

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра технології та засоби механізації аграрного виробництва

Пояснювальна записка
до дипломної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Дослідження технології визначення
якості загортання рослин у ґрунт засобами машинного зору»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 208 Агроінженерія
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи ____
Канівець І. М.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Бурлака О. А.
Прізвище та ініціали керівника
Рецензент: _____
Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Гумус є важливою складовою частиною ґрунту. Він утворюється під час розкладання мікроорганізмами різноманітних органічних матеріалів, таких як корені, стебла, листя рослин, відмерлі безхребетні та ін. Вміст гумусу в ґрунті – це показник рівня родючості. Практично всі властивості ґрунту знаходяться в прямій залежності від вмісту органічної речовини, 90% якого припадає на частку гумусу. У гумусі міститься більше 95% всіх запасів азоту ґрунту, 60% фосфору, до 80% сірки, значна частина мікроелементів. Живильні речовини в гумусі недоступні для рослин. Тільки після його розкладання мікроорганізмами поживні речовини стають доступними для рослин.

Зелені рослини мають найбільшу біомасу і їх річний приріст перевищує біомасу безхребетних тварин і мікроорганізмів в кілька десятків або сотень разів, а хребетних тварин – в кілька тисяч разів. Так, молоді трави містять багато азоту, але слабкіше збагачують ґрунт гумусом. Органічні речовини молодих трав швидко розкладаються. Зрілі рослини з жорстким стеблом містять органічні речовини, що розкладаються протягом довгого періоду. Тому, надземний і кореневий опад вищих рослин дають основний матеріал, з якого формується органічна речовина ґрунту. Саме дані складові йдуть на відновлення гумусу.

У інтенсивному землеробстві контроль за якістю обробітку ґрунту здійснюється на основі агротехнічних вимог та встановлення показників якості.

Якість оранки оцінюють за строками, глибиною і рівномірністю її виконання, повнотою обертання скиби, ступенем розпушування і бриластістю, відсутністю огріхів, повнотою загортання дернини, післяжнивних решток, бур'янів, добрив, оборюванням країв поля.

Мета дослідження. Дослідження технології виявлення рослин на поверхні ґрунту під час оранки засобами машинного зору для контролю

агротехнічних вимог та попередження оператора машинно-тракторного агрегату у реальному часі про їх порушення. Дані дослідження можна також використати для відслідковування якості мульчування в органічному землеробстві.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес визначення рослин на поверхні ґрунту засобами машинного зору.

Предмет дослідження. Залежності процесу виявлення рослин на поверхні ґрунту.

Методологія і методи дослідження. Методи досліджень базуються на основах теорії планування експерименту, статистичного аналізу з використанням програм Python, Statistica, Microsoft Excel та методиках написання програм.

Наукову новизну досліджень складають:

- програма для виявлення рослин на поверхні ґрунту;
- математична модель, що описує параметри процесу розпізнавання та аналізу кольорових спектрів рослин.

РОЗДІЛ 1

РІЗНОРІВНЕВИЙ ВИСІВ НАСІННЯ І ДОБРИВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІБРАЦІЇ

1.1 Агротехнічні вимоги, що впливають на рівномірність розподілу насіння по глибині

Механічний обробіток ґрунту в поєднанні з внесенням добрив є однією із найважливіших умов одержання високих і сталих врожаїв. Правильний механічний обробіток ґрунту має важливе значення в системі заходів підвищення родючості ґрунту у всіх природно-кліматичних зонах України [1].

Головним завданням основного та поверхневого обробітку ґрунту є створення сприятливих умов для висіву насіння на оптимальну глибину, росту та розвитку культурних рослин, збереження та відновлення гумусу, захисту ґрунту від водяної і повітряної ерозії, знищення бур'янів, збудників хвороб та шкідників культурних рослин.

Сучасне землеробство умовно можна розділити на дві великі групи – інтенсивне та органічне. Основним об'єктом землеробства є ґрунт.

Ґрунт – це органічна структура. Він складається із: живої біомаси, органічних решток рослин, тварин, мікроорганізмів, продуктів їх метаболізму та гумусу.

У своїх дослідженнях [2] Докучаєв В. В. зауважив, що якщо із цілини виділити пласт ґрунту, то у ньому можна побачити корені рослин, траву, нори жуків, черв'яки, личинки, а також невелику частину землі. Комахи та мікроорганізми переробляють ґрунт і сприяють створенню рихлої структури. Подібну позицію відстоює і Чарльз Дарвін [3]. Він відмічає, що черв'яки почали правильно обробляти ґрунт ще задовго до початку роботи орних агрегатів.

Слащалін Ю. А. [4] досліджував чисту не отруєну гербіцидами і пестицидами землю. Дані досліджень показали, що на 0,01 гектарах ґрунту проживає близько 400 кг бактерій, черв'яків і інших мікроорганізмів. Ці живі організми переробляють понад 500 кг гумусу на рік.

Своєчасність оранки оцінюють порівнянням фактичного строку з встановленими агроправилами для кожного конкретного району. Глибину оранки вимірюють бороздоміром або лінійкою з поділками. Вимірювання проводять не менше як у 25 місцях загінки. Допускається відхилення від заданої глибини на зораному полі не більше як 5 %. При визначенні глибини на зораному полі вносять поправку на розпушеність, для чого виміряну середню глибину зменшують на $1/4$.

Якість перевертання скиби визначають спеціальним кутоміром. Для загортання дернини, післяжнивних решток, бур'янів і гною в ґрунт обертання скиби має бути не менше 135° . Загортання післяжнивних решток, бур'янів і відсутність огріхів визначають візуально по діагоналі поля.

До агротехнічних заходів належить обробіток ґрунту (лушення стерні, зяблева оранка, передпосівна культивация, обробіток парів, міжрядний обробіток), періодичне скошування бур'янів на узбіччях доріг, каналах, луках, пасовищах і мульчування ґрунту.

Багаторічний досвід землеробства свідчить, що зяблева оранка забезпечує вищі врожаї порівняно з веснооранкою. За даними науково-дослідних установ, урожай ярих зернових після зяблевої оранки на 25-35 % вищий, ніж по весняній оранці.

Перевагою зяблевого обробітку перед весняною оранкою є те, що при осінній оранці в ґрунті нагромаджується більше вологи і поживних речовин, знищуються бур'яни, збудники хвороб і шкідники сільськогосподарських культур, підвищується дія внесених органічних і мінеральних добрив. При впровадженні зяблевої оранки зменшується напруження у весняний період, що дає можливість використовувати машинно-тракторний парк повністю для весняної сівби [6].

При вирощуванні культурних рослин вміст гумусу в ґрунті постійно зменшується в наслідок його мінералізації. Глибока оранка знижує активність черв'яків і мікроорганізмів, руйнує структуру ґрунту, знижує її родючість. При глибокій оранці ґрунт активно насичується киснем. Цей процес активує ґрунтові бактерії для розчеплення гумусу на мінеральні елементи. Товстий шар гумусу на зораних цілих землях забезпечує високі врожаї. Через декілька років шар гумусу зменшується. У результаті знижується урожайність, слабшає імунітет рослин, поширюються шкідники та хвороби, що призводить до застосування добрив, гербіцидів та пестицидів [7].

За даними Яблокова А. [8] при інтенсивних технологіях внесення 97-99% інсектицидів і фунгіцидів та 80-95% гербіцидів потрапляє в ґрунт, водойми, повітря. Негативна дія мінеральних добрив полягає в тому, що при систематичному внесенні їх у ґрунт накопичуються шкідливі малорухомі речовини – важкі метали (миш'як, кадмій, хром, кобальт, мідь, свинець, ванадій, цинк тощо). З кожною тонною внесеного на поля фосфору в ґрунт потрапляє до 160 кг фтору, висока концентрація якого змінює напрям біологічних процесів у ґрунті.

Велику роль рослинні залишки відіграють при диференціації ґрунтових показників за профілем: вміст органічної речовини, накопиченням якого в ґрунті є самі рослини з кореневими та пожнивними залишками. У звичайних умовах у ґрунт надходить в 1,5-2 рази більше органічної речовини, ніж з органічними добривами [9]. При грамотному використанні поживні залишки це цінне органічне добриво. За різними оцінками, при закладенні в ґрунт рослинних надлишків на 1 га ріллі повертатиметься у ґрунт 15-18 кг азоту, 6-8 кг фосфору, 24-36 кг калію. Солома також містить кілька сірки, кальцію, магнію, різні мікроелементи. Вона – найважливіше джерело вуглецю для утворення гумусу [5].

Для органічного землеробства мульчування є одним з основних прийомів захисту ґрунту. Мульча – це все, чим укривається ґрунт: сіно,

солома, листя, тирса та підрізані бур'яни. Зазвичай, в природі вся земля завжди прикрита листям або травою. Оголений, незахищений ґрунт перегрівається на сонці і дуже швидко випаровує вологу, після дощів перетворюється в бруд і перестає дихати, переохолоджується при заморозках, частіше піддається водній та вітровій ерозії. Мульча захищає землю, створює сприятливі умови для черв'яків і мікроорганізмів, а з часом, у міру розкладання, мульчуючий матеріал перетворюється в гумус.

Для створення мульчуючого покриву зазвичай висівають ґрунтопокривні культури, які після збирання врожаю залишають більше рослинних залишків, що забезпечує повний покрив ґрунту. Такими культурами в наших умовах є - озима пшениця, ячмінь, просо і овес. Мульчуючий покрив захищає ґрунт від ерозії, дефляції, пригнічує ріст бур'янів, регулює температурні коливання в ґрунті, зменшує випаровування з ґрунту, зменшує сезонне накоплення солі в кореневмісному шарі рослин, створює сприятливі умови для життєдіяльності ґрунтових організмів. Щорічне додавання рослинних залишків сприяє збільшенню вмісту органічної речовини ґрунту. Дослідженнями [4] встановлено, що збереження на поверхні ґрунту соломи знижує сезонне накопичення солей в кореневмісному шарі ґрунту в 1,6-4 рази в порівнянні з нічим непокритим ділянкою. Так, вміст сухого залишку в ґрунті в 0-10 см горизонті при повному покритті поля соломою склало 0,2-0,5%, а на незастеленому ділянці цей показник склав 0,8%. Цей прийом сприяв також збереженню ґрунтової вологи на 2,5-3,2% більше, в порівнянні з ділянкою без покриву – 1.

Родючість ґрунту вдається підвищити без будь-яких добрив всього лише правильним мульчуванням. В якості мульчі використовуються підрізані бур'яни і скошена трава, опале листя, сіно і тирса. Покривають грядку відразу після висадки розсади, дотримуючись правил: мульчу накладають товстим щільним шаром. Допускається, щоб мульча стикалася зі стеблами городніх культур. У міру росту рослин мульча перепріває і гниє, йдучи в землю, звідки у вигляді органіки надходить до культур. Суха мульча

вбирається слабо, тому її потрібно постійно поливати, стежачи, щоб прошарок між ґрунтом і мульчею весь час залишалася вологою. В органічному землеробстві поливати потрібно не самі культури, а тільки покладену навколо них мульчу. Якщо в ґрунт висаджувалися насіння, то їм спочатку дають прорости, і лише потім грядки мульчують. Навіть після збору врожаю грядки не перекопують, мульчу не прибирають. Майданчик розрівнюють граблями, знову покривають товстим шаром нової мульчі і в такому вигляді залишають зимувати.

Серед агротехнічних заходів, що значною мірою впливають на мікробіологічну діяльність в ґрунті, механічному обробітку ґрунту та мульчуванню належать одні з провідних місць. При їх дії на ґрунт змінюються його агрофізичні властивості, які впливають на водно-повітряний і тепловий режими ґрунту. Вплив механічного обробітку на розвиток ґрунтової мікрофлори проявляється через зміну фізичного режиму ґрунту, переміщення та перерозподіл органічних речовин в межах оброблюваного шару, поліпшення умов росту й розвитку рослин [2].

Колектив учених [21] провели дослідження традиційного післязбирального способу обробки ґрунту – дискування та оранку звичайним плугом. При обробці ґрунту дисковою бороною БДТ-7 глибина розпушування була незначною і становила 4-5 см, а закладення стерні в ґрунт лише 34,8 %. Хоча забивання дисків борони і не спостерігалось, але на обробленій поверхні ґрунту залишилася велика кількість великих грудок від валка стерні, що ускладнить подальший обробіток ґрунту. Оранка задискованого поля плугом ПЛН-5-35 без передплужників з культурною лемішно-відвальною поверхнею його корпусів показала, що після проходу плуга на поверхні поля залишаються гребінці стерні заввишки 10-12 см практично за кожним плужним корпусом. Відзначено поодинокі випадки забивання плуга. Закладення стерневих залишків у ґрунт склало всього 81,7 %.

