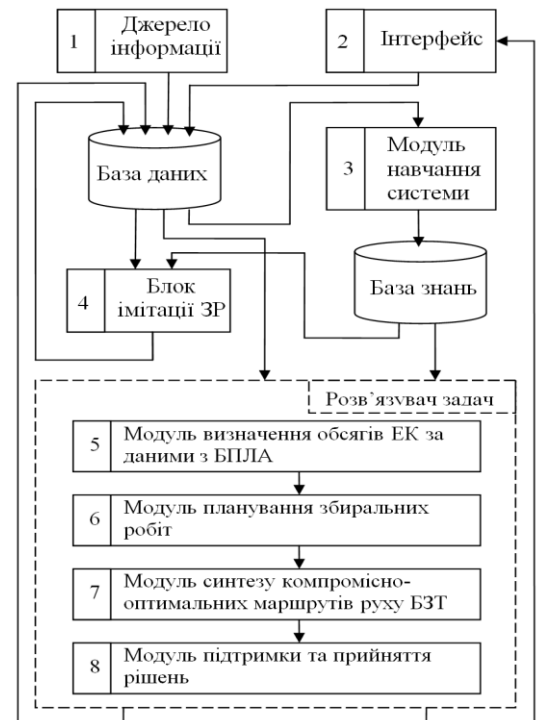


Рис. 9. Структурна схема підтримки прийняття рішень із збирання енергетичних культур

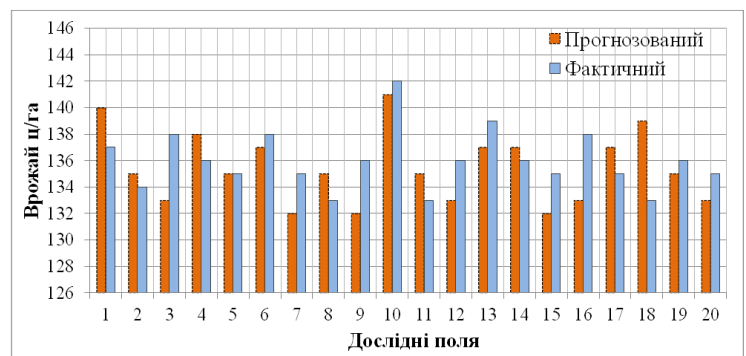


Рис. 10. Показники прогнозованих і фактичних обсягів збирання ЕК

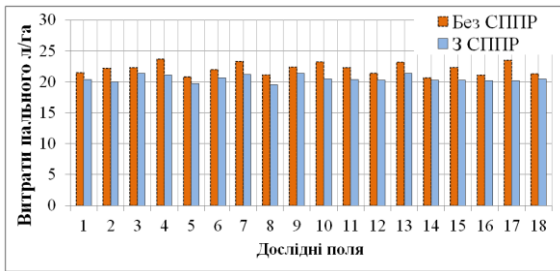


Рис. 11. Фактичні витрати пального на збиральну кампанію по кожному полю з застосуванням та без застосування СППР

«Терезине» при використанні методів і алгоритмів СППР дозволило знизити довжину маршрутів руху БЗТ та загальні витрати на проведення збиральної кампанії на 12-15% за рахунок оперативного визначення обсягів енергетичних культур, планування ЗР та реалізації компромісно-оптимальних маршрутів руху збиральної техніки (рис. 12). Виходячи з цього прибуток підприємства при застосуванні СППР збільшується більш ніж на 12%. Крім того, як показують результати практичного застосування СППР, значно скорочуються часові витрати на прийняття обґрунтованих рішень за рахунок обробки системою великих об'ємів інформації.

ВИСНОВКИ

За результатами дисертаційного дослідження вирішено актуальне наукове завдання, яке полягає у розробці спеціальних методів для створення системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень, як інформаційної технології, що заснована на методах визначення обсягів енергетичних культур, планування збиральних робіт, синтезу маршрутів руху безпілотних комбайнів та продукційних правилах підтримки рішень в умовах апріорної невизначеності характеру, структури та істинних станів біомаси на полях.

У результаті проведення теоретичних та експериментальних досліджень отримані наступні основні наукові та практичні результати.

