



**АЛІЄВ
Ельчин
Бахтияр огли**
(23.11.1987 р.н.)

aliev.in.ua
ORCID:
0000-0003-4006-8803
Scopus ID:
57203904662
WoS Research ID:
D-5266-2018
aliev@meta.ua



Доктор технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільсько-господарського виробництва, старший дослідник за спеціальністю 133 – галузеве машинобудування (13 – механічна інженерія), магістр за спеціальністю фізика, директор Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України, професор кафедри інжинірингу технічних систем Дніпровського державного аграрно-економічного університету.

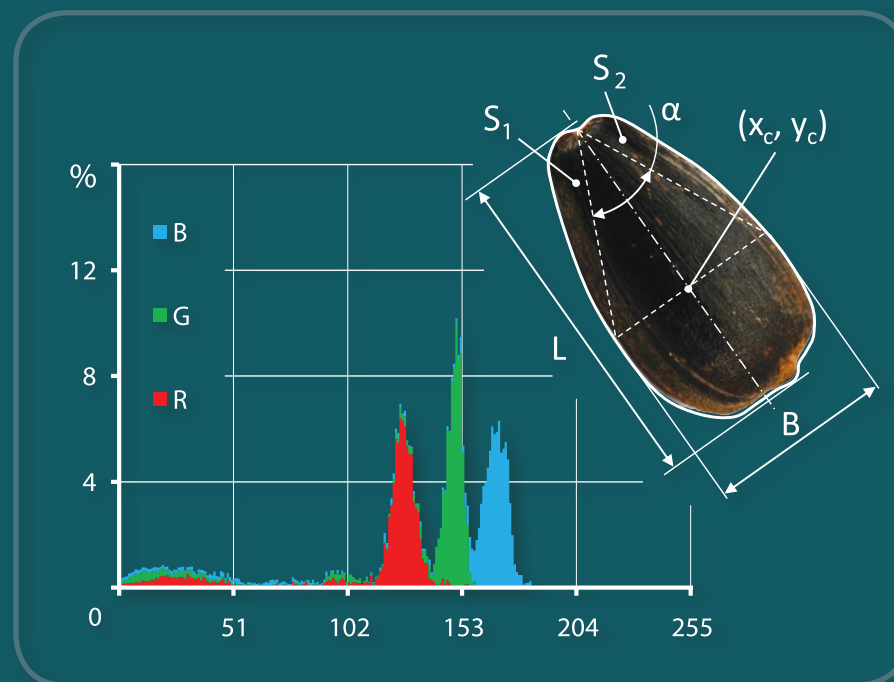
Автор понад 250 наукових праць, з них 5 монографій, 12 патентів (3 на винахід) і 30 публікацій у періодичних виданнях, які включено до наукометричних баз Scopus і Web of Science.

Лауреат премії Президента України для молодих вчених 2020 р. за роботу «Обґрунтування адаптивних механотронних систем прецизійного цільового поділу та відбору насінневого матеріалу соняшника» (Указ Президента України від 29 грудня 2020 р. № 595/2020).

Голова Вченої ради Інституту олійних культур Національної академії аграрних наук України (з 2021 р.), член International Association of Engineers (з 2020 р.), член редакційної колегії Науково-технічного бюлетеня ІОК НААН (з 2019 р.), член редакційної колегії наукового журналу «Наукові горизонти» (з 2021 р.), член Експертної ради Міністерства освіти і науки України з експертизи проектів наукових робіт (2018–2020 рр.), стипендіат Кабінету Міністрів України (2018–2020 рр.), член галузевої Експертної ради за напрямом 13 – механічна інженерія Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти (2019–2021 рр.).

Е. Б. Алієв

Автоматичне фенотипування насінневого матеріалу соняшнику



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

Інститут олійних культур

Е. Б. Алієв

**Автоматичне
фенотипування
насіннєвого матеріалу
соняшнику**

Монографія

Київ
Аграрна наука
2022

УДК 631.53.01:633.854.78(02.064)

А 45

*Рекомендовано до друку
вченою радою Інституту олійних культур НААН
16 вересня 2021 р. (протокол № 7)*

Рецензенти:

О. В. Козаченко –

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
сільськогосподарських машин (*Харківський національний технічний
університет сільського господарства імені Петра Василенка*);

В. О. Лях –

доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри генетики
та рослинних ресурсів (*Запорізький національний університет*);

О. І. Поляков –

доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник,
завідувач відділу агротехнології та впровадження
(*Інститут олійних культур НААН*)

Алієв Е. Б.

А 45 Автоматичне фенотипування насінневого матеріалу соняшнику:
монографія. Київ: Аграрна наука, 2022. 104 с.

ISBN 978-966-540-540-5

У монографії висвітлено основи прецизійного цільового поділу та відбору насінневого матеріалу соняшнику за його морфологічними показниками і фізико-механічними властивостями. На підставі системного підходу визначено структуру адаптивного техніко-технологічного забезпечення первинного насінництва соняшнику, що дає можливість здійснювати пошук слабких ланок у технологічних процесах доробки та біоінформативної систематизації насінневого матеріалу за якістю розподілу і продуктивністю ліній при мінімізації питомих витрат.

Розраховано на науковців, аспірантів, селекціонерів, конструкторів сільськогосподарської техніки, студентів і фахівців сільськогосподарського виробництва.

УДК 631.53.01:633.854.78(02.064)

© Е. Б. Алієв, 2022

© Державне видавництво

«Аграрна наука» НААН, 2022

ISBN 978-966-540-540-5

Зміст

ВСТУП.....5

Розділ 1

**Аналіз техніко-технологічного забезпечення процесів
цільового поділу та відбору насінневого матеріалу
соняшнику**7

- 1.1. Перспективність використання цільового поділу та відбору насінневого матеріалу в селекційному процесі 7
- 1.2. Технологічна лінія процесів очищення та розділення насінневого матеріалу 9
- 1.3. Аналіз технічного забезпечення автоматичного фенотипування насіння 18
- 1.4. Аналіз основних морфологічних показників і фізико-механічних властивостей насінневої суміші соняшнику 20

Розділ 2

**Дослідження процесу автоматичного фенотипування
насіння** 29

- 2.1. Модель впливу агротехнологічних і техніко-технологічних параметрів на насінневу суміш 29
- 2.2. Модель автоматичного фенотипування насіння 33
- 2.3. Методика експериментальних досліджень процесу автоматичного фенотипування насіння 38
- 2.4. Результати експериментальних досліджень процесу автоматичного фенотипування насіння 42

Розділ 3

Реалізація результатів досліджень	66
3.1. Алгоритм і програмне забезпечення визначення фракційного складу насіння соняшнику за фотозображенням	66
3.2. Блок вимірювання об'ємної маси	74
3.3. Спосіб автоматичного фенотипування насіння.....	77
3.4. Обґрунтування конструктивно-технологічних схем.....	79
3.5. Експериментальна перевірка макетного зразка обладнання....	84
Висновки.....	88
Список використаних джерел.....	91

ВСТУП

Станом на кінець 2020 р. у Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні, зареєстровано понад 1800 сортів та батьківських компонентів соняшнику і лише 27% вітчизняної селекції [1]. Це свідчить про загрозу національній продовольчій безпеці України. Тому згідно з Державною цільовою програмою розвитку аграрного сектору необхідне «...стимулювання збільшення виробництва добазового та базового насіння сільськогосподарських культур вітчизняної селекції...» [2]. Посівна площа соняшнику в 2020 р. становила понад 6 млн га [3], на яку було витрачено близько 30 тис. т посівного насіннєвого матеріалу.

Створення нових високопродуктивних гібридів і сортів соняшнику, екологічно стабільних і пластичних щодо різних умов обробітку, з розвиненим імунітетом проти хвороб та шкідників – вкрай тривалий і витратний процес. Тому систематизація селекційного матеріалу за спадковими ознаками значно скоротить термін прийняття рішень, а механотронні системи поділу, відбору та класифікації матеріалу значно знизять витрати. Наявне обладнання для виконання технологічних процесів сепарації насіння соняшнику за морфологічними (зокрема маркерними) показниками та фізико-механічними властивостями до встановленої сортової чистоти (98,0–99,9% [4]) в селекційно-насінницькому процесі потребує великих капітальних вкладень і значних питомих експлуатаційних витрат, що підвищує собівартість насіннєвого матеріалу. Одним із варіантів розв'язання цієї проблеми є удосконалення наявних технічних засобів через створення систем автоматизованого керування їх конструктивно-режимними параметрами.