Таким чином, виникає необхідність у якісному відслідковуванні кількості зароблених рослин у ґрунт під час механічного обробітку та його повного закривання при мульчуванні. При невідповідності агротехнічним вимогам необхідно вносити корективи у відповідний технологічний процес.

1.2 Аналіз сучасних систем машинного зору для контролю якості агропродукції

У даний час системи машинного зору широко використовуються не тільки в ігровій індустрії, а знайшли своє застосування і у сільському господарстві, а саме: для прогнозування врожайності, розпізнавання стиглості плодів, відслідковування розміщення бур'янів на полі для внесення гербіцидів, визначення виду рослин за формою листків та стебел та ін.

Ряд вчених Sergio Cubero, Won Suk Lee, Nuria Aleixos, Francisco Albert, Jose Blasco [10] за допомогою комп'ютерного зору досліджують спектр кольорів поверхні цитрусових для виявлення дефектів та хвороб. Вони зазначають, що колір шкірки апельсинів може вказувати на низку небезпечних захворювань. Технології машинного зору дають можливість не тільки відсортувати фрукти відповідно до комерційних стратегій, а і видалити небажані фрукти з конвеєра. Подібними дослідженнями [11] займаються китайські та японські науковці Qinghua Su, Naoshi Kondo, Dimas Firmanda Al Riza, Harshana Habaragamuwa під час виявлення дефектів картоплі засобами машинного зору.

D. Choi, W. S. Lee, R. Ehsani, F. M. Roka [12] розробили систему машинного зору для кількісного визначення цитрусових, що впали на землю. У результаті система отримала алгоритм поліпшення зображення для різних умов освітлення і оцінки кількості крапель на плоді та маси цитрусових.

Shen Kefei, Li Baoying, Liu Hanxu and Li Chen [13] запропонували систему машинного зору на базі квадрокоптера для сільськогосподарського екологічного моніторингу. Удосконалений квадрокоптер розпізнає образи для моніторингу навколишнього середовища сільськогосподарських угідь.

Він збирає зображення високої чіткості в реальному часі. Так можна аналізувати стан росту сільськогосподарських культур і регулярно контролювати температуру, вологість та інші параметри атмосферного середовища. У свою чергу група китайських та японських дослідників на чолі з Liang Zhang [14] займається моніторингом в реальному часі оптимального часу збору свіжих чайних листів. Вони запропонували метод, що забезпечує основні умови для майбутньої експлуатації чайних плантацій і управління ними з використанням інформаційних технологій, автоматизації та інтелектуальних систем.

Задача розпізнавання образів круглого лісу дуже важлива в деревообробній промисловості. Вирішенням даної проблеми займаються Yuriy V. Chiryshev і Anastasiya S. Atamanova [15]. У дослідженнях вони показують огляд існуючих рішень з розпізнавання круглого лісу, їх переваги і недоліки, а також описують особливості власного алгоритму розпізнавання образів.

Групи вчених на чолі з Bairong Li [16], K.P. Seng [17], Faisal Ahmed [18] також показали власні дослідження по використанню систем машинного зору із розпізнавання яблук, винограду та визначення положення бур'янів на полі.

Огляд літературних джерел показав, що системи машинного зору широко використовуються у різних напрямках сільського господарства, а тому її можна застосувати і до визначення повноти загортання рослин, тобто рослин, що залишились на поверхні поля після обробки ґрунту.

Агротехнічні вимоги до повноти загортання рослин у ґрунт описали такі дослідники як Чернілевський М. С., Білявський Ю. А., Кропивницький Р. Б., Ворона Л. І. [19]. Їх суть зводиться до наступного: агроном обходить зоране поле по діагоналі, знаходить незагорнуті рослини, накладає на зоране поле метрову рамку 1 (рисунок 1.1) та підраховує площу рослин 2, що лежать на поверхні ґрунту на 1 гектарі.



Рисунок 1.1 – Рамка для підрахунку площі незароблених рослин

Даний спосіб має низку недоліків: трудомісткість, довготривалість та неточність. Він передбачає визначення відсотку рослин, що лежать на поверхні поля, окомірним методом обходом обмеженої частини поля по діагоналі поля. При цьому перевірка повноти загортання рослин у ґрунт проводиться після обробки усього поля або його частини, а корективи у технологічний процес вносяться пізніше, виключно як негативний досвід.

Оскільки якість зароблення рослин у ґрунт впливає на процес утворення гумусу, тому усі бур'яни необхідно підрізати та закопати. Отже, класичний спосіб визначення повноти загортання рослин у ґрунт потребує вдосконалення із використанням сучасних цифрових технологій.

Висновки

1. Проведено аналіз процесу утворення гумусу та визначено чинники, що впливають на швидкість його зменшення.
2. Проведено аналіз сучасних систем машинного зору, що використовуються в сільському господарстві різних країн світу.
3. Описано діючий спосіб визначення відсотку рослинної маси, що залишається на поверхні поля після обробки ґрунту.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Функціональна схема інформаційного супроводу розпізнавання рослин

Створення сучасних систем машинного зору контролю якості агропродукції йде за двома взаємозалежними напрямками. Перший напрямок – розробка апаратної частини систем машинного зору. Другий – розробка прикладного програмного забезпечення (ПЗ) для обробки цифрової інформації з наступним прийняттям на її основі відповідного рішення. Необхідно зазначити, що можливості поліпшення апаратної частини систем машинного зору вичерпані асортиментом компонентів, які на даний момент випускає електронна промисловість. Тоді як у сфері покращення ПЗ подібних обмежень немає, все залежить лише від досвіду та кваліфікації програміста. Виходячи з цього, при огляді сучасних систем машинного зору для контролю якості агропродукції більшу увагу буде приділено програмним системам, що розглядаються,

Цифрові зображення зразків (зелена маса рослин) оброблялися за спеціально розробленим алгоритмом класифікації. На рисунку 2.1 цей алгоритм показаний у вигляді блок-схеми. На початковому етапі отримане зображення зразка перетворювалося з колірної системи RGB в систему HSV (hue – колірний тон або відтінок; Saturation – насиченість; Value – яскравість).

Перетворення в систему HSV здійснюється за відповідними формулами:

$$H = \arccos \frac{6R - G - B}{\sqrt{6 \left[\left(R - \frac{1}{3} \right)^2 + \left(G - \frac{1}{3} \right)^2 + \left(B - \frac{1}{3} \right)^2 \right]}}, \quad (2.1)$$

$$S = 1 - 3 \min(R, G, B), \quad (2.2)$$

$$V = R + G + B, \quad (2.3)$$



Рисунок. 2.1 – Алгоритм розпізнавання зразків за кольором

Наступним кроком алгоритму є додаткова обробка цифрового зображення зразка (параметр H). На цьому етапі алгоритму шляхом аналізу отриманих гістограм було встановлено кількісні значення кольірних відтінків зразків (зелена маса рослин) різної якості для подальшого процесу розпізнавання.

У ході випробувань даної системи технічного зору точність розпізнавання зеленої маси рослин у середньому становила близько 93%. Іншою великою перевагою розробленого алгоритму є його універсальність. Даний алгоритм після несуттєвого доопрацювання може бути використаний для розпізнавання кольору інших рослин. До основних недоліків представленої системи, а точніше, її алгоритму розпізнавання, необхідно віднести неможливість всебічного опису інших параметрів якості

досліджуваного зразка, таких як форма, розміри, ураження захворюваннями і т.д.

Підсумовуючи всі вищерозглянуті розробки, можна узагальнити і виділити три функціональні складові сучасної системи машинного зору для контролю якості агропродукції:

- блок для огляду зразка;
- блок відеообладнання із системою освітлення;
- електронний блок обробки даних із прикладним ПЗ.

Таке узагальнення дає можливість побачити загальні принципи побудови подібних систем та відкриває можливість цілеспрямованого дослідження та розробки власної відеоцифрової автоматизованої системи розпізнавання рослин на поверхні поля.

Функціональна схема узагальненої системи машинного зору контролю якості агропродукції показано рисунку 2.2. Стрілками показано напрям роботи.

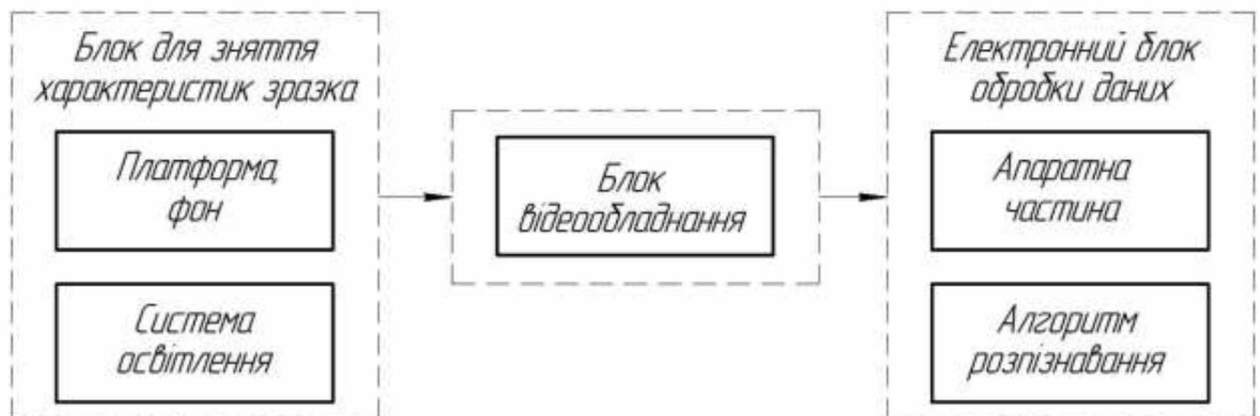


Рисунок 2.2 – Функціональна схема узагальненої системи машинного зору

У більшості випадків блок для зняття характеристик зразка являє собою платформу (залежно від об'єкта), на поверхні якої забезпечено рівномірне освітлення об'єкта і фону, для найкращої реєстрації характеристик об'єкта.

Блок відеобладнання – найважливіша складова частина сучасної системи машинного зору, оскільки жодна програма, жоден алгоритм, неспроможні знайти елементи зображення, втрачені під час реєстрації. Виходячи з цього, блок відеобладнання може складатись із однієї або декількох цифрових камер. Тому, під час проектування системи машинного зору необхідно знайти оптимальний баланс між вартістю блоку відеобладнання системи машинного зору та кількістю інформації, що отримується з нього. Інший важливий фактор, який необхідно враховувати у своїх розробках – розмір отриманого цифрового зображення в пікселях. Як відомо, чим вище роздільна здатність цифрового зображення – тим більше інформації про об'єкт можна отримати. Але при цьому алгоритму потрібно більше часу на обробку даного цифрового зображення та потужніший ПК. У цьому випадку також необхідно знайти оптимальне співвідношення між розмірами зображення та часом на його обробку. Зазначимо, що у розробленій системі машинного зору максимальний розмір цифрового зображення становить 800×600 пікселів.

Апаратна частина електронного блоку обробки відеоцифрових даних, для переважної більшості систем машинного зору, є серійним персональним комп'ютером, як найбільш раціональний варіант з точки зору витрат.

Операція формування цифрового зображення об'єкта включає освітлення об'єкта джерелом випромінювання, а також реєстрацію відбитого від об'єкта оптичного випромінювання за допомогою матриці цифрової камери з подальшим перетворенням отриманого зображення в один з форматів стиснення цифрового зображення.

Операція виявлення параметра об'єкта є найбільш трудомісткою з усіх операцій. На даному етапі відбувається попередня обробка зображення об'єкта, на основі чого має бути сформований набір ознак параметра. І тут необхідно математично найбільш повно описати параметри. Найбільш точна оцінка параметрів рослин безпосередньо залежить від кількості ознак та їхньої інформативності. До того ж, витрати на розробку та реалізацію всієї

системи також безпосередньо залежить від кількості ознак. Таким чином, необхідно вибрати мінімальну кількість ознак, яка потрібна для повного опису параметрів об'єктів.

Операція оцінки класу параметра об'єкта здійснюється у вигляді порівняння отриманого набору ознак параметра об'єктів з наявним алфавітом класів параметра.

Інший показник ефективності розробленої системи – продуктивність оцінки параметрів. Він залежить від часу розпізнавання кожної з рослин:

$$T_{rez} = f(T_{oi}) \quad (2.4)$$

де T_{rez} – сумарний час розпізнавання всіх рослин;

T_{oi} – час розпізнавання однієї рослини;

i – кількість рослин на зображенні.