1. Аналіз існуючих систем керування технологічними процесами збирання та перевезення енергетичних культур до місць їх переробки показав, що ефективність процесу збирання залежить, від надмірних експлуатаційних витрат, пов'язаних з накладанням маршрутів техніки (до 21%), неврахуванням особливостей геометричної форми поля та рельєфу місцевості (до 15%), втратами часу внаслідок затримок в прийнятті рішень у зв'язку з відсутністю моніторингу поточного стану та оперативного визначення обсягів енергетичних культур (до 25%), планування, контролю та оперативного керування збиральною технікою (до 39%). Аналіз існуючих методів організації процесу збирання показав, що вони не

Використовуючи синтезовані методи та алгоритми СППР для ТДВ «Терезине» проведено чисельне дослідження оцінки ефективності застосування СППР. Фактичні витрати пального на збиральну кампанію по кожному полю із застосуванням та без застосування СППР наведені на рис. 11.

Практичне застосування інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в ТДВ

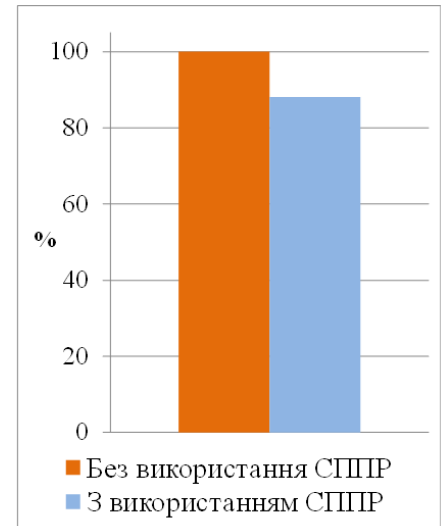


Рис. 12. Загальні витрати на збиральну кампанію із застосуванням та без застосування СППР

дозволяють враховувати обсяги енергетичних культур, фактичний рух техніки на полях, динаміку технологічних умов проведення процесу збору, вплив випадкових факторів на проведення робіт, нелінійний характер залежності рівня витрат від об'ємів збирання енергетичних культур, що значно знижує їх ефективність при застосуванні на практиці.

2. Отримав подальший розвиток метод визначення обсягів енергетичних культур на полях з БПЛА. Запропонований метод на відміну від відомих методів, відрізняється тим, що на основі статистичної обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості та за допомогою апарату нейронних мереж визначаються обсяги енергетичних культур на шляху руху безпілотних комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішення для розподілу та керування збиральною технікою при мінімальних вартісних (порівняно з космічними знімками) витратах. Розроблена інформаційна технологія обробки даних з БПЛА, в основу якої покладено розроблене програмне забезпечення LDE – Land damage expert.

3. Вперше розроблено метод планування збиральних робіт БЗТ, за допомогою якого забезпечується оптимальний розподіл безпілотних комбайнів між полями на основі використання процедури динамічного програмування при обмеженнях на часові та вартісні витрати, що забезпечує обґрунтоване прийняття рішень на застосування БЗТ.

4. Удосконалено 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 енергетична культура, за рахунок чого мінімізуються витрати пального.

5. Побудовано структурно-функціональну схему гібридної інтелектуальної системи керування збиральною кампанією, до основних складових якої увійшли база знань, блок імітації процесу, модуль навчання системи, інтерфейс та розв'язувач задач. Синтезовано продукційні правила та алгоритми підтримки прийняття рішень з керування технологічним процесом збирання ЕК, що дозволяє забезпечити ефективне керування безпіотною технікою в умовах часткової невизначеності.

6. Розроблено методику організації функціонування гібридної інтелектуальної СППР, що ґрунтується на послідовному застосуванні методів та засобів визначення обсягів енергетичних культур, планування збиральних робіт, синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів та продукційних правилах, що дає змогу забезпечити інтелектуальну підтримку прийняття рішень при керуванні технологічним процесом збирання енергетичних культур.

7. Здійснено формалізацію основних характеристик полів з врожаєм енергетичних культур, збиральної і транспортної техніки для підприємства ТДВ «Терезине», що дало змогу побудувати СППР, як інформаційну технологію підтримки прийняття рішень на проведення збиральних робіт. Розроблено та здійснено перевірку адекватності імітаційної моделі технологічного процесу збирання енергетичних культур, у результаті якої доведено, що відхилення план-

факт, які виникли при порівнянні фактичних даних і даних імітаційного моделювання, зумовлені дією випадкових причин і є несуттєвими. Дослідження ефективності розроблених алгоритмів інтелектуальної системи на ТДВ «Терезине» під час збиральної кампанії у 2014-2016 роках показало, що застосування методів і алгоритмів СППР дозволило знизити загальні витрати на проведення збиральної кампанії на 12-15% за рахунок оперативного визначення обсягів енергетичних культур, планування збиральних робіт та реалізації компромісно-оптимальних маршрутів руху збиральної техніки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових та фахових виданнях України:

