

**DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-1-5**

УДК 631.56:681.7

С. П. Степаненко, д.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8331-4632

А. Я. Кузьмич, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-3102-0840

В. О. Швидя, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-8113-2173

*Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України*

e-mail: stepanenko_s@ukr.net

ІННОВАЦІЙНІ ОПТИЧНО-ЕЛЕКТРОННІ ТЕХНОЛОГІЇ ШВИДКОГО АНАЛІЗУ ЗЕРНА В ГАЛУЗІ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ

Анотація. Розроблено функціональні схеми та проведено аналіз трьох варіантів запропонованого експрес-аналізатора якості насіння. Основою роботи аналізатора якості насіння є принцип розподілу насіння за їх спектральними характеристиками, отриманими як у відбитому від захисної оболонки світловому потоці, так і у світловому потоці, що пройшов через насініну.

Поєднання оптичних технологій з мікропроцесорними системами дало змогу розробити кілька варіантів конструкцій оптичних аналізаторів для насіння сільськогосподарських культур. Дані конструкції, по-перше, забезпечують високоякісний і швидкий аналіз насіння; по-друге, мають просту конструкцію без рухомих частин і механізмів; по-третє, гарантують ефективність використання (застосування) в польових та виробничих умовах.

Інтеграція оптичних технологій з мікропроцесорними системами відкрила можливість розробки декількох варіантів оптичних аналізаторів для насіння сільськогосподарських культур. Ці аналізатори, по-перше, забезпечують швидкий і точний аналіз насіння; по-друге, вирізняються простою конструкцією, яка не містить рухомих частин або механізмів; по-третє, вони відзначаються ефективністю в польових і виробничих умовах.

Ці характеристики роблять оптичні аналізатори надзвичайно привабливими для широкого застосування в аграрному секторі. Відсутність рухомих частин підвищує надійність і знижує витрати на обслуговування, що є суттєвою перевагою в умовах обмеженого бюджету. Швидкий і точний аналіз насіння дозволяє оперативно приймати рішення, що особливо важливо під час сезонних робіт. З урахуванням розвитку цифрових технологій, подальше вдосконалення таких аналізаторів може призвести до створення ще більш компактних і доступних пристроїв, що розширить їх використання навіть серед дрібних фермерів.

Можна зазначити, що використання дифракційних решіток може суттєво зменшити габарити пристрою, що підвищить його зручність та універсальність.

Ключові слова: оптичні технології, зерновий матеріал, спектральні характеристики, аналізатор насіння, післязбиральна обробка.



Постановка проблеми. На сьогодні у галузі післязбиральної обробки зерна для підготовки насіння до посіву або зберігання застосовуються сепаратори, які сортують насіння за кількісними характеристиками [1]. Такий спосіб сортування може призводити до надмірної генетичної диференціації насіння [2]. Водночас сучасні тенденції в насінництві вимагають безконтактного контролю якості насіння як основного напрямку сортування [3].

Вибір якісного показника сортування зумовлений достовірною різницею в темпах зростання насінин сільськогосподарських культур різних кольорових сортів, оскільки забарвлення добре відтворюване і генетично стабільне. Зараз вибір кольору насінневої оболонки у більшості досліджень проводиться органолептичним методом. Такий підхід є вкрай суб'єктивним і потребує перегляду.

У зв'язку з цим у статті розглядається технологія сортування насіння за спектрометричними параметрами, яка заснована на принципах фотоніки. Реалізація цих принципів втілена у функціональному проектуванні ряду нових оптоелектронних систем для експрес-аналізу зернових матеріалів. Конструкції запропонованих пристроїв модульні, мобільні, енергоефективні, точні, швидкі, прості у використанні та екологічно безпечні, що дозволяє здійснювати експрес-аналіз насіння з високою швидкістю та якістю.

Аналіз останніх досліджень.

Як показує аналіз наукових публікацій, на сьогодні у галузі післязбиральної обробки зерна для підготовки насіння до посіву або довгострокового зберігання використовуються решітні, пневматичні, комбіновані та інші види сепараторів, які сортують насіння за кількісними характеристиками [1, 4-15]. Проте в межах одного виду сільськогосподарської культури спостерігається варіабельність розмірів насіння через екологічні чинники, що впливають на розвиток насіння, та природну генетичну варіабельність.

Оскільки відхилення у розмірах і формі насіння є генетичним різноманіттям, класифікація насіння за кількісними ознаками може призвести до надмірної генетичної диференціації та втрати генетичного різноманіття всередині кожної насінневої фракції [2]. У зв'язку з цим одним з ефективних способів підвищення посівних якостей насіння є їх розподіл на передпосівному етапі (стадії поділу насіння на фракції) за забарвленням, тобто спектральними характеристиками захисної оболонки [3].