У свою чергу, величина T_{oi} залежить від багатьох факторів, серед яких: розмір і тип зображення, структура алгоритму розпізнавання, тип прикладного програмного забезпечення, а також склад комплексу апаратних засобів пристрою, що розробляється. Таким чином, величину T_{rez} можна визначити лише на підставі експериментальних досліджень роботи електронно-оптичного пристрою розпізнавання рослин. У цілому, ефективність електронно-оптичного пристрою розпізнавання рослин крім вищезазначених показників залежить від: системи формування зображень об'єкта; структури оцінки; вартості електронно-оптичного пристрою оцінки.

Основним критерієм, що визначає ефективність розпізнавання рослин, є вірогідність правильного прийняття рішення за результатами оцінки:

$$P_{пр} = P_v + P_k \quad (2.5)$$

де P_v – ймовірність правильного розпізнавання зеленої маси рослин;

P_k – ймовірність правильного розпізнавання коренів рослин.

Приймаючи $P_v = 1$ (допущення про безпомилкове розпізнавання зеленої маси рослин) результуюча ймовірність $P_{пр}$ визначатиметься ймовірністю правильної розпізнавання коренів рослин.

При експертній оцінці ступеня виразності параметрів визначення зеленої маси рослин рішення експерта ґрунтується на візуальному огляді вибірки рослин. Таким чином, правильне рішення експерта залежить від професіоналізму експерта, зорового сприйняття експертом зеленої маси рослин, а також від інформаційної пропускну здатності експерта. При високому рівні професіоналізму експерта факторами, що визначають правильне рішення, будуть зорове сприйняття та інформаційна пропускну здатність.

Потік інформації, яку приймає експерт у процесі визначення зеленої маси рослин, складається з двох складових:

$$J(t) = J_{\text{пар}}(t) + J_{\text{док}}(t) \quad (2.6)$$

де $J_{\text{пар}}(t)$ – потік інформації про визначення зеленої маси рослин, біт/с;

$J_{\text{док}}(t)$ – потік інформації з паперових носіїв (документів), біт/с.

Другий доданок у виразі (2.6) потрібен для того, що експерт, згідно з документами, повинен записувати та розраховувати відсоток рослинної маси, що розміщена на поверхні ґрунту.

Таким чином, кількісно оцінити обидва потоки інформації у виразі (2.6) можна так:

$$J(t) = k \cdot f \cdot i \quad (2.7)$$

де k – площа рослинної маси для аналізу;

f – частота вимірювання параметра експертом (у середньому експерт вимірює 1 параметр за 120 с), 1/с;

i – кількість інформації, що міститься в одному параметрі, біт.

Середня кількість інформації, що міститься в одному параметрі, становить:

$$i = -\log_2 \frac{\delta_0}{\Gamma} \quad , \quad (2.8)$$

де δ_0 – роздільна здатність відліків значень параметра;

Γ – інтервал значень, які може приймати параметр.

Оскільки для одного потоку інформації $J_{\text{пар}}(t)$ та $J_{\text{док}}(t)$ однакові, то загальний потік інформації від одного визначення відсотку рослин, що розміщені на поверхні ґрунту, складає 14 біт/с.

Для забезпечення надійної та безпомилкової роботи людини-експерта необхідно, щоб виконувалася умова:

$$J(t) \leq J_d(t) \quad (2.8)$$

де $J_d(t)$ – максимальне значення потоку інформації, що сприймається людиною без помилок.

Оскільки $J_d(t) \approx 10$ біт/с. Таким чином, при візуальному контролі ступеня повноти загортання рослин у ґрунт, експерт виявляється суттєво перевантажений зовнішньою інформацією (в середньому на 40%). Це може викликати велику кількість помилок у його роботі.

З погляду інформаційної пропускнуї спроможності теоретична ймовірність правильної оцінки параметрів повноти загортання рослин у ґрунт визначатиметься обсягом отриманої інформації:

$$P_k = f(J(t); \alpha), \quad (2.9)$$

де α – площа поля.

Вираз (2.9) можна записати наступним чином:

$$P_k = P_{\text{ви}} \cdot P_{\text{пи}} \quad (2.10)$$

де $P_{\text{ви}}$ – теоретична ймовірність сприйняття одиниці інформації;

$P_{\text{пи}}$ – теоретична ймовірність багаторазової оцінки одиниці інформації.

Вводячи припущення про те, що весь потік інформації, що приймається від одного дослідження визначення повноти загортання рослин у ґрунт необхідний для оцінки всіх його параметрів. Тепер можна визначити теоретичну ймовірність безпомилкового сприйняття одиниці інформації:

$$P_{\text{ви}} = \frac{J_d(t)}{J_p(t)}, \quad (2.11)$$

де $J_d(t)$ – максимально допустиме значення потоку прийнятої інформації;

$J_p(t)$ – реальний потік прийнятої інформації.

При проведенні α багаторазових досліджень повноти загортання рослин у ґрунт, на підставі формули Пуассона можна записати:

$$P_{\text{пи}} = 1 - e^{-\frac{J(t)\alpha}{J_d(t)\alpha_{\text{ном}}}} \quad (2.12)$$

де $\alpha_{\text{ном}}$ – стандартний обсяг повноти загортання рослин у ґрунт для відповідного поля.

Таким чином, на основі виразу (2.11) ймовірність безпомилкового сприйняття одиниці інформації при візуальному способі визначення відсотку рослин на поверхні поля, становить 0,714. При цьому, для розробленого електронно-оптичного пристрою допустимий потік інформації $J_d(t)$ набагато більший 14 біт/с, тому відповідна ймовірність $P_{\text{ви}}$ буде наближатися до одиниці.

На рисунку 2.3 наведено графік залежності теоретичної ймовірності правильного визначення відсотку рослин на поверхні поля двома способами.

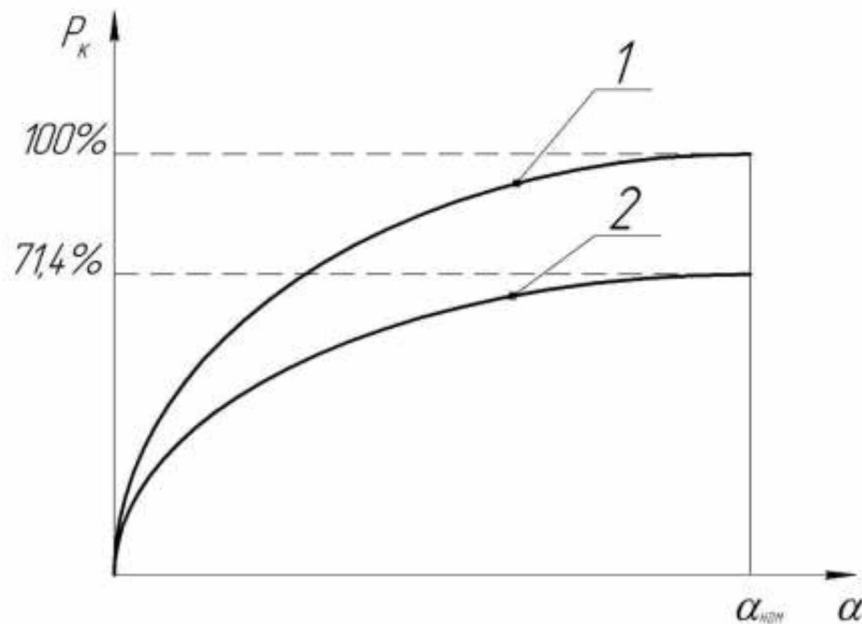


Рисунок 2.3 – Залежність теоретичної ймовірності правильного визначення відсотку рослин на поверхні поля:

- 1 – оцінка електронно-оптичним способом;
- 2 – оцінка візуальним експертним способом.

Порівняльний аналіз наведених залежностей показує, що розрахункова теоретична ймовірність визначення відсотку рослин на поверхні поля за допомогою електронно-оптичного пристрою при номінальній вибірці в середньому вище на 28,6%.

Іншим фактором, що визначає правильний розрахунок відсотку рослин на поверхні поля, буде зорове сприйняття параметрів.

На рисунку 2.4 наведено характеристики спектральної чутливості ока людини та матриці цифрової камери у видимому діапазоні довжин хвиль. Із рисунка 2.4 можна дійти висновку, що зорове сприйняття кольору людиною істотно поступається сприйняттю кольорової інформації матриці цифрової камери, особливо у червоній ($\lambda = 620-700$ нм) і синій ($\lambda = 380-500$ нм) областях видимого спектра (можливі класи кольору шкірки бульби), що призводить до втрати частини інформації про об'єкт.

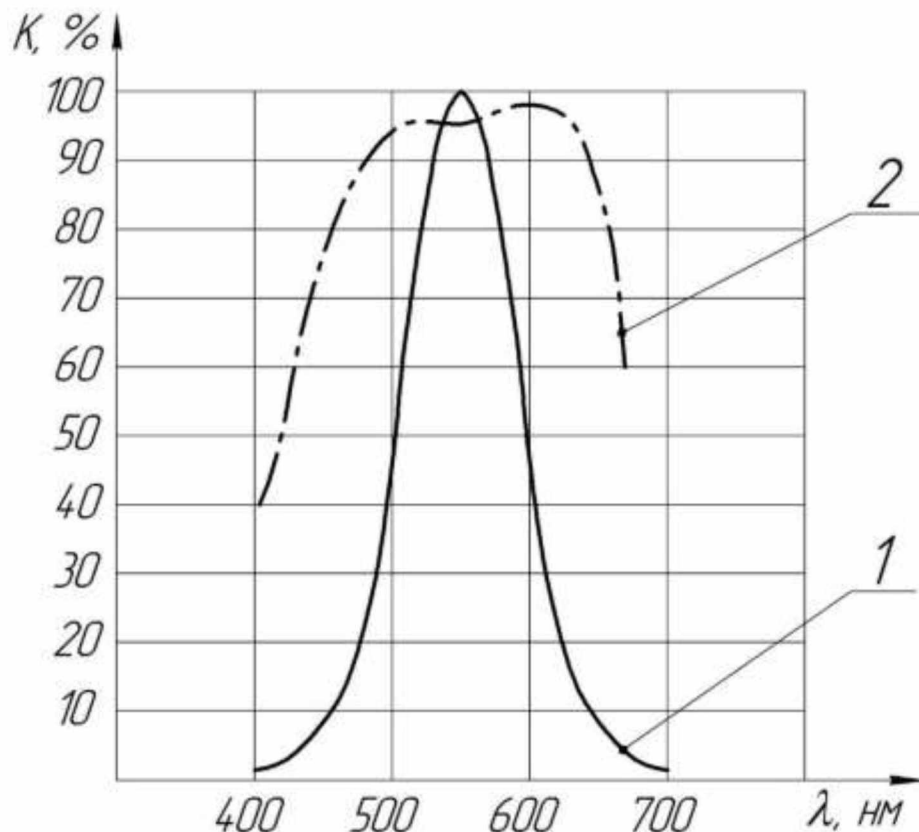


Рисунок 2.4 – Характеристики спектральної чутливості:

1 – око людини; 2 – матриця цифрової камери

Виходячи з аналізу значень теоретичної ймовірності правильного розрахунку відсотку рослин на поверхні поля (з точки зору інформаційної пропускнуої спроможності) та характеристик спектральної чутливості для двох способів, можна зробити висновок про те, що визначення кількості рослин на поверхні поля після обробітку ґрунту, необхідно проводити набагато ефективнішим електронно-оптичним способом.

2.2. Дослідження процесу формування зображення об'єкта

Процес формування зображення поля (об'єкта) здійснюється за допомогою цифрової камери, який перетворює оптичний розподіл яскравості зображення на електричні сигнали і далі на цифрові коди. Тому сутність процесу формування зображення полягає у розгляді факторів, що впливають на кожному етапі на якість цифрового зображення. З цього випливає, що головним завданням на даному етапі є створення якісного цифрового зображення об'єкта для подальшого аналізу на комп'ютері.

Цифрова камера виконує функції:

- представлення зображень у цифровій формі;
- збереження цифрового зображення на HDD ПК;
- адаптацію до зовнішніх та внутрішніх спотворюючих факторів;
- обміну інформацією з комп'ютером.

Функціональними основними елементами цифрової камери, з погляду перетворення вхідного оптичного сигналу, є:

- оптична система;
- приймач зображення (матриця);
- аналого-цифровий перетворювач (АЦП).

На рисунку 2.5 показано узагальнену структурну схему процесу формування зображення. Процес формування зображення об'єкта складається із двох основних етапів. Перший етап – сприйняття та попередня обробка просторових оптичних сигналів, який відбувається у вхідній частині

цифрової камери – в оптичній системі. На другому етапі, просторові оптичні сигнали, за допомогою сучасних матричних фотоелектричних перетворювачів (матриці), перетворюються на електричні. Остаточне формування зображення об'єкта завершується поданням його у цифровій формі за допомогою АЦП.