- 1) Ленков С. В., Шворов С. А., Гунченко Ю. В., **Чирченко Д. В.** Методологічні основи побудови та організації функціонування роботизованих систем спеціального призначення // Вісник інженерної академії України. 2012. Вип. 1. С. 205-210. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).*
- 2) Шворов С. А., Осипа В. О., Михайлов М. М., **Чирченко Д. В.** Методичний апарат параметричного синтезу інтелектуальних роботизованих систем спеціального призначення // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: Військово-спеціальні науки. К. : Київський університет, 2012. Вип. 29. С. 16-19. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).*
- 3) Shvorov S., Zhyrov G., Shtepa V., **Chyrchenko D.**, Zhelnovach G. Neural network predicting solar (cosmic) radiation in special space systems // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2014. Вип. 46. С. 78-84. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpviknu_2014_46_13 *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).*
- 4) Шворов С. А., Комарчук Д. С., Охріменко П. Г., **Чирченко Д.В.** Побудова системи моніторингу місцевості на базі безпілотних літальних апаратів // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2015. №50. С. 68-73. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpviknu_2015_50_14 *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).*
- 5) Ленков С. В., Шворов С. А., Болбот І. М., Штепа В. М., **Чирченко Д. В.** Дискретна векторна оптимізація траєкторій руху мобільних роботів // Сучасна спеціальна техніка. 2012. №1 (28). С. 13-19. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).*
- 6) Ленков С. В. Шворов С. А., **Чирченко Д. В.** Моделювання руху мобільних роботів-маніпуляторів // Інформатика та математичні методи в моделюванні. 2011. Том 1. № 3. С. 209-218. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).*
- 7) Шворов С. А., Штепа В. М., Ярмолюк В. М., **Чирченко Д. В.** Математична модель руху платформи робота-маніпулятора з багатокоординатним

електромеханічним приводом // Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2012. №1(30). http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/titul.html (Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).

8) **Чирченко Д. В.** Аналіз критеріїв ефективності технологічних процесів збирання та переробки енергетичних культур [Електронний ресурс] // Енергетика і автоматика – 2013. – № 3(5) – С.192-198.

9) Шворов С. А., Охріменко П. Г., **Чирченко Д. В.** Система керування процесом завантаження біомаси та спеціальних домішок в біореактор для отримання максимальних об'ємів біогазу та органічних добрив // Енергетика і автоматика. 2014. №3. С. 155-161. (Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).

10) Шворов С. А., Комарчук Д. С., Охріменко П. Г., **Чирченко Д. В.** Система моніторингу стану енергетичних культур для отримання біометану // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 224. С. 96-103. (Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).

11) Shvorov S., Komarchuk D., Ohrimenko P., **Chyrchenko D.** Methodical Framework of the Support and Decision-making System for the Collection and Disposal of Organic Raw Materials // Energy engineering and control systems. 2015. Vol. 1, Num. 1. С. 29-34. (Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).

12) Лисенко В. П., Шворов С. А., Комарчук Д. С., **Чирченко Д. В.** Метод розпізнавання перешкод на шляху руху роботизованої збиральної техніки // Науковий вісник НУБіП України. 2016. № 256. С. 79-87. (Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).

13) Шворов С. А., Комарчук Д. С., Охріменко П. Г., **Чирченко Д. В.** Інтелектуальна система підтримки та прийняття рішень щодо організації вирощування, збору та перетворення енергетичних культур у біометан // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 209(2). С. 140-147. (Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).

14) Шворов С. А., Комарчук Д. С., Охріменко П. Г., **Чирченко Д. В.**, Васямович О. В. Методичні основи побудови системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень щодо організації збирання та переробки енергетичних культур в біогазових комплексах // Енергетика і автоматика. 2016. №2. С. 144-155. (Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).

Статті у закордонних наукових фахових виданнях:

15) Shvorov S., Reshetiuk V., Bolbot I., Shtepa V., **Chirchenko D.** Theoretical issues construction and operation of agricultural mission robotic system // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture No 60 (Agricultural and Forest

Engineering) 2012. P. 97–102. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).*

16) Шворов С. А., Комарчук Д. С., Охріменко П. Г., **Чирченко Д. В.** Система моніторингу состоянія енергетических культур для получения биометана // *Инновации в сельском хозяйстве* 2015 №4 (14) С. 212-217. *(Здобувач брав участь у проведенні досліджень, аналізі їх результатів та написанні статті).*

Матеріали конференцій

17) **Chyrchenko D.**, Zaets N., Shvovor S. The development of adaptive system with fuzzy controller for biogas production // *Contemporary aspects of production engineering : XX International scientific conference*, 25 травня 2011 року: тези доповіді. Poland, Warsaw University of Life Sciences. 2011 p. 76-87.

