

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Західноукраїнський національний університет  
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії

КОНОНОВИЧ Юрій Юрійович

**Модуль системи автоматизації зернозберігаючих  
комплексів / Computer system of the automation of grain  
cleaning and storage complexes**

спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

освітньо-професійна програма – Комп'ютерна інженерія

Кваліфікаційна робота

Виконав: студент групи КІ-41  
Ю. Ю. Кононович

---

Науковий керівник  
Викладач Дериш Б.Б.

Кваліфікаційну роботу  
Допущено до захисту  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_\_ р.

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ О.М. Березький

ТЕРНОПІЛЬ - 2023

## ВСТУП

Комплекси для зберігання зерна відіграють вирішальну роль у світовій сільськогосподарській промисловості, надаючи засоби для зберігання та збереження великої кількості зібраного зерна. Зважаючи на постійно зростаючий попит на продукти харчування та потребу в ефективних системах зберігання та управління, автоматизація стала перспективним рішенням для оптимізації операцій зі зберігання зерна. Ця дипломна робота спрямована на дослідження модуля системи автоматизації зерноскладських комплексів з метою підвищення ефективності, точності та надійності процесів зберігання зерна.

Неможливо переоцінити значення автоматизації систем зберігання зерна. Традиційні ручні підходи до управління зберіганням зерна є трудомісткими, забирають багато часу та схильні до людських помилок. Автоматизація пропонує трансформаційне рішення шляхом інтеграції передових технологій, таких як датчики, системи керування та аналітика даних, для оптимізації та вдосконалення різних аспектів операцій зі зберігання зерна. Завдяки автоматизації важливих процесів, таких як моніторинг зерна, контроль температури, управління запасами та оцінка якості, комплекси зберігання зерна можуть підвищити продуктивність, зменшити втрати та забезпечити збереження якості зерна.

Метою даної дипломної роботи є дослідження модуля системи автоматизації зерноскладських комплексів. Вивчаючи існуючу літературу та оцінюючи попередні дослідження, ми прагнемо визначити сильні сторони та обмеження поточних модулів автоматизації. Це дослідження також усуне прогалини в існуючому масиві знань, проклавши шлях до розробки вдосконаленого модуля, який спеціально відповідає потребам і викликам комплексів для зберігання зерна.

Для досягнення поставлених цілей буде використано комплексну методологію. Це дослідження включатиме поєднання якісних і кількісних

підходів, включаючи інтерв'ю, опитування та тематичні дослідження. Збираючи дані зі сховищ зерна, галузевих експертів і відповідних зацікавлених сторін, ми зможемо зрозуміти вимоги, функціональні можливості та очікувану продуктивність ідеального модуля автоматизації.

Наступні розділи цієї дипломної роботи стосуватимуться розробки, оцінки та аналізу ефективності запропонованого модуля. Розробивши вимоги до архітектури та програмного забезпечення, ми впровадимо та протестуємо модуль у реальному комплексі зберігання зерна. Завдяки ретельному оцінюванню ми оцінимо ефективність, ефективність і вплив модуля автоматизації на операції зі зберігання зерна, порівнюючи його продуктивність з існуючими ручними системами.

# ВИВЧЕННЯ ВИКЛИКІВ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ СИСТЕМ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА

## 1.1 Вивчення специфіки зернового зберігання та напрямів систем контролю

Одним із найважливіших джерел доходу в такій країні, що розвивається, як Україна, є сільське господарство. Належне зберігання харчових продуктів має важливе значення для забезпечення продовольчої безпеки, на яку впливають як втрати, так і марнотратство. Отже, якщо втрати можна зменшити, доступної їжі буде більше. Щоб підтримувати хороші складські приміщення та зупиняти втрати їжі в цьому проєкті, у віддалених місцях з обмеженим доступом буде розгорнуто систему моніторингу з підтримкою Інтернету речей.

Для реалізації даного кроку нам потрібно розглянути готові рішення та тенденції розвитку ринку в даній галузі. Потім зібрані дані акумулювати в моделі та функціональні схеми модуля моніторингу стану зерносклади та елеваторів. Ця запропонована система повинна відстежувати та контролювати складські змінні, такі як рівень зерна, температура, вологість, вібрацію, CO, рух і дим, усі вони мають великий вплив на зерно та його вагу. Якщо будь-який із датчиків у цьому параметрі падає нижче або вище порогового значення, буде ініційовано контрольну дію. Для цього скористаємося модульним підходом та розділимо глобальну задачу на декілька під задач. Три рівні передбачають: розробку модульної FMIS на основі майбутніх інтернет-технологій, використання стандартних значень для оцінки вартості виконаних сільськогосподарських завдань та автоматизацію процесу імпорту пов'язаних із завданнями даних у FMIS з використанням інформації. Щоб оцінити фінансовий аналіз розробленої FMIS, пов'язані дані були зібрані, записані та проаналізовані за весь вегетаційний період для двох різних культур, тобто озимої пшениці та кукурудзи. Крім того, щоб оцінити автоматизоване формулювання завдання в FMIS. Програма виявилася здатною виконувати аналіз прибутковості на основі зареєстрованих витрат, а також на основі

інформації, наданої користувачем щодо виконаних завдань. Завдяки автоматично створеному завданню ІСФМ надала можливість користувачеві представити та обробити необхідну інформацію з мінімальними зусиллями.

Також потрібно подбати про безпеку людей та захист від несподіваних факторів та поломок. Що є характерними для систем «людина-машина» адже відсутність належного зворотного зв'язку з оператором може призвести до людських помилок, коли ситуація перевищує можливості автоматичного обладнання (Norman, 1990). При роботі з автоматизованими системами оператори можуть відчувати втрату обізнаності про ситуацію (Endsley and Kaber, 1999, Stanton and Young, 2005, Walker et al., 2008), зниження пильності (Finomore et al., 2009, Parasuraman, 1986), самовдоволення (Kaber & Endsley, 2004), або деградація навичок (Billings, 1996); будь-яка з яких може призвести до людських помилок. Таким чином, для забезпечення безпечної та ефективної роботи сучасних сільськогосподарських машин необхідна перспектива людського фактору (Lang et al., 2009).

Усвідомлення ситуації (SA) було предметом багатьох досліджень людського фактора протягом останніх двох десятиліть (Ma, Lu, & Zhang, 2010), і термін SA став загальним для сфери людських факторів (Wickens, 2008). Endsley (1988) описує SA як «виявлення елементів у навколишньому середовищі в обсязі простору та часу, розуміння їхнього значення та прогнозування їх статусу в найближчому майбутньому» (Endsley & Robertson, 2000). SA — це динамічне розуміння оператором «що відбувається» (Salmon et al., 2009). У системах «людина-машина», де ситуація динамічно змінюється з часом, ймовірно, що оператор не завжди отримує достатній зворотний зв'язок. Це трапляється, коли автоматизація бере на себе контроль над ситуацією, і, як наслідок, розуміння оператором ситуації погіршується (Bye, Hollnagel, & Brendeford, 1999). «Відсутність або недостатнє усвідомлення ситуації було визначено як один із основних факторів нещасних випадків, пов'язаних із людською помилкою» (Murray & Martin, 2012).

У сфері водіння Stanton, Dunoyer та Leatherland (2011) визначили SA як «розуміння зв'язку між метою водія, станом автомобіля, дорожнім

середовищем та інфраструктурою, а також поведінкою інших учасників дорожнього руху в будь-який момент часу. » Поняття SA включає в себе здатність водіїв поєднувати довгострокові цілі, такі як рух до місця призначення, з короткостроковими цілями, такими як уникнення зіткнень, у процесі реального часу (Sukthankar, 1997). Подібне визначення SA можна уявити для керування сільськогосподарським транспортним засобом, однак не слід нехтувати відмінностями завдань між керуванням автомобілем і сільськогосподарським транспортним засобом.

Завдання керування автомобілем характеризується як інформаційно-рішуча дія, в якій інформація в реальному часі в поєднанні з попередньою інформацією та знаннями використовується для прийняття рішень і виконання дій у безперервному процесі зворотного зв'язку (Lunenfeld, 1989). Традиційно завдання водіння, як зазначено в Lunenfeld (1989), поділялося на три окремі, взаємопов'язані підзадачі: контроль, наведення та навігація. У великому дослідженні впливу вдосконалених систем подорожей на завдання водіння Wheeler et al. (1996) додав дві додаткові підзадачі водіння: і) роботу та моніторинг системи транспортного засобу та ii) реагування на надзвичайні ситуації. Кожне з цих підзавдань включає певну фізичну або розумову діяльність, яку повинен виконувати водій або автоматизований транспортний засіб. У більшості досліджень людського фактору водіння, дотримання смуги руху та слідування за автомобілем описуються як основні завдання, тоді як перевірка бічних дзеркал і дзеркал заднього виду, налаштування радіо, зміна гучності радіо або використання мобільного телефону описуються як другорядні завдання. У контексті водіння автомобіля рух до пункту призначення є функцією найвищого рівня в ієрархії завдань.

У сільськогосподарських транспортних засобах досягнення пункту призначення не є єдиною основною функцією. Безпечна та ефективна робота машини, прикріпленої до сільськогосподарського автомобіля, також має розглядатися як основна функція. Наприклад, оператор тракторно-пневматичної системи посіву повинен одночасно керувати трактором і керувати сівалкою, щоб успішно виконати своє завдання. Цю точку зору

підтримують Кроулік, Квіз, Кумхала, Хула та Лох (2011), які стверджують, що «автоматичне рульове керування допомагає оператору, щоб він міг зосередитися на основних функціях (сільськогосподарської) техніки». Це твердження означає, що існує ключова різниця між керуванням автомобілем і сільськогосподарським транспортним засобом, оскільки основна функція сільськогосподарського транспортного засобу в полі полягає в більшому, ніж простому русі до місця призначення. Друга ключова відмінність між завданням водіння автомобіля та завданням водіння сільськогосподарського транспортного засобу стосується інтенсивності руху. Дороги мають високу інтенсивність руху, тоді як зазвичай лише невелика кількість сільськогосподарських транспортних засобів працює одночасно на сільськогосподарських полях. Таким чином, щодо завдання керування сільськогосподарським транспортним засобом SA має включати розуміння робочого стану сільськогосподарської транспортної засіб і знаряддя, яке воно тягне, польове середовище, в якому працює знаряддя, та будь-які інші машини, які можуть бути присутніми на цьому ж полі.

Хоча існує багато досліджень водіння транспортних засобів з точки зору SA водія, водіння позашляховиків, і особливо сільськогосподарських транспортних засобів, вимагає спеціальних досліджень. Це дослідження мало на меті вивчити вплив автоматизації завдань у сільськогосподарських транспортних засобах на SA водіїв, які використовують тракторно-пневматичну систему посіву як приклад. У цьому симуляторному дослідженні для оцінки SA використовувалася суб'єктивна рейтингова шкала. Було висунуто гіпотезу, що SA буде знижуватися в міру підвищення рівня автоматизації.

Моделі автоматизації були розроблені для вивчення впливу автоматизації завдань на людський фактор. Модель, розроблена Parasuraman, Sheridan і Wickens (2000), використовувалася в багатьох дослідженнях автоматизації як відправна точка. Їхня модель передбачає або окремий розподіл завдання для людини-оператора чи автоматизованої системи, або розподіл завдання між ними. Згідно з цією моделлю завдання можна розділити на завдання обробки інформації: i) отримання інформації, ii) аналіз інформації, iii) вибір рішень і дій

і iv) реалізація дії. До цих підзадач можна застосовувати різні рівні автоматизації, від відсутності до високого.

Отримання інформації відноситься до сенсорного процесу обробки інформації (тобто виявлення та реєстрації даних). Підтримка автоматизації, у випадку функції збору інформації, приймає форму визначення пріоритетів і виділення частини інформації (Parasuraman et al., 2000). Аналіз інформації полягає у свідомому сприйнятті та маніпулюванні обробленою та отриманою інформацією в робочій пам'яті (Valfe, 2010), яка може бути використана для прогнозів. Автоматизація цієї функції означає, що машина допоможе з прогнозуванням майбутніх станів автомобіля та проектуванням помилок. Вибір рішень і дій відноситься до стану вибору з кількох варіантів рішення. Для цієї функції Шерідан (2001) запропонував рівні автоматизації. На найнижчому рівні автоматизації за прийняття рішення відповідає виключно оператор; на найвищому рівні машина вирішує і діє автоматично. Нарешті, реалізація дії відноситься до виконання вибраної дії. Заміна руки або голосу людини є метою автоматизації виконання дій. Залежно від завдання та технології, що використовується, може бути неможливо визначити різні рівні автоматизації для всіх функцій обробки інформації. Крім того, вибір одного рівня автоматизації для однієї функції матиме вплив на визначення рівня автоматизації для наступної функції.

Техніка оцінки обізнаності про ситуацію (SART), розроблена Тейлором (1990), є широко використовуваною технікою суб'єктивного звіту для вимірювання SA (Salmon, Stanton, Walker, & Green, 2006). SART зосереджується на загальних характеристиках завдання, а не на конкретних елементах, пов'язаних із завданням (Salmon et al., 2009). Він включає серію запитань для оцінки різних вимірів SA. Ці параметри можна далі згрупувати як i) попит на ресурси уваги, ii) пропозиція ресурсів уваги та iii) розуміння. Попит на ресурси уваги складається з питань щодо нестабільності, складності та мінливості ситуації. Забезпеченість ресурсами уваги відображається на рівні збудження, концентрації, розподілі уваги та запасі психічних ресурсів у роботі з ситуацією. Нарешті, розуміння ситуації відображає якість і кількість наданої



інформації, а також обізнаність суб'єктів із ситуацією. Загальну оцінку для кожної групи можна отримати, отримавши середнє значення оцінок відповідних запитів. Використовуючи групові бали, загальний бал для SA можна розрахувати за такою формулою (Jones, 2000):

де  $U$  — розуміння ситуації,  $D$  — попит на ресурси уваги, а  $S$  — пропозиція ресурсів уваги.

Як бачимо ми так розглядаємо автоматизацію сільськогосподарського сектора усебічно та дивимось які рішення підійдуть нам. Оцінити SA оператора при роботі з сільськогосподарськими напівавтономними транспортними засобами. Різні типи підтримки автоматизації були застосовані до завдання керування та моніторингу пневматичної сівалки в змодельованому середовищі. Крім того, популярну систему автоматичного керування порівнювали з традиційним ручним керуванням. TDS було змінено, щоб включити вищезазначені засоби автоматизації.

У цьому дослідженні також не обійтись без розгляду поточного стану досліджень і практики модульного будівництва шляхом вивчення різних цифрових інструментів і технологій, що застосовуються в MCR для автоматизації та оцифрування процесу МіС. Сам МіС є технологічною похідною технікою DfMA. Незважаючи на те, що деякі дослідження проводили огляди модульної конструкції, це перше дослідження, яке критично аналізує та досліджує застосування DTT у проектах МіС. Дослідження проводило поглиблений аналіз для досягнення визначених цілей дослідження шляхом використання різних підходів до дослідження, таких як курація даних, наукове картографування (наукометричний аналіз) і систематичний аналіз.