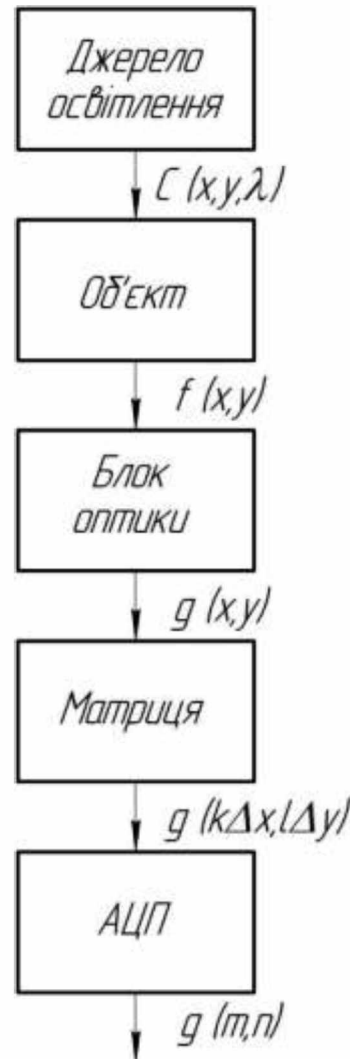


Рисунок 2.5 – Узагальнена структурна схема процесу формування зображення

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

$C(x, y, \lambda)$ – яскравість світлового випромінювання;

$f(x,y)$ – вихідне зображення об'єкта;

$g(x,y)$ – зображення об'єкта, що проектується на матрицю;

$g(k\Delta x, l\Delta y)$ – зображення об'єкта на виході матриці;

$g(m, n)$ – цифрове зображення об'єкта

Процес формування зображення починається із надходження на вхід лінійної оптичної системи яскравості світлового випромінювання, відбитого від об'єкта $C(x, y, \lambda)$, максимальне значення якого обмежено граничною величиною світлочутливості матриці:

$$0 \leq C(x, y, \lambda) \leq C_{\max}, \quad (2.13)$$

де x, y – просторові координати;

λ – довжина хвилі;

$C_{\max}$ – максимальне значення світлочутливості матриці.

При використанні цифрового фотоапарата, стосовно видимого діапазону (від $\lambda_{\min} = 0,35$ мкм до $\lambda_{\max} = 0,78$ мкм) отриманого зображення буде результатом усереднення функції яскравості зображення і для лінійної оптичної системи запишеться у вигляді:

$$f(x, y) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} C(x, y, \lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda, \quad (2.14)$$

де $S(\lambda)$ – вагова функція оптичної системи (чутливість матриці);

$f(x, y)$ – вихідне зображення поля, що надходить на вхід оптичної системи цифрової камери.

Перший етап перетворення вхідного сигналу $f(x, y)$ здійснюється в оптичному вузлі цифрової камери. Оптичний вузол та його еквівалентна схема показані на рисунках 2.6 та 2.7 відповідно. Зв'язок між сигналами у вхідній та вихідній площинах лінійної оптичної системи цифрової камери записуємо у вигляді:

$$g(x, y) = [[f(x, y) ** h_2(x, y, D_2)] \cdot t_L(x, y, F)] ** h_3(x, y, D_3), \quad (2.15)$$

де $h_2(x, y, D_2)$ – функція розсіювання точки простором D_2 ;

$h_3(x, y, D_3)$ – функція розсіювання точки простором D_3 ;

$t_L(x, y, F)$ – функція пропускання лінзи об'єктива.

$**$ – операція об'єднання двох функцій.

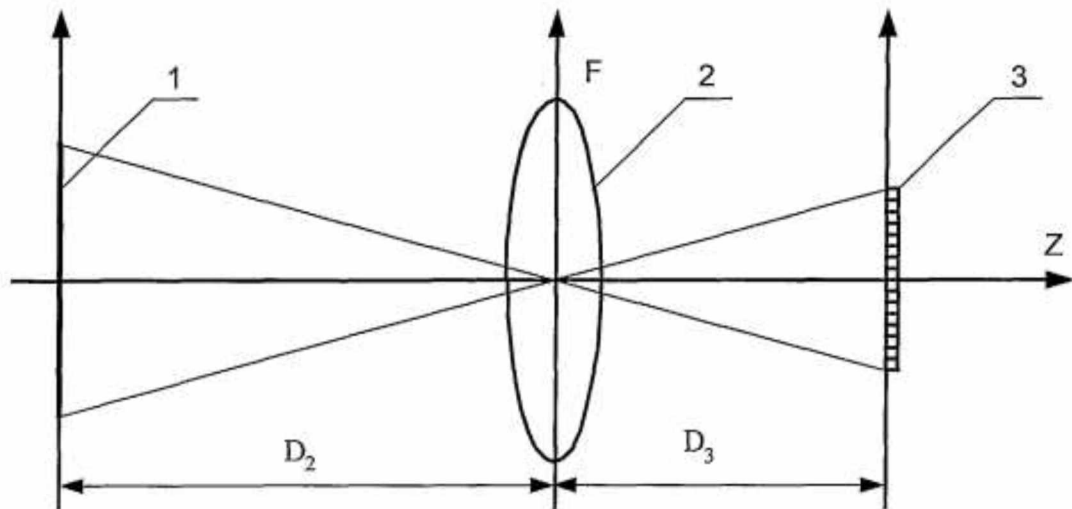


Рисунок 2.6 – Оптичний каскад цифрової камери

1 – поверхня вхідного зображення $f(x, y)$;

2 – поверхня лінзи об'єктива;

3 – поверхня вихідного зображення $g(x, y)$

D_2 – відстань від об'єктива до лінзи;

D_3 – відстань від лінзи до матриці.

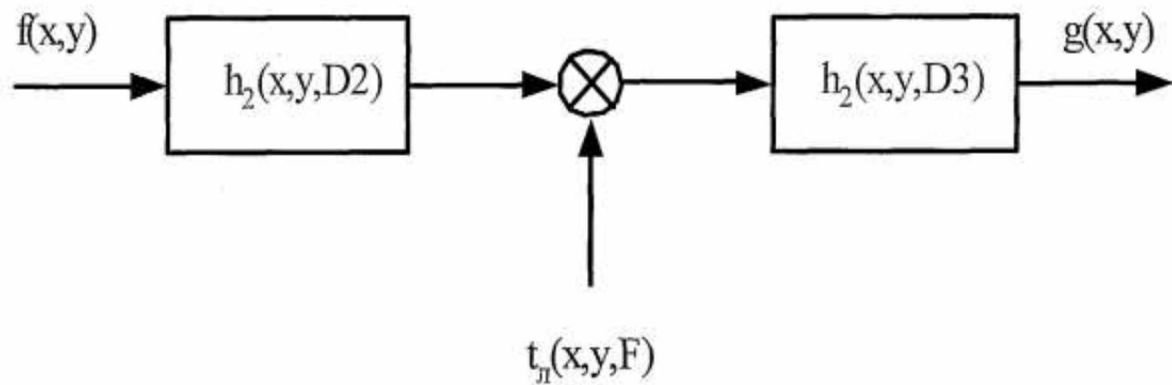


Рисунок 2.7 – Еквівалентна схема оптичного каскаду цифрової камери

Основою наведеного перетворення є операції побудови вихідного оптичного зображення як поетапного дворазового перетворення Фур'є. При цьому це перетворення рівнозначно наступним математичним операціям:

1. Аналіз вхідного сигналу, тобто знаходження спектрального розподілу:

$$F(\omega_x, \omega_y) = \iint_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cdot e^{-j(\omega_x x + \omega_y y)} dx dy, \quad (2.16)$$

де ω_x, ω_y – просторові частоти.

2. Перетворення вхідної спектральної функції на вихідну функцію:

$$G(\omega_x, \omega_y) = H(\omega_x, \omega_y) \cdot F(\omega_x, \omega_y), \quad (2.17)$$

де $H(\omega_x, \omega_y)$ – просторово-частотна характеристика оптичної системи.

3. Синтез вихідного сигналу $g(x, y)$ за вихідною спектральною функцією з використанням зворотного перетворення Фур'є:

$$g(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} G(\omega_x, \omega_y) \cdot e^{j(\omega_x x + \omega_y y)} d\omega_x d\omega_y, \quad (2.18)$$

У процесі перетворення просторово-частотна характеристика оптичної системи, є функцією змінних ω_x і ω_y , що впливає на спектральний розподіл сигналу. Виходячи з цього, в оптичній системі процес перетворення вхідного просторового сигналу необхідно розглядати як просторову частотну фільтрацію. Таким чином, оптичний блок забезпечує проектування оптичного зображення інформаційного просторового сигналу на поверхню фоточутливої матриці, цим здійснюється перший етап попередньої аналогової обробки вхідного сигналу.

Як видно з виразу (2.15), якість проєктованого на матрицю зображення визначається співвідношенням компонентів оптичної системи цифрової камери, тобто воно повністю залежить від того, наскільки якісно і точно здійснено розрахунок, складання та налаштування компонентів оптичної системи цифрової камери, а також від того які аберації вдалося усунути, а які довелося залишити. Звідси випливає, що на першому етапі формування зображення користувач неспроможний впливати на його якість. Компоненти оптичної системи цифрової камери виготовляють таким чином, щоб

зображення $f(x, y)$, що надходить на вхід оптичної системи цифрової камери з мінімальними спотвореннями проектувалося на матрицю. Відомо, що зібрати «ідеальну», тобто оптичну систему, що не спотворює елементи, неможливо, однак із введенням в оптичну систему додаткових компонентів вдається майже повністю усунути аберації, що сильно впливають на якість зображення. Однак у більшості випадків оптичну систему можна наблизити до «ідеальної» блоком апаратури, що практично не спотворює зображення.

На наступному етапі перетворення відбувається дискретизація і поелементне квантування вхідного просторового оптичного сигналу. При цьому, дискретизацію необхідно розглядати як добуток безперервного зображення на просторову дискретну функцію, що відповідає послідовності наступних математичних операцій:

1. Мультиплікативна взаємодія аналогового просторового оптичного зображення $g(x, y)$ з просторовими ґратами дискретизації:

$$\sum_{l=-\infty}^{l=\infty} \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} \delta(x - k\Delta x, y - l\Delta y), \quad (2.19)$$

де $\Delta x, \Delta y$ – величина дискретизації по осях x і y відповідно,
 δ – функція дельта.

2. Дискретна згортка з апертурною функцією дискретизації $h_d(x - k\Delta x, y - l\Delta y)$;

Математична модель процесу просторової дискретизації оптичного зображення $g(x, y)$ у разі представлено як:

$$g(k\Delta x, l\Delta y) = [g(x, y) \sum_{l=-\infty}^{l=\infty} \sum_{k=-\infty}^{k=\infty} \delta(x - k\Delta x, y - l\Delta y)] ** h_d(x - k\Delta x, y - l\Delta y) \quad (2.20)$$

де $**$ – операція згортки двох функцій.

Після цього на виході матриці відбувається формування набору пакетів зарядових сигналу зображення, в результаті чого з'являється дискретна послідовність електричного сигналу зображення.

Наступними операціями при утворенні зображення в цифровому вигляді є поелементне квантування і аналого-цифрове перетворення сигналів,

які є завершальними в процесі формування зображення. Ці операції необхідні з метою перетворення безперервного діапазону яскравостей на послідовність дискретних величин. Після цих дій остаточне дискретне значення електричного сигналу зображення подається у вигляді:

$$g(n, m) = \{a_{ij} | i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}; \}, \quad (2.21)$$

де i, j – розмір зображення в пікселях,

a_{ij} – елемент зображення (піксель).

Аналізуючи вираз (2.21), необхідно зазначити, що точність цифрової апроксимації вихідної просторової інформації визначається наступними параметрами перетворення:

- розмір цифрового зображення;
- розмірністю цифрового представлення елемента зображення (величиною квантування сигналу);
- загальним часом циклу перетворення.

Після формування цифровою камерою кольорового зображення об'єкта виникає завдання зберегти його, оскільки графічні файли дуже великі. У даний час розроблено безліч форматів для стиснення зображень як з втратами, так і без втрат інформації: TIFF (Tagged Image File Format), JPEG (Joint Photographic Experts Group), BMP (Windows Bitmap), TGA (Tagra) і т.д. Найбільш поширені два формати для стиснення зображень – TIFF та JPEG. Перший із представлених форматів використовує методи стиснення цифрових даних без втрат інформації, тоді як формат JPEG забезпечує високий рівень стиснення ціною певної втрати якості зображень. При цьому необхідно відзначити переваги даного формату – залежно від вимог до якості зображення у форматі JPEG можна вибирати ступінь стиснення; відсутність у цьому форматі обмежень на розмірність та кількість колірних просторів, а також відсутність обмежень на вміст, складність та колірний діапазон зображень. Інша перевага формату JPEG – використання його різними групами користувачів, незалежно від використаного апаратного та

прикладного програмного забезпечення. До того ж стиснення мінімального рівня практично не позначається на якості цифрового зображення. Виходячи з цього, збереження цифрових зображень об'єктів необхідно проводити у форматі JPEG з мінімальним ступенем стиснення.