З огляду на це й удосконалення техніко-технологічного забезпечення процесів прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику в структурі систем автоматизованого керування їх конструктивно-режимними параметрами є актуальною проблемою.

Метою досліджень є підвищення ефективності функціонування техніко-технологічного забезпечення первинного насінництва завдяки обґрунтуванню адаптивних систем цільового поділу та відбору насінневого матеріалу соняшнику.

Для досягнення поставленої мети було висунуто наукову гіпотезу, згідно з якою прецизійність цільового поділу та відбору насінневого матеріалу соняшнику за його морфологічними показниками і фізико-механічними властивостями визначає ефективність його використання в подальшому селекційно-насінницькому процесі.

Таблиці розраховано і рисунки сформовано автором монографії.

Аналіз техніко-технологічного забезпечення процесів цільового поділу та відбору насінневого матеріалу соняшнику

1.1. Перспективність використання цільового поділу та відбору насінневого матеріалу в селекційному процесі

Відомо, що створення високопродуктивних гібридів і сортів соняшнику, які екологічно стабільні й пластичні для різних агротехнологічних та кліматичних умов є тривалим і витратним процесом. Для скорочення часу прийняття відповідних рішень необхідно постійно проводити технологічні операції із систематизації селекційного матеріалу за спадковими ознаками. Саме автоматизовані механотронні системи поділу, відбору та класифікації матеріалу можуть виконати зазначені операції і забезпечити зниження витрат.

Наприклад, наявність стабільних зовнішніх ознак насіння (фенотип насіння) соняшнику, які характеризують генетичні особливості цієї культури, дають змогу групувати генетично цінний матеріал відповідно до завдань селекційних досліджень. Сформовані в результаті селекційної роботи під впливом ґрунтово-кліматичних умов і особливостей вирощування ознаки насіння соняшнику можуть бути носіями особливо цінної інформації.

Водночас вся багаторічна плідна робота селекціонерів, біотехнологів, імунологів, фахівців з насінництва може бути зведена нанівець на останньому етапі отримання насіння елітних репродукцій батьківських компонентів – етапі збирання, доробки, сортування та зберігання ексклюзивного матеріалу [5–7].

Розв'язанням цієї проблеми є комплексний розгляд послідовних завдань: забирання насінневого матеріалу з поля без втрат і травмування; доробка, сортування і калібрування; систематизація матеріалу під вихідні вимоги, сформульовані селекціонером.

Отримання кондиційного насінневого матеріалу високих репродукцій без генетичної чистоти селекційного матеріалу неможливе, що значною мірою визначається повнотою очищення технічних засобів, які взаємодіють з вихідними матеріалами різного генетичного походження.

Через це до технічних засобів, що працюють з селекційним матеріалом, висуваються жорсткі вимоги щодо очищення обладнання при зміні генетичного матеріалу. Технічні системи мають давати змогу виконувати цю операцію з 99,9%-ю гарантією і мінімальними витратами, що визначається особливостями конструкцій машин [8, 9].

Згідно з діючими державними стандартами України ДСТУ 2240-93 [4] і ДСТУ 4138-2002 [10] насінневий матеріал соняшнику за сортовими та посівними якостями, визначається переважно його сортовою чистотою, яка має становити для елітного насіння (еліта, супереліта) – 98,0–99,9%. Наявне обладнання для виконання технологічних процесів очищення та розділення насіння олійних культур до зазначеної сортової чистоти потребує великих капітальних вкладень і значних питомих експлуатаційних витрат, що підвищує собівартість насінневого матеріалу.

Для доробки насінневого матеріалу батьківських компонентів гібридів соняшнику, оригінального насіння – насіння первинних ланок насінництва (розсадник збереження лінії, розсадники випробування потомства першого та другого років – РВ–1, РВ–2, розсадник розмноження першого року – Р–1), потрібні досконаліші технічні засоби. Для отримання однорідного генетичного насінневого матеріалу батьківських компонентів слід враховувати в комплексі всі ознаки й особливості сім'янки. Насіння соняшнику має значне різноманіття за геометричними розмірами, формою, об'ємною масою, розташуванням центра тяжіння, профілем поверхні й кольору. Довжина, ширина, товщина, форма та об'ємна маса сім'янки – це кількісні ознаки, які впливають на продуктивність рослини [11, 12]. Інші ознаки або нововиявлені під час досліджень на базі інформаційних

технологій зможуть охарактеризувати генетичні особливості матеріалу і потребують досконального вивчення.

Наприклад, забарвлення сім'янки соняшнику варіює від білого до чорного через сірі або коричневі відтінки і смугасті форми. Білий колір вказує на відсутність фітомеланіну, сірий колір – підсилює чорний колір, а за наявності антоціану утворюється вугільно-чорний колір з чорним відливом (блиском). Білий колір домінує над всіма іншими. А чорний колір домінує над коричневим, коричневий над сірим [13–17]. Для селекційного процесу колір сім'янок, як маркера ознака відіграє вирішальну роль за ідентифікації відповідного сортозразка соняшнику, запобігає фальсифікації при його продажу.

З огляду на зазначене вище можна стверджувати, що розробка прецизійних (точних) технологій поділу насінневого матеріалу за комплексом функціональних ознак у селекційному процесі соняшнику є актуальною і перспективною.

1.2. Технологічна лінія процесів очищення та розділення насінневого матеріалу

Селекційний процес в насінництві олійних культур висуває особливі вимоги до виконання технологічних операцій очищення, розділення і сепарації насінневого матеріалу [18–21]:

- сортова чистота насінневого матеріалу має становити для елітного насіння (еліта, супереліта) – 98–99,9% (табл. 1.1);
- у процесі збирання та очищення безповоротні втрати не мають перевищувати 1,5% для базового насінництва та 0,1% – для добазового;
- технічні засоби для виконання технологічних операцій очищення, розділення і сепарації насінневого матеріалу мають повністю очищатися від генетичного матеріалу попереднього доопрацювання;
- машини повинні мати високу виборчу продуктивність, систему автоматизованого управління і контролю за якістю роботи;
- технологічне обладнання має бути екологічно безпечним як для персоналу, так і для навколишнього середовища.

Таблиця 1.1. Вимоги до насінневого матеріалу соняшнику [4]

Категорія насіння	Сортова чистота, %	Уміст насіння		
		основної культури, %	інших видів, шт./кг	
			культурних	бур'янів
ОН	99,9	100	0	0
ЕН	99,8	99	3	2
РН-1-3	98,0	98	10	5

Сучасна технологічна лінія процесів очищення і сепарації насінневого матеріалу олійних культур включає поділ насінневих сумішей за їх фізико-механічними властивостями, станом поверхні й відтінками кольору насіння на відповідних технічних засобах: віброрешітних станах, аспіраційних системах, трієрних циліндрах, пневмовібростолах, магнітних сепараторах, фотоелектронних сепараторах. Цільове призначення технічного обладнання та машин дуже широке і, як така, відсутня спеціалізація щодо селекційно-генетичних завдань насінництва [21–30]. Узагальнена сучасна технологічна лінія процесів очищення, розділення та сепарації насінневого матеріалу олійних культур представлена на рис. 1.1.

Згідно із Законом України «Про насіння і садивний матеріал» [31] система насінництва складається з ланок добазового, базового і сертифікованого насіння. Розглянемо ці ланки як основу всього селекційно-насінницького процесу (узагальнена схема представлена на рис. 1.2).

Для добазового насінництва виключно стоїть завдання забирання з поля і виділення всього генетично цінного матеріалу з вороху, враховуючи цінність цього матеріалу. Добазовий насіннєвий матеріал підлягає прецизійному поділу і систематизації. Для базового насінництва ставлять інші завдання, оскільки робота ведеться з великими обсягами. Передусім розглядаються технологічні й споживчі показники насінневого матеріалу для подальшого якісного висіву з максимально можливою реалізацією його біологічного потенціалу.