Аналіз дослідницького корпусу та результатів показує, що MCR викликав підвищений інтерес серед дослідників і практиків, особливо в останнє десятиліття, ніж у попередні роки. Незважаючи на те, що перша стаття про модульну конструкцію була опублікована в 1970 році, перша опублікована програма DTT у MCR була в 1992 році. Зараз лише близько 18 відсотків досліджень модульної конструкції практично реалізували DTT. При цьому

понад 70% цих виробів TA-MiC виробляють лише п'ять країн – Канада, Китай, США, Австралія та Англія.

Дослідження також визначає ключові дослідницькі кластери та спільноти, якими є Мохамед Аль-Хусейн, Тагаддос Хосейн і Герман Ульріх. Найвпливовішими джерелами для публікації статей MCR є Automation in Construction та Journal of Computing in Civil Engineering, які очолювали таблицю як за кількістю публікацій, так і за кількістю цитувань. Тим часом, для 12 найпопулярніших цитованих статей MCR, поширеним DTT, що використовується в цих дослідженнях, є алгоритми на основі моделювання, RFID, BIM та системи візуалізації, які застосовуються в основному або на етапах виробництва збірних конструкцій за межами підприємства, або на етапах складання проектів MiC на місці.

Релевантним також буде розглянути пристрій який має вісім вбудованих датчиків температури та відносної вологості, підключених до налаштованої системи збору даних на базі Arduino, яка записує температуру, відносну вологість і позначку часу на картку microSD. Загалом чотири одиниці були розміщені на двох складах у Нігерії з 3 травня по 9 вересня 2019 року. У Теде було 4000 мішків неочищеного рису порівняно з 54 мішками кукурудзи в Ілоріні. Різні частини складу мали різко різні середньомісячні температури (р0,05). Показані вимірювання температури та відносної вологості похибка 0,2 °C та 3,7% відповідно. Вміст вологи в упакованому рисі та кукурудзі зріс на 1,1 та 1,2% відповідно у вологому розрахунку. Дані системи можуть бути використані для моніторингу стану упакованого зерна та виявлення будь-яких ознак псування. Керівники складів могли б впевнено зменшити втрати при зберіганні, використовуючи цей метод. Це [4] про логічний аналіз поточного та можливого застосування Інтернету речей IoT у сільськогосподарських силосах, які створюють єдину складність, яку необхідно подолати, на відміну від інших сільськогосподарських систем. Інтернет речей використовується в цьому проекті для створення інтелектуальної системи безпеки та моніторингу сільськогосподарської продукції (кукурудзи), яка контролює та захищає середовище зберігання як фізично, так і автономно.

Arduino використовується для виявлення зв'язку між виявленими даними та веб-сервером, і дані записуються в базу даних MySQL. Дослідження посилюється використанням програми Android на смартфоні, що підвищує її універсальність. Додаток для Android дозволяє контролювати та документувати дані. Технологія була випробувана на стандартизованому силосі, і результати були саме такими, як ми очікували. Дослідження показало, що існує невеликий розрив між температурою (17–31 °C) і вологістю (52–78%), досягнутими пристроєм, і ідеальною температурою (18–27 °C) і вологістю (62–70%), необхідні для зберігання кукурудзи, що робить його кращим підходом, ніж традиційний спосіб зберігання кукурудзи. Результати також демонструють, що якщо температура, вологість і вміст вологи не контролювалися та не підтримувалися протягом часу дослідження, вага кукурудзи, що зберігалася, втрачалася. Складування є суттєвим вузьким місцем, оскільки воно впливає на здатність домовлятися про вищі ринкові ставки. Життєво важливо забезпечити якість продукції для споживача, щоб максимізувати прибутковість. Як результат, у цій дисципліні потрібна стандартизація наукових досліджень і промислового ланцюга. Метою цього огляду є обговорення існуючих систем зберігання зерна, процедур догляду та основних досліджень, проведених у цій галузі для забезпечення високоякісного зерна. Тож тенденції галузевого розвитку ми розглянули, а також переконалися що вибрана нами тематика є актуальною і варта розробки та реалізації. Нам потрібно розглянути також готові системні та програмні рішення наявні на ринку.

## 1.2 Аналіз існуючих модулів, та програмних рішень в системах автоматизації

Управління економічною ефективністю. Зменшення первинних капітальних витрат. Планування та контроль капітальних і операційних витрат (ОРЕХ). Єдина система моніторингу та контролю групи складських комплексів.

Зробити всі процеси на складському комплексі максимально прозорими та контрольованими, і як наслідок – керувати його економічною ефективністю; Саме цю задачу, поставлену власником зернового бункера, виконують комп'ютерні комплексні рішення реалізовані компанією.

Рішення KMZ industries включають наступне:

- Автоматизація лінії зерноскладського обладнання (апаратні компоненти та програмне забезпечення).
- Контроль температури.
- Контроль і контроль вагової одиниці.
- Пробоекстрактор і лабораторія.
- Облік і технічне управління.
- IT-рішення, які візуалізують та інтегрують ці процеси в єдину систему управління.

В свою чергу система автоматизації зерноскладного комплексу складається (рисунок 1) із: шафи електропостачання (шафи введення; шафи розподілу електроенергії; шафи управління обладнанням); шафа програмованого контролера (шафа ПЛК; шафи розподіленої периферії); комунікаційне апаратне обладнання; шафи освітлення; автоматизоване робоче місце оператора. Апаратні компоненти постачаються провідними світовими брендами (Siemens, Schneider, Eaton).

Єдина система управління зерноскладним комплексом (іт та веб рішення), Домашня розробка програмного забезпечення. Базовий пакет програм налаштовується індивідуально для кожного замовника. Це дає змогу заощадити час на розробку типового завдання та автоматизувати операційно-маршрутну послідовність, керувати зерносушаркою, сепаратором з урахуванням конкретного елеватора. Програмне забезпечення процесу візуалізації надається з відкритим кодом. Програмні рішення, реалізовані на платформі PLCnext Technology, надає PhoenixContact, німецький електротехнічний гігант.

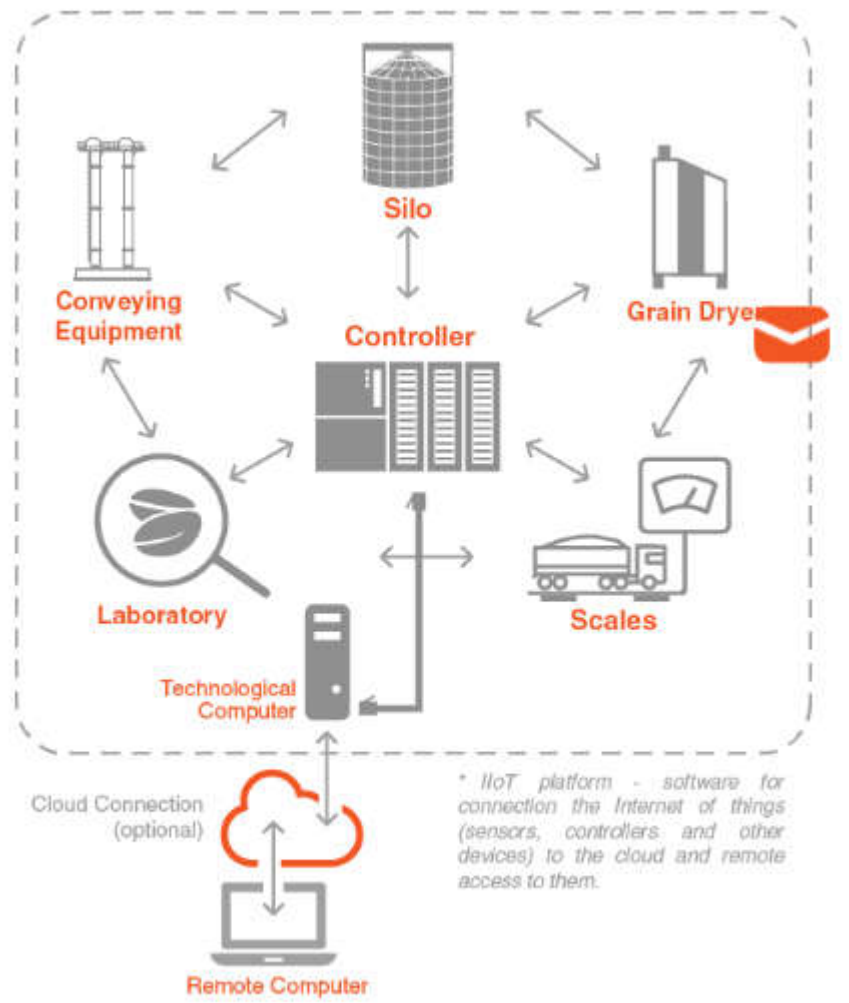


Рисунок 1 – узагальнена структура сервісу компанії KMZ industries.

### 1. Модульність.

Уніфікована платформа з можливістю поступового або вибіркового підключення модулів за бажанням замовника.

### 2. Універсальність та гнучкість.

Готовий програмний пакет адаптується та налаштовується під вимоги конкретного елеватора. Це істотно скорочує витрати на введення в експлуатацію та розробку програмного забезпечення.

### 3. Загальна простота.

Інтуїтивно зрозумілий і зручний інтерфейс адаптований для некваліфікованого персоналу.

### 4. Розширювальність.

Контролер Phoenix Contact PLCnext можна розширити до 63 модулів на одному апаратному відсіку, що дозволяє заощадити на придбанні апаратної частини у разі збільшення підключених модулів до рішення.

Практичні поради щодо автоматизації зерноскладського комплексу

Автоматизація зерноскладського комплексу починається з побудови прозорого та ефективного ланцюга переробки. Наявність конструкції дозволяє:

- Оцініть кількість матеріалів і приладів, які будуть використані.
- Складіть оцінку (план) бюджету.
- Отримати дозвіл на експлуатацію.

Автоматизація без проектування збільшує вартість реалізації в 2 рази. Інвестиції в розробку дизайну економлять до 50% бюджету такого впровадження, через відсутність майбутніх модифікацій і переробок (матеріалів, послуг).

Дуже важливо розробити комплексне рішення для використання в майбутньому. Це може здійснюватися поетапно в наступному порядку: збереження конвеєрної лінії, сепаратора, зерносушарки, які відповідають за якість зерна; отримання зерна, щоб виключити шахрайську схему.

Автоматизація існуючих зерноскладських комплексів. Впровадити систему автоматизації можна як на новому, так і на існуючому елеваторі без необхідності припинення роботи та без прив'язки до сезону.

Крім того, НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) на складському комплексі також вимагає повної автоматизації процесів, що є обов'язковим для промислових об'єктів, які займаються діяльністю з харчовими речовинами.

Умови реалізації та повернення інвестицій. Автоматизація елеваторного комплексу потужністю 40 000 тонн одноразового зберігання «під ключ» займає 3-4 місяці, починаючи від програмування технологічних потоків і закінчуючи монтажем обладнання та установкою програмного забезпечення на об'єкті.

Термін окупності повністю автоматизованого елеватора на 1,5 року менший у порівнянні з аналогічним неавтоматизованим елеватором. Це досягається за рахунок скорочення витрат на персонал, зниження

енергоспоживання та оптимізації послідовності операцій і маршрутів. На операційні витрати виділяється 15% ресурсів від річного обороту.

KMZ Industries спеціалізується на автоматизації зерноскладських комплексів, тому що розуміє технологію зберігання та переробки зерна. Виготовляє обладнання для зберігання та перевалки зерна. Автоматизує його та технологічні процеси на комплексах. Об'єднує всі процеси в єдину систему. Правильно реалізована автоматизація дає повний доступ до зерносховища. Це дозволяє повністю контролювати ситуацію: від найдрібніших деталей до всього процесу, напр. безпосередньо керувати своїм прибутком.

Розглянувши українську фірму та її підходи до зберігання зерна, також потрібно ознайомитися із зарубіжними колегами та їхнім поглядом на дану проблематику. Однією з фірм такого спектру буде GSI. Заснована у гаражі площею 5000 квадратних футів, у якому працювало лише 3 працівники, Крейгом Слоаном Grain Systems (GSI) у 1972 році розпочала виробництво різноманітних контейнерів для зберігання із гофрованої сталі. Хоча починали як один із найменших виробників сталевих контейнерів для зберігання, до 1988 року були одним із найбільших у світі.

Сьогодні GSI є найбільшим у світі виробником сталевих бункерів для ферм, зернових бункерів для комерційного зберігання та зернових силосів, забезпечуючи фермерів і переробні підприємства єдиним джерелом для всіх потреб зернового обладнання, надаючи якісне обладнання та послуги більш ніж у 70 країнах світу.

Сучасні виробничі вимоги вимагають систем, які відрізняються високою продуктивністю та надійністю з року в рік. Крім того, проста установка, технічне обслуговування, проста експлуатація, довговічність, гнучкість і ефективність роботи ретельно враховуються при проектуванні та конструкції кожного виробленого продукту GSI.

Оскільки вегетаційний період наближається до кінця і зерно відправляється на зберігання на зиму, фермери все ще повинні стежити за комахами-шкідниками, які можуть знищити весь урожай. Найбільшу загрозу для рису, що зберігається, становлять малий зерновий мокриця та рисовий

довгоносик, але надмірна вологість і коливання температури також можуть завдати значної шкоди зерну.

У минулому моніторинг зерна, що зберігається, залежав від керівників бункерів і вимагав старанності та майже постійного нагляду. За словами д-ра Теда Вілсона, директора Техаського університету A&M University System Agricultural Research and Extension Center у Бомонті та члена групи, яка розробила програму, новий комп'ютерний інструмент обіцяє значно полегшити це завдання.

Новим інструментом є веб-програма управління зерновими під назвою Post-Harvest Grain Management. Він був розроблений Центром Бомонта у співпраці з Програмою переробки рису Університету Арканзасу, Службою сільськогосподарських досліджень Міністерства сільського господарства США в Манхеттені, штат Канзас, і Університетом Міссурі.

Інтерактивний додаток прогнозує температуру та вологість зерна, а також динаміку популяції та пошкодження рисового довгоносика та малого зернового мокриці в бункерах.

Він безпосередньо пов'язаний з базою даних погоди для Арканзасу, Міссурі та Техасу. База даних оновлюється автоматично з кількох джерел даних про погоду, в основному з бази даних погоди Національного управління океанічних і атмосферних досліджень. Програма дозволяє користувачам вибирати історичні дані та дані майже в реальному часі (для деяких станцій), щоб оцінити вплив регіональної погоди на аерацію бункера та популяції шкідників.

«Наприклад, у прохолодніших регіонах вирощування рису, таких як Арканзас, популяції шкідників не наростатимуть так швидко, як у теплішому кліматі на узбережжі Техаської затоки», — сказав Вілсон.

Програма також забезпечує графічне відображення та аналіз результатів моделювання та може бути використана як стратегічний інструмент для управління зерном після збору врожаю. За словами Вілсона, можливості для управління зерном, економічного аналізу та прийняття рішень щодо виробництва будуть включені в майбутній випуск.



Фермерів заохочують надавати відгуки та пропозиції щодо вдосконалення програми, щоб забезпечити зручність програми.