У процесі формування зображення відповідно до ланцюжка перетворень: побудова оптичного зображення – дискретизація у процесі фотоелектричного перетворення – квантування сигналів зображення та подальше стиснення, неминучий вплив як зовнішніх, так і внутрішніх спотворюючих факторів, що виникають через недосконалість технічних засобів. Деякими з них можна знехтувати. Інші фактори, що залишилися, можна розділити на два види:

- зовнішні (структурні шуми носіїв просторових інформаційних сигналів);
- внутрішні (нерівномірність чутливості елементів по поверхні матриці; тепловий, електронний та колірний шуми; похибки дискретизації, квантування та аналогово-цифрового перетворення).

У цифрових камерах значення спотворюючих факторів статистично оцінюються в просторі і часі, а потім відповідно до оцінки, в процесі перетворення сигналів зображення вводяться коригувальні процедури. При цьому якість отриманого зображення залежатиме не тільки від перерахованих вище параметрів перетворення, але і від ефективності корекції спотворюючих факторів. Коригувальні процедури дозволяють сильно звести до мінімуму вплив спотворюючих факторів на корисний сигнал, але, незважаючи на це, зображення зняте цифровою камерою є сумішшю сигнальної і перешкоджальної складової. Ці перешкоди вже надалі необхідно усувати на етапі обробки цифрового зображення.

Завершальним етапом щодо процесу формування зображення є встановлення його якості. Якість отриманого цифрового зображення об'єкта є найважливішою його характеристикою, яка суттєво впливає на ефективність усієї електронно-оптичної системи. Слід зазначити, що якість

зображення є досить нечітким поняттям й у різних завдань оцінюється у різний спосіб. Управління якістю зображень – складна проблема, яка в даний час недостатньо вивчена і, до того ж, обумовлена різноманітними факторами, а також недостатньою розробкою методів контролю та механізмів управління якістю зображення. Тому в даний час в області створення оцінок якості цифрового зображення продовжуються інтенсивні дослідження. В той же час, для оцінки якості цифрового зображення можна використовувати два основні параметри цифрового зображення – розмір пікселя (визначається величинами $k\Delta x$, $l\Delta y$) та розмірність цифрового представлення елемента зображення (величина квантування сигналу) [22]. Ще одним параметром, який визначає якість цифрового зображення, можна вважати формат стиснення зображення.

Розмір пікселя цифрового зображення визначається роздільною здатністю, яка вимірюється числом пікселів, що знаходяться на одиниці довжини. Таким чином, чим більше значення параметрів n і m у виразі (2.21), то точніше цифрове зображення подає вихідну просторову інформацію. У сучасних цифрових камерах є можливість змінювати роздільну здатність від мінімального значення до максимального, яке характеризує граничну ємність матриці.

Інший параметр, що характеризує якість цифрового зображення – величина квантування сигналу, що визначається двома характеристиками: динамічним діапазоном матриці та розрядністю АЦП (аналога-цифрового перетворювача) цифрової камери. Більшість сучасних цифрових камер мають досить широкий динамічний діапазон і відповідну розрядність АЦП, тим самим, дозволяючи більш точно показувати зміни яскравості на зображенні. Розрядність АЦП більшості цифрових камер становить 24 біти – по 8 біт на червоний, зелений та синій канали. У цьому випадку розмірність елемента зображення становитиме 256 значень. Розрядність АЦП та динамічний діапазон матриці, такі параметри цифрового фотоапарата, на який користувач не може впливати. Їх можна враховувати при виборі цифрової камери.

2.3 Програма лабораторних досліджень

Суть запропонованого технологічного процесу визначення наявності рослин на поверхні ґрунту пояснюється на рисунку 2.8.

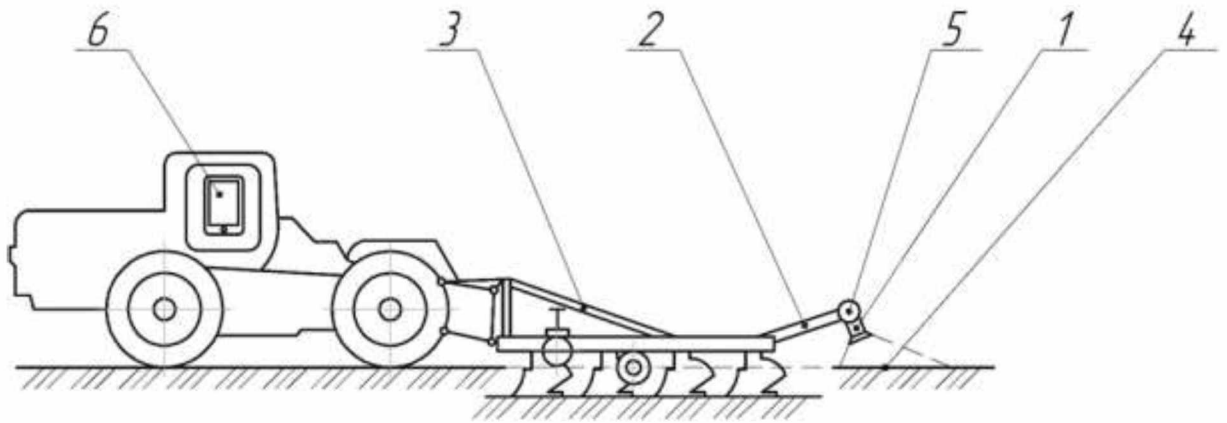


Рисунок 2.8 – Схема агрегату та додаткового обладнання для визначення наявності рослин на поверхні ґрунту засобами машинного зору

Цифрова камера 1 за допомогою допоміжного обладнання 2 монтується на машині для обробітку ґрунту 3. Екран камери направляється на оброблену ділянку ґрунту 4. Чіткість цифрового зображення забезпечується пристроєм для стабілізації 5 цифрової камери. Камера із заданою частотою створює зображення або кадри із відеопотоку, які передаються на комп'ютер або мобільний пристрій 6. На комп'ютері або мобільному пристрої встановлено розроблене на основі системи машинного зору програмне забезпечення власного виробництва [20], що розпізнає, виділяє контури усіх рослин та визначає їх сумарну площу. Програма, за аналогічним принципом, розраховує загальну площу зображень або кадрів відеопотоку і визначає відсоткове співвідношення отриманих площ. На екран комп'ютера або мобільного пристрою виводяться наступні відомості: зображення із позначеними контурами рослин, загальна площа зображення, сумарна площа рослин, відсоток площі незагорнутих рослин.

2.4 Обладнання та методика проведення досліджень

Під час проведення експериментальних досліджень використовувалось наступне обладнання:

1. Ґрунтовий канал кільцевого типу;
2. Персональний комп'ютер;
3. Цифрова камера;
4. Моделі рослин різної форми;
5. Лінійка.

Ґрунтовий канал (рисунок 2.9) складається з корпусу, опорних роликів, робочого органу, колони, на якій розташована система двигун-редуктор постійного струму типу МП 32-31,5-45 потужністю 5 кВт, хрестовини, ущільнювача ґрунтової суміші. Установка дозволяє регулювати інтенсивність перевертання ґрунту за рахунок наступних параметрів: швидкість руху робочого органу; різного складу абразивної суміші; ступеня ущільнення суміші. Відповідно до технічних умов експлуатації орних агрегатів діапазон швидкості становив 1,6...1,9 м/с.



Рисунок 2.9 – Ґрунтовий канал кільцевого типу

У ході експериментів використовувався персональний комп'ютер – ноутбук, що має наступні характеристики: процесор Intel Core i7-3520M, оперативна пам'ять 12 ГБ, відеокарта Intel HD 4000, вебкамера та мережева карта, із встановленою системою Windows 7 Ultimate (64-розрядна версія).

Як цифрову камеру використовували веб-камеру Omega C142B, що має такі технічні характеристики:

- Кількість пікселів – 1,3 МП;
- Максимальна роздільна здатність відео – 1280 x 960 пікселів;
- Інтерфейс – USB.

Моделі рослин виготовили із кольорового паперу. Для досліджень були вибрані наступні геометричні форми: прямокутник, коло, квадрат, трикутник (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Моделі рослин для експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводили на ґрунтовому каналі кільцевого типу. На рисунку 2.11 показано методику проведення експерименту.

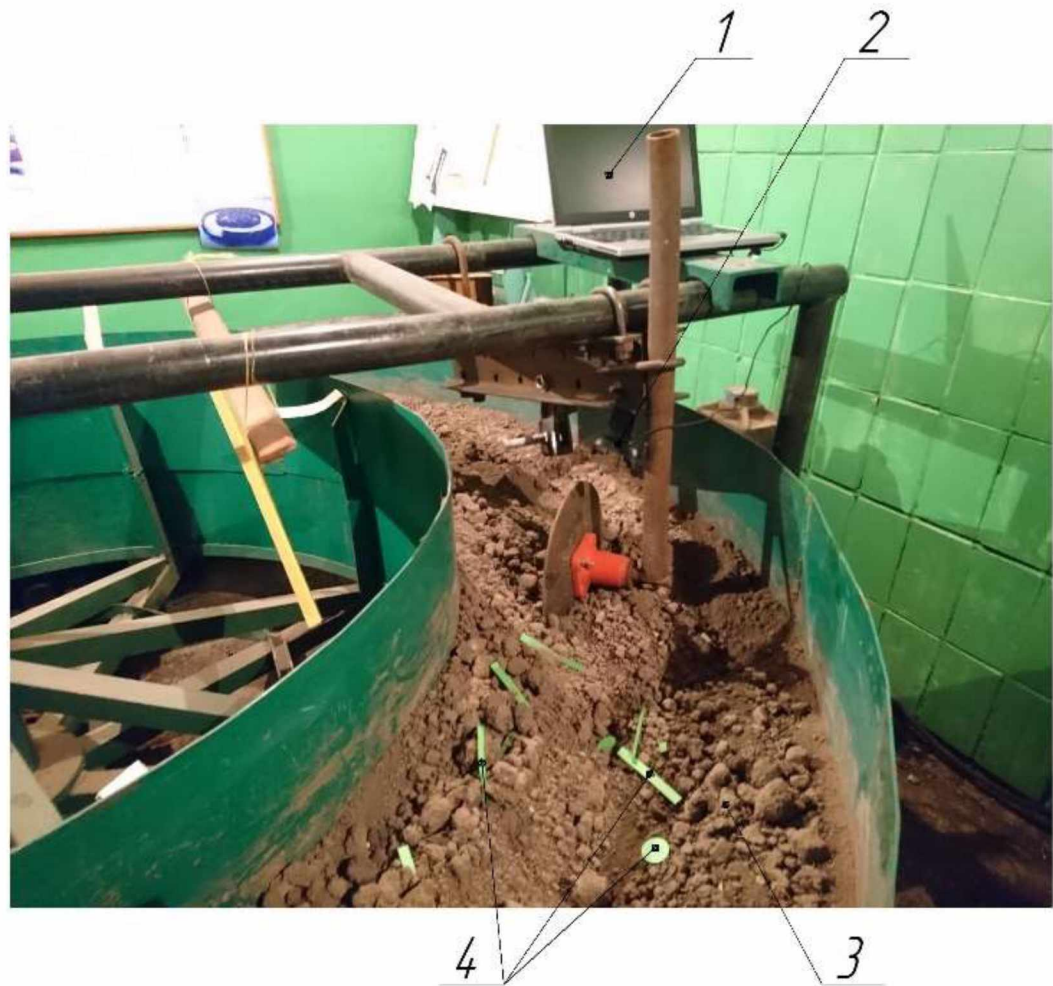


Рисунок 2.11 – Проведення експерименту на ґрунтовому каналі

Експериментальна установка складається із персонального комп'ютера (ПК) 1 зі встановленою комп'ютерною програмою, вебкамери 2, ґрунтового каналу 3 та моделей рослин 4. ПК зафіксований на нерухомій рамі ґрунтового каналу. Вебкамера закріплена на нерухомій стійці робочого органу та налаштована на фотофіксацію поверхні ґрунту каналу із моделями рослин. Перед початком експерименту моделі рослин розкладаються на поверхні ґрунту. Канал обертається. Нерухомий робочий орган рихлить землю та пригортає моделі рослин. Тим часом вебкамера здійснює фотографування поверхні ґрунту. Фотографії зберігаються на ПК у відповідній папці. Комп'ютерна програма машинного зору аналізує кожне зображення та показує результати розпізнавання. Процес аналізу поверхні ґрунту каналу із моделями рослин показано на рисунку 3.5.