На рис. 1.2 також відмічено традиційне техніко-технологічне забезпечення процесу сепарації насінневого матеріалу. Так, сепарація

насіння з розсадників є зазвичай повністю ручною, а супер елітного насіння – супроводжується частково серійним обладнанням загальнопризначення. Очищення і калібрування елітного насіння і насіння першої репродукції проводиться на серійному обладнанні загального призначення. При цьому виникає велика втрата ліквідного насінневого матеріалу, особливо на перших етапах селекційно-насінницького процесу. З метою зниження цих втрат та із урахуванням маси насінневого матеріалу соняшнику, який підлягає сепарації, запропоноване раціональне прецизійне техніко-технологічне забезпечення селекційно-насінницького процесу із елементами автоматизації (рис. 1.3–1.5).

Весь процес отримання насінневого матеріалу після його дозрівання можна розділити на три основних етапи: забирання матеріалу з поля – збирання, доопрацювання зернового вороху, систематизація селекційно-генетичного матеріалу (для добазового насінництва).

У процесі збирання селекційно-насінневих ділянок соняшнику формується вихідний насіннєвий ворох, склад якого визначає технічне оснащення і режими роботи його подальшого доопрацювання.

Збирання може бути:

- ручне – з обмолотом і доопрацюванням на стаціонарі або з обмолотом на полі і доопрацюванням на стаціонарі;
- з повним забиранням біологічного матеріалу з поля та подальшим обмолотом і доопрацюванням на стаціонарі;
- за класичною схемою – «обмолот – відділення незернової частини врожаю – очищення насінневого вороху з отриманням насінневого матеріалу з певним показником засміченості»;
- з обмолотом на корені й подальшим доопрацюванням матеріалу в комбайні на полі або стаціонарі.

Цільове призначення матеріалу, що забирається, показник наявності основного матеріалу у вороху, його склад та вологість є основою для прийняття рішення щодо технологічного ланцюга доопрацювання матеріалу. Окремим елементом у технологічному ланцюгу може бути активне вентилування (аспірація) за необхідності доведення матеріалу до заданої вологості.

Прецизійна технологічна лінія процесу сепарації насінневого матеріалу соняшнику, отриманого на базі розплідників та індивідуальних ізоляторів (див. рис. 1.3), включає в себе ручне збирання го-

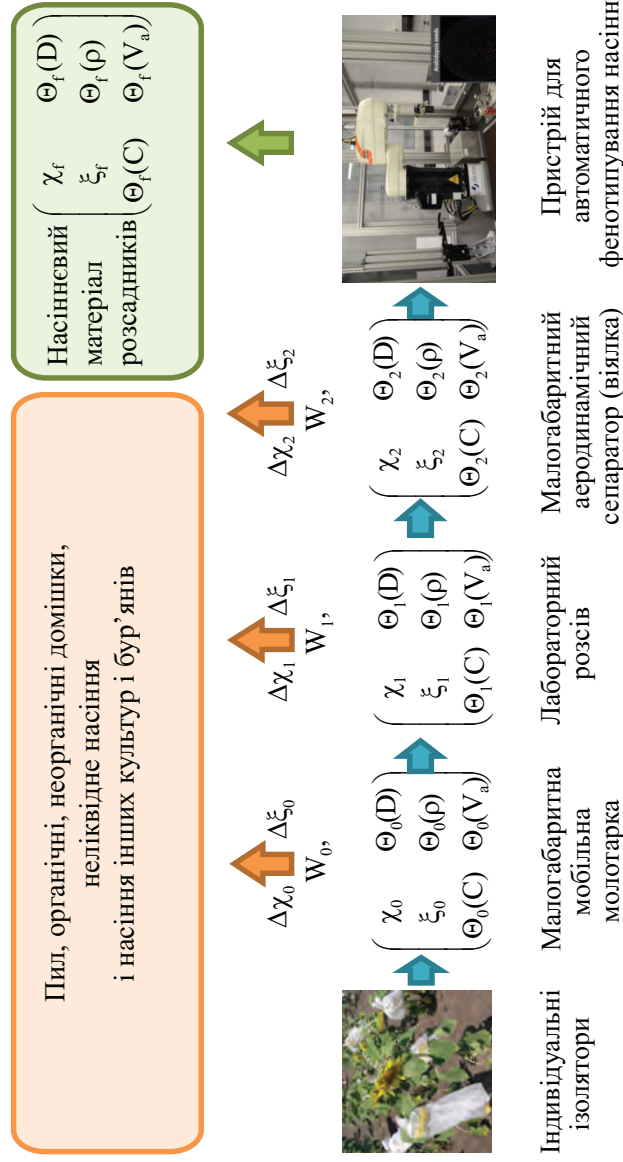


Рис. 1.3. Розроблена раціональна прецизійна технологічна лінія процесів сепарації насінневого матеріалу сояшнику розсадників

ловок сояшнику, стаціонарний або мобільний обмолот, очищення насінневого матеріалу, аеродинамічне сортування і системний відбір за морфологічними показниками, маркерними й оригінальними ознаками, заданими селекціонером, на приладовому комплексі для автоматичного сканування та фенотипування насіння. Однією з вимог для техніко-технологічного забезпечення добазового насінництва є мінімізація інтенсивності механічного впливу на насіннєвий матеріал з метою зменшення ймовірності його пошкодження.

Ефективність роботи наявних приладових комплексів для систематизації насіння визначається оригінальною автоматизованою інформаційно-аналітичною системою поділу генетичного матеріалу сояшнику і розробляється під конкретні завдання селекційних досліджень. Практично, завдання зводиться в перспективі до створення спеціалізованого автоматизованого робочого місця селекціонера.

Такий підхід дає змогу проводити біоінформативний аналіз насіння з систематизацією селекційного матеріалу, а також давати оцінку його якості.

Технологічна лінія процесу збирання і доопрацювання суперелітного насінневого матеріалу сояшнику (рис. 1.4) включає етапи забору вороху сояшнику з-під групових ізоляторів площею 0,5–1 га через пряме комбайнування малим селекційним комбайном або площею менше 0,5 га – способом ручного зрізування з обмолотом на мобільній молотарці. Доопрацювання і поділ насінневого матеріалу за фізико-механічними і морфологічними показниками відбувається з використанням селекційних сепараторів з елементами автоматизації контролю за якістю процесу сепарації. На фінішній операції виконується фенотипування насіння. Завдання пристрою для автоматичного фенотипування зводиться до відбору нетипових насінин із загального потоку, що значно підвищує однорідність матеріалу за генотипом.

Для базового насінництва прецизійна технологічна лінія процесів сепарації елітного насінневого матеріалу сояшнику і його першої репродукції (див. рис. 1.5) об'єднує етапи механізованої первинної обробки та подальшого його калібрування за морфологічними показниками й маркерними ознаками. Прецизійність калібрування досягається через застосування адаптивної системи управління режимними параметрами відповідного обладнання.