### 1.3 Виявлення прогалин і обмежень у поточних дослідженнях

Дослідження в галузі сільського господарства спрямовані на збільшення виробництва та якості продуктів харчування з меншими витратами та високим прибутком для задоволення споживчого попиту (Khatkar et al., 2016). Протягом десятиліть фермери збирали дрібне сухе насіння, відоме як зерно. Основну споживану зернову культуру у світі зазвичай можна визначити в ботанічній родині «Poaceae», що включає дві основні групи: зернові, такі як рис, пшениця, овес, кукурудза (кукурудза), і бобові, такі як квасоля, арахіс, кіноа, соєві боби. (ячмінь, сорго, жито, просо). Зерно є важливим джерелом багатьох поживних речовин, включаючи клітковину, вітаміни групи В (тіамін, рибофлавін, ніацин і фолієва кислота) і мінерали (залізо, магній і селен), які беруть участь у здоровій біологічній діяльності.

### 1.4 Формулювання основних цілей дослідження

Наша мета полягає в тому, щоб визначити та реагувати на потреби галузі за допомогою якісних продуктів, які допоможуть вам досягти максимальної віддачі від ваших інвестицій, тому ми створили найдосконаліші зерносушарки та системи в галузі, щоб зробити саме це. Наш великий вибір систем транспортування матеріалів, включаючи підмітальні машини для зерна, розкидачі, системи ланцюгової петлі, комерційні ковшові елеватори, конвеєри, опорні вежі та подіуми, — усі вони працюють разом, щоб оптимізувати наш процес.

Дані з датчиків збирає мікроконтролер PIC, який потім надсилає їх у хмару через модуль глобальної системи мобільного зв'язку (GSM). Кілька сенсорних вузлів будуть розгорнуті по всьому складу, і кожен з них надаватиме інформацію про середовище складу через службу коротких повідомлень (SMS) і мобільний додаток. Для автоматизації відповідно до трьох описаних рівнів автоматизації було вибрано хмарну ІФМІ, комерційно доступну компанією Agrostis Agricultural Information Systems (Салоніки, Греція) під назвою ifarma2. Ifarma – це комплексне управління фермою, яке пропонується як додаток на основі підписки та може використовуватися фермерами, які бажають використовувати мобільні пристрої та сучасні технології. Основна мета ifarma — планувати, контролювати та вести облік.

Розробити інструмент фінансового аналізу складу. В основі можна виділити віджети графічного інтерфейсу користувача (GUI) ifarma-ffa, де також відбувається взаємодія користувача. Це було розгорнуто на платформі FISpace B2B (бізнес-бізнес) (перший рівень автоматизації), і першим і найважливішим інструментом, який він використовує.

# ПРОЕКТУВАННЯ МОДУЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЗЕРНОСХОВИЩЕМ

## 2.1. Методологія виявлення наявності комах

На підприємствах зі зберігання зерна використовуються кілька традиційних методів, серед яких популярними є візуальний огляд, відбір проб зондом і метод пастки для комах. Ці методи є простими, але тривалими, трудомісткими та суб'єктивними. Деякі з популярних методів коротко обговорюються в наступних розділах.

Виявлення інвазії комах у харчовому зерні, що зберігається, можна здійснити шляхом візуального огляду. Це уніфікований, якісний і суб'єктивний метод, який використовується як стандартний метод для порівняння кількісних методів (Semple, 1980). Наявність яєць, дорослих комах і заражених зерен можна побачити неозброєним оком, не відбираючи зразки зерна або шукаючи залишки зараження в мішках для зберігання. Інспектор Міністерства сільського господарства, рибальства та продовольства Великобританії розробив деякі позначення щодо використання мішків, зберігання та перевірки зразків (табл. 1).

Відбір проб зондом і просіювання є найбільш широко використовуваними методами; однак це трудомістко і займає багато часу. При цьому методі зерна (0,5–1 кг) відбирають зондами з бункера для зберігання. Для відсіву комах від зерен використовують сита. Зонди тривалий час зберігаються в бункерах для зберігання зерна; інспектор вручну знімає їх і візуально перевіряє, що робить це трудомісткою, а часом і важкою процедурою.

Різні типи пасток були розроблені ТНАУ, Коїмбатор (Індія) (Mohan et al., 1994). Ці прилади (рис. 2) корисні для своєчасного виявлення та моніторингу зараження комахами в харчовому зерні, що зберігається.

Таблиця 1 - Знаки для огляду на комах у сховищах.

Літера	Специфікація	Кількість комах
C – Порожньо або відсутній	Немає комах	Потрібен захист від перехресного зараження та регулярний огляд.
F – Невелика чи мала	Нерегулярна поява невеликої кількості комах.	Відсутність комах в мішках < 20 комах на 90 кг просіяного зразка для кількох нотацій (вимагає дезінсекції в найближчому майбутньому). 20–300 комах на 90 кг ситового зразка для легкого позначення.
MN – Помірна кількість	Регулярне виникнення та утворення малих популяції комах	50-300 комах на 90 кг просіяного зразка.
LN – Велика кількість	Велика кількість комах, що повзають по стеку поверхні	300-1500 комах на 80 кг просіяної проби.
VLN – Дуже велика кількість.	Інтенсивна поява комах, чутних і мертвих шкірка видно навколо стебла	> 1500 комах на 90 кг просіяного зразка.

Блукання комах у повітрі використовується як концепція дизайну. Ефективність зондової пастки «два в одному» висока завдяки поєднанню зонда та пастки. Він найкраще підходить для відлову жуків, оскільки вони завжди блукають по поверхні зерна. Індикаторний пристрій складається з перфорованої конусоподібної чашки з кришкою вгорі, закріпленої внизу контейнером і круглою чашкою, покритою липким матеріалом (Mohan, 2007; Mohan and Rajesh, 2016). Автоматичний контейнер для видалення комах ТНАУ видаляє комах і подрібнює відкладені ними яйця. Його ефективність дуже висока (90%), оскільки більшість комах можна видалити протягом 10 днів. Це спричинило 1–4% пошкодження зерна порівняно з 33–65% пошкодження у звичайному

бункері після 10 місяців зберігання зерна рису та сорго (Mohan, 2007). Пастки ультрафіолетового світла, вбудовані в ультрафіолетове світло (4 Вт бактерицидна лампа) 250 нм, використовуються в сховищах на висоті 1,5 м над рівнем землі. Ці пастки корисні для відлову різних комах, що зберігаються на зерні, включаючи малого зернового жука (*Rhyzopertha dominica* F.), рисового довгоносика (*Sitophilus oryzae* L.), червоного борошняного жука (*Tribolium castaneum* Herbst), пилкоподібного жука (*Oryzaephilus surinamensis*) тощо (Мохан і Раджеш, 2016).

«Світло» можна використовувати для виявлення, моніторингу та боротьби з комахами в харчовому зерні, що зберігається на складах, у складських приміщеннях, елеваторах тощо. Використовуючи реакцію комах на світло. Це «чиста» форма технології, яка використовує три типи світла: лампи розжарювання, флуоресцентні та ультрафіолетові. Комахи приваблюють світло з довжиною хвилі від 280 до 600 нм і деякі кольорові об'єкти через їх явну відбивну здатність (Neethirajan et al., 2007). Вид комах, вік, умови середовища, стать та інтенсивність світла впливають на реакцію комах на світло (Shimoda and Honda, 2013). Феромони — це хімічні речовини, що виділяються комахами, які використовуються в пастках для контролю популяції комах. Вони використовуються для спілкування між комахами.

Пастки з різних матеріалів, що містять феромони (статеві та агрегаційні феромони), які використовуються на покритій адгезивом поверхні або воронкоподібній структурі для лову комах (Laopongsit & Srzednicki, 2010).

Він складається зі стандартного воронкоподібного апарату Berlese із сітчастим екраном (Minkevich, Demianyk, White, Jayas, & Timlick, 2002). Зразки зерна поміщають у лійку під лампою розжарювання на 8 годин і використовують банку зі спиртом/водою для захоплення комах. Воронки оснащені сітчастим дном, досить малим, щоб утримувати зерна, і достатньо великим, щоб через нього могли проходити комахи. Він використовує сухе тепло для видалення комах із зерен. Сухе тепло нагріває зерна і змушує комах рухатися протилежно до тепла у воронці (Neethirajan et al., 2007).

Сечова кислота, основний елемент екскрементів комах, була рекомендована як мікроелемент від зараження комахами в зберіганому харчовому зерні. Цей метод опосередковано виявляє зараженість комахами протягом усього періоду зберігання (Rajendran, 2005). Пізніше були розроблені різні методи визначення рівня сечової кислоти: паперова хроматографія, флуориметричний, колориметричний, газорідина хроматографія (ГРХ), тонкошарова хроматографія (ТШХ), вискоефективна рідина хроматографія (ВЕРХ) і ферментативні методи (Ghaedian)., 1995). Відповідно до BIS (1970), колориметричний метод може бути використаний для вимірювання сечової кислоти для визначення рівня інвазії.

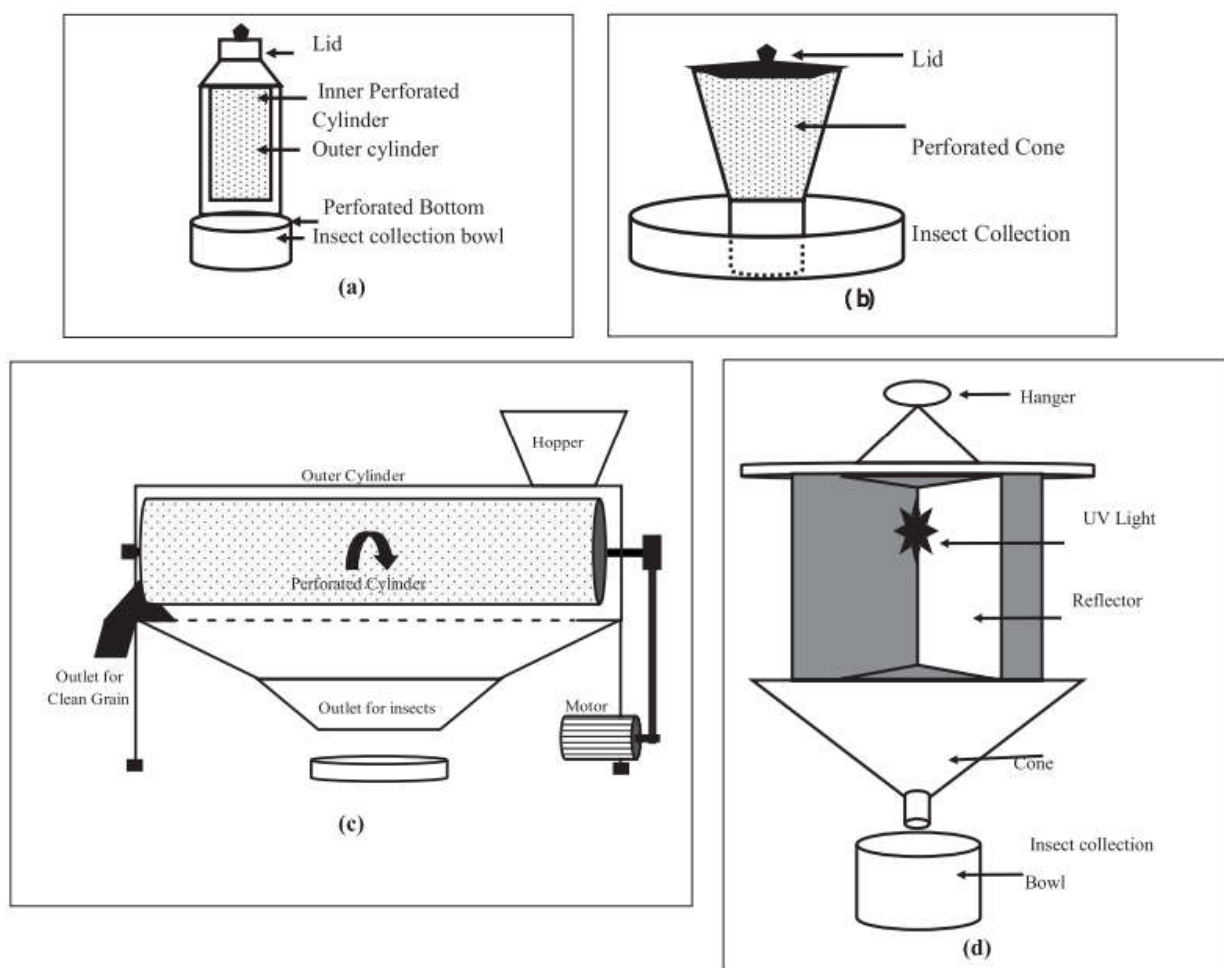


Рисунок 2 - (а) Пристрій-індикатор, (б) Бункер для автоматичного видалення комах, (с) Пристрій для видалення яєць комах, (д) Пастка ультрафіолетового світла.

Це дуже простий і недорогий прилад, який використовується для виявлення прихованої інвазії в зерні. Він складається з трьох круглих пластин, розташованих одна над одною. Верхня та середня пластини закріплені на шарнірах для зручності роботи під час підйому. Основна пластина покрита фільтрувальним папером, обробленим нінгідрином.

Сорго, заражене *S. oryzae*, пшениця зерновою міллю (*Sitotroga Cerealella*) і зелений грам довгоносик вігни (*Callosobruchus maculatus*) були перевірені цим детектором. Отвори середньої пластини заповнювали зразками зерна з вологістю близько 20%. Верхня пластина була притиснута для подрібнення зерен. Фільтрувальний папір пофарбував заражені зерна, які підраховували та оцінили відсоток зараження шляхом порівняння з іншими методами.

Підхід сучасних методів до харчового зерна, що зберігається, може запропонувати просте та швидке рішення для виявлення як внутрішнього, так і зовнішнього зараження навіть низької щільності за рахунок меншого руйнування матеріалів, щоб можна було вжити рішучих заходів якомога раніше. Деякі з технологій використовують датчики, камери, мікроскоп, джерела випромінювання, леткі речовини, звук тощо як заходи для виявлення комах. Ці методи вимагають порівняно менше праці, ніж звичайні методи; однак працівники мають бути достатньо кваліфікованими, щоб керувати складним обладнанням згідно з протоколами. Ці технології можна згрупувати на основі властивостей, що використовуються для виявлення комах, а саме електропровідності, нюху, реакції на електромагнітний спектр і акустичні сигнали. Подобиці спроб, зроблених у цих різних категоріях, наведено в наступних розділах.

Машинний зір у видимій області. Машинне зір, також відоме як комп'ютерне зір, є новою технологією, яка поєднує в собі механіку, оптичні прилади, електромагнітне зондування, цифрові технології та технології обробки зображень (Patel та ін., 2012). Він використовує принцип розпізнавання та класифікації об'єктів на основі інформації, отриманої із зображення, знятого за допомогою камери (Sun, 2016). Це швидкий, послідовний, економічний та об'єктивний метод перевірки, який має потенціал для застосування в оцінці

якості сільськогосподарської продукції. Швидкість і точність цієї неруйнівної техніки можуть задовольнити потреби постійно зростаючого виробництва та вимоги до якості, отже, це корисно для інтенсифікації розвитку автоматизованих процесів. Технологія машинного зору складається з трьох основних процесів: отримання зображення, обробка або аналіз зображення, а також розпізнавання та інтерпретація. Отримання зображення складається із захоплення реального зображення за допомогою камер, сканерів, відео тощо та перетворення його в цифрове зображення (рис. 3). Попередня обробка зображення призначає початкову обробку необробленого зображення. Іноді виконується попередня обробка, щоб покращити якість зображення шляхом придушення небажаних спотворень «шуму» або шляхом просування важливих особливостей огляду, що цікавить (Narendra and Hareesh, 2010). Виділення ознак зображення включало вилучення характеристик зображення на різних рівнях складності з даних зображення (Davies, 2005). У процесі сегментації зображень, вирізання, додавання та аналіз функцій виконується для поділу областей зображення, які мають істотну кореляцію з об'єктами або видами, що цікавлять, за допомогою принципу матричного аналізу. Це один із найважливіших етапів усієї техніки обробки зображень, оскільки точність цієї методики надзвичайно залежить від подальших вилучених даних.