18) **Чирченко Д. В.**, Шворов С. А. Методологічні основи побудови та організації функціонування роботизованих систем спеціального призначення // *Сучасні проблеми екології та геотехнологій: ІХ Всеукраїнська наукова конференція студентів, магістрів та аспірантів*, 5-7 березня 2012 року: тези доповіді. Житомир: ЖДТУ, 2012р. С.75.

19) **Чирченко Д. В.** Система інтелектуальної підтримки прийняття рішення в процесі збору і переробки органічного сировини [Електронний ресурс] // «ЛОМОНОСОВ-2013»: XX Міжнародна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених 8-13 квітня 2013 року: тези доповіді. Москва: МГУ, 2013

20) Чирченко Д. В. Шляхи підвищення ефективності збору і переробки органічної сировини // *Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: ІІ Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених* 16–18 жовтня 2013 року: тези доповіді. Київ: НУБіП України, 2013 С. 176.

21) **Chyrchenko D.**, Shvovor S. Methods of organizing the collection organic raw materials for biogas plants // *Contemporary aspects of production engineering : XXIII International scientific conference*, 21 квітня 2014 року: тези доповіді. Poland, Warsaw University of Life Sciences. 2014 p. 18-27.

22) **Чирченко Д. В.**, Шворов С. А., Охріменко П. Г. Система підтримки та прийняття рішень щодо організації збору та переробки органічної сировини в біогазових комплексах // *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами: міжнародна науково-технічної конференція*, 27 листопада 2014 року: тези доповіді. Київ: НУХТ. 2014. С. 153-154.

23) **Чирченко Д. В.** Система определения местонахождения и утилизации органического сырья [Електронний ресурс] / Чирченко Д. В. // «ЛОМОНОСОВ-2014»: XXI Міжнародна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених 6-11 квітня 2014 року: тези доповіді. Москва: МГУ, 2014

24) **Чирченко Д. В.**, Охріменко П. Г., Шворов С. А. Система моніторингу місцевості з використанням БПЛА // *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє X Міжнародна науково-практична конференція*, 21 листопада 2014 року: тези доповіді К., 2014 С. 68.

25) Шворов С. А., Комарчук Д. С., Охріменко П. Г., **Чирченко Д. В.** Система підтримки прийняття рішень щодо організації вирощування, збору та переробки

енергетичних культур у біометан // Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України: VI Міжнародна науково-технічна конференція пам'яті І.І. Мартиненка, 10-14 червня 2015 року: тези доповіді. Мелітополь: ТДАТУ, 2015. С. 71-73.

26) **Чирченко Д. В.**, Власюк А.М., Шворов С. А. Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень щодо застосування енергетичних культур у біогазових установках // Актуальні проблеми наук про життя та природокористування: III Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, 28 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015 С. 273-274

27) **Чирченко Д. В.**, Шворов С. А., Комарчук Д. С., Охріменко П. Г. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при керуванні збором та переробкою органічної сировини // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами: II міжнародна науково-технічна Internet-конференція, 25 листопада 2015 року: тези доповіді. К., 2015 С. 131-133.

28) **Чирченко Д. В.**, Охріменко П.Г., Шворов С. А. Система визначення місцезнаходження екологічно-небезпечної сировини // Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутня XI Міжнародна науково-практична конференція, 27 листопада 2015 року: тези доповіді. К., 2015 С. 68.

29) **Чирченко Д. В.**, Шворов С. А., Охріменко П. Г. Система підтримки прийняття рішень організації внутрішньої взаємодії сільськогосподарського підприємства при вирощуванні та переробці енергетичних культур // Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві та природокористуванні: III Міжнародна науково-практична конференція 25–26 червня 2015 року: тези доповіді. К., 2015 С. 114-116.

30) **Чирченко Д. В.**, Шворов С. А., Комарчук Д. С., Лисенко В. П. Розпізнавання перешкод на шляху руху безпілотної роботизованої збиральної техніки // Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК IV Міжнародна науково-практична конференція, 21-22 листопада 2016 року: тези доповіді. К., 2016 С. 121-122.