Це обумовлено тим, що:

- ознаки забарвлення насіння мають високу відтворюваність оцінок (низьку похибку ідентифікації) генетичних характеристик сільськогосподарської культури [16];



- забарвлення насіння залежить від кількості та локалізації феноловмісних пігментів у шарах захисної оболонки насінини [17];
- колір насіння індивідуальний і спадково обумовлений [18];
- колір насіння є основним критерієм для візуального сортування [19];
- диференціація інтенсивності росту насіння сільськогосподарської культури з різними кольоровими сортами насіння забезпечує значну економію дорогого репродуктивного матеріалу [18] тощо.

Наразі кольорова класифікація насіння зазвичай базується на оцінці кольору домінуючого пігменту, точність виділення якого залежить від індивідуальних особливостей зорового сприйняття дослідника [20].

Очевидно, що така суб'єктивність якісного розподілу суттєво знижує його ефективність. Це призвело до необхідності створення автоматичних аналізаторів забарвлення насіння, найбільш характерними з яких є пристрої, описані в [21].

Недоліками цих схем є висока складність і труднощі технічної експлуатації, зумовлені складністю та трудностю налаштування оптичної системи, необхідністю забезпечення високих швидкостей обертання дзеркальної призми (або дзеркала), труднощами в налаштуванні пристрою для зчитування та обробки зображень тощо, а також низька якість аналізу насіння через обмежену роздільну здатність відеокамери з лінійним відео сенсором.

Крім того, також слід відмітити, що існуючі аналізатори забарвлення насіння неможливо використовувати в польових умовах через зазначені недоліки. Це призводить до необхідності розробки аналізатора насіння, який, по-перше, забезпечує якісний оперативний аналіз, а по-друге, конструкційно простий (зокрема, не має рухомих частин і механізмів), що дозволить ефективно використовувати його в польових умовах.

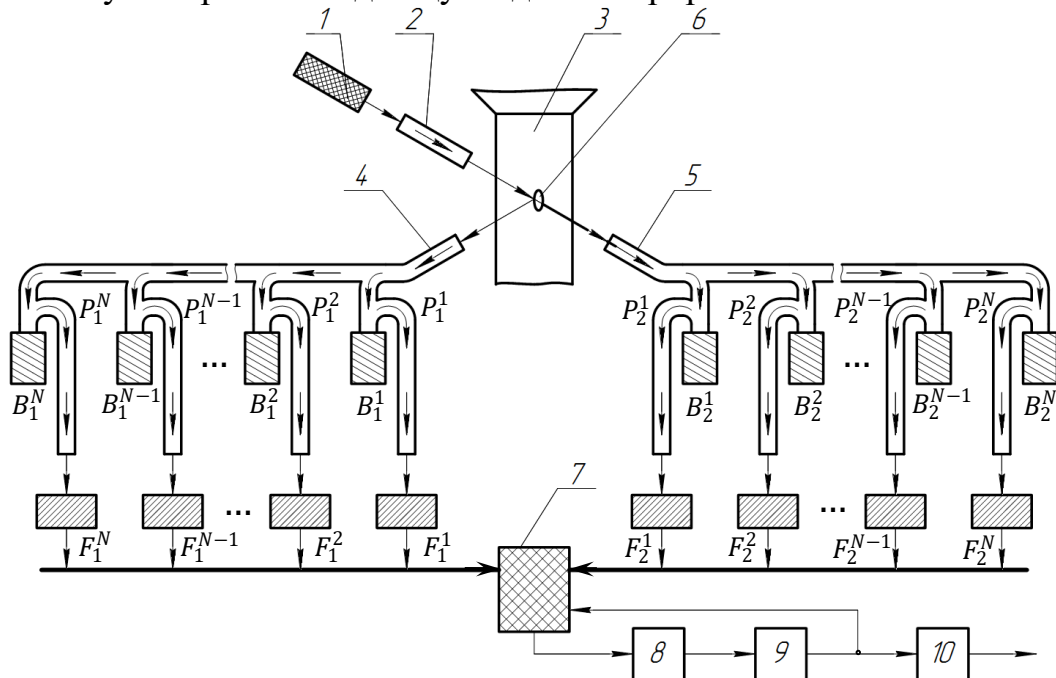
Формулювання мети статті. Проаналізувати оптично-електронні технології швидкого аналізу зернових матеріалів та розробити схеми аналізаторів для насіння сільськогосподарських культур.