Розпізнавання та інтерпретація зображень надають корисну інформацію після аналізу зображень, яку можна використовувати для керування процесом або машиною (Gunasekaran, 1996). Можна успішно проводити моніторинг та оцінку сортів і добротності зерна, кількості стороннього матеріалу, зараження пліснявою та комахами тощо в масі зерна (Aviara, Fabiyi, Ojediran, Ogunniyi, & Onatola, 2016). Ця методика підходить для виявлення цілих і живих комах у зберіганому харчовому зерні. Zayas і Flinn (1998) використали мультиспектральний аналіз із розпізнаванням образів для виявлення *R. dominica* у масових зразках пшениці, і результати показали, що ефективність розпізнавання дорослих малих зернових мокриць і деяких сторонніх матеріалів становила понад 90%.



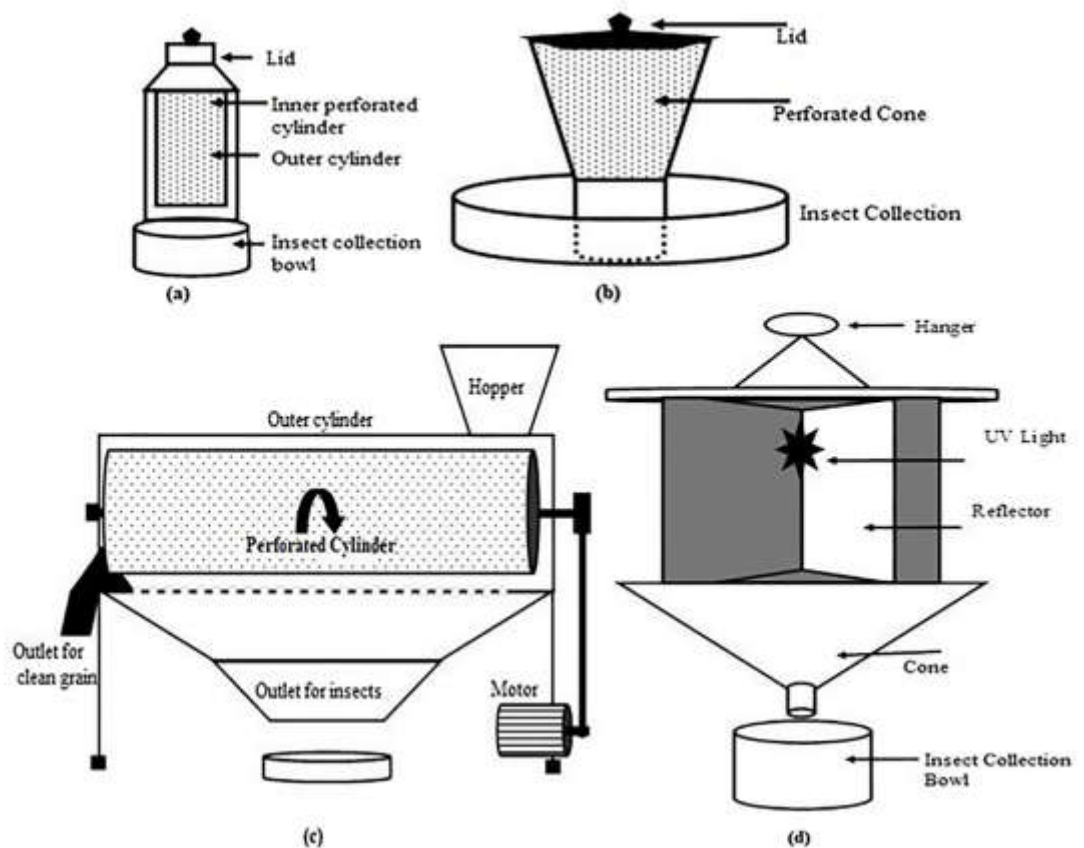


Рисунок 3 - Блок-схема системи машинного зору

Електронний лічильник комах із зондом зерна (EGPIC). Автоматизований пасивний зонд для зерна, відомий як Electronic Grain Probe Insect Counter, здійснює зовнішній моніторинг і виявлення комах-шкідників, а також віддалено відображає дані про рівень зараження харчового зерна, що зберігається. Він складається із зонда, системної схеми, реєстратора даних та інтерфейсу користувача. Через небезпеку вибуху зернового пилу електричне живлення та схеми залишаються за межами структури зберігання та пропускають лише низьку напругу з високим імпедансом, датчики через зерна від схеми генерації/виявлення променя до головки датчика. Інформація, отримана датчиками, передається на комп'ютер, який аналізує сигнали та робить записи з часовими мітками виявлення (Litzkow, Shuman, Kruss, & Coffelt, 1997). Коли комаха падає на сенсорну головку EGPIC через інфрачервоний промінь, сигнал генерується інфрачервоним діодом, а потім приймається інфрачервоним фототранзистором, який викликає незначне зниження інтенсивності світла, що проходить до фототранзистора. Система електронних схем виявляє це невелике

відхилення та перетворює його на кількість комах із міткою часу, а потім комахи виходять із зонда (Shuman and Epsky, 2001). Він постійно контролює рівень комах на будь-якій глибині. Flinn, Opit і Throne (2009) випробували комерційну електронну зернову пастку в двох бункерах пшениці (32,6 тонни) протягом 2 років зберігання. Вони розробили регресійну модель і порівняли її з щільністю комах, оціненою EGPIС. Існувала 40–75% варіація прогнозованої щільності комах проти EGPIС. Експертна система «Stored Grain Advisor Pro» була поєднана з EGPIС для оцінки щільності *S. ferrugineus* (Stephens), *R. dominica* (F.) і *T. castaneum* (Herbst) за підрахунками вилову пастки. Експертна система ефективно оцінила щільність комах, але не змогла відрізнити *R. dominica* та *T. Castaneum* через однаковий розмір (Flinn et al., 2009).

## 2.2 Шляхи виявлення захворювань зернових культур

Багато зернових можна довго зберігати, транспортувати на великі відстані, переробляти на борошно, олію та газ, а також поживну їжу для людей і тварин, що пов'язано з численними перевагами для здоров'я та знижує ризики деяких хронічних захворювань (Benincasa et al. , 2019)

Різноманітні явища стихійного лиха, хвороби рослин, спричинені бактеріальними, грибковими, вірусними інфекціями та інвазіями комах, пандемічні ситуації, такі як COVID-19, різко скорочують сільськогосподарське виробництво як за якістю, так і за кількістю, що безпосередньо впливає на економіку країни ( Гутте і Гітте, 2018). Виявлення хвороб рослин можна проводити як лабораторними методами, так і методами візуалізації. Лабораторні методи включають серологічні методи та молекулярні методи, такі як проточна цитометрія, імуноферментний аналіз (ELISA), імунофлуоресценція (IF), полімеразна ланцюгова реакція (ПЛР та ПЛР у реальному часі), послідовності нуклеїнової кислоти дезоксирибози (ДНК) збудника. , флуоресцентна гібридизація *in situ* (FISH) і мікрочіпи ДНК. Метод виявлення

захворювань на основі біомаркерів включає газо-метаболический профіль, метаболічний профіль рослин, а також властивості рослин /виявлення захворювань на основі стресу включає методи візуалізації та спектроскопічні методи, які використовуються для патогенів рослин (Sankaran et al., 2010).

Деякі інші методи: флуоресцентна візуалізація, флуоресцентна спектроскопія, інфрачервона спектроскопія, видима/багатоканальна спектроскопія, мультиспектральна або гіперспектральна візуалізація, рентгенівська візуалізація та спектроскопія ядерного магнітного резонансу (ЯМР) у поєднанні з комп'ютерним зором, алгоритмами розпізнавання образів і алгоритмами автоматичної класифікації. можна використовувати для патогенів рослин, з особливим наголосом на післязбиральних хворобах (Prabha and Moses, 2016). Ураження виявлення та класифікації рослин є першочерговими завданнями покращення рослинництва для економічного зростання. Практичні підходи до скринінгу захворювань зернових рослин і їх оцінки є складними завданнями навіть для навчених людей, а також дорогими (Gutte and Gitte, 2018).

Автоматизована система рослин-патогенів була розроблена в останні роки, щоб відповідати швидкому зростанню шляхом точного моніторингу виробництва зерна. Незважаючи на доступність цих методів, існує потреба в надійних, точних, швидких, надійних та ефективних прогресивних методах виявлення хвороб рослин для виявлення патогенів у рослинах на ранніх стадіях для економічної, виробничої та сільськогосподарської вигоди. Тому дослідження мають важливе значення для виявлення захворювань рослин на ранній стадії, щоб підвищити продуктивність сільського господарства, щоб впоратися зі зростаючим населенням світу. Оскільки методи візуалізації є недорогими та неструктурними методами, які зазвичай використовуються в системах моніторингу хвороб, які тепер повсякденно використовуються для виявлення хвороб і стресу у рослин і дерев. Однак наявність процесу виявлення захворювання є практично ідентичними фазами у всіх обчислювальних підходах. Зображення рослин, отримані в полі за допомогою датчиків і камер,

проходять чотири основні етапи, включаючи попередню обробку, сегментацію, виділення ознак і класифікацію.

За останні роки було зроблено кілька оглядів для аналізу захворювань рослин. Zareiforoush та ін. (2015) опублікували огляд про різні потенційні застосування комп'ютерного бачення в інспекції якості рису шляхом оцінки якісних характеристик рисових продуктів. Шах та ін. (2016) представляють огляд різних стратегій машинного навчання з методами обробки зображень для розпізнавання хвороб рослин рису. Desai і Deepthi (2017) представили огляд експертних систем для діагностики сільськогосподарських культур. Огляд був зосереджений на експертній системі для аналізу симптомів різних хвороб рослин, таких як рис, пшениця, помідори тощо, і пропонував рішення для фермерів.

Naarhoff і Swanepoel (2018) представили систематичний огляд для дослідження впливу популяції рослин на врожайність зерна кукурудзи на основі кількості опадів у різних кліматичних умовах. Патрісіо та Рідер (2018) представили огляд із 25 статей, відібраних з 2014 по 2016 роки, щоб визначити застосовність методів комп'ютерного зору та штучного інтелекту в сільському господарстві для виявлення хвороб, якості зерна та фенотипування п'яти найбільш вирощуваних зерен у світі, таких як кукурудза, рис, пшениця, соя та ячмінь. Каміларіс і Пренафета Болду (2018a) розглянули зусилля щодо застосування методів глибокого навчання в сільськогосподарських і харчових виробництвах, вказавши, що ці методи забезпечують високу точність і перевершують загальноживані методи обробки зображень. Ліакос та ін. (2018) опублікували огляд методів машинного навчання для управління фермами. Автор розповів про те, як методи машинного навчання зосереджені на чотирьох основних категоріях управління фермами, таких як тваринництво, управління ґрунтом, управління водними ресурсами, управління посівами, включаючи виявлення бур'янів, виявлення хвороб, прогнозування врожайності та розпізнавання видів.

Ікбал та ін. (2018) представили огляд автоматичної ідентифікації хвороб цитрусових за допомогою методів обробки зображень. Огляд містить різні

етапи техніки обробки зображень для розпізнавання хвороб цитрусових. Проблеми, що стоять за кожною фазою підходів до обробки зображень для ідентифікації хвороб цитрусових рослин, детально аналізуються.

(Rauf et al., 2019) представили набір даних зображень цитрусових, листя та стебла. Багато зображень у цьому наборі даних були зроблені в грудні з фруктових садів у Саргоді, Пакистан, коли плоди мали дозрівати, і на цитрусових рослинах було виявлено максимальну кількість патогенів. Набір даних може допомогти дослідникам, які використовують алгоритми комп'ютерного зору та машинного навчання для створення автоматизованого виявлення хвороб, що допомагає фермерам виявляти хвороби рослин на ранніх стадіях. Набір даних складався з 759 зображень цитрусових і листя. Набір даних доступний за адресою <https://data.mendeley.com/datasets/3f83gxmv57/2>.

Айт Іссад та ін. (2019) розглянули різні методи інтелектуального аналізу даних, які застосовуються для розумного сільського господарства. Огляд був зосереджений на прогнозуванні та класифікації хвороб, моніторингу врожайності та виробництва, моніторингу шкідників, моніторингу зрошувальних систем за допомогою різних підходів аналізу даних.

Лха та ін. (2019) представили огляд методів штучного інтелекту та його застосування для автоматизації різноманітних сільськогосподарських завдань, таких як хвороби сільськогосподарських культур, управління зберіганням, контроль пестицидів, боротьба з бур'янами, відсутність зрошення та управління водними ресурсами. Yang et al. (2019) надали огляд доместикації, геноміки та функціональних геномних шляхів до покращення врожаю. Цзя та Гао (2020) представили огляд розпізнавання хвороб культур і шкідників за допомогою технології машинного та глибокого навчання. Автором розглянуто лише 25 статей, які стосуються шкідників і хвороб сільськогосподарських культур.

Чілвал і Мішра (2020) представили опитування про роль системи нечіткого висновку в сільськогосподарському секторі. Огляд надає засновану на правилах систему раннього прогнозування та виявлення захворювань на фермі. Нгугі та ін. (2020) опублікували огляд про роль вдосконаленої обробки зображень і методів нейронних мереж, які використовуються для розпізнавання

хвороб рослин. Огляд зосереджувався на архітектурі глибокого навчання та методах навчання передачі та методах ручного вилучення ознак, які досі застосовувалися для ідентифікації хвороб рослин. Вайс та ін. (2019) розглянули роль технологій дистанційного зондування для застосування в сільському господарстві. Огляд був зосереджений на нагляді за землею, селекції рослин, прогнозуванні врожайності та екосистемних послугах для ґрунту та водних ресурсів із використанням технологій дистанційного зондування.

На відміну від оглядів, наведених раніше, це дослідження мало на меті вивчити, як обчислювальні методи можуть бути використані на різних фазах патогенів зернових рослин у широкому аспекті. У цьому дослідженні здійснюється пошук у різних базах даних, таких як Elsevier, PubMed, IEEE, Springer і Google Scholar, і завантажується приблизно 1400 статей, пов'язаних із хворобами рослин.

Підходи до обробки зображень відіграють важливу роль в автоматизованому виявленні та ранній діагностиці хвороб зерна, щоб покращити ріст і якість рослин рису, сої, пшениці та кукурудзи. Стратегії обробки зображень, такі як попередня обробка, сегментація зображення, виділення ознак і класифікація, використовуються для розрізнення хвороб у зерні.