Авторська комп'ютерна програма «Слідопит» [20] відноситься до програм обробки зображень засобами машинного зору.

Програма працює по наступному алгоритму:

- відкриває досліджуване зображення;
- визначає площу усього зображення;
- за допомогою фільтра та маски виділяє контурами увесь спектр зелених відтінків рослинної маси, що зображена на рисунку;
- знайдені контури вписує у прямокутники заданої товщини та кольору ліній;
- визначає сумарну площу усіх прямокутників;
- визначає відсоток сумарної площі прямокутників до загальної площі зображення;
- виводить на екран зображення із прямокутниками на рослинах, загальну площу самого зображення, площу під рослинами та відсоток незаробленої рослинної маси у ґрунт.

Висновки

1. Математично обґрунтовано та розроблено алгоритм розпізнавання зразків за кольором.
2. Запропоновано функціональну схему узагальненої системи машинного зору.
3. Математично описано утворення цифрового зображення та факторів що впливають на його якість.
4. Описано обладнання та методику лабораторних досліджень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Розробка програмної частини системи машинного зору

Розробку системи машинного зору необхідно розпочати із встановлення на персональний комп'ютер мову програмування Python 3. У якості редактора програмного коду варто використовувати безкоштовну версію PyCharm.

Дана програма передбачає роботу із зображеннями та масивами даних, тому необхідно підключити бібліотеки OpenCV (Open Source Computer Vision Library) та NumPy:

```
import cv2  
import numpy as np
```

Бібліотека OpenCV містить алгоритми для роботи із зображеннями, цифровими камерами, оптичними недоліками, визначення дублікатів, аналізу переміщення об'єкта, визначення форми об'єкту та стеження за об'єктом, 3D-реконструкція, сегментація об'єкта, розпізнавання жестів і т. д. Тобто це набір типів даних, функцій і класів для обробки зображень алгоритмами комп'ютерного зору. Це бібліотека із безкоштовним вихідним кодом. Її широко використовують у наукових та комерційних проектах. NumPy – це бібліотека з відкритим вихідним кодом для мови програмування Python для підтримки багатовимірних масивів.

Згідно із схемою (рисунком 2.8) камера 1 фотографує зораний ґрунт 4 та передає зображення у відповідну папку на ПК. Перш ніж проводити які-небудь маніпуляції із зображенням його потрібно попередньо зчитати із файлу. У OpenCV для цього використовується функція `imread()`:

```
while True:
```

```
    img = cv2.imread( 'Ground.jpg' )
```

Тестовий файл для розпізнавання має назву «Ground.jpg». За допомогою бібліотеки OpenCV програма зчитала тестове зображення та записала його під новим ім'ям «img».

Розпізнавання зеленої трави на поверхні чорного зораного ґрунту раціонально проводити фільтрацією по кольору. Колір являє собою властивість тіл відбивати або випускати видиме випромінювання певного спектрального складу і інтенсивності.

Існують різні кольірні моделі: лінійні, наприклад RGB, та нелінійні – HSV. Використовувати модель HSV набагато зручніше, тому що координати цієї кольірної моделі обрані з урахуванням людського сприйняття.

HSV (Hue, Saturation, Value) – це кольірна модель, що показана на рисунку 3.1, в якій координатами кольору є:

- Hue – кольірний тон, (наприклад, червоний, зелений або синьо-блакитний). Варіюється в межах від 0 до 360°.

- Saturation варіюється в межах від 0 до 100 або від 0 до 1. Чим більше цей параметр, тим «чистіше» колір, тому цей параметр іноді називають чистотою кольору. А чим ближче цей параметр до нуля, тим ближче колір до нейтрального сірого.

- Value (значення кольору) або Brightness. Задається в межах від 0 до 100 або від 0 до 1.

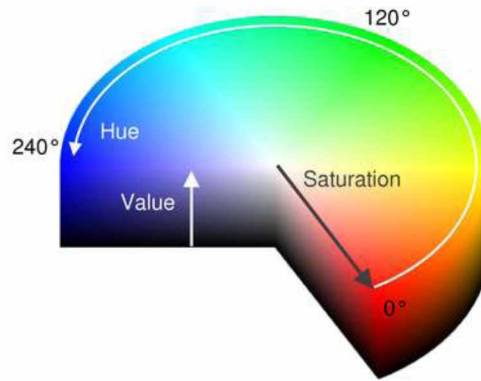


Рисунок 3.1 – Структура колірної моделі HSV

За допомогою функції `cv2.cvtColor` здійснюємо перетворення колірної моделі:

```
hsv = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)
```

Таким чином колірна модель змінилась з BGR на HSV. Дані перезаписуємо під новим ім'ям «hsv».

Фільтрацію зеленого відтінку здійснюємо функцією `cv2.inRange` та записуємо їх у змінну `mask_green`:

```
mask_green = cv2.inRange(hsv, (33, 102, 46),  
(102, 255, 255))
```

У самій функції вказуємо цільове зображення «hsv», а також нижню і верхню границю фільтра. Діапазон зеленого відтінку знаходимо за допомогою трекбарів:

```
cv.createTrackbar (low_H_name,  
window_detection_name, low_H, max_value_H,  
on_low_H_thresh_trackbar)
```

```

    cv.createTrackbar (high_H_name,
window_detection_name, high_H, max_value_H,
on_high_H_thresh_trackbar)
    cv.createTrackbar (low_S_name,
window_detection_name, low_S, max_value,
on_low_S_thresh_trackbar)
    cv.createTrackbar (high_S_name,
window_detection_name, high_S, max_value,
on_high_S_thresh_trackbar)
    cv.createTrackbar (low_V_name,
window_detection_name, low_V, max_value,
on_low_V_thresh_trackbar)
    cv.createTrackbar (high_V_name,
window_detection_name, high_V, max_value,
on_high_V_thresh_trackbar)

```

Функцією `cv2.findContours` знаходимо усі контури зеленого кольору та записуємо їх у змінну `contours`:

```

contours, hierarchy = cv2.findContours(mask_green,
cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

```

За цільове зображення для пошуку контурів доцільно обрати маску `mask_green`. Режимом групування обрано `cv2.RETR_TREE`, що групує контури в багаторівневу ієрархію. Метод упаковки використали `cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE`, що склеює всі горизонтальні, вертикальні і діагональні контури.

Знайдені контури зеленого кольору, тобто контури рослин, можуть бути незамкнуті. Вони складаються не з однієї з'єднаної лінії, а із безлічі ламаних.

Це ускладнює підрахунок площ контурів. Для спростування форм контурів необхідно вписати їх у прості геометричні фігури, наприклад, прямокутники.

Наступний цикл перебирає всі знайдені контури рослин в циклі та вписує їх у прямокутники:

```
for cnt in contours:
    rect = cv2.minAreaRect(cnt)
    box = cv2.boxPoints(rect)
    box = np.int0(box)
    area = int((rect[1][0]+1) * (rect[1][1]+1))

    if area > 10:
        cv2.drawContours(img, [box], -1, (0, 0,
255), 2)
```

Функція `cv2.minAreaRect` вписує кожен контур у прямокутник мінімальної площі та записує її у змінну «rect». Наступна функція `cv2.boxPoints` визначає координати чотирьох вершин прямокутника та записує її у змінну «box». Функція `np.int0(box)` округляє координати прямокутника змінної «box». Обчислення площі здійснюється функцією `int((rect[1][0]+1) * (rect[1][1]+1))`. Контур товщиною 1 піксель для визначення площі проходить всередині прямокутника. Таким чином реальна площа виходить меншою. Для усунення даного ефекту до координат вершин прямокутника додаємо 1 піксель. Тепер прямокутник буде проходити по зовнішній частині контура. Дані записуємо у змінну «area». Функція `cv2.drawContours` рисує на зображенні «img» контури прямокутників змінних «box». Товщина лінії 2 пікселя, колір – червоний. При цьому відображаються лише контури, що мають площу більше 10 пікселів.

Визначаємо сумарну площу усіх контурів:

```
square = int(area) + int(square)
```

Змінні «area» та «square» виражаємо як цілі числа. Початкове значення змінній «square» присвоюємо 0.

Загальну площу кадра для розрахунку відсоткового співвідношення рослин до ґрунту визначаємо аналогічним способом по вищеописаній методиці.

Спочатку необхідно виділити маску білого кольору:

```
mask_white = cv2.inRange(hsv, (0, 0, 0), (255,
255, 255))
```

Дані записати у змінну «mask_white».

Знаходимо контур усього кадра маски «mask_white»:

```
contour_w, hierarchy_w =
cv2.findContours(mask_white, cv2.RETR_TREE,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
```

Дані про контур кадра записуємо у змінну «contour_w».

Вписуємо прямокутник у маску «contour_w» та визначаємо його площу:

```
for cnt_w in contour_w:
    rect_w = cv2.minAreaRect(cnt_w)
    box_w = cv2.boxPoints(rect_w)
    box_w = np.int0(box_w)
    area_w = int((rect_w[1][0]+1) *
(rect_w[1][1]+1))
    if area_w > 10:
        square_w = int(area_w) + int(square_w)
```

Обчислюємо процентне співвідношення площі рослин до загальної площі зображення, тобто відсоток незароблення трави:

```
percent = int(square) * 100 / int(square_w)
```

Дані записуємо у змінну «percent».

Визначений відсоток порівнюємо із агротехнічними вимогами [19]:

```
if percent < 95:
    print("Агротехнічні вимоги – НОРМА")
else: print("УВАГА!!! Необхідно налагодити
агрегат!!!")
```

Якщо змінна «percent» становить більше 5%, то на екран виводиться напис: «Агротехнічні вимоги – НОРМА», якщо менше – «УВАГА!!! Необхідно налагодити агрегат!!!».

Усі визначені дані виводимо на екран:

```
print("Площа під травою : ", square)
print("Загальна площа для аналізу : ", square_w)
print("Відсоток незароблення трави : ", percent,
"%")
```

Показуємо зображення досліджуваного ґрунту із позначеними контурами рослин:

```
cv2.imshow('Najdenie rastenia', img)
```

3.2 Визначення похибки розпізнавання зображення

Для перевірки розробленої програми у лабораторних умовах виготовляємо моделі рослин із паперу зеленого кольору. Листки та стебла рослин мають різну форму, тому в якості форм моделей приймаємо прямокутник, квадрат, трикутник та круг. Моделі рослин 1 та лінійка 2 для відображення масштабу показані на рисунку 3.2.

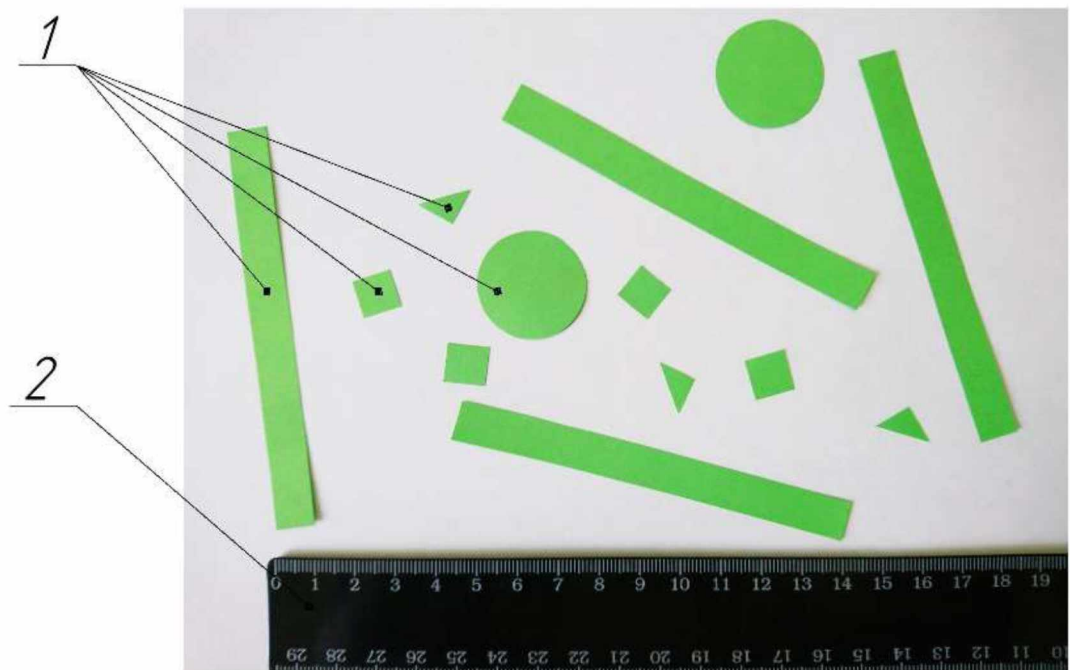


Рисунок 3.2 – Моделі рослин та лінійка для демонстрації масштабу

Розміри та форма моделей рослин наступні:

- прямокутник 10×96 мм,
- квадрат 10×10 мм,
- прямокутний трикутник із довжиною катетів по 10 мм,
- круг діаметром 25 мм.