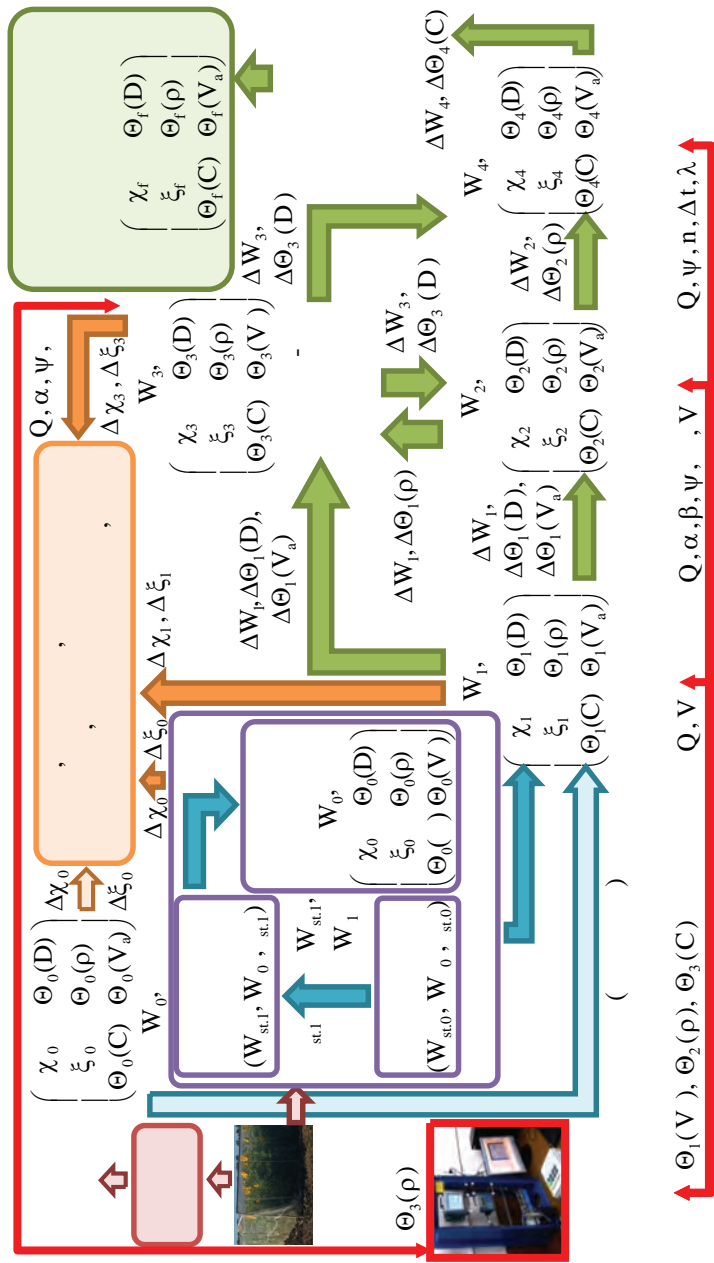


Рис. 1.4. Розроблена раціональна технологічна лінія процесів сепарації суперелітного насіннєвого матеріалу соняшнику

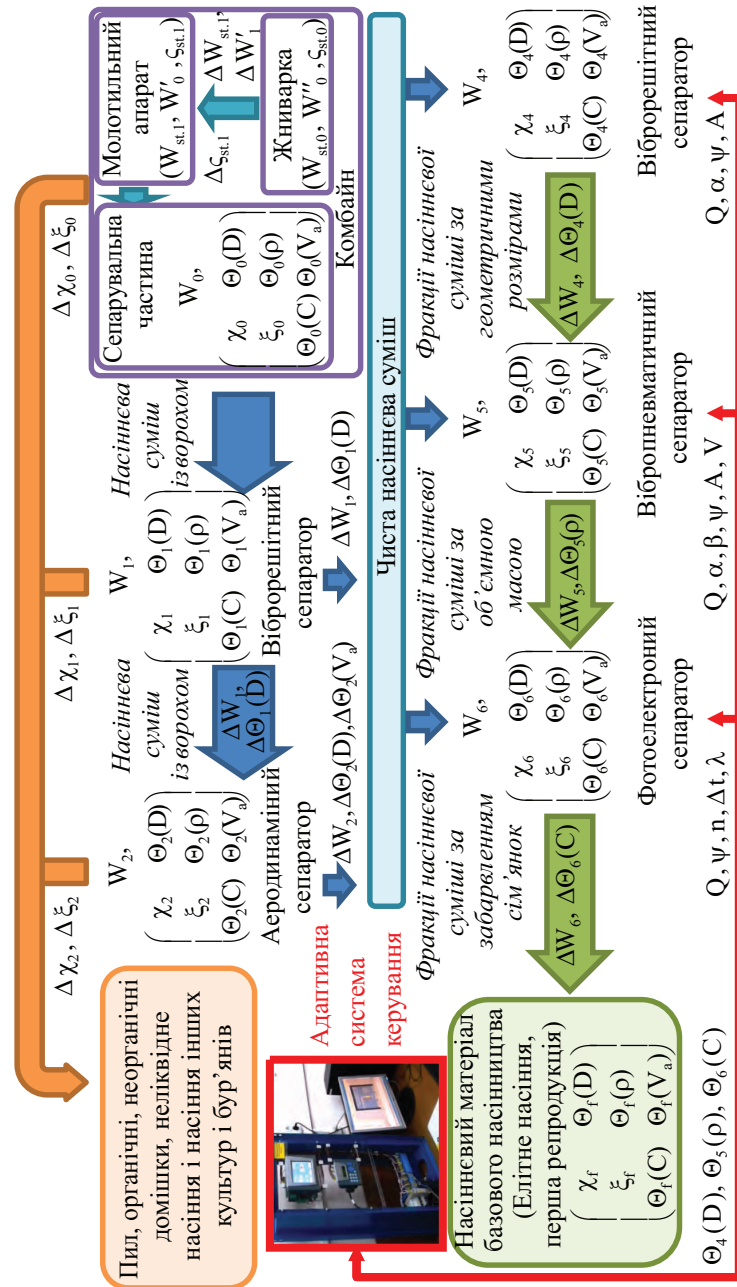


Рис. 1.5. Розроблена раціональна технологічна лінія процесів сепарації елітного насіннєвого матеріалу соняшнику і його першої репродукції

1.3. Аналіз технічного забезпечення автоматичного фенотипування насіння

Фенотипування насіння – процес типування, визначення, ідентифікації та розділення насіння як селекційного матеріалу за його морфологічними та маркерними ознаками (наприклад, забарвлення, форма і геометричні розміри) [32].

Насіння рослин можуть приймати різноманітну геометричну форму і відповідно до цього мати різні геометричні розміри. Процес визначення форми та розмірів індивідуальних насінин різних сортів однієї культури потребує величезних часових витрат, що призводить до погіршення ефективності селекційного процесу [32].

Крім того, насіння рослин мають цілий спектр забарвлення, що визначає цей показник важливою маркерною ознакою. Враховуючи різноманіття забарвлень насіння різних сортів однієї культури, виникає надзвичайна потреба в їх ідентифікації та систематизації. З огляду на те, що сприйняття кольору для кожної людини є індивідуальним, то виключення людського фактора і застосування інструментальних можливостей розпізнавання забарвлення насіння є дуже актуальним.

Відомий спосіб визначення розмірів насіння [33], який включає формування вибірки насіння, її сканування і обробку зображення з визначенням дійсних розмірів компонентів вибірки. При цьому обробка зображення виконується за допомогою комп'ютерної програми, яка автоматично розпізнає об'єкт та розбиває його на задану сітку, визначаючи максимальні, мінімальні та середні розміри в міліметрах у двох двовимірних взаємно перпендикулярних площинах. Для реалізації зазначеного способу на корпусі 1 (рис. 1.6, а) розташовано полицю для об'єкта 2, що досліджується. У спеціальні місця 3 під кутом 90° один від одного встановлюються дві цифрові фотокамери 4. Для підвищення якості зображень насіння, що розташовуються в одному напрямку на полиці 2, відбувається їх підсвічування лампою 5. Цифрові фотокамери 4 з'єднано з комп'ютером 6.

Відомий спосіб визначення розмірних характеристик насіння [34], який включає формування вибірки насіння і поштучне вимірювання спеціальними засобами розмірних характеристик кожної

насінини через сканування, перенесення зображення у файл програми «AutoCAD», подання в цій програмі умовних їх розмірів, визначення коефіцієнта перерахунку і обчислення дійсних розмірів компонентів вибірки.

Недоліками зазначених вище способів є їх висока трудомісткість, зумовлена необхідністю постійного ручного формування вибірки насіння, а також неможливість автоматичного його розділення за геометричними розмірами і формою. Також недоліком є те, що ці способи дають змогу ідентифікувати насіння лише за двома морфологічними показниками – розмір і форма.

Відомі пристрій (рис. 1.6, б) і відповідний спосіб визначення однорідності партії насіння за їх характеристиками кольору, розміру й форми [35], який включає поетапне виконання таких операцій.