Показник ефективності є суттєвим і обчислюваним показником, який використовується для кількісного доступу до продуктивності обчислювальних методів, що використовуються в системах патогенів рослин. В останні два десятиліття дослідники використовували специфічні критерії оцінки для вимірювання ефективності запропонованих методів. Формули різних показників, таких як точність, чутливість, специфічність, точність, запам'ятовування, AUC, частота справжніх позитивних результатів і частота помилкових позитивних результатів.

Огляд обчислювальних методів, які використовувалися для виявлення хвороб рослин, і коротко підсумовує їх. У цій роботі обговорюється обчислювальний метод, який використовується на різних фазах рослин-

патогенів, з їх перевагами, недоліками та ефективністю в порівнянні з мірками оцінки.

Сільське господарство є найпоширенішим видом виробничої діяльності у світі, і воно зазнало багатьох технологічних розробок і змін з часом, щоб збільшити вирощування. Хвороби рослин можуть спустошити природні екосистеми, загострити екологічні проблеми. Фермери витрачають мільйони доларів на боротьбу з хворобами зерна, що часто призводить до поганого контролю хвороб без належної технічної підтримки. Слабкий механізм боротьби зі шкідниками та спостереження хвороб неозброєним оком сильно вражають зерно.

Одним із найпоширеніших застосувань є візуалізація грудей. Зазвичай використовується один із трьох підходів: телетермографія, динамічна ангіотермографія та контактна термографія. Цифрові термографічні методи зображення включають перевагу принципу, отриманого від метаболічної активності. Крім того, вивчається судинна циркуляція в області, що оточує рак молочної залози, що розвивається, щоб виявити вищий показник.

У документі (Anne-Katrin Mahlein et al., 2012) йдеться про використання неінвазивних датчиків для виявлення захворювань рослин. Вивчаються та порівнюються такі типи датчиків, як датчики термографії, флуоресценції хлорофілу та гіперспектральні датчики. Помічено, що гіперспектральні системи записують дуже велику кількість даних і, отже, вимагають різних підходів для отримання результату. У термографії температура є вирішальним параметром. Проблема полягає в тому, що потенціал цих технологій ще не повністю вивчений. Ще одна проблема – інтерпретація даних датчиків.

У цій статті (Fang and Ramasamy, 2015) наведено різні методи класифікації хвороб рослин. Прямий метод включає ПЛР (полімеразна ланцюгова реакція), IF (імунофлуоресценція), (флуоресцентна гібридизація *in situ*), FCM (проточна цитометрія) та ELISA (імуноферментний аналіз) тощо. Типи непрямого методу включають флуоресцентну візуалізацію, також обговорюється гіпер спектральне зображення. Прямий метод широко доступний, але його складно використовувати, він займає багато часу для

аналізу даних і потребує досвідчених техніків. Крім того, вони не дуже підходять для різних типів тестування. Непрямий метод може бути використаний для виявлення хвороб на місцях, але бракує специфікації різних типів хвороб із появою нанотехнологій, є значний прогрес чутливих біосенсорів, специфікація яких може бути вдосконалена за допомогою ферментів, ДНК, антибіотиків як елемента виявлення.

У статті порівнюються такі технології, як технології візуалізації з використанням спектроскопії, разом із методами на основі профілювання, які використовуються для визначення звичайного здоров'я та хвороб листя. Перевага використання цих технологій полягає в тому, що вони точно виявляють хворобу штанив. Проблеми, з якими стикаються ці методи, полягають у пошуку оптимального рішення для певного захворювання рослин, а також в автоматизації методів безперервної перевірки захворювань рослин. (Sankaran та ін., 2010).

Великий вміст олії робить арахіс важливим сільськогосподарським продуктом. У цій статті (EwisOmran, 2016) представлено метод ранньої ідентифікації хвороб рослин. В основному він зосереджений на вивченні впливу грибкових захворювань у вигляді плямистості на листках арахісу. Індeksi раннього та пізнього листя ідентифікували за допомогою спектроскопії *in situ*. Крім того, він включав термічні та спектральні розрахунки для диференціації здорових та заражених листків рослин. Пізніше зниження хлорофілу в рослинах також ідентифікується як фактор виявлення стресу серед заражених листків.

Ця стаття (Federico Martinelli та ін., 2015) описує сучасний метод ідентифікації хвороб у рослин на основі аналізу нуклеїнових кислот і білків. У цьому документі описані різні спектрометри рухливості та пристрої з бічним потоком, які виявлятимуть ранні інфекції безпосередньо на рідині. У ньому також підсумовується, що технології дистанційного зондування в поєднанні з методами, заснованими на спектроскопії, забезпечують високу просторову розподільність і, отже, допомагають у ранньому виявленні будь-яких інфекцій у рослинах. У статті обговорюються всі ці інструменти та те, як вони корисні для



пошуку різних хвороб рослин, а також методи на основі нуклеїнових кислот і серологічні методи.

Методи багатоспектрального зображення використовують різні типи смуг хвиль, наприклад зелені, червоні або ближні до інфрачервоних смуг хвиль, щоб захопити всі типи зображень, незалежно від того, чи є вони невидимими чи видимими зображеннями фруктів чи зернових або рослинності. Для виявлення хвороб рослин мультиспектральні зображення інтегруються з машинним навчанням і алгоритмами класифікації, які передають інформацію в значущі дані.

Гіперспектральне зображення використовує багато традиційних методів візуалізації разом із спектроскопією для агрегування різної спектральної інформації одночасно. Мета цього методу полягає в тому, щоб знайти спектр для залучених пікселів, які вносять свій внесок у зображення, яке розглядається. У гіперспектральному пристрої візуалізації розгортається пристрій для дисперсії довжини хвилі, а також присутній етап транспортування, який відрізняється від традиційної системи комп'ютерного зору. (Li та ін., 2017) (Rumpf та ін., 2010).

Людське око має здатність бачити в певному діапазоні від електромагнітного спектру, що належить до 400–700 нм (рис. 1) (Amy Lowe et al., 2017). Гіперспектральне зображення зазвичай містить ряд обмежених діапазонів довжин хвиль у спектральному діапазоні. Це забезпечує набір кольорових даних із корисною інформацією, яка також містить величезну просторову роздільну здатність, яка містить тисячі пікселів даних на аркуш (Amy Lowe та ін., 2017).

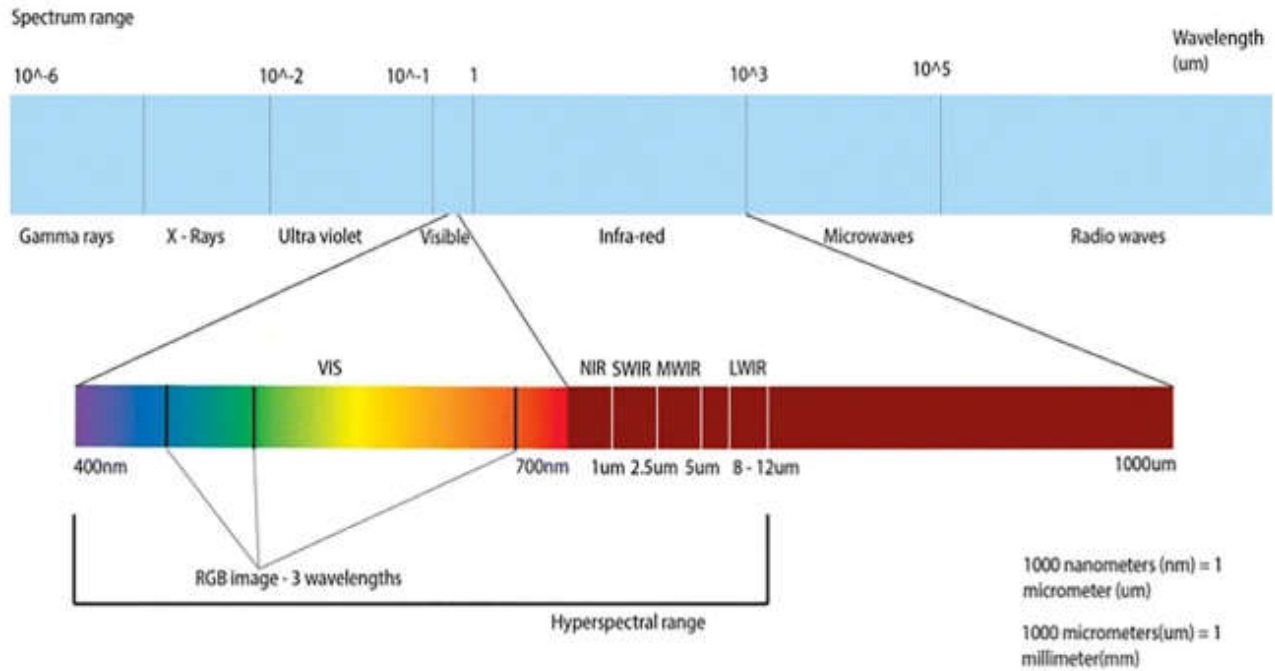


Рисунок 1 - Гіперспектральний діапазон в електромагнітному спектрі

У рослин стреси можна класифікувати як біотичні та небіотичні, де біотичні індукуються такими істотами, як віруси, гриби та інші. У статті (Baranowski et al., 2015) гіперспектральне зображення та тепловізор ідентифікують стрес рослин через грибки в ріпаку. Спочатку теплові зображення ріпаку аналізували на розподіл температури. Також були записані гіперспектральні зображення. Подальші розподіли температур порівнювали за допомогою кривих ядерної щільності.

Знову аналізували спектральний аналіз листя з різною відбивною здатністю. Стаття (Calderón та ін., 2015) містить опис методу автоматичної класифікації *Verticillium Wilt* в оливкових рослинах з урахуванням методів, корисних для великого масштабу. Спочатку теплові та гіперспектральні. Зображення були отримані над великою оливковою орхідеєю. Під час моделювання для цього дослідження були враховані різні індекси рослинності як оптимізовані індекси рослинності з поправкою на ґрунт. Коефіцієнт кореляції для повного пологу також використовувався для визначення рівня поширення хвороби. Пізніше була проведена класифікація SVM для роздвоєних рівнів захворювання. Виробництво мигдалю залежить від основних екологічних факторів, таких як клімат, місце розташування, стійкість до хвороб та інші.

Стаття (López-López et al., 2016) виявляє ранню появу червоних плям на листі за допомогою теплових і гіперспектральних зображень під час вивчення поширення інфекції під впливом різних факторів. Тут для вимірювання використовувався спектральний коефіцієнт відбиття у видимих областях разом із ближньою інфрачервоною областю. Пізніше для порівняння розглядалися такі показники, як концентрація пігменту хлорофілу, флуоресценція хлорофілу. Зрештою, об'єднану інформацію з різних параметрів використовували для аналізу під час розробки моделі для кількісної оцінки серйозності захворювання. Далі інформація, отримана в результаті аналізу, була знову передана численним методам класифікації, таким як лінійний дискримінаційний аналіз, опорна векторна машина для правильного аналізу. Також встановлено, що лінійний метод SVM більш ефективний у ранньому виявленні червоної плямистості листя.

У статті (Cao et al., 2015a) продемонстровано, що для виявлення борошнистої роси пшениці можна використовувати гіперспектральний коефіцієнт відбиття рослини під час аналізу нездорових симптомів. Було помічено, що культиватори пшениці більш чутливо реагували на відбивну здатність рослин, у яких сорти пшениці були більш чутливі до борошнистої роси. Проблема, що постала тут, полягала в тому, щоб відрізнити борошністу росу пшениці від інших хвороб. У цій статті (Kamlesh Golhani et al., 2018) обговорюються різні методи обробки та деталізації даних, які використовуються для гіперспектрального аналізу, приділяючи особливу увагу виявленню захворювань рослин. Ця стаття представляє методи NN для розробки спектрального індексу захворювання (SDI). Дані, що відрізняються від зображень камери, призводять до труднощів виявлення лінійності гіперспектрального зображення. Різноманітні проблеми, з якими стикаються в NN, схожі на виявлення захворювань трьох категорій, таких як передсимптомні та безсимптомні для однієї рослини.

У документі (Lowe et al., 2017) узагальнено методи виявлення різних стресів у рослин і зосереджено на методі гіперспектрального зображення для виявлення раннього початку захворювання та прогнозування стану здоров'я

рослини. Різні індекси зростають з кожним днем, і вони важливі для визначення конкретних критеріїв рослинності. Наприклад, індекс вегетації можна використовувати для визначення нормального здоров'я рослини, але проблема полягає в тому, що ми не можемо використати набір індексів для однієї рослини та використовувати його для даних іншої рослини.

У статті (Mahlein et al., 2013) обговорюється розробка різних індексів хвороб (SDI) для ідентифікації хвороб сільськогосподарських рослин цукрових буряків і хвороб листя, таких як плямистість листя, цукровий буряк та інші. На різних стадіях розвитку гіперспектральні сигнатури оцінювали як для здорових, так і для хворих листків. Для розрізнення хворих і здорових листків було перевірено кілька оптимізованих індексів захворювання. Перевагою SDI є те, що захворювання SDI можна легко розрізнити, що важко за допомогою вегетативних індексів. Завдання полягає в тому, щоб надіслати згенерований SDI та визначити його придатність для моніторингу захворювань на куполі за допомогою різних датчиків. У цій статті (Mahlein та ін., 2017) обговорюється гіперспектральне зображення і процедури аналізу даних для ідентифікації та кількісного визначення відповідних захворювань рослин. Гіперспектральне зображення може бути корисним для нового розуміння даних різних рослин на різних рівнях. У цьому документі (Moghadam et al., 2017) обговорюються методи візуалізації (VNIR та SWIR) разом із технологіями ml для ідентифікації TSWW, тобто Tomato Spotted Wilt Virus in capsicum у рослинах.

У документі (Ochoa та ін., 2016) обговорюється створення системи гіперспектральної візуалізації для ідентифікації хвороби Чорного Сігатоке (BS), виявленої в рослинах, і її передсимптомних реакцій у листі банана. Його можна описати як один із корисних методів, коли експерт може надати певну корисну інформацію про початкову область або короткий опис області, яка використовується для виконання сегментації. Крім того, алгоритм працює добре для уточнення, включаючи сегментацію. Можуть бути й інші методи, включаючи ручне втручання для надання різних класів тканини за допомогою піксельної інформації. Нарешті, принцип контролю за зворотним зв'язком

також використовується для сегментації, що додає інші переваги для користувачів, такі як гнучкість, автоматичне видалення проблем.

Може бути багато методів, які були доведені до застосування дослідниками за останні багато років; деякі з них розглядаються наступним чином. Ян Чен Чжан та ін. (2007) виявили один із методів селекції, який використовує нечіткі криві для ідентифікації присутності хвороби в листках рослин бавовнику. Зазначена методика визнана кращою з точки зору швидкості виконання. Це дає кращий результат класифікації без впливу локальних мінімумів, які в іншому випадку зазвичай помітні в нелінійних методах. Савіта Н. Гайват також надала огляд різних типів методів класифікації, можливих для виявлення різноманітних захворювань у листках рослин (Ghaiwat and Arora, 2014). Аль Башиш та ін. (2010) обговорили один із методів сегментації на основі К-середнього. Тут за допомогою цього виявляють різні захворювання, такі як бавовняна пляма, крихітна білизна. Це також показує використання ШНН для подальшої ідентифікації хвороби, як ранній опік і попелясте наліт на різних рослинах. У цій статті обговорюються результати, що дають точність 93%. А. Меункаевджінда та ін. (2008), також дав техніку для ранньої ідентифікації хвороби, присутньої саме в листі винограду. Він також демонструє класифікацію за допомогою машини опорних векторів.