Матеріали, методи та об'єкти дослідження. Використано методи аналізу, синтезу, моделювання технічних систем. Об'єктами дослідження є оптично-електронні технології швидкого аналізу зерна.

Основна частина. Для розв'язання поставленого завдання розглянемо нижче схему та будову запропонованого експрес-аналізатора якості насіння, функціональна схема якого наведена на рис. 1. Основою роботи аналізатора якості насіння є принцип розподілу насіння за їх спектральними характеристиками,

отриманими як у відбитому від захисної оболонки світловому потоці, так і у світловому потоці, що пройшов через насінину. У дослідженнях [22-23] показано, що ефективність оцінки якості насіння значно підвищується завдяки тому:

- вплив на насіння є неінвазивним;
- аналіз спектрів з характерними зонами дозволяє швидко оцінювати життєздатність насіння;
- з достатньою точністю можна встановлювати походження насіння;
- процес аналізу кожного насіння триває дуже короткий час, що зменшує витрати на тестування;
- досягнута якість насіння робить його підходящим для посіву, що знижує витрати та підвищує відсоток проростання.



1 – джерело поліхроматичного випромінювання; 2 – оптичний хвилевід; 3 – прозорий трубопровід; 4, 5 – N -вихідні оптичні розгалужувачі; 6 – насінина; 7 – мультиплексор; 8 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 9 – мікропроцесор; 10 – блок відображення даних, який може бути реалізований, наприклад, у вигляді принтера або дисплея; $P_1^1; P_1^2; \dots; P_1^{N-1}; P_1^N$ – перша група оптичних Y -розгалужувачів; $B_1^1; B_1^2; \dots; B_1^{N-1}; B_1^N$ – перша група оптичних брегівських решіток; $F_1^1; F_1^2; \dots; F_1^{N-1}; F_1^N$ – перша група фотоприймачів; $P_2^1; P_2^2; \dots; P_2^{N-1}; P_2^N$ – друга група оптичних Y -розгалужувачів; $B_2^1; B_2^2; \dots; B_2^{N-1}; B_2^N$ – друга група оптичних брегівських решіток; $F_2^1; F_2^2; \dots; F_2^{N-1}; F_2^N$ – друга група фотоприймачів.

Рис. 1. Схема аналізатора якості насіння



Представлена на рис. 1 запропонована схема аналізатора якості насіння працює наступним чином:

1. Насіння для аналізу подається через вертикально розташований прозорий трубопровід.

2. Поліхроматичний світловий потік, який виходить з джерела поліхроматичного випромінювання і містить набір частот у визначеному діапазоні, направляється на вхід оптичного хвилеводу. З виходу даного хвилевода світловий потік через прозору стінку трубопроводу потрапляє на поверхню насіння. Відбите від насіння світло потрапляє на вхід N -вихідного оптичного розгалужувача 4, а світловий потік, що пройшов через насінину, або заломився під певним кутом, надходить на вхід N -вихідного оптичного розгалужувача 5.

3. З виходів оптичного розгалужувача 4 світлові потоки направляються через першу групу оптичних Y -розгалужувачів $P_1^1; P_1^2; \dots; P_1^{N-1}; P_1^N$ до оптичних брегівських решіток $B_1^1; B_1^2; \dots; B_1^{N-1}; B_1^N$, кожна з яких відбиває світловий потік у своєму вузькому спектральному діапазоні. Відбиті від оптичних брегівських решіток $B_1^1; B_1^2; \dots; B_1^{N-1}; B_1^N$ світлові потоки з різними довжинами хвиль надходять до входів відповідних оптичних Y -розгалужувачів $P_1^1; P_1^2; \dots; P_1^{N-1}; P_1^N$, де через другорядні розгалуження ці потоки направляються до фотоприймачів $F_1^1; F_1^2; \dots; F_1^{N-1}; F_1^N$. Кожен фотоприймач F_1^i , ($i = 1, \dots, N$) налаштований на прийом світлового випромінювання в діапазоні, який відповідає відбиттю конкретної оптичної брегівської решітки B_1^i , ($i = 1, \dots, N$).