Перевірку правильності роботи програми проводимо за наступною методикою:

- завантажуюємо зображення (рисунок 3.2) у програму та визначаємо відсоток незароблення трави;
- роздруковуємо зображення (рисунок 3.2) на папері та проводимо заміри та розрахунок відсотка незароблення трави вручну;
- порівнюємо два показники. Похибка не повинна перевищувати 3%.

Процес обробки тестового зображення комп'ютерною програмою показано на рисунку 3.3.

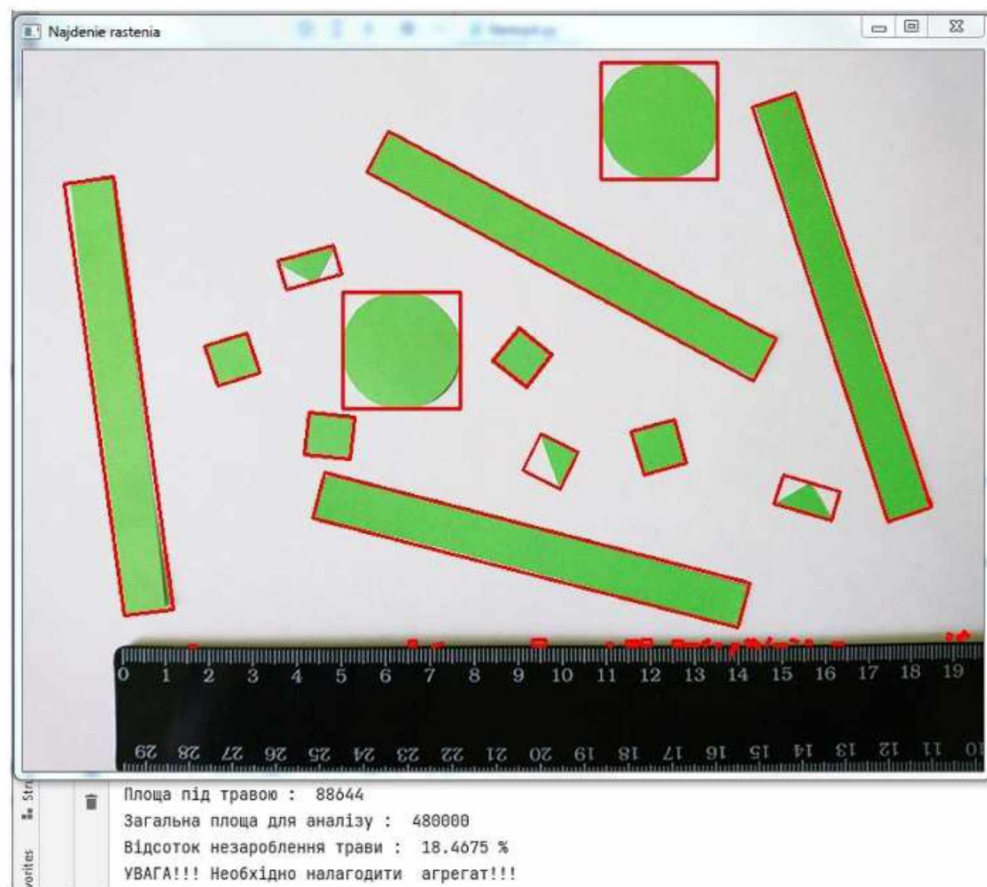


Рисунок 3.3 – Процес обробки тестового зображення комп'ютерною програмою

Зображення із моделями рослин має розмір 800×600 пікселів. Отже, програма правильно підрахувала загальну площу зображення – 480000 квадратних пікселів. Вона виділила області зеленого спектру, обвела їх контурами та підрахувала площу, що склала 88644 пікселів. Кожен контур

був заключений у червоний прямокутник найменшої форми. Відсоток незаробленої трави склав 18,4675%.

Проведемо ручне визначення площ тестового зображення. Результат вимірювання показано на рисунку 3.4.

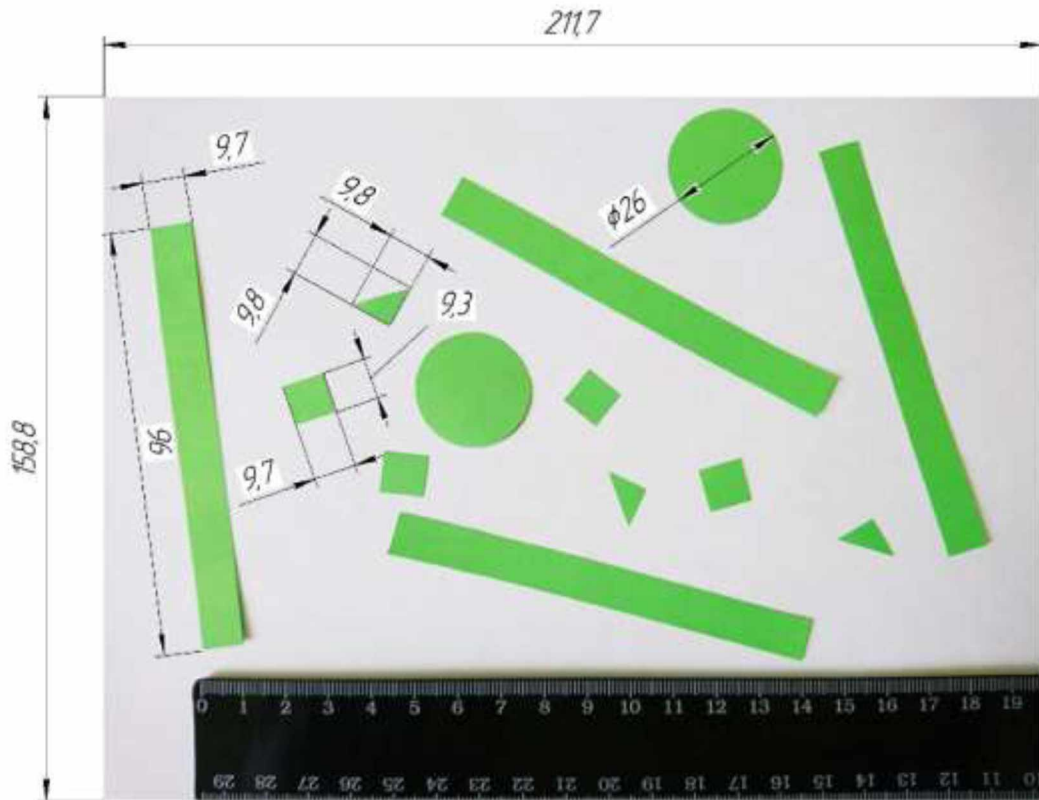


Рисунок 3.4 – Результат ручного вимірювання тестового зображення

Результати вимірювань та обчислення площ кожної фігури занесено до таблиці 3.1.

Із таблиці 3.1 видно, що сумарна площа моделей рослин становить 5291,52 мм², а загальна площа зображення – 33617,96 мм². Відсоток незаробленої трави при ручному підрахунку площ моделей рослин склав 15,74% від загальної площі зображення. Таким чином, відхилення від значень комп'ютерної програми складає 2,73%, що не виходить за межі похибки. Це дає можливість стверджувати, що програма правильно визначає площу моделей рослин і її можна використовувати у подальших лабораторних дослідженнях.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань та обчислення площ кожної фігури

Назва об'єкта	Розміри сторін, мм	Площа, мм ²	Кількість об'єктів	Сумарна площа, мм ²
Прямокутник	9,7×96	931,2	4	3724,8
Трикутник	9,8×9,8	48,02	3	144,06
Квадрат	9,7×9,3	90,21	4	360,84
Круг	26	530,91	2	1061,82
<i>Разом</i>				5291,52
Тестове зображення	211,7×158,8	33617,96	1	33617,96

Перед початком експерименту моделі рослин розкладаються на поверхні ґрунту. Канал обертається. Нерухомий робочий орган рихлить землю та пригортає моделі рослин. Тим часом вебкамера здійснює фотографування поверхні ґрунту. Фотографії зберігаються на ПК у відповідній папці. Комп'ютерна програма машинного зору аналізує кожне зображення та показує результати розпізнавання. Процес аналізу поверхні ґрунту каналу із моделями рослин показано на рисунку 3.5.

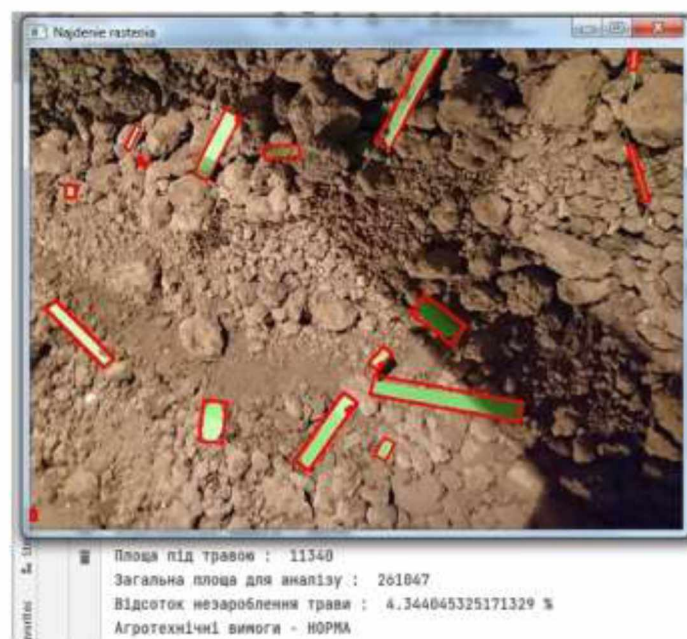


Рисунок 3.5 – Процес аналізу поверхні ґрунту каналу із моделями рослин

У результаті аналізу зображення програма розпізнала усі моделі рослин на поверхні ґрунту, виділила їх контурами, а кожен контур вписала у відповідний прямокутник червоного кольору. Загальна площа зображення склала 261047 квадратних пікселів, площа моделей рослин – 11340 квадратних пікселів, а відношення площі рослин до загальної площі фото становить 4,34 %, що відповідає агротехнічним вимогам.

Висновки

1. Використання запропонованої програми машинного зору під час роботи орного агрегату відслідковує наявність усіх рослин на поверхні ґрунту.
2. Проведені лабораторні експерименти на моделях рослин показали високу точність вимірювань. Розбіжність ручного та автоматизованого визначення площ рослин на поверхні ґрунту склала лише 2,73 %, що свідчить про ефективність розробленої програми.
3. Розроблену програму можна також використовувати в зворотному напрямку, зокрема, під час процесу мульчування, а саме: відслідковувати повноту закриття ґрунту рослинними рештками.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Охорона праці

Основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці визначає закон України «Про охорону праці» № 2695-XII від 14.10.92р. [24] Він регулює, за участю відповідних органів державної влади, відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

До роботи на тракторах з ґрунтообробними машинами допускаються трактористи-машиністи, які вивчили правила експлуатації даної машини та пройшли інструктаж з техніки безпеки.

Ділянка поля має бути заздалегідь підготовлена: прибрано каміння, засипано ями.

Рух агрегату на місце роботи в поле та з місця роботи до тракторної бригади дозволяється лише за маршрутом, який вказаний у маршрутному листі.

Перед початком роботи тракторист-машиніст повинен одягнути спецодяг. Переконайтесь у справності агрегату. Якщо під час роботи на агрегаті використовується обслуговуючий персонал, то необхідно встановити двосторонню сигналізацію. Рух агрегату починається лише після подачі звукового сигналу. Тракторист повинен переконавшись у відсутності людей у зоні дії агрегату.

Не допускається перебування сторонніх осіб у зоні дії агрегату. Переїжджати з навісними машинами через канави, горби та інші перешкоди

необхідно під прямим кутом, на малій швидкості, уникаючи кренів та різких поштовхів трактора.

Очищення робочих органів машин проводиться спеціальним чистиком тільки при повній зупинці агрегату. При регулюванні та зміні робочих органів двигун трактора необхідно заглушити, зафіксувати гальма, підставити під колеса трактора упори, навісну машину поставити на підставки.