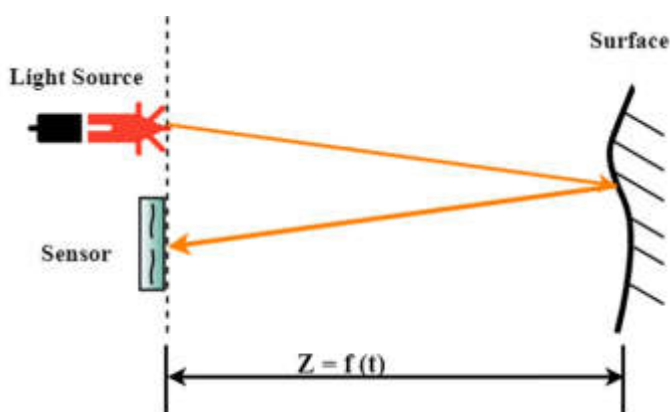


Рисунок 5 - Зображення через датчики TOF

Jaware та ін. (2012) запропонував швидший алгоритм класифікації. Тут різні типи захворювань, такі як ранній опік, бавовняний наліт і дрібна білизна, були легко ідентифіковані за допомогою цієї техніки. Цей метод був показаний

як оптимальний метод для виявлення різноманітних захворювань за короткий проміжок часу. Gurjar і Gulhane (2012) поінформували про метод регуляризації.

Тут обговорювалася методика, яка передбачає використання властивостей Ейгена. Було підкреслено, що ця техніка є кращою, ніж деякі інші методи з точки зору точності. Для ідентифікації деяких захворювань, викликаних грибком, таких як червона плямистість, він здатний працювати з точністю 90%.

Revathi і Hemalatha (2012) надали метод ідентифікації захворювання, який використовує виявлення країв на основі рівномірної сегментації. За допомогою цього методу легко визначити одну з хвороб, які зазвичай зустрічаються на листі бавовнику, як-от фузаріоз. Інші типи захворювань, як-от коренева гниль, сіра роса, опіки листя, бактеріальні опіки, гниль коробочки та скручування листя, також були виявлені за допомогою нейронних мереж.

Тут також обговорювалося застосування цього методу в розумному землеробстві. Мадхогарія та ін. (2011) надали методику класифікації з використанням індивідуальної інформації кожного пікселя для класифікації хвороб рослин. Він також показав використання svm. Tian та ін. (2010) обговорили методику використання різних класифікаторів, таких як опорний вектор, для раннього виявлення захворювань, присутніх у рослинах пшениці. Хвороба, виявлена тут, включає опіки листя та борошнисту росу.

Саннаккі та ін. (2011) дав виявлення хвороби, яка глибоко присутня в листі граната. Показана техніка також допомагає визначити конкретну стадію погіршення розглянутої хвороби. Тут обговорювалося використання навчання дерева рішень, нечіткої логіки та байєсівської мережі.

Аріважаган та ін. (2013) обговорили методику, що включає чотири етапи раннього виявлення захворювання. Також показано використання програмного забезпечення для автоматичної ідентифікації. Різні етапи, які тут обговорюються, включають формування перетворення кольору для даного зображення, яке супроводжується маскуванню зелених пікселів. Далі вони супроводжуються видаленням певних порогових значень разом із їх сегментацією. Також обговорювалося виділення функцій і обчислення інформації про текстури. Це показано на даних 500 зразків рослин, включаючи

лимон, помідори, квасоллю, банани та інші, в результаті чого точний показник становить 94%.

Ананд та ін. (2016) надали методичку наявності хвороб рослин. Ця робота передбачає використання різних методів обробки зображень для виявлення захворювань. Він також використовує штучну нейронну мережу для їх ідентифікації. Один із фільтрів, як фільтр Габора, був застосований для цілей фільтрації перед повною сегментацією. Пізніше навчаються різні особливості, які допомагають розрізнити здорове листя від нездорового. Найкваді та Амода (2013) також надали програмне рішення для раннього виявлення захворювань у різних с ланці. Лише після етапу сегментації виявляються зелені пікселі. Вони додатково маскуються для певного порогу, знайденого за допомогою методу Оцу. Використана техніка забезпечує діапазон точності від 83% до 94%. Патіл і Бодхе (2011) використовують пороговий метод для сегментації ділянки листка. Пізніше під час категоризації він показує точність 98,60%.

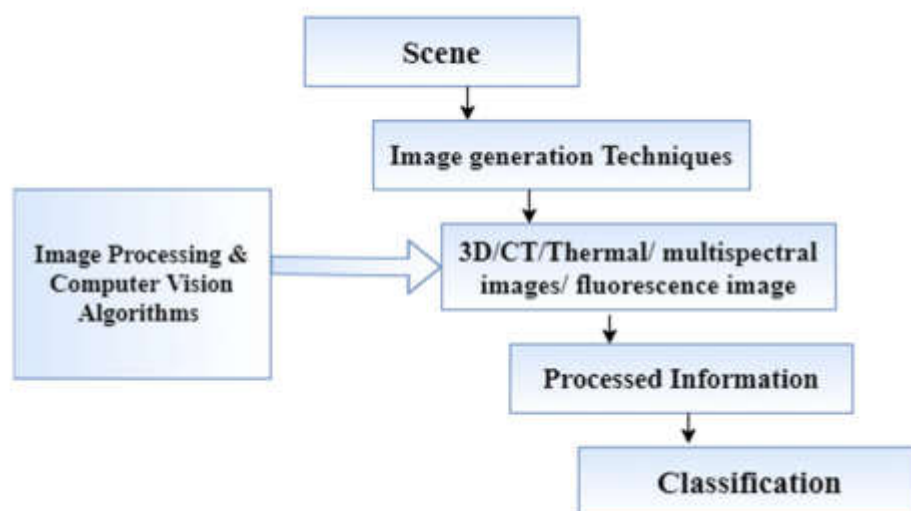


Рисунок 6 - Виявлення та класифікація хвороб рослин

Бейяла та Бейяла (2012) обговорили різні методи ранньої ідентифікації хвороб рослин із використанням обробки зображень. Піюш Чаудхарі та ін. (2012b) надали алгоритм для виявлення захворювання.

Він передбачає сегментацію плями за допомогою різноманітних методів обробки в рослинах. Також було проведено систематичне порівняння кольорів

HIS, cielab і ucbsc під час ідентифікації плям. У документі (Mohanty et al., 2016) пропонується навчити глибоку нейронну мережу за допомогою 54 306 зображень із здоровими нездоровими листками для визначення 26 хвороб і 14 видів сільськогосподарських культур. Пропонується використовувати смартфон для діагностики хвороб сільськогосподарських культур. Модель пропонує як класифікувати види культур, так і ідентифікувати захворювання на зображеннях рослин, таким чином використовуючи смартфон для виявлення захворювань культур.

Містить загальний огляд різних методів ідентифікації захворювання. У ньому також подано короткий опис різних методів візуалізації, корисних для раннього виявлення захворювань рослин. Ми представляємо сучасні тенденції та проблеми для виявлення захворювань рослин за допомогою комп'ютерного зору та передової техніки візуалізації. Ці методи включають теплові, гіперспектральні, флуоресцентні, мультиспектральні та тривимірні зображення.

Ми також представили різні методи раннього визначення хвороб рослин і класифікації. Основними методами є SVM, кластеризація Kmeans, глибоке навчання та K-NN. Цей огляд робить висновок, що існує потреба в ефективному методі порівняно з понесеними витратами. Крім того, надійний і ефективний датчик, який буде використовуватися для перевірки відповідності критеріям здоров'я рослин, сприятиме прогресу в сільському господарстві. У майбутньому можна буде розробити більш ефективну та надійну систему раннього автоматичного відстеження, яку можна розширити для виявлення всіх можливих захворювань.

### 2.3 Комплексний прототип модуля моніторингу зберігання зерна

Щоб зібрати в єдиний чіткий та відлагоджений механізм всі розглянуті нами джерела та знайдені ринкові рішення у сфері зберігання транспортування та завантаження зерна. Отже нам потрібна облаштована система підготовленого



та облаштованого складського приміщення, обладнаного системами контролю температури, вологості та зберігання. Нам потрібно уникати високої вологості щоб не було грибкових захворювань. Датчики сканування та моніторингу зерна на інші захворювання та наявність шкідників. Кожна підсистема повинна мати резервні датчі та канали отримання та перевірки інформації. Наступним кроком буде налагоджена система завантаження та вивантаження, правильний тип транспорту та системи логістики. Збереження комплексу даних та надання аварійних повідомлень при виникненні однієї чи декількох проблем із сховищем чи зерном.

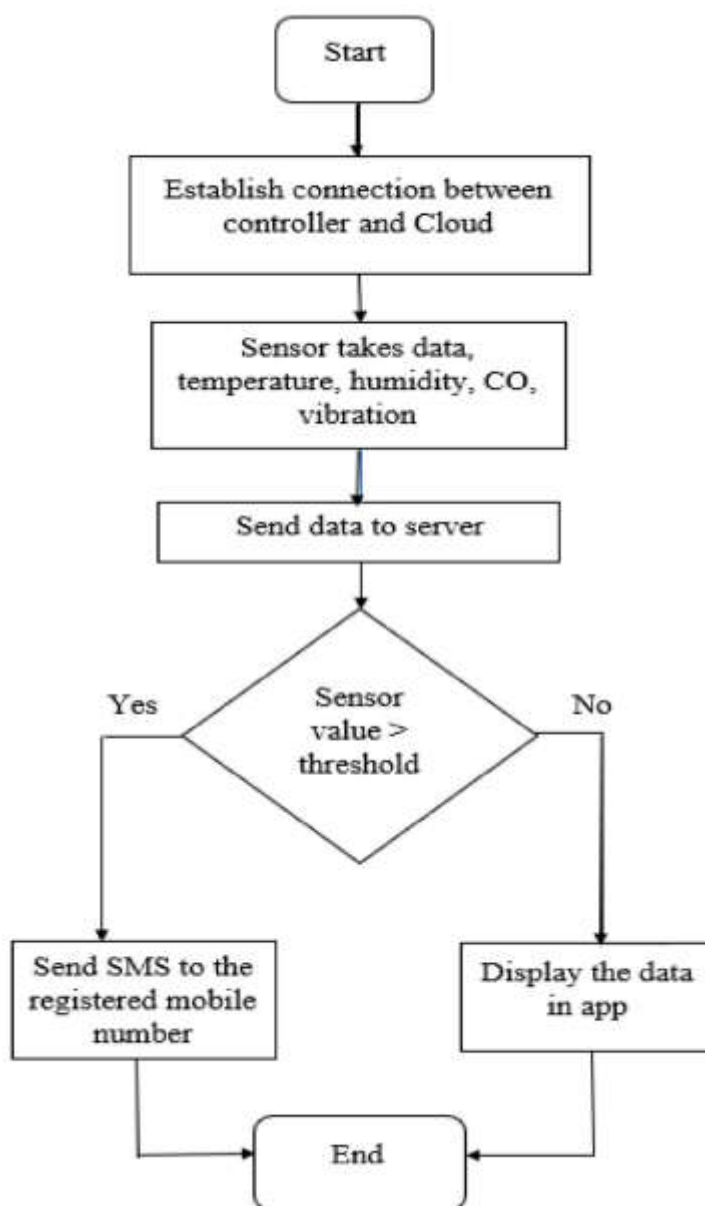


Рисунок 2 – Діаграма пропонуваної системи

Температура, вологість, рух, удари, чадний газ, пожежа та рівень зерна контролюються та виявляються в цій роботі. Дані в реальному часі представлені на приладовій панелі за допомогою модуля GSM, і їх можна переглядати та контролювати в будь-який момент за допомогою IoT. Якщо температура підніметься вище заданої позначки, вентилятор увімкнеться; якщо спрацює пожежний датчик, для гасіння пожежі буде розпилена вода; і якщо рівень газу підвищиться, вентилятор відкриється. Якщо хтось заходить у сховище, PIR-датчик може виявити це та надіслати SMS-повідомлення призначеній особі. Потім вагу зерна визначають за допомогою тензодатчика. Сенсорні вузли розкидані по всьому складу. Дані можна переглянути в будь-який момент через текстове повідомлення або мобільний додаток на мобільному телефоні. Сприйняття, транспортування, обробка, застосування та бізнес-рівні є п'ятьма основними рівнями Інтернету речей. У цій роботі використовуються датчики рівня сприйняття, транспортного рівня, який бездротовим способом передає дані датчиків на наступний рівень, і рівня обробки, який допомагає візуалізувати дані з транспортного рівня.

На рис. 1 пояснюється структура моніторингу та контролю складських факторів, таких як рух, температура, вологість, окис вуглецю, вібрація, рівень зерна та дим, які сильно впливають на зерно, а також визначається вага зерна. Якщо будь-який із датчиків буде нижче або вище порогового значення, буде виконано контрольну дію. Мікроконтролер PIC збирає дані з датчиків, а потім через модуль GSM надсилає дані в хмару. Кілька сенсорних вузлів встановлено в різних місцях всередині складу, що надає інформацію про середовище складу через мобільні SMS і веб-сторінки [17].

Рис. 2 пояснює роботу запропонованої системи. Коли такі параметри, як температура, вологість і окис вуглецю, перевищують порогове значення, а також якщо буде виявлено пожежу та вібрацію, користувачі отримуватимуть сповіщення через текстові повідомлення з інтервалом у 60 секунд.

Було обговорено три рівні автоматизації ІСФМ та описано архітектуру, яка реалізує ці рівні автоматизації. ІСУФ було побудовано на основі технологій FI, які можуть забезпечити підтримку для додавання додаткових функцій у

майбутньому з мінімальними зусиллями. Розроблена програма виявилася здатною виконувати аналіз прибутковості на основі зареєстрованої вартості транзакцій, а також на основі інформації, наданої користувачем, яка стосувалася виконуваних завдань.