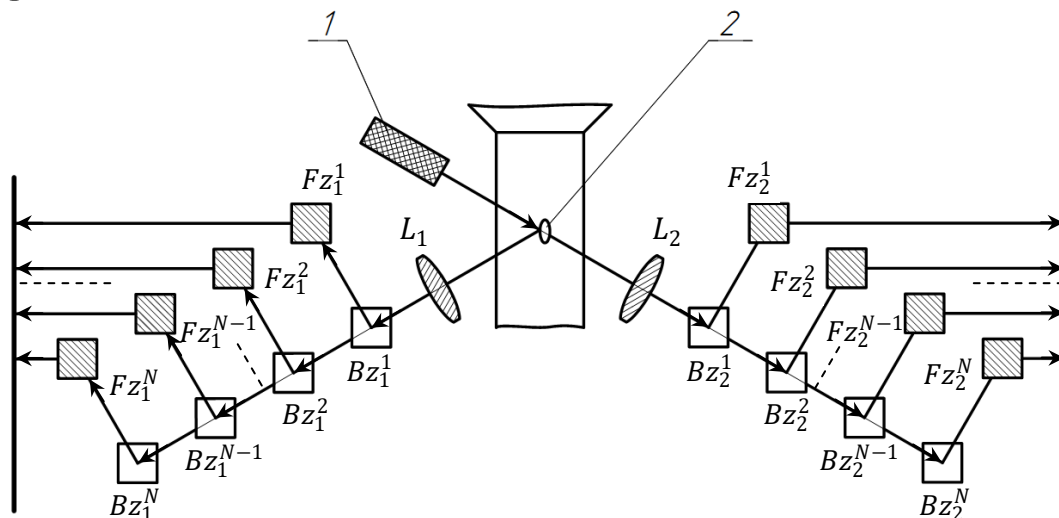
4. Подібним чином, з виходів оптичного розгалужувача 5 світлові потоки проходять через перші оптичні розгалуження Y -розгалужувачів $P_2^1; P_2^2; \dots; P_2^{N-1}; P_2^N$ до оптичних брегівських решіток $B_2^1; B_2^2; \dots; B_2^{N-1}; B_2^N$. Відбиті від оптичних брегівських решіток $B_2^1; B_2^2; \dots; B_2^{N-1}; B_2^N$ світлові потоки з різними довжинами хвиль потрапляють на входи відповідних оптичних Y -розгалужувачів $P_2^1; P_2^2; \dots; P_2^{N-1}; P_2^N$. З виходів другорядних розгалужень ці потоки потрапляють до фотоприймачів $F_2^1; F_2^2; \dots; F_2^{N-1}; F_2^N$. Кожен фотоприймач F_2^i , ($i = 1, \dots, N$) налаштований на прийом світлового випромінювання в діапазоні, що відповідає відбиттю оптичних брегівських решіток B_2^i .

5. З виходів фотоприймачів $F_1^1; F_1^2; \dots; F_1^{N-1}; F_1^N$ та $F_2^1; F_2^2; \dots; F_2^{N-1}; F_2^N$ електричні сигнали, пропорційні інтенсивності отриманих світлових потоків, надходять на $2N$ входів мультиплексора, комутацію (опитування) якого контролює мікропроцесор.

6. З виходу мультиплексора аналоговий сигнал надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача. З виходу аналого-цифрового перетворювача двійковий код потрапляє на вхід мікропроцесора, який обробляє інформацію, отриману від фотоприймачів $Fz_1^1; Fz_1^2; \dots; Fz_1^{N-1}; Fz_1^N$ та $Fz_2^1; Fz_2^2; \dots; Fz_2^{N-1}; Fz_2^N$ – спектральні характеристики світла, що відбилося від насіння і пройшло через нього. На основі аналізу спектральних характеристик мікропроцесор формує дані аналізу якості насіння, які потім передаються на блок відображення даних.

Така схема аналізатора відповідає всім вимогам, що були зазначені раніше, тобто: компактність, простота, висока швидкість роботи і можливість проведення точного аналізу характеристик насіння завдяки реалізації в мікропроцесорі, який реалізує алгоритми аналізу практично будь-якої складності.

У наведеній схемі для спектрального аналізу характеристик насіння використовуються оптичні брегівські решітки. Їхня перевага полягає в тому, що вони мають вузький спектральний діапазон відбиття світла, що забезпечує високу точність аналізу. Проте їх вартість є відносно високою.



1 – джерело поліхроматичного випромінювання; 2 – насінина;
 L_1, L_2 – фокусувальні лінзи; $Bz_1^1, Bz_1^2, \dots, Bz_1^{N-1}, Bz_1^N$ – перша група N брегівських дзеркал; $Fz_1^1, Fz_1^2, \dots, Fz_1^{N-1}, Fz_1^N$ – перша група N фотоприймачів; $Bz_2^1, Bz_2^2, \dots, Bz_2^{N-1}, Bz_2^N$ – друга група N брегівських дзеркал; $Fz_2^1, Fz_2^2, \dots, Fz_2^{N-1}, Fz_2^N$ – друга група N фотоприймачів.