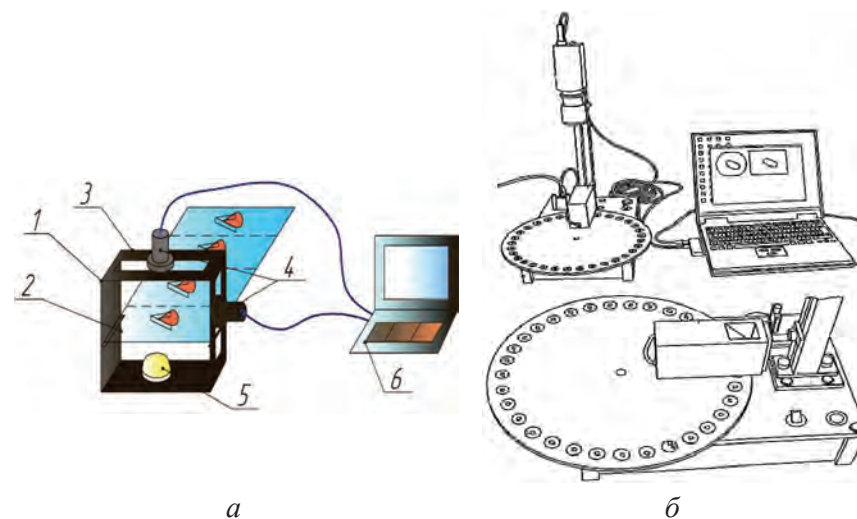


Рис. 1.6. Конструктивно-технологічна схема пристроїв для визначення геометричних розмірів і забарвлення насіння:

а – патент на корисну модель UA 101069U [33]; б – патент RU 2388203 [35]; 1 – корпус; 2 – полиця для об'єкта; 3 – спеціальні місця; 4 – цифрові фотокамери; 5 – лампа; 6 – комп'ютер

Кожне насіння поміщають у задану зону, що має колір, з довжиною хвилі, відмінною від довжини хвилі, що характеризує колір насіння; приводять кожну задану зону в положення, що забезпечує можливість її зйомки з отриманням її цифрового зображення в кольорі; висвітлюють задану зону видимим світлом під час отримання її цифрового зображення; знімають камерою задану зону з отриманням її цифрового зображення; зображення обробляють з отриманням значень колірних тону, а за необхідності – і насиченості, колірної моделі HSI (колірний відтінок, насиченість та інтенсивність, скорочено від англійського «Hue, Saturation, Intensity») для розпізнавання об'єктів, розташованих в межах заданої зони, переважно дискретних об'єктів, що виконується в кожній заданій зоні через сегментацію; для кожного об'єкта визначають розмір, форму і колір на основі колірних тону, а за необхідності – і насиченості, колірної моделі HSI через виділення ознак; щодо кожного об'єкта визначають чи відповідає він заданому для насіння діапазону розмірів, чи діапазону кольору або діапазону форм; для кожного об'єкта, що відповідає критеріям, визначають фактичний розмір, форму, колірний розподіл і колір на основі колірних тону, а за необхідності – і насиченості, і виводять звіт щодо кольору, колірних розподілу, фактичного розміру і форми насіння в партії із забезпеченням показника однорідності партії.

До недоліків відомого способу слід зарахувати трудомісткість підбору довжини хвилі електромагнітного випромінювання, невисоку точність визначення розміру, форми і кольору партії насіння через вибір колірної моделі HSI, відсутність можливості автоматичного виділення і розділення окремих насінин із загальної партії за зазначеними вище морфологічними показниками.

1.4. Аналіз основних морфологічних показників і фізико-механічних властивостей насінневої суміші соняшнику

Вплив морфологічних показників насінневого матеріалу соняшнику на його фізико-механічні властивості (рис. 1.7) дадуть можливість створити відповідну базу даних і провести систематизацію насіння ряду сортів.



Рис. 1.7. Зв'язок морфологічних та фізико-механічних властивостей насінневого матеріалу соняшнику

На основі виявлення характерних морфологічних показників для кожного сорту або гібриду соняшнику, за якими здійснюється процес очищення та розділення, можна розробити новітні технології і технічні засоби для здійснення зазначених вище процесів [36].

До компонентів насінневої суміші, окрім насінневого матеріалу, належать такі домішки: технологічні (каміння, частки ґрунту, пил та ін.), рослинні (уламки стеблин, шматки соломи, частки листя та ін.), насіння інших культур, насіння бур'янів, пошкоджене насіння (розламане, відбите, облучене та ін.). Для насінневої суміші соняшнику частіше присутнім є насіння культурних рослин – суданська трава, льон кудряш, пшениця м'яка озима, ячмінь ярий та ін.; насіння бур'янів – гречка витка березоподібна, лобода біла, щиріця звичайна, півняче просо, паслін чорний, мишій сизий, капуста, гумай, гірчак рожевий та ін. [37–40].

Для видового визначення насіння і плодів культурних рослин і бур'янів використовують зовнішні морфологічні ознаки. Одні з них

(контур, форма, поверхня) є стійкими; інші (забарвлення, розміри) можуть змінюватися.

За визначення насіння приймається така послідовність основних морфологічних ознак.

Контур насіння (плоду) дає перше уявлення про їх форму і є найстійкішою характерною ознакою. Контур може бути округлим, яйцеподібним, овальним, ниркоподібним, серцеподібним, трикутним, прямокутним, веретеноподібним, булавоподібним і т. п. Визначається двома вимірами – довжиною і шириною. Залежно від того, з якого боку його розглядати, насіння або плід у більшості видів бур'янів може мати кілька різних контурів. Лише правильно округла форма з усіх боків округляє контур. Тому характеристику контуру насіння (плодів) дають в проекції з широкого боку їх на площині. В інших випадках робиться застереження: контур з боку спинки, черевця або збоку.

Форма (табл. 1.2) визначається трьома вимірами – довжиною, шириною і товщиною.

Довжиною в ботанічному визначенні вважається відстань від основи насіння до його вершини; шириною – відстань між бічними сторонами, тобто вимір ширини буде перпендикулярно до довжини. У звичайному понятті довжина – найбільший, ширина – середній, товщина – найменший розмір.

Зовнішня структура насінневих і плодкових оболонок надзвичайно різноманітна. Основні структурні ознаки поверхні насіння бур'янів і культурних рослин є стійкими. Вони часто доповнюються опушенням, блиском, матовістю, восковим нальотом, які в процесі зберігання насіння можуть втрачатися. Різноманітність поверхні насіння бур'янів і культурних рослин зводиться до таких основних типів.

Безструктурна поверхня може бути блискучою, матовою (тьмяною), голою і опушеною. Блискуча поверхня насіння зумовлена будовою їх оболонки, яка відображає світлові промені. Блиск часто залежить від ступеня зрілості насіння, він є і показником свіжості. За тривалого зберігання з підвищеною вологістю блиск втрачається і поверхня насіння стає тьмяною. Матова поверхня зумовлена не відображенням, а поглинанням променів і здається шорсткою. Гола поверхня позбавлена будь-яких виростів. Опушена – на противагу

Таблиця 1.2. Форма насіння найпоширеніших бур'янів

Форма	Контурний рисунок	Характерні ознаки	Вид бур'янистої рослини
1	2	3	4
Куляста, куляста-кутова, злегка здавлена		Довжина, ширина і товщина приблизно рівні між собою й утворюють більш-менш правильну кулю	Гірчиця польова, рутка лікарська, мак дикий, повитиця польова, підмаренник чіпкий
Округло-здавлена, плоска		У контурі округла, бічні сторони здавлені, майже паралельні, ребра тупі; в ділянці насінного рубчика сильно стиснута	Дурман звичайний, лобода розлога та ін. види, лобода біла та ін. види, паслін чорний, проскурник зневажений та ін. види
Чечевицеподібна		Більш-менш округла, з бічних сторін здавлена, ребра загострені. У поперечному перерізі двосторонньо- або односторонньо-слабовипукла	Щириці – біла, жминдоподібна, закинена
Овальна, виконана		У контурі більш-менш видовжена. У поперечному перерізі майже округла або дещо здавлена, або округло-слаботригранна	Буркун лікарський, молочай лозний, чистець однорічний
Овальна, здавлена або пласка		Бічні сторони або майже паралельні, або листкоподібні здавлені	Осот городній, осот польовий жовтий
Овальна, складчаста		Корінець і сім'ядолі утворюють борозенку, що розділяє насіння вздовж. Насіння більш-менш здавлене	Гулявник лікарський, Лезеля, дескурайнія Софії, жовтушник вигризені, грицики