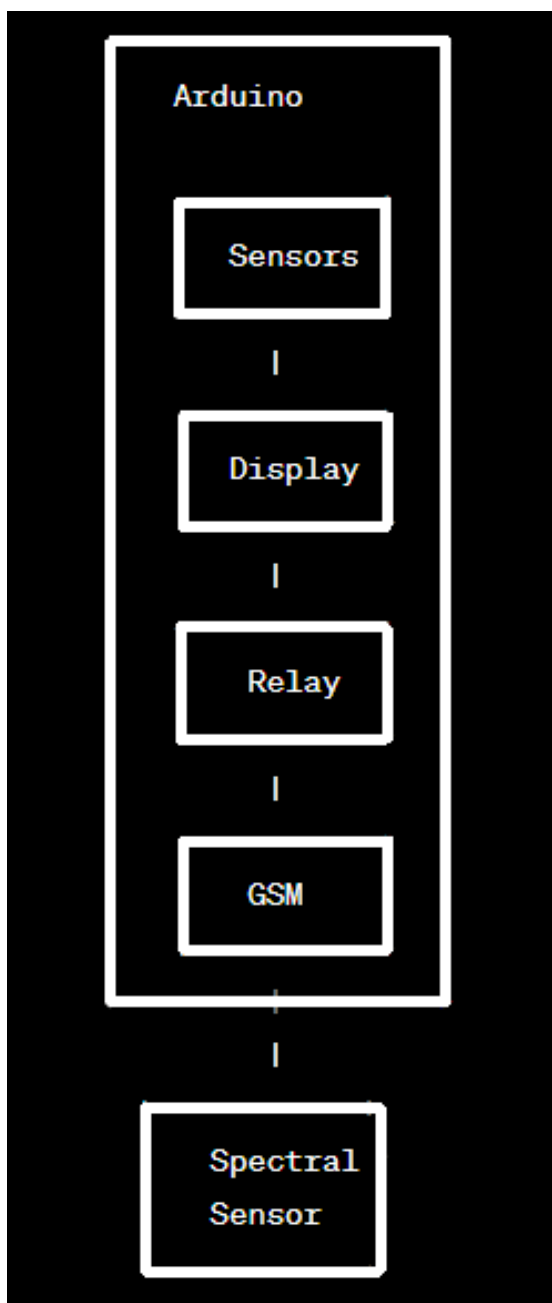


Рисунок 5 – Функціональна схема запропонованого модуля

Функціональна схема ілюструє основні компоненти системи керування зерновим складом та їх взаємодію:

- Плата Arduino служить центральним блоком управління системою.

- Блок «Датчики» представляє різні датчики, які використовуються для вимірювання температури, вологості, вологості ґрунту та, можливо, інших параметрів.

- Блок «Дисплей» являє собою рідкокристалічний дисплей, на якому відображаються показання датчиків і стан системи.

- Блок реле керує модулем боротьби зі шкідниками, вмикаючи та вимикаючи його залежно від статусу виявлення шкідників.

- GSM-блок являє собою GSM-модуль, який дозволяє відправляти SMS-повідомлення на вказаний номер телефону.

- Блок Spectral Sensor являє собою модуль спектрального датчика, який використовується для спектрального аналізу, вимірювання спектральної інтенсивності середовища зберігання зерна.

Стрілки вказують на потік даних і керуючих сигналів між компонентами. Arduino спілкується з датчиками, щоб зчитувати дані навколишнього середовища. Потім він обробляє дані, перевіряє порушення порогових значень і вживає відповідних дій, таких як активація модуля боротьби зі шкідниками або надсилання SMS-повідомлень. Модуль спектрального датчика виконує спектральний аналіз і надає значення спектральної інтенсивності на Arduino для подальшого аналізу, якщо потрібно.

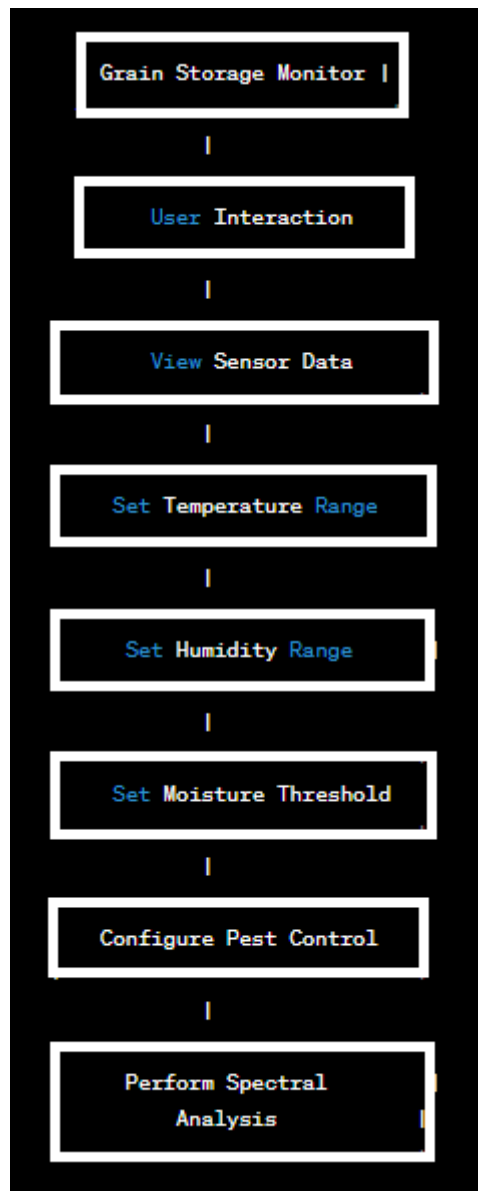


Рисунок 8- Взаємодія користувача із системою

На діаграмі варіантів використання UML:

- «Монітор зберігання зерна» являє собою основний модуль для моніторингу та контролю середовища зберігання зерна.
- «Взаємодія з користувачем» є основним актором, який взаємодіє з модулем.
- Варіант використання «Перегляд даних датчика» дозволяє користувачеві переглядати поточні показання датчика, включаючи температуру, вологість та потенційно інші параметри.

- Варіант використання «Установити температурний діапазон» дозволяє користувачеві встановити прийнятний температурний діапазон для зберігання зерна.

- Варіант використання «Установити діапазон вологості» дозволяє користувачеві встановити прийнятний діапазон вологості для зберігання зерна.

- Варіант використання «Встановити поріг вологості» дозволяє користувачеві встановити мінімально допустимий поріг вологості ґрунту.

- Варіант використання «Налаштування боротьби зі шкідниками» дозволяє користувачеві налаштувати модуль боротьби зі шкідниками, наприклад установити розклад увімкнення/вимкнення або активувати певні методи боротьби зі шкідниками.

- Варіант використання «Виконання спектрального аналізу» представляє аналіз спектральних даних для моніторингу середовища зберігання зерна.

Стрілки представляють взаємодію між актором і варіантами використання, вказуючи, як користувач взаємодіє з модулем моніторингу зберігання зерна. Користувачі можуть переглядати дані датчиків, встановлювати діапазони температури та вологості, визначати порогові значення вологості, налаштовувати параметри боротьби зі шкідниками та виконувати спектральний аналіз, якщо це необхідно.

## РОЗРОБКА, ВИКОРИСТАННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ МОДУЛЯ

### 3.1 Апаратна реалізація спроектованого модуля

На рисунку 3 показано розділи змодельованої запропонованої системи з датчиками, мікроконтролером PIC, двигуном постійного струму, РК-дисплеєм і модулем GSM. Принципова схема розроблена за допомогою MPLAB – IDE. Спочатку +5 В подається на мікроконтролер PIC, і всі інші датчики підключаються. Вихід датчика газу MQ-9 підключається до контакту мікроконтролера – 4 як Vref. Вихід датчика PIR підключений до мікроконтролера pin-15 і 21RD. Вихід датчика вібрації підключений до мікроконтролера pin16RC1. Вихід датчика полум'я підключений до виводу 17 RC2 мікроконтролера. РК-дисплей підключається до контактів мікроконтролера PIC – від 33 до 40. Реле, наприклад двигун постійного струму, водяний насос і вентилятор постійного струму, підключаються до контактів від 19 до 21. Модуль GSM підключається до контакту 25 RC6/TX. Потім усі датчики підключаються до заземлення -GND.

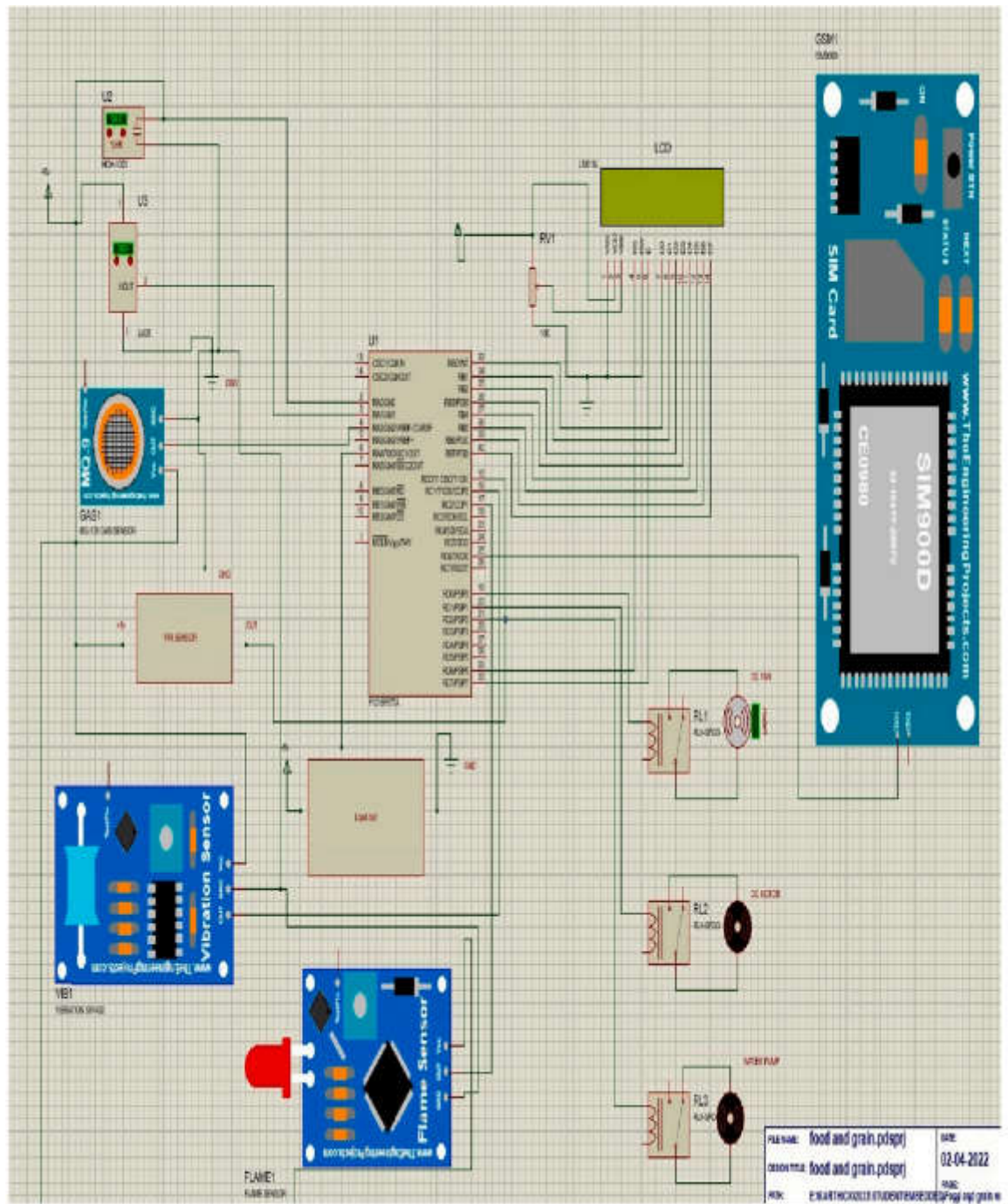


Рисунок 3 – змодельований апаратний склад модуля

Як бачимо у нас є досить компактний та функціональний юніт нашої системи контролю умов зберігання зерна. Всі компоненти якого підібрані в співвідношенні компактності, ціни та ефективності.

Він представляє недороге рішення на основі ІОТ на додаток до розробки системи підтримки харчування. Датчик температури визначає зміни температури, рівень зерна вимірюється за допомогою датчика навантаження, а датчик вологості визначає кількість вологи на складі. Датчик газу виявляє СО



всередині складу, коли він виявляє небезпечний газ, і для захисту зерна від пожежі використовується датчик полум'я, і користувач отримує сповіщення, якщо виявлено полум'я(рисунок 4).

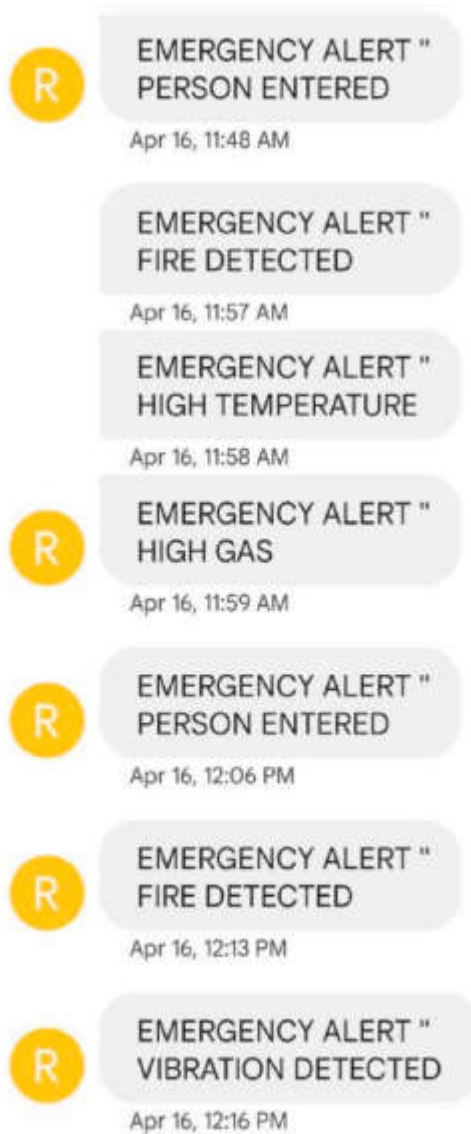


Рисунок 4 – тип аварійних сповіщень

Дані з датчиків відображаються на інформаційній панелі, де користувач може переглядати дані в режимі реального часу з будь-якого місця та в будь-який час. Такий підхід стимулює модернізацію системи управління складськими приміщеннями, що призводить до зменшення харчових відходів і фінансових втрат, яких можна уникнути. Крім того, безперебійне електропостачання близько 2 КВт може бути забезпечено шляхом реалізації

фотоелектричної інверторної системи з використанням топології зворотного ходу з чергуванням [18].

### 3.2 Програмна частина запропонованої системи

Сенсорні модулі, включаючи датчик DHT, датчик BME280 і датчик вологості ґрунту, відповідають за зчитування даних навколишнього середовища, таких як температура, вологість і рівень вологості ґрунту.

Датчик DHT вимірює температуру та вологість, а датчик BME280 надає додаткові дані про навколишнє середовище, такі як температура, вологість, тиск і висота.

Датчик вологості ґрунту вимірює вміст вологи в ґрунті.

Модуль РК-дисплея

Модуль РК-дисплея відповідає за відображення показань датчика та стану системи на РК-дисплеї 16x2 символів.

Він ініціалізує дисплей, установлює положення курсору та друкує значення датчика, включаючи температуру та вологість.

Модуль боротьби зі шкідниками

Модуль боротьби зі шкідниками керується реле, підключеним до контакту Arduino.

Він активує або вимикає пристрій боротьби зі шкідниками на основі виявлення шкідників.

Функція `checkPestDetection()` визначає, чи виявлено шкідників за допомогою відповідних алгоритмів або датчиків. У наданому коді він повертає значення заповнювача (`false`), і його потрібно реалізувати на основі фактичного механізму виявлення шкідників.