Рис. 2. Оптикоелектронна система аналізатора якості насіння на брегівських дзеркалах

У схемі, показаній на рис. 1, розгалуження оптичних потоків в N -вихідних оптичних розгалужувачах 4 і 5 призводить до значного



ослаблення сигналів, що відбиваються від насіння і проходять крізь нього. Це вимагає використання фотоприймачів з високою чутливістю, що збільшує вартість обладнання. Ці проблеми можна вирішити, замінивши брегівські решітки на брегівські дзеркала, хоча це призведе до збільшення розмірів пристрою. Зміни в оптичній системі аналізатора показані на рис. 2.

Підключення виходів фотоприймачів та інші компоненти цієї системи аналогічні тим, що представлені на рис. 1.

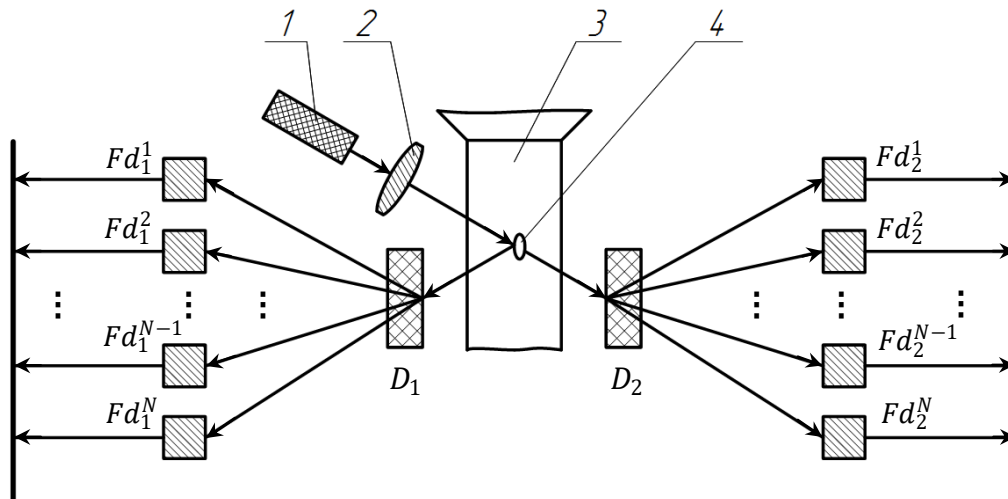
Як і в попередньому аналізаторі, поліхроматичний світловий потік, що містить набір частот у заданому діапазоні, надходить від джерела поліхроматичного випромінювання через прозору стінку трубопроводу на насіння. Відбитий від насіння світловий потік проходить через фокусувальну лінзу L_1 і потрапляє до першого брегівського дзеркала Bz_1^1 . Оскільки кожне брегівське дзеркало відображає світло в своєму вузькому спектральному діапазоні, частина світлового потоку, яка не попадає в цей діапазон, проходить через вихід відповідного дзеркала першої групи (і поглинається на виході брегівського дзеркала Bz_1^i). Відбиті від брегівських дзеркал $Bz_1^1; Bz_1^2; \dots Bz_1^{N-1}; Bz_1^N$ світлові потоки з різними довжинами хвиль надходять до відповідних фотоприймачів $Fz_1^1; Fz_1^2; \dots Fz_1^{N-1}; Fz_1^N$. Важливо зазначити, що в цій системі не відбувається ослаблення оптичного сигналу через його розгалуження в оптичних хвилеводах, як це було показано на рис. 1.

Світловий потік, що пройшов через насіння, потрапляє через другу фокусувальну лінзу L_2 на вхід брегівського дзеркала Bz_2^1 . Частина світлового потоку, яка не попадає в спектральний діапазон цього дзеркала, проходить через його вихід і далі потрапляє на вхід наступного брегівського дзеркала, і так далі (до поглинання на виході брегівського дзеркала Bz_2^i). Світлові потоки, відбиті від брегівських дзеркал $Bz_2^1; Bz_2^2; \dots Bz_2^{N-1}; Bz_2^N$, з різними довжинами хвиль, надходять до відповідних фотоприймачів $Fz_2^1; Fz_2^2; \dots Fz_2^{N-1}; Fz_2^N$. Подальша робота аналізатора відбувається аналогічно попередній схемі.

Основним недоліком є незначне збільшення габаритів пристрою через необхідність послідовного розміщення брегівських дзеркал по обидва боки прозорого трубопроводу. Цей недолік можна усунути, використовуючи замість брегівських дзеркал звичайні дифракційні решітки, хоча це може призвести до зниження точності (якості) спектрального аналізу. Для цього випадку модифікація схеми аналізатора представлена на рис. 3.