Продовження табл. 1.2

1	2	3	4
Обернено-яйцеподібна, виконана, слаботригранна		Вершина розширена, тупоокругла, до насіннєвого рубчика звужена. Довжина перевищує ширину і товщину в 1,5 і більше разів. У поперечному перерізі насіння округле або дещо здавлене	Амброзія полинолиста, осот шорсткий, березка польова, геліотроп європейський
Обернено-яйцеподібна, здавлена або пласка		У поперечному перерізі сильно здавлена або пласка, бічні сторони паралельно зближені	Кохія вінична, латук дикий, осот шорсткий, талабан польовий
Ниркоподібна, овально-виконана або видовжена, здавлена з боків		По спині округла, у насіннєвого рубчика здавлена. Довжина трохи більше ширини. У поперечному перерізі клиноподібна	Гібіскус трійчастий, канатник Теофраста, портулак городній, резеда жовта
Серцеподібна, овально-виконана або пласка		Спинка округла, потовщена, насіння до насіннєвого рубчика здавлене, бічні сторони паралельні, основа широкоокругла, вершина злегка витягнута, загострена	Горіць почечуйний, горіць шорсткий
Тригранно-пірамідальна, укорочена		Основа тупоконічна, вершина пірамідально загострена. Насіння в поперечному перерізі трикутно-чотиристороннє	Горіць берізка, горіць почечуйний, гречка татарська, щавель кінський, щавель кучерявий
Тригранно-видовжена		Вершина прямо- або косоусічена, утворює трикутний майданчик. Насіння в поперечному перерізі нерівносторонньо-трикутне	Залізниця гірська, живокіст польовий, глуха кропива

Закінчення табл. 1.2

1	2	3	4
Циліндрична		Пряма або слабовигнута, до основи і вершини слабо звужується	Жовтозілля весняне, жовтозілля звичайне, злинка канадська
Плоди і насіння з прищипками і прищипками		По краях або по всій поверхні розміщені прищипки або шипоподібні придатки	Нетреба звичайна, липучка відстовбурчена, якірці сланкі
Веретеноподібна, довгоколінчаста остиста		Ость довша зернівки. Зернівка до вершини поступово загострюється, до основи більш виконана. У поперечному перерізі майже округла	Овес порожній (вівсюг)
Човноподібно-видовжена, відкрита, коротка остиста з очевидним загостренням		Остеподібне загострення до 1/4 довжини зернівки. Зовнішня квіткова луска в повному обсязі закриває внутрішню	Пирій повзучий
Яйцеподібна, здавлена або односторонньо-опукла, довгоостиста, остиста		Ості рівні зернівці або довші. У контурі овально-яйцеподібна, в поперечному перерізі односторонньо-опукла	Плоскуха звичайна (просо куряче)
Яйцеподібно-здавлена, односторонньо-опукла, безоста		У контурі овальна-яйцеподібна, в поперечному перерізі овальна, здавлена або односторонньо-опукла	Щетинник зелений, мишій сизий, свинорий пальчастий

Примітка: поняття – «виконана», «здавлена» і «пласка» мають такі границі: якщо в поперечному перерізі відношення товщини до ширини дорівнює одиниці або 3/4 – така форма називається виконаною; якщо це відношення менше 3/4 – до 1/4 – форма здавлена; якщо воно менше 1/4 – форма пласка.

голій поверхні – вирізняється розвитком клітин покриву насінневих оболонки з утворенням волосків різної довжини і густоти. Залежно від будови волосків опушення може бути м'яким або жорстким. Волоски можуть розташовуватися густо або рідко, бути довгими або короткими, легко стиратися або бути стійкими.

Тонкоструктурна поверхня. Гладка – позбавлена будь-яких нерівностей. Шорстка – утворюється дрібними, малопомітними навіть при збільшенні лупою, густорозташованими і слабпомітними шипиками, борозенками, горбками, що зливаються в загальну структуру поверхні. Точкова – більш-менш гладка поверхня, вкрита чітко помітними точково-горбкуватими або точково-втиснутими утвореннями. Пунктирна – має чітко виражені пунктирні лінії, найчастіше розташовані від основи насінини до її верхівки. Зерниста – характеризується дуже невеликими блискучими точками, що зливаються в загальну точково-блискучу поверхню.

Грубоструктурна поверхня. Ямчата – утворюється заглибленнями в поверхні різної глибини, форми і величини. Часто ямки бувають утворені взаємно пересіченими зморшками. Сітчасто-чарункова – є чіткий сітчастий малюнок. Осередки можуть розташовуватися в певному порядку або хаотично. Зморшкувата – утворюється виступаючими різними за формою і величиною зморшками, що виступають. Розташування зморшок на поверхні насіння і плодів носить зазвичай хаотичний характер. Борозниста – утворена борознами, являє подовжені поглиблення на гладкій поверхні. Величина, форма, розташування, глибина і ширина борозен різноманітні. Горбкувата – поверхня насіння або плодів покрита різноманітними за формою й величиною горбками. Характер горбкуватої поверхні зумовлений і розміром самого насіння та плодів. У розташуванні горбків нерідко відзначається певна правильність – вони утворюють паралельні ряди або концентричні кола. Ребриста – поверхня, на якій виявлені ребра. Вони можуть бути вузькі або широкі, сильно виступаючі або слабовиражені, тупі або гострі, гладкі або покриті зубчиками, шипиками або щетинками. Жилкувата – характерна переважно для насіння злакових бур'янистих рослин. Жилкування виражено по-різному – від яскраво вираженого до неявно вираженого, ледь помітного. Шипувата – вкрита загостреними шипами або

колючками. Шипи можуть бути різної величини і різного походження, розташовуватися на гладкій поверхні або по ребрах. Поверхня вважається шипуватою, якщо на ній розміщена велика кількість шипів або колючок.

Забарвлення. Насіння різняться між собою за кольором і за характером забарвлення. Кольори, в які забарвлені насіння і плоди, різноманітні – від білого до чорного з усіма перехідними тонами і відтінками. Типовим вважається забарвлення зрілих насіння і плодів. Воно може бути одноколірним, строкатим, плямистим, крапчастим, мармуровим та ін. Характер забарвлення – від слабкого до інтенсивного [41].

Однак навіть у одного виду рослини забарвлення насіння може бути неоднаковим. У злакових бур'янів в межах одного виду забарвлення насіння однорідніше. Різноманітне за забарвленням насіння дводольних рослин. Пігментні речовини, що визначають забарвлення насіння, змінюються залежно від зрілості, умов збирання та зберігання. Тому для багатьох видів бур'янів забарвлення їх насіння є слабостійкою характерною ознакою. Найчастіше його використовують для визначення насіння і плодів близьких видів.

За величиною насіння бур'янів і культурних рослин (за ознакою довжини) розподіляються на такі групи: дуже дрібні – не більше 1 мм; дрібні – від 1 до 2; середні – від 2 до 4; великі – від 4 до 8; дуже великі – понад 8 мм.

Величина насіння навіть у одного певного виду не є постійним показником. Середній розмір не дає уявлення про можливі відхилення в той або інший бік. Більш постійною величиною вважається відношення між довжиною, шириною і товщиною насіння. За опису насіння вказують їх верхню і нижню межі. Однак і це співвідношення може змінюватися залежно від ступеня розвитку і дозрівання насіння.