Контроль температури та вологості

Код містить логіку контролю температури та вологості на основі попередньо визначених порогів.

Якщо температура перевищує максимальний поріг, система може вжити відповідних дій, наприклад активувати вентилятор або систему охолодження.

Якщо вологість перевищує максимальний поріг, система може активувати осушувач або покращити вентиляцію.

Порогові значення визначаються як константи, а дії, які необхідно виконати, позначаються як коментарі, які служать заповнювачами для фактичного впровадження.

#### Контроль вологості ґрунту

Код містить логіку контролю вологості ґрунту на основі мінімального порогу вологості.

Якщо рівень вологості ґрунту падає нижче зазначеного порогу, система може вживати таких дій, як активація системи зрошення або надсилання сповіщень.

Мінімальний поріг вологості визначається як постійна величина, а дії, які необхідно виконати, вказані у вигляді коментарів, які служать заповнювачами для фактичного впровадження.

#### Модуль спектрального аналізу

Код містить заповнювач для спектрального аналізу, який передбачає аналіз спектральної інтенсивності середовища зберігання зерна.

Функція `performSpectralAnalysis()` отримує аналогове значення від спектрального датчика та виконує спектральний аналіз для обчислення спектральної інтенсивності.

Алгоритм або бібліотеку спектрального аналізу потрібно реалізувати на основі конкретного спектрального датчика, який використовується.

#### Модуль SMS оповіщення

Код містить можливість надсилати SMS-повідомлення за допомогою GSM-модуля.

Функція `sendSMSAlert()` надсилає SMS-повідомлення на вказаний номер телефону, якщо виконуються певні умови (наприклад, виявлені шкідники або аномальна спектральна інтенсивність).

GSM-модуль ініціалізується та налаштовується з відповідними параметрами, включаючи PIN-код SIM-карти, номер SMS і налаштування мережі GSM.

Код організований у функції налаштування та циклу. Функція налаштування ініціалізує необхідні компоненти, включаючи послідовний зв'язок, модулі датчиків, РК-дисплей, модуль GSM і режими контактів. Функція циклу постійно зчитує значення датчика, відображає їх на РК-дисплеї, перевіряє температуру, вологість, рівень вологості ґрунту, виявлення шкідників і спектральний аналіз. Він вживає відповідних дій на основі визначених порогів і умов.

### 3.3 Реалізація бази даних

База даних була реалізована засобами технології MySQL для підтримання правильного введення та виведення інформації, а також її надійності. MySQL був розроблений компанією «ТсХ» для підвищення швидкодії обробки великих баз даних. Ця система керування базами даних (СКБД) з відкритим кодом була створена як альтернатива комерційним системам. MySQL з самого початку була дуже схожою на mSQL, проте з часом вона все розширювалася і зараз MySQL — одна з найпоширеніших систем керування базами даних. Вона використовується, в першу чергу, для створення динамічних веб-сторінок, оскільки має чудову підтримку з боку різноманітних мов програмування.

Для підтримки ефективнішої взаємодії з БД для веб-сайту було зроблено рішення підключити спеціальну ORM бібліотеку RedBeanPHP для полегшення написання коду відносно зв'язку з MySQL. Для прикладу полегшеного використання та ефективнішої роботи, було додано лістинг нижче, що відображає підключення до бази даних веб-сайту:

```
<?php
R::setup('mysql:host=localhost;dbname=itprog', 'root', '');
```

?>

Увесь веб-сайт містить певні зв'язки з БД, тому дуже часто надходять виклики та запити для повернення нової чи старої інформації та її подальшого виведення на користувацький інтерфейс. Нижче наведено приклад створення нової таблиці та занесення деяких даних до неї:

```
$user = R::dispense('users');  
$user->login = $data['rg_pnl_login'];  
$user->email = $data['rg_pnl_mail'];  
$user->password = password_hash($data['rg_pnl_pass'],  
PASSWORD_DEFAULT);  
$user->regdate = date("d.m.y");  
R::store($user);
```

По тій причині, що веб-сайт знаходиться на локальному сервері, база даних представляє собою онлайн веб-додаток `phpmyadmin`, де і проходять усі збереження та видалення даних БД. `PhpMyAdmin` — веб-додаток з відкритим кодом на мові PHP із графічним веб-інтерфейсом для адміністрування бази даних MySQL або MariaDB. `phpMyAdmin` дозволяє через браузер здійснювати адміністрування сервера MySQL, запускати запити SQL, переглядати та редагувати вміст таблиць баз даних. Ця програма користується великою популярністю у веб-розробників, оскільки дозволяє керувати базу даних MySQL без вводу SQL команд через дружній інтерфейс і з будь-якого комп'ютера під'єданого до інтернету без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення.

База даних даного веб-сайту під назвою `itprog` поділена на декілька таблиць, що постійно змінюються під впливом занесення нової інформації користувачами. БД зображена на рисунку 3.1.

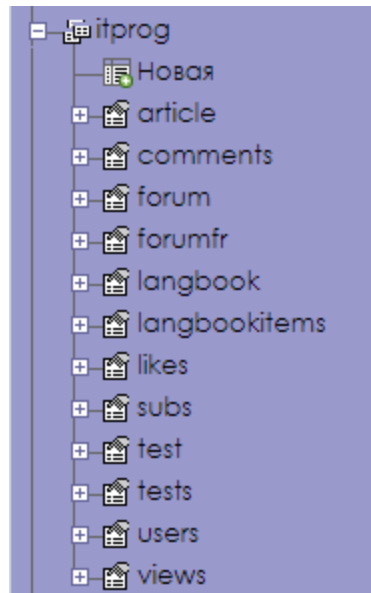


Рисунок 3.1 – База даних веб-сайту

Для відображення функціональної структури БД було розглянуто усі таблиці. Усього в наявності 12 таблиць, що відносяться до різних сторінок сайту.

Таблиця «users» - відповідає за збереження інформації про усіх зареєстрованих користувачів.

Таблиця 3.1 – Таблиця «users»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY KEY	AUTO_INCREMENT
login	varchar(191)	-	-
email	varchar(191)	-	-
password	varchar(191)	-	-
regdate	varchar(191)	-	-

Таблиця «langbook» - містить у собі усі довідники зі сторінки «Довідники».

Таблиця 3.1 – Таблиця «langbook»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY KEY	AUTO_INCREMENT
name	text	-	-
text	text	-	-

Таблиця «langbookitems» - містить у собі увесь вміст інформації про кожен з довідників.

Таблиця 3.1 – Таблиця «langbookitems»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY KEY	AUTO INCREMENT
id_items	text	-	-
name	text	-	-
text	text	-	-

Таблиця «article» - відповідає за збереження та додавання нових статей користувачами.

Таблиця 3.1 – Таблиця «article»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY KEY	AUTO INCREMENT
login	varchar(191)	-	-
quest_article	varchar(191)	-	-
quest_type	varchar(191)	-	-
quest_text	text	-	-
date	varchar(191)	-	-

Таблиця «forum» - зберігає у собі усі запитання, що користувачі залишили у списку форуму.

Таблиця 3.1 – Таблиця «forum»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY KEY	AUTO INCREMENT
login	varchar(191)	-	-
quest_article	varchar(191)	-	-
quest_type	varchar(191)	-	-
quest_text	text	-	-
code	text	-	-
date	varchar(191)	-	-

Таблиця «forumfr» - зберігає усі обрані зареєстрованим користувачем запитання, що занесені у спеціальну вкладку «Обрані».

Таблиця 3.1 – Таблиця «forumfr»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY KEY	AUTO INCREMENT
id_fr	int(11)	-	-
quest_article	varchar(191)	-	-
quest_type	varchar(191)	-	-

quest_text	varchar(191)	-	-
login	text	-	-

Таблиця «test» - зберігає усі тести та інформацію про них.

Таблиця 3.1 – Таблиця «test»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY_KEY	AUTO_INCREMENT
lg	text	-	-
text	text	-	-
logo	int(11)	-	-

Таблиця «tests» - зберігає усі запитання та відповіді тестів.

Таблиця 3.1 – Таблиця «tests»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY_KEY	AUTO_INCREMENT
name	text	-	-
quest	text	-	-
true quest	text	-	-

Таблиця «comments» - зберігає усі коментарі, залишені на сторінці запитань форуму.

Таблиця 3.1 – Таблиця «comments»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY_KEY	AUTO_INCREMENT
login	text	-	-
id_forum_lg	text	-	-
id_forum_unlg	text	-	-
comment	text	-	-
date	text	-	-

Таблиця «likes» - зберігає усі лайки, що були виставлені на статтях користувачами.

Таблиця 3.1 – Таблиця «likes»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY_KEY	AUTO_INCREMENT
login	varchar(191)	-	-
id_article	int(11)	-	-



Таблиця «views» - зберігає інформацію про кількість переглядів тих чи інших статей та запитань форуму.

Таблиця 3.1 – Таблиця «views»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY KEY	AUTO INCREMENT
id_article	int(11)	-	-

Таблиця «subs» - тримає інформацію про усіх підписників користувача.

Таблиця 3.1 – Таблиця «subs»

Ім'я поля	Тип поля	Ключ	Додаткові параметри
id	int(11)	PRIMARY KEY	AUTO INCREMENT
login	varchar(191)	-	-
sub	varchar(191)	-	-

## ВИСНОВОК

Проаналізувавши основні техніко–економічні характеристики нового продукту та аналогу, виявили, що за кількістю наявних функцій розроблений продукт за параметрами із переліку переважає аналог. При виконанні економічної частини, зробивши всі необхідні розрахунки, встановлено, що технологія розробки продукту відповідає оптимальному рівню витрат, розроблений продукт є економічно доцільним та конкурентоспроможним.

Результати цього дослідження внесуть внесок у сукупність знань про системи автоматизації зерносклади. Крім того, практичні наслідки цього дослідження принесуть користь сільськогосподарській галузі, забезпечивши схему впровадження ефективних рішень автоматизації. Дипломна робота завершується узагальненням основних висновків, обговоренням їх наслідків і пропозицією потенційних напрямків для майбутніх досліджень і вдосконалень.

В цілому дана дипломна робота має на меті висвітлити модульність системи автоматизації зерноскладських комплексів, підкресливши значення автоматизації для підвищення ефективності роботи зі зберігання зерна. Звертаючись до завдань дослідження та дослідницьких питань, це дослідження намагається зробити цінний внесок у сферу автоматизації сільського господарства та сприяти впровадженню передових технологій в управлінні зберіганням зерна.

## Список використаних джерел

1. Paraforos, D. S., Vassiliadis, V., Kortenbruck, D., Stamkopoulos, K., Ziogas, V., Sapounas, A. A., & Griepentrog, H. W. (2017). Multi-level automation of farm management information systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 504-514.
2. Bashiri, B., & Mann, D. D. (2014). Automation and the situation awareness of drivers in agricultural semi-autonomous vehicles. *Biosystems engineering*, 124, 8-15.
3. <https://kmzindustries.ua/en/services/avtomatizaciya>
4. [https://www.grainsystems.com/en\\_US/about/history.html](https://www.grainsystems.com/en_US/about/history.html)
5. <https://www.farmprogress.com/management/computer-program-available-for-grain-storage-management>
6. Manavalan, R. (2020). Automatic identification of diseases in grains crops through computational approaches: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, 105802.
7. Banga, K. S., Kotwaliwale, N., Mohapatra, D., & Giri, S. K. (2018). Techniques for insect detection in stored food grains: An overview. *Food Control*, 94, 167-176.
8. Singh, V., Sharma, N., & Singh, S. (2020). A review of imaging techniques for plant disease detection. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 229-242.
9. Michael A. Omodara, Michael D. Montross, et al., Development of a monitoring system to assess the internal environment of bagged grain in storage, *Appl. Eng. Agric.* (2022).
10. V. Sai Chitti Subrahmanyam, A. Vasantha Raman, et al., Smart warehouse management system, in: *Springer Proceedings in Energy Book Series (SPE) 03*, July 2021.

11. O.I. Ekuewa, E.O. Ogunti, J.B. Ekuewa, Development of internet of things systems for monitoring agricultural silos, *EJECE Eur. J. Electr. Eng. Comput. Sci.* 6 (1) (January 2022).
12. a Valmor Ziegler, Ricardo Tadeu Paraginski, et al., Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality - a review, *J. Stored Prod. Res.* 91 (March 2021).
13. Mir Sajjad Hussain Talpur, Soofia Khan et al “IoT based grain storage monitoring with android application” *Int. J. Adv. Trends Comput. Sci. Eng.*, Volume 10, No.2, March - April 2021.
14. A. Sagaya Selvaraj, S. Anusha, RFID enabled smart data analysis in a smart warehouse monitoring system using IoT, *J. Phys. Conf.* 1 (2021).
15. R. Karpagam, G.K. Sathishkumar, V. Megala, J. Lydia, N. Priya, T. Abhishek Dheeven, Solid state switching using wireless Network in home automation, *Mater. Today Proc.* 46 (2021) 4110–4116.
16. Ravi Kishore Kodali, Jeswin John, et al., IoT monitoring system for grain storage, *IEEE Xplore* (September 26, 2020).
17. Susmita Banerjee, Anil Kumar Saini, et al., IoT instrumented food and grain warehouse traceability system for farmers, in: *International Conference on Artificial Intelligence and Signal Processing (AISP)*, 2020.
18. Aseem Sindwani, Akhilesh Kumar, et al., Prediction and monitoring of stored food grains health using IoT enable nodes, in: *IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies*, 2020.
19. S. Kaushik, C. Singh, Monitoring and controlling in food storage system using wireless sensor networks based on zigbee & Bluetooth modules, *Int. J. Multidiscip. Cryptol. Inf. Secur.* 2 (3) (2013) 7–10.
20. C.B. Singh, J.M. Fielke, Recent developments in stored grain sensors, monitoring and management technology, *IEEE Instrum. Meas. Mag.* 20 (3) (2017) 32–55.
21. J.B. Shilpa, G.M. Sheeba, Automated real time monitoring for food grain storage, *Int. J. Pure Appl. Math.* 118 (24) (2018) 1314–3395.

22. J.S. Rekha, An approach for the development of a sensing system to monitor contamination stored grain, in: 6th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 8, 2019, pp. 880–884, 6.
23. Murugaiyanpachayyapan, Implementation of IoT based smart logistics for food grain industry, J. Sci. Res. Rev. (IJSRR) 7 (1) (2018), 01-08.
24. K. Mihajlo, G. Luka, N. Nikola, R. Vladimir, Design of stored grain monitoring system based on NB - IoT, in: 28th Telecommunications Forum (TELFOR), IEEE, 2020, pp. 1–4.
25. M. Priyanga, S. Leones Sherwin Vimalraj, J. Lydia, Energy aware multiuser multihop hierarchical -based routing protocol for energy management in WSN-assisted IoT, in: Proceedings of the 3rd International Conference on Communication and Electronics Systems, ICCES 2018, 2018, pp. 701–705.
26. J. Lydia, S. Leones Sherwin Vimalraj, A. Aishwariya, Implementation of photovoltaic inverter for high power agricultural applications using interleaved fly-back topology, in: IEEE Technological Innovations in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR), 2016.