Як і раніше, підключення виходів фотоприймачів та інші компоненти пристрою аналогічні тим, що зображені на рис. 1.

В цій схемі поліхроматичний оптичний потік, що проходить через фокусувальну лінзу 2 і прозору стінку трубопроводу 3, потрапляє на поверхню насіння. Відбите від насіння світло надходить на першу дифракційну решітку D_1 , а світло, яке пройшло через насіння, - на другу дифракційну решітку D_2 . На виходах дифракційних решіток D_1 та D_2 відбувається розподіл світлових потоків на спектральні компоненти, інтенсивність яких визначається властивостями насіння. Потоки, що виходять з дифракційної решітки D_1 , направляються до відповідних фотоприймачів першої групи $Fd_1^1; Fd_1^2; \dots Fd_1^{N-1}; Fd_1^N$, тоді як потоки з решітки D_2 надходять до фотоприймачів другої групи $Fd_2^1; Fd_2^2; \dots Fd_2^{N-1}; Fd_2^N$. Подальше функціонування аналізатора відбувається за аналогічним принципом.



1 – джерело поліхроматичного випромінювання; 2 – фокусувальна лінза; 3 – прозорий трубопровід; 4 – насінина; D_1, D_2 – дифракційні решітки; $Fd_1^1; Fd_1^2; \dots Fd_1^{N-1}; Fd_1^N$ – перша група з N фотоприймачів; $Fd_2^1; Fd_2^2; \dots Fd_2^{N-1}; Fd_2^N$ – друга група з N фотоприймачів.

Рис. 3. Оптикоелектронна система аналізатора якості насіння на основі дифракційних решіток

Основні переваги цієї схеми - її простота, низька вартість і компактні розміри. Однак її недолік полягає в меншій точності порівняно з попередніми версіями.

Запропонуємо алгоритм для моделювання відбивання світла від насіння сільськогосподарської культури (пшениця) та його проходження через дифракційну решітку. Використовувати Python з бібліотекою Pygame для графічного представлення.

Отже, алгоритм включає наступні пункти:

1. Ініціалізувати Pygame.
2. Створити вікно для відображення моделі.



3. Визначити координати та параметри для джерела світла, насіння пшениці та дифракційної решітки.
4. Відобразити джерело світла.
5. Відобразити трубопровід з насінням пшениці.
6. Відобразити дифракційну решітку.
7. Визначити траєкторії світлових променів.
8. Відобразити відбите світло та його розкладання через дифракційну решітку.
9. Оновлювати відображення кожного кроку.
10. Обробляти події для виходу з програми.

Реалізація даного алгоритму наведена на рис. 4.

```
import pygame
import sys

# Ініціалізація Pygame
pygame.init()

# Встановлення розмірів вікна
window_size = (800, 600)
screen = pygame.display.set_mode(window_size)
pygame.display.set_caption("Моделювання відбивання світла від насіння сої та")

# Кольори
WHITE = (255, 255, 255)
YELLOW = (255, 255, 0)
GREEN = (0, 255, 0)
BLUE = (0, 0, 255)
CYAN = (0, 255, 255)
PURPLE = (128, 0, 128)
RED = (255, 0, 0)

# Координати та параметри
light_source_pos = (100, 300)
seed_pos = (300, 300)
grating_pos = (500, 300)

# Функція для відображення джерела світла
def draw_light_source(screen, pos):
    pygame.draw.circle(screen, YELLOW, pos, 10)

# Функція для відображення насіння сої
def draw_seed(screen, pos, radius):
    pygame.draw.circle(screen, GREEN, pos, radius)

# Функція для відображення дифракційної решітки
def draw_grating(screen, pos, width, height):
    pygame.draw.rect(screen, PURPLE, (*pos, width, height))

# Функція для відображення світлових променів
def draw_light_paths(screen, light_pos, seed_pos, grating_pos, seed_radius, colors):
    # Відбите світло
    reflected_light_start = seed_pos
    reflected_light_end = grating_pos
    for color in colors:
        pygame.draw.line(screen, color, reflected_light_start, reflected_light_end, 2)
        reflected_light_start = (reflected_light_start[0], reflected_light_start[1] + 10)
        reflected_light_end = (reflected_light_end[0], reflected_light_end[1] + 10)

# Головний цикл
running = True
while running:
    for event in pygame.event.get():
```

Рис. 4. Елемент програмного забезпечення для моделювання відбивання світла від насіння сільськогосподарської культури в програмі Python