Фізичні та аеродинамічні характеристики насіння можуть сильно впливати на їх переміщення в сепараторах. Знання фізичних характеристик насіння є істотним для конструкторів і операторів сільськогосподарських машин. В дослідженнях [42–47] вивчалися фізичні та аеродинамічні властивості сортів соняшнику в діапазоні від 7 до 30 % вологості. При зниженні вологості щільність насіння

соняшнику знизилася з 561 до 440 кг/м³. Для вивчення аеродинамічних властивостей (швидкість витання і коефіцієнт опору) відношення маси (г) до площі перерізу (см²) насіння розглядалося як індекс К. Швидкість витання насіння зменшувалася зі зменшенням індексу К і вологості. Найвища середня швидкість була при вмісті вологи 30% для 6,97–7,08 м/с, а найнижча – при вологості 7% – 5,39–5,46 м/с. Зі зниженням вологості, коефіцієнт опору мав тенденцію до збільшення, так що його значення змінилося з 0,59 до 0,95.

У дослідженнях [48–55] були визначені деякі фізичні властивості насіння соняшнику як функція вмісту вологи в межах 4–22% із використанням стандартних методик. Середня довжина, ширина, товщина, середній геометричний діаметр, еквівалентний діаметр, арифметичний діаметр, сферичність, площа поверхні й кут природного укусу варіювали від 12,14 до 12,57 мм, від 5,79 до 6,38, від 3,86 до 4,09, від 6,47 до 6,85, від 6,56 до 6,97, 7,27–7,61 мм; від 53,33 до 55,42%, від 112,16 до 125,01 мм² і 41–57 °С, оскільки вміст вологи збільшувався від 4 до 22% відповідно. Маса 1000 насіння збільшилася від 80,3 до 96,8 г, тоді як насипна щільність зменшилася від 410 до 380 кг/м³ і при збільшенні діапазону вологості 4–22%. Пористість коливалася від 44,59 до 61,22%. Статичний коефіцієнт тертя насіння соняшнику лінійно збільшувався проти різних поверхонь конструкційних матеріалів, а саме пластику (0,29–0,55), фанери (0,36–0,53), оцинкованого заліза (0,36–0,55), а статичний кут природного укусу збільшувався від 41 до 57°, відповідно за підвищення вологості від 4 до 22%.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях [56–61].

Дослідження процесу автоматичного фенотипування насіння

2.1. Модель впливу агротехнологічних і техніко-технологічних параметрів на насіннєву суміш

Представимо насіннєву суміш у вигляді об'єкта, стан якого визначається набором вхідних і вихідних параметрів. Усі фактори, що впливають на насіннєву суміш, можуть бути зараховані до зовнішніх або внутрішніх. Їх зміна на попередній стадії впливу дасть можливість, своєю чергою, змінити їх у наступній стадії. Параметри стану об'єкта будемо розглядати як внутрішні чинники. А будь-які дії на насіннєву суміш розглядаємо як зовнішні чинники.

Модель впливів на об'єкт (насіннєву суміш) представлена на рис. 2.1 і містить три групи входів, що впливають, і дві групи виходів.

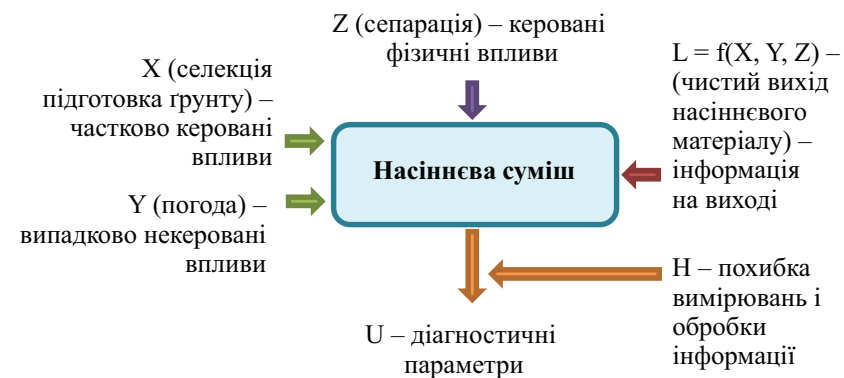


Рис. 2.1. Модель впливів на об'єкт (насіннєву суміш)

Одна з груп входів X характеризується n -мірним вектором

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.1)$$

частково керованих впливів (селекція, підготовка ґрунту, післяпосівна обробка та ін.).

Інша група входів Y характеризується m -мірним вектором випадкових некерованих впливів (погода, температура, механічні пошкодження під час збирання та ін.)

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_m). \quad (2.2)$$

Третя група входів Z характеризується e -мірним вектором керованих фізичних впливів (усі види сепарації)

$$Z = (z_1, z_2, \dots, z_e). \quad (2.3)$$

Інформація на вході системи

$$L = f(X, Y, Z) \quad (2.4)$$

є скалярною величиною, що характеризує якість насіннєвого матеріалу (чистий вихід продукції).

Крім виходу L стан об'єкта U описується деяким k -мірним вектором діагностичних параметрів

$$U = (u_1, u_2, \dots, u_k), \quad (2.5)$$

які можуть змінювати її та залежать від X , Y , Z і деякого вектора H

$$H = (h_1, h_2, \dots, h_e), \quad (2.6)$$

який, своєю чергою, є вектором похибки вимірювань. Отже, можна записати, що

$$U = f(X, Y, Z, H). \quad (2.7)$$

Значення вектора U як показника стану об'єкта має перебувати в деяких межах

$$U_s(X, Y, Z, H) \leq U'_s, \quad (2.8)$$

де $s = 1, 2, \dots, p$; U'_s – допустима межа s -го параметра. Нерівність (2.8) задається область допустимих параметрів об'єкта, межі якого залежать від X , Y , Z , H .

Із запропонованої моделі чітко видно, що реально вплинути на насіннєву суміш з метою отримання якісного насіннєвого матеріалу можна тільки за допомогою фізично керованих впливів Z . Дією як некерованих Y , так і частково керованих X впливів можна знехтувати, оскільки визначати якісний склад вже зібраної насіннєвої суміші вони не можуть. Фізично керовані впливи ґрунтуються на достовірній інформації про стан (якість) об'єкта, яка, своєю чергою, базується на діагностичних параметрах U .

Ці параметри поділяють на п'ять груп.

1. *Ботаніко-фізіологічні*. До цих показників якості насіннєвого матеріалу належать: культура (рід рослини), її вид, форма (озима або яра); сорт, морфолого-анатомічні особливості, колір, схожість та енергія проростання. Одні з них визначаються за огляду (культура, колір, іноді вид), – інші за документами (форма, сорт). Для характеристики анатомічної будови, схожості й енергії проростання слід провести лабораторний аналіз.

2. *Органолептичні*. Належать показники якості насіння (колір, запах, смак), що визначаються за допомогою органів чуття. Вони є показниками свіжості насіння, повноцінності поживних речовин.

3. *Фізико-механічні властивості* насіннєвого матеріалу мають велике значення для їх зберігання і переробки. Ці властивості лежать в основі методів визначення якості, прийомів переміщення, очищення і переробки насіннєвого матеріалу. До фізичних властивостей насіння належать: форма зернівки, лінійні розміри і крупність, об'єм, виповненість і щуплість, маса 1000 насінин, склоподібність, щільність, плівчастість і лущинність, об'ємна маса, механічні пошкодження насіння, тріщинуватість, механічні властивості, аеродинамічні властивості, зараженість шкідниками, засміченість.

4. До *хімічних показників якості* насіннєвого матеріалу належать: вологість, зольність, кількість білкових речовин, кислотність, вміст і якість клейковини.

5. За *технологічного оцінювання якості* насіннєвого матеріалу потрібно враховувати вимоги, встановлені щодо насіння і продуктів його переробки [62].