При роботі ґрунтообробними машинами з приводом від ВВП трактора необхідно слідкувати за справністю огороження карданного валу, всі види обслуговування або ремонту машин проводити тільки при відключенні ВВП трактора та при зупиненому двигуні.

Забороняється:

- працювати без спецодягу;
- робота трактора з несправним керуванням та гальмами;
- робота машин з не огороженим карданним валом та іншими частинами, що обертаються;
- робота агрегату на схилах гір крутістю понад 8-9° і не підготовлених ділянках поля;
- робота на несправних навісних чи причіпних машинах;
- перебувати на рамі машин під час роботи агрегату;
- перевозити людей на причіпних чи навісних машинах навіть за наявності на них сидінь.

Після закінчення польових робіт необхідно очистити трактор та машину від бруду, рослинних решток, перегнати їх за встановленим маршрутом і встановити трактор на місце стоянки до тракторної бригади. Дотримуватись особистої гігієни.

Під час аварійних ситуацій, що пов'язані з необачністю використання автотранспорту необхідно сповістити бригадира, вжити відповідних заходів щодо її усунення.

Під час отримання травм необхідно надати робітникові першу медичну допомогу та подбати про доставку до медичної установи.

Якщо під час виконання робіт несподівано погіршилися погодні умови, необхідно припинити роботи, а у разі потреби організовано слідувати до найближчого укриття.

4.2 Екологічна експертиза

Екологічний стан ґрунтів описується сукупністю показників хімічних властивостей ґрунту та процесів, що протікають у ньому. Вони залежать від основних факторів ґрунтоутворення: клімату, гірських порід, рослинності, рельєфу місцевості, віку ґрунтів та антропогенного навантаження. Ці фактори визначають спрямованість ґрунтоутворювальних процесів, ґрунтову родючість та екологічний стан ґрунтів. Число поєднань, що утворюються факторами ґрунтоутворення, може бути дуже велике і відповідно дуже велике розмаїття ґрунтово-геохімічних умов та властивостей ґрунтів, якими вони визначаються.

Для успішного вирішення проблеми охорони ґрунтів від забруднення необхідно вивчити методичну та законодавчу бази екологічного нормування стану довкілля. Відповідно до Закону «Про охорону навколишнього природного середовища» (№ 1268-XII від 26.06.91, ВВР, 1991, № 41, ст.547) [25], «якість довкілля – стан навколишнього середовища, що характеризується фізичними, хімічними, біологічними та іншими показниками та їх сукупністю».

Для оцінки екологічного стану ґрунтів використовують широкий набір показників хімічного стану, таких як масова частка гумусу, рН водної та сольової витяжок, вміст макро- та мікроелементів, сума обмінних катіонів та ін. Від цих показників залежать ґрунтова родючість, кількість та якість сільськогосподарської продукції, біологічна активність, інтенсивність

«дихання» та інші біологічні властивості ґрунтів, які зрештою визначають їх екологічну якість.

Серед переліку характеристик хімічного стану ґрунтів фахівці основну увагу приділяють ємності катіонного обміну (ЄКО), показнику кислотно-основних (рН) та окиснювально-відновних властивостей ґрунту, окиснювально-відновному потенціалу (ОВП).

Рівень ЄКО (вимірюється в ммоль-екв/100 г ґрунту) досить чутливий до різних антропогенних впливів. Його зменшення свідчить про деградацію ґрунту внаслідок дегуміфікації, ерозії, забруднення, зняття родючого шару тощо. При проведенні розумних, раціональних відновлювальних заходів (протиерозійних, рекультиваційних тощо) ґрунт здатний збільшувати рівень ЄКО. Тут необхідно зазначити, що фонові (природні) значення ЄКО є специфічними для різних типів ґрунту. Найбільш високі вони у чорноземів 45-75, гумусних і елювіальних горизонтах суглинистих дерново-підзолистих ґрунтів ЄКО від 5 до 20 ммоль-екв/100 г і переважно залежать від ступеня гумусованості. У піщаних та супіщаних ґрунтах ЄКО падає до 1-5 ммоль-екв/100 г. Ємність обміну сірих лісових ґрунтів дещо вища.

ЄКО ґрунтів залежить в основному від вмісту в них органічної речовини, а також від вмісту та мінералогічного складу мулистій фракції. Добре відомо, що з ґрунтових компонентів найвищі значення ЄКО мають гумусові речовини, але на їх сорбційні властивості великий вплив надають умови середовища: ця величина зростає від 40-120 ммоль-екв/100 г при рН 2,5 до 150-370 ммоль-екв/100 г при рН 8. У цілому нині ЄКО органічних речовин у кілька разів вище, ніж мінеральних компонентів, у ґрунтах багатих гумусом, саме органічна речовина визначає величину ЄКО.

Показник рН ґрунту впливає на інтенсивність ґрунтоутворювальних процесів, доступність поживних елементів для рослин, а також на рухливість токсичних сполук. Фонові дерново-підзолисті ґрунти характеризуються кислою та слабкислою реакцією середовища, значення рН змінюються в межах 4,0-6,5. Кислотність та фізико-хімічні властивості дерново-

підзолистих ґрунтів сильно варіюють залежно від гранулометричного, хімічного та мінералогічного складу ґрунтоутворюючих порід.

Показники вмісту гумусу відображають сукупність біохімічних, фізичних, фізико-хімічних властивостей ґрунту. До них відносяться, наприклад, потужність гумусового шару, характеристики «дихання» ґрунтів (кг $\text{CO}_2/\text{га}\cdot\text{год}$). Зниження вмісту гумусу у ґрунті (її дегуміфікація) є наслідком значного антропогенного навантаження (знищення рослинності, зняття верхнього шару ґрунту, неправильна технологія обробки тощо).

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

В основі оцінки економічної ефективності лежить метод порівняльної ефективності, який полягає в порівнянні показників традиційної та нової технології. Як критерій ефективності приймається приріст прибутку:

$$\Delta P = P_a - P_b, \quad (4.1)$$

де ΔP – приріст прибутку;
 P_a – прибуток нового варіанту;
 P_b – прибуток традиційного варіанту.

Виходячи з того, що в даному випадку відсутній технологічний ефект, то критерій приросту прибутку (4.1) перетворюється на вираз:

$$E = \Delta Z = \sum Z_a - \sum Z_b, \quad (4.2)$$

де ΔZ – різниця наведених витрат;
 $\sum Z_a$ – витрати, що пов'язані із реалізацією нового варіанта;
 $\sum Z_b$ – витрати, що пов'язані із реалізацією традиційного варіанта.

Як було описано вище [5] у традиційній технології закладення стерневих залишків у ґрунт під час оранки задискованого поля плугом ПЛН-5-35 складає всього 81,7 %. Нова технологія відслідковування рослин на поверхні ґрунту передбачає контроль загортання рослин для досягнення

100% чистого поля. Тобто під час традиційної технології необхідно буде додатково внести у землю на 18,3% більше добрив для досягнення таких самих показників урожайності. Враховуючи, що повністю загорнені рослинні рештки повертають у ґрунт 15-18 кг азоту, 6-8 кг фосфору, 24-36 кг калію на 1 га ріллі.

Отже, вираз (4.2) можна записати наступним чином:

$$\Delta Z = C_{\text{вк}} + \text{ПК} - 0,183(15A + 6\Phi + 24K), \quad (4.3)$$

де $C_{\text{вк}}$ – витрати на виготовлення пристосування на МТА для системи машинного зору, грн;

ПК – вартість персонального комп'ютера, грн;

A – вартість азотних добрив, грн/кг;

Φ – вартість фосфорних добрив, грн/кг;

K – вартість калійних добрив, грн/кг.

Витрати на виготовлення конструкції залежать від місця виконання робіт. Так як роботи по виготовленню конструкції виконуються в ремонтній майстерні, для якої вона призначена, то витрати на виготовлення пристосування підраховуємо за формулою [26]:

$$C_{\text{вк}} = C_{\text{пд}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{зв}} + C_{\text{кд}}, \quad (4.4)$$

де $C_{\text{пд}}$ – вартість виготовлення оригінальних деталей, грн;

$C_{\text{зп}}$ – повна заробітна плата (з урахуванням виробничих працівників, зайнятих на збиранні продукції), грн;

$C_{\text{зв}}$ – загальні накладні витрати на виготовлення конструкції, грн;

$C_{\text{кд}}$ – вартість виготовлення корпусних деталей, грн;

До вартості купованих деталей включаємо і вартість деталей, які виконуються на замовлення (прокат, гайки).

Вартість виготовлення корпусних деталей:

$$C_{\text{кд}} = Q \cdot C_{\text{гд}}, \quad (4.5)$$

де Q – маса матеріалу, що використали на виготовлення корпусних деталей.

$C_{\text{гд}}$ – середня вартість 1 кг готових деталей.

Вартість виготовлення оригінальних деталей визначаємо за формулою:

$$C_{од} = C_{зп\ пов} + C_{мз}, \quad (4.6)$$

де $C_{зп\ пов}$ – заробітна плата виробничих працівників зайнятих на виготовленні оригінальних деталей, грн.;

$C_{мз}$ – вартість матеріалу для виготовлення оригінальних деталей, грн.

Повну заробітну плату підраховуємо за формулою [26]:

$$C_{зп\ пов} = C_{пр} + C_{д} + C_{соц}, \quad (4.7)$$

де $C_{пр}$ і $C_{д}$ – основна і додаткова заробітна плата виробничих працівників, грн.;

$C_{соц}$ – нарахування до єдиного фонду державного страхування, грн.

Основну заробітну плату робітників визначаємо за формулою [6]:

$$C_{пр} = t_{ср} \cdot C_{год} \cdot K_{д}, \quad (4.8)$$

де $t_{ср}$ – середня трудомісткість виготовлення оригінальних деталей (плита, прижимні колодки, стойки, винт кріпильний, траверса, ручки)
Приймаємо 90 годин.

$C_{год}$ – годинна ставка робітників, яка вираховується по середньому розряду, приймаємо $C_{год} = 80$ грн;

$K_{д}$ – коефіцієнт, який враховує доплату до основної заробітної плати, приймаємо $K_{д} = 1,025$.

Додаткову заробітну плату підраховуємо за формулою [26]:

$$C_{д} = (13 \dots 30) \cdot C_{пр} / 100, \quad (4.9)$$

Нарахування до єдиного фонду державного страхування: [26]:

$$C_{соц} = 33,2 (C_{пр} + C_{д}) / 100, \quad (4.10)$$

Проведений економічний аналіз наведено у таблиці 4.1. Він показав, що використання нової технології аналізу дозволить значно знизити витрати на закупку мінеральних добрив порівняно із традиційною технологією.

Таблиця 4.1 – Показники ефективності застосування нової технології аналізу

Показник	Нова технологія	Традиційна технологія
Витрати на виготовлення пристосування на МТА, грн	1550	-
Вартість ПК на базі Arduino	5000	-
Втрати на азотних добривах, грн/га	-	67
Втрати на калійних добривах, грн/га	-	20
Втрати на фосфорних добривах, грн/га	-	88
Економічний ефект на 100 га, грн	17500	
Термін окупності при обробітку 100 га/рік	0,37	

Висновки

1. Термін окупності запропонованої технології при обробці 100 га/рік склала 0,37 роки.
2. Економічний ефект на 100 га оранки становить 17500 грн.

Загальні висновки

1. Проведено аналіз процесу утворення гумусу та визначено чинники, що впливають на швидкість його зменшення.
2. Проведено аналіз сучасних систем машинного зору, що використовуються в сільському господарстві різних країн світу.
3. Описано діючий спосіб визначення відсотку рослинної маси, що залишається на поверхні поля після обробки ґрунту.
4. Математично обґрунтовано та розроблено алгоритм розпізнавання зразків за кольором.
5. Запропоновано функціональну схему узагальненої системи машинного зору.
6. Математично описано утворення цифрового зображення та факторів, що впливають на його якість.
7. Описано обладнання та методику лабораторних досліджень.
8. Використання запропонованої програми машинного зору під час роботи орного агрегату відслідковує наявність усіх рослин на поверхні ґрунту.
9. Проведені лабораторні експерименти на моделях рослин показали високу точність вимірювань. Розбіжність ручного та автоматизованого визначення площ рослин на поверхні ґрунту склала лише 2,73 %, що свідчить про ефективність розробленої програми.
10. Розроблену програму можна також використовувати в зворотному напрямку, зокрема, під час процесу мульчування, а саме: відслідковувати повноту закриття ґрунту рослинними рештками.
11. Термін окупності запропонованої технології при обробці 100 га/рік склала 0,37 роки.
12. Економічний ефект на 100 га оранки становить 17500 грн.