Опис роботи алгоритму:

1. Ініціалізація Pygame: Ініціалізується бібліотека Pygame.
2. Встановлення параметрів вікна: Визначаються розміри вікна та його заголовок.
3. Встановлення кольорів: Визначаються кольори для різних об'єктів.
4. Визначення координат: Задаються координати для джерела світла, насіння сої та дифракційної решітки.
5. Функції для відображення: Створені функції для відображення джерела світла, насіння пшениці та дифракційної решітки.
6. Відображення світлових променів: Відображаються світлові промені, що відбиваються від насіння та проходять через дифракційну решітку.
7. Головний цикл: У головному циклі обробляються події, відображаються об'єкти та оновлюється екран.



Висновки. Поєднання оптичних технологій з мікропроцесорними системами дало змогу розробити кілька варіантів конструкцій оптичних аналізаторів для насіння сільськогосподарських культур. Дані конструкції, по-перше, забезпечують високоякісний і швидкий аналіз насіння; по-друге, мають просту конструкцію без рухомих частин і механізмів; по-третє, гарантують ефективність використання (застосування) в польових та виробничих умовах.

Список використаних джерел.

1. Adamchuk V., Bulgakov V., Gadzalo I., Ivanovs S., Stepanenko S., Holovach I., Ihnatiev Y. Theoretical study of vibrocentrifugal separation of grain mixtures on a sieveless seed-cleaning machine. *Rural Sustainability Research*. 2021. Vol. 46(341). P. 116-124. <https://doi.org/10.2478/plua-2021-0023>.
2. Kibkalo I. Effectiveness of and Perspectives for the Sedimentation Analysis Method in Grain Quality Evaluation in Various Cereal Crops for Breeding Purposes. *Plants*. 2022. Vol. 11(13). P. 1640. <https://doi.org/10.3390/plants11131640>.
3. Phuangsoambut K., Suttiwijitpukdee N., Terdwongworakul A. Nondestructive classification of mung bean seeds by single kernel near-infrared spectroscopy. *Journal of Innovative Optical Health Sciences*, 2017. Vol. 10(3). P. 9.
4. Piven M., Volokh V., Piven A., Kharchenko S. Research into the process of loading the surface of a vibrosieve when a loose mixture is fed unevenly. *East.-Eur. J. Enterp. Technol.* 2018. Vol. 6/1(96), P. 62-70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.149739>.
5. Adamchuk V., Bulgakov V., Ivanovs S., Holovach I., Ihnatiev Y. Theoretical study of pneumatic separation of grain mixtures in vortex flow. *Eng Rural Devel.* 2021. Vol. 20. P. 657-664. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF139>.
6. Shapiro M., Galperin V. Air classification of solid particles: a review. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 2005. Vol. 44(2). P. 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2004.02.022>.
7. Kroulík M., Hůla J., Rybka A., Honzík I. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 62(2). P. 56-63. <https://doi.org/10.17221/32/2014-rae>.
8. Kharchenko S., Borshch Y., Kovalyshyn S., Piven M., Abduev M., Miernik A., Popardowski E., Kiełbasa P. Modeling of Aerodynamic Separation of Preliminarily Stratified Grain Mixture in Vertical Pneumatic Separation Duct. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11(10). 4383. <https://doi.org/10.3390/app11104383>.



9. Kharchenko S., Samborski S., Kharchenko F., Paśnik J. Numerical Study of the Natural Oscillations of Perforated Vibrating Surfaces with Holes of Complex Geometry. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2023. Vol. 17(6). P. 73–87. <https://doi.org/10.12913/22998624/174062>.
10. Tishchenko L., Kharchenko S., Kharchenko F., Bredykhin V., Tsurkan O. Identification of a mixture of grain particle velocity through the holes of the vibrating sieves grain separators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 2 (7(80)). P. 63-69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65920>.
11. Mykhailov Y., Zadosna N., Postnikova M., Pedchenko G., Khmelovskyi V., Bondar M., Ionichev A., Kozdęba M., Tomaszewska-Górecka W. Energy Assessment of the Pneumatic Sieve Separator for Agricultural Crops. *Agricultural Engineering*. 2021. Vol. 25(1). P. 147-156. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2021-0012>.
12. Stepanenko S., Kotov B., Kuzmych A., Kalinichenko R., Hryshchenko V. Research of the process of air separation of grain material in a vertical zigzag channel. *Journal of Central European Agriculture*. 2023. Vol. 24(1). P. 225-235. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.1.3732>.
13. Bredykhin V., Pak A., Gurskyi P., Denisenko S., Bredykhina K. Improving the mechanical-mathematical model of pneumatic vibration centrifugal fractionation of grain materials based on their density. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4(1(112)). P. 54-60. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236938>.
14. Reguła T., Fraczek J., Fitas J. A Model of Transport of Particulate Biomass in a Stream of Fluid. *Processes*. 2021. Vol. 9(5).e9010005. <https://doi.org/10.3390/pr9010005>.
15. Filimonikhin G., Amosov V., Haleeva A., Ienina I., Mezitis M., Nevdakha Y., Strautmanis G., Vasylykovskiy O. Estimating the stability of steady motion of vibration machines operating on the Somerfeld effect using an empirical method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 6(7(120)). P. 45–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268718>.
16. P. Calderon Flores, J. S. Yoon, D. Y. Kim, Y. Seo. Effect of chilling acclimation on germination and seedlings response to cold in different seed coat colored wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC Plant Biology*. 2021. Vol. 21. e03036-z. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03036-z>.
17. Hanifa A., Millner J., Gill C., Sjahril R. Total a n, flavonoid and phenolic content of pigmented rice landraces from South Sulawesi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 484. e012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/484/1/012036>.