31) **Чирченко Д. В.**, Шворов С. А., Комарчук Д.С. Технічні принципи побудови системи розпізнавання перешкод на шляху руху безпілотної роботизованої збиральної техніки // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами: III міжнародна науково-технічної Internet-конференція, 23 листопада 2016 року: тези доповіді. К., 2016 С. 92-93.

32) Shvorov S., Komarchuk D., **Chyrchenko D.** // Automated process control systems gathering and recycling of organic raw materials // IV International scientific conference "Global and Regional problems of Informatization in Society and Nature Using '2016", 23-24 червня 2016 року: тези доповіді. К., 2016 С. 126-127.

АНОТАЦІЯ

Чирченко Д. В. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при керуванні процесом збирання енергетичних культур для біогазових установок. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2015.

Дисертацію присвячено розв’язанню науково-прикладного завдання, яке полягає в розробці спеціальних методів та засобів системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень щодо збирання енергетичних культур для біогазових установок в умовах апріорної невизначеності характеру, структури та істинних станів енергетичних культур на полях.

На основі проведеного аналізу задач управлінської діяльності, показано що широке застосування інформаційних технологій обробки даних з безпілотних літальних апаратів, забезпечує більш високу оперативність та точність отримання результатів спостереження за процесом збирання енергетичних культур. Запропоновано методи визначення обсягів енергетичних культур за даними з БПЛА, планування збиральних робіт та синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів, з урахуванням об’їзду ділянок, на яких відсутня енергетична культура, за рахунок чого мінімізуються витрати пального.

Виконані експериментальні дослідження, які підтвердили економічну ефективність впровадження системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень при керуванні процесом збирання енергетичних культур.

Розроблена методика організації функціонування гібридної інтелектуальної СППР, основаної на послідовному застосуванні методів та засобів визначення об’ємів енергетичних культур, планування збиральних робіт, синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів та продукційних правилах, дозволяє забезпечити інтелектуальну підтримку прийняття рішень щодо управління технологічним процесом збору енергетичних культур.

На основі синтезу методів, моделей та алгоритмів керування процесом збирання енергетичних культур підвищено ефективність збиральних робіт.

Ключові слова: СППР, розпізнавання образів, стани біологічних об’єктів, нейрона мережа, моніторинг.

АННОТАЦИЯ

Чирченко Д. В. Система интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении процессом сбора энергетических культур для биогазовых установок. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Информационные технологии. – Национальный университет пищевых технологий, Киев, в 2016.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной задачи, которая заключается в разработке специальных методов и средств системы интеллектуальной поддержки принятия решения по сбору энергетических

культур для биогазовых установок в условиях априорной неопределенности характера, структуры и истинных состояний энергетических культур на полях.

На основе проведенного анализа задач управленческой деятельности, показано, что широкое применение информационных технологий обработки данных с беспилотных летательных аппаратов, обеспечивает более высокую оперативность и точность получения результатов наблюдения за процессом сбора энергетических культур. Однако на данный момент времени недостаточно полно разработаны методы определения объемов энергетических культур с необходимой точностью по данным, полученным с БПЛА. Как показывают результаты экспериментальных исследований, обычные цифровые фотокамеры можно эффективно использовать при прогнозировании урожая и для определения различных препятствий на пути движения беспилотной уборочной техники на каждом участке поля. После проведения фотосъемки на электронной карте поля на основе статистической обработки RGB-сигналов определяется несколько контрастных по оптическим характеристикам зон (участков). Для каждой из этих зон измеряется экспериментально контрольные объемы урожая и эти данные используются для обучения нейронной сети. Получил дальнейшее развитие метод определения объемов энергетических культур по данным от БПЛА, который отличается от известных методов тем, что на основе статистической обработки спектральных характеристик цифровых снимков каждого участка местности и с помощью аппарата нейронных сетей определяются объемы энергетических культур на пути движения беспилотных комбайнов, что обеспечивает оперативное принятие решения для распределения и управления уборочной техникой при минимальных стоимостных затратах.

При разработке метода и алгоритма планирования уборочных работ предполагается, что данный процесс представляет собой управляемый многоэтапный динамический процесс, который на каждом этапе характеризуется двумя видами параметров: параметрами управления (количеством спланированных беспилотных комбайнов) и параметрами состояния, то есть объемом собранной биомассы на каждом этапе. Конечной целью планирования является максимизация объема собранного урожая. На основе использования процедуры динамического программирования впервые разработан метод планирования уборочных работ, который обеспечивает оптимальное распределение беспилотных комбайнов между полями при ограничениях на временные и стоимостные затраты.

Известной информацией для решения задачи синтеза компромиссно-оптимальных маршрутов движения беспилотных комбайнов являются координаты площади поля, на котором находится биомасса, начальные и конечные точки маршрута движения беспилотных комбайнов, координаты помех и участков без биомассы, полученные по данным от БПЛА.

Необходимо найти такие компромиссно-оптимальные маршруты движения, при которых минимизируется пройденный путь; объезд стационарных помех и участков без биомассы.

Для решения данной задачи усовершенствован метод синтеза компромиссно-оптимальных маршрутов движения беспилотных комбайнов, основанный на

использовании процедуры динамического программирования, что обеспечивает, в отличие от известных методов, определение минимальной длины маршрутов движения беспилотных комбайнов с учетом препятствий и наличия энергетических культур, за счет чего сокращается расход топлива.

На основе синтеза вышеприведенных методов и алгоритмов управления процессом сбора энергетических культур разработана методика организации функционирования гибридной интеллектуальной СППР.

Выполнены экспериментальные исследования, которые подтвердили экономическую эффективность внедрения системы интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении процессом сбора энергетических культур.

Ключевые слова: СППР, распознавание образов, состояния биологических объектов, нейронная сеть, мониторинг.

ABSTRACT

D. Chyrchenko System of intellectual decision support for managing the collection of energy crops for biogas plants. - Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.06 - Information Technology. - National University of Food Technologies, Kyiv, 2016.

The dissertation is devoted to solving scientific and applied problems, which is to develop the scientific basis of management decision support system.

Based on the analysis of management tasks, it is shown that the widespread use of information technologies for data processing from unmanned aerial vehicles, provides higher efficiency and accuracy of obtaining the results of monitoring the process of collecting energy crops. However, at this point in time, methods for determining the volumes of energy crops with the required accuracy from the data obtained with UAV are not fully developed. As shown by the results of experimental studies, conventional digital cameras can be effectively used in forecasting crops and to identify various obstacles to the movement of unmanned harvesting equipment in each section of the field. After taking a picture on the electronic map of the field, based on statistical processing of RGB signals, several contrasting zones (sections) are determined by optical characteristics. For each of these zones, the experimental crop volumes are measured experimentally and these data are used to train the neural network. The method for determining the volumes of energy crops based on data from UAV has been further developed, which differs from known methods in that, based on statistical processing of the spectral characteristics of digital images of each section of the terrain and using the apparatus of neural networks, the volumes of energy crops in the path of unmanned combine harvesting are determined.

The method for determining the volumes of energy crops based on data from UAV has been further developed, which differs from known methods in that, based on statistical processing of the spectral characteristics of digital images of each section of the terrain and using the apparatus of neural networks, the volumes of energy crops on the path of unmanned combine harvesting are determined. Prompt decision-making for the distribution and management of harvesting equipment with minimal cost.

When developing a method and algorithm for harvest planning, it is assumed that this process is a controlled multi-stage dynamic process, which is characterized at each

stage by two types of parameters: control parameters (the number of planned unmanned combines) and state parameters, that is, the amount of biomass collected at each stage. The ultimate goal of planning is to maximize the volume of harvested crops. Based on the use of the dynamic programming procedure, a planning method for harvesting works was first developed, which ensures the optimal distribution of unmanned harvesters between fields with constraints on time and cost expenditures.

The known information for solving the problem of synthesis of compromise-optimal routes for driving unmanned combines are the coordinates of the area of the field on which the biomass is located, the start and end points of the route of unmanned harvester, the coordinates of interference and areas without biomass, obtained from UAV data.

To solve this problem, the method of synthesis of compromise optimal routes for unmanned combines has been improved, based on the use of the dynamic programming procedure, which, unlike known methods, determines the minimum length of routes for unmanned combine harvesters taking into account obstacles and the presence of energy crops, Fuel.

The method of organizing intellectual functioning hybrid DSS, based on the consistent application of methods and means of determining the volume of energy crops, harvesting planning, synthesis, compromise optimal routes unmanned harvesting and production rules, enables intelligent decision support for the management process of gathering energy cultures.

Experimental studies have been carried out which confirmed the economic effectiveness of the implementation of the intellectual decision support system in managing the collection of energy crops.

Keywords: Decision Support System, pattern recognition, state of biological objects, neuron network, monitoring.