18. Насіннезнавство та методи визначення якості насіння сільськогосподарських культур: навч. посібник / за ред. С. М. Каленської. Вінниця.: ФОП Данилюк, 2011. 322 с.
19. Півоваров О. А., Ковальова О. С., Кошулько В. С. Інноваційні методи визначення показників якості зерна. Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 325 с.
20. Fazel-Niari Z., Afkari-Sayyah A.H., Abbaspour-Gilandeh Y., Herrera-Miranda I., Hernández-Hernández J.L., Hernández-Hernández M., Quality Assessment of Components of Wheat Seed Using Different Classifications Models. *Appl. Sci.* 2022. Vol. 12. e4133. <https://doi.org/10.3390/app12094133>.
21. Zhao L., Haque S. M. R., Wang R. Invited Review: Automated seed identification with computer vision: challenges and opportunities. *Seed Science and Technology.* 2022. Vol. 50(1). P. 75-102. <https://doi.org/10.15258/sst.2022.50.1.s.05>.
22. Daneshvar A., Tigabu M., Karimidoost A., Odén C.-T. Single seed Near Infrared Spectroscopy discriminates viable and non-viable seeds of *Juniperus polycarpus*. *Silva Fennica.* 2015. Vol. 49. P. 1334. <https://doi.org/10.14214/sf.1334>.
23. Квашук Д. М., Єрохін Р. О. Огляд можливостей застосування машинного зору в сільському господарстві. *Агросвіт.* 2019. № 12. С. 60–64. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2019.12.60>.

Стаття надійшла до редакції 02.09.2024 р.

S. Stepanenko, A. Kuzmych, V. Shvydya
Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production

INNOVATIVE OPTICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGIES OF FAST GRAIN ANALYSIS IN THE FIELD OF POST-HARVEST PROCESSING

Summary

The purpose of the research is to analyze optical-electronic technologies for the fast analysis of grain materials and to develop schemes of analyzers for seeds of agricultural crops.

Methods of analysis, synthesis, modeling of technical systems are used. The objects of research are optical-electronic technologies of rapid grain analysis.

Functional diagrams were developed and an analysis three versions of the proposed express seed quality analyzer were conducted. The basis of the seed quality analyzer operation is the principle of seed distribution according to their spectral characteristics obtained both in the light flux reflected from the protective shell and in the light flux passed through the seeds.

The use of optical Bragg gratings for spectral analysis of seed characteristics provides high accuracy of analysis, but their cost is relatively high. Branching of optical flows in N-initial optical splitters leads to significant weakening of signals reflected from seeds and passing through it.



The use of Bragg mirrors instead of Bragg grids allows reducing the cost of the express analyzer. The main disadvantage is a slight increase in the dimensions of the device due to the need for sequential placement of the Bragg mirrors on both sides of the transparent pipeline.

The use of conventional diffraction gratings instead of a Bragg mirrors provide simplicity, low cost and compact dimensions of the express seed quality analyzer. The main disadvantage is lower accuracy compared to previous versions.

The combination of optical technologies with microprocessor systems has allowed the development of several design options for optical analyzers for agricultural seeds. These designs, firstly, provide high-quality and fast seed analysis; secondly, have a simple design without moving parts and mechanisms; thirdly, guarantee the efficiency of use (application) in field and production conditions.

Key words: optical technologies, grain material, spectral characteristics, seed analyzer, post-harvest processing.