Розглянемо докладніше вектор керованих фізичних впливів (усі види сепарації) Z . Після кожної сепарації фізико-механічні та морфологічні властивості насіннєвої суміші змінюються. Ввівши відповідні позначення, зміну стану насіннєвої суміші можна визначити за допомогою матриць перетворення (див. рис. 1.3–1.5):

$$\begin{pmatrix} W_{st,0} \\ W_0'' \\ \zeta_{st,0} \end{pmatrix} \rightarrow \dots \rightarrow \begin{pmatrix} W_{st,1} \\ W_0' \\ \zeta_{st,0} \end{pmatrix} \rightarrow \dots \rightarrow W_0, \begin{pmatrix} \chi_0 & \Theta_0(D) \\ \xi_0 & \Theta_0(\rho) \\ \Theta_0(C) & \Theta_0(V_a) \end{pmatrix} \rightarrow \dots \rightarrow$$

$$\rightarrow \dots \rightarrow W_i, \begin{pmatrix} \chi_i & \Theta_i(D) \\ \xi_i & \Theta_i(\rho) \\ \Theta_i(C) & \Theta_i(V_a) \end{pmatrix} \rightarrow \dots \rightarrow W_f, \begin{pmatrix} \chi_f & \Theta_f(D) \\ \xi_f & \Theta_f(\rho) \\ \Theta_f(C) & \Theta_f(V_a) \end{pmatrix}, \quad (2.9)$$

де W – вологість насіннєвої суміші, %; χ – вміст органічних і неорганічних домішок, %; ξ – ступінь пошкодження насіннєвого матеріалу, %; $\Theta(V_a)$ – фракційний склад за аеродинамічними властивостями V_a , %; $\Theta(D)$ – фракційний склад за геометричним розміром D , %; $\Theta(\rho)$ – фракційний склад за об'ємною масою ρ , %; $\Theta(C)$ – фракційний склад за забарвленням сім'янок C – RGB або C – HSV, %; індекси $0, i, f$ – початковий, проміжний і кінцевий стан насіннєвої суміші; індекс st – стеблова частина; ζ – коефіцієнт солоmistості, %.

Система автоматизованого, і, як наслідок, адаптивного управління на основі отриманих діагностичних параметрів U стану насіннєвої суміші дає можливість змінювати конструктивно-режимні параметри обладнання (див. рис. 1.3–1.5). Однак для здійснення зазначеного управління потрібно вдосконалити конструкції відомого обладнання або розробити нове обладнання, яке визначає найслабші ланки системи. Розроблена адаптивна система управління дає можливість змінювати такі конструктивно-технологічні параметри обладнання. Для адаптивного аеродинамічного сепаратора – подача насіння Q , кг/год; швидкість повітря V , м/с. Для адаптивного віброрешітного сепаратора – подача насіння Q , кг/год; кут нахилу решета α , °; частота коливань решета ψ , с⁻¹; амплітуда коливань решета A , м. Для адаптивного вібропневматичного сепаратора – подача насіння Q , кг/год; швидкість повітря V , м/с; кути нахилу поверхні α і β , °; частота коливань

поверхні ψ , с⁻¹; амплітуда коливань поверхні A , м. Для фотоелектронного сепаратора – подача насіння Q , кг/год; частота коливань віброрешітки ψ , с⁻¹; n – частота обертання барабана, об./хв; Δt – часова затримка спрацьовування форсунки, мс; λ – чутливість фотодатчика, %.

2.2. Модель автоматичного фенотипування насіння

Відповідно до розділу 2.1 розроблено модель замкнутої системи автоматичного фенотипування насіння, яка зображена на рис. 2.2.

У рамках розробленої моделі, збільшення кількості діагностованих параметрів, швидка оцінка яких дала б змогу вивести з рухомого насіннєвого потоку некондиційне насіння, призведе до перетворення однокритеріального сортування в багатокритеріальне.

Пристрій для автоматичного фенотипування насіння, що реалізує принцип відбракування за кількома параметрами (показниками якості) назвемо багатокритеріальним. Алгоритм його роботи визначає фізичні параметри діагностованих насінин за допомогою перетворювачів зображення.

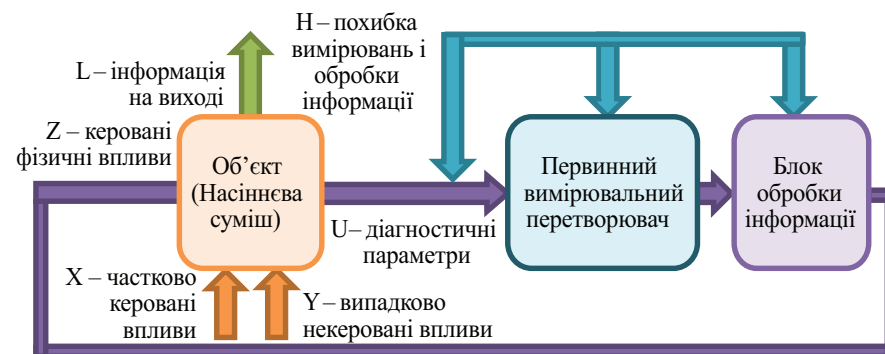


Рис. 2.2. Модель замкнутої системи автоматичного фенотипування насіння

Найпоширеніший спосіб виділити об'єкт – це колір. Колір – це властивість тіл відбивати або випускати видиме випромінювання певного спектрального складу та інтенсивності. Однією з важливих

проблем пошуку за кольором – це вплив безлічі чинників (наприклад освітлення).

Кольорова палітра – математична модель представлення кольору, ґрунтується на використанні колірних координат. Кольорова палітра побудована так, щоб будь-який колір був представлений точкою, що має певні координати [63].

Найчастіше для зберігання цифрових зображень використовують колірний простір RGB (рис. 2.3, а). У ньому кожній з трьох осей (каналів) присвоюється свій колір: червоний, зелений і синій. На кожний канал виділяється по 8 біт інформації, відповідно, інтенсивність кольору на кожній осі може набувати значення в діапазоні від 0 до 255. Усі кольори в цифровому просторі RGB з'являються способом змішування трьох основних кольорів.

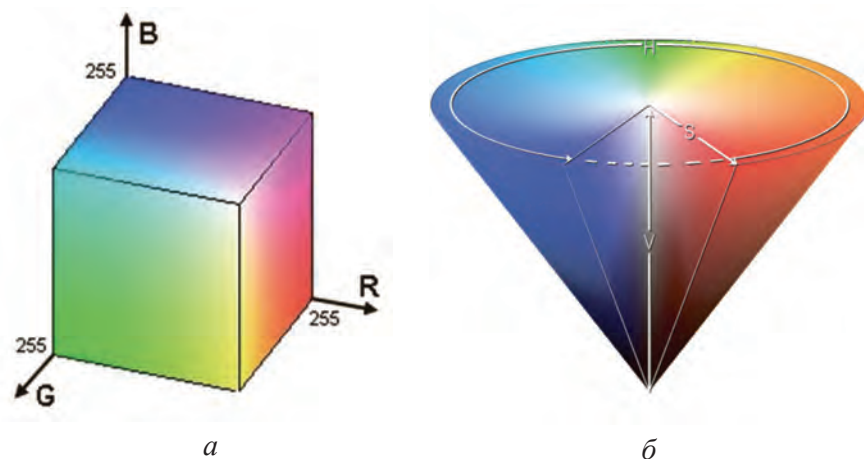


Рис. 2.3. Колірні простори RGB (а) і HSV (б) [63]

На жаль, RGB не завжди добре підходить для аналізу інформації. Експерименти показують, що геометрична близькість кольорів досить далека від того, як людина сприймає близькість тих чи інших кольорів один до одного.

Однак є й інші колірні простори. Для поставленого завдання найбільше підходить простір HSV (Hue, Saturation, Value). У ньому наявні (рис. 2.3, б):

- вісь Value, що позначає кількість світла. На нього виділено окремий канал на відміну від RGB, де це значення потрібно обчислювати кожний раз. Фактично, це чорно-біла версія зображення, з якою вже можна працювати;
- вісь Hue представлена у вигляді кута і відповідає за основний тон;
- вісь Saturation (відстань від центра до краю), від якої залежить насиченість кольору.

Для перетворення колірних компонентів між моделями RGB та HSV приймаємо такі положення:

$$\begin{aligned} & \in [0; 360], \\ & S, V, R, G, B \in [0; 1]. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Нехай \max – максимальне значення з R, G, B , а \min – мінімальне з них. Тоді

$$H = \begin{cases} 0, & \max = \min, \\ 60 \times \frac{G - B}{\max - \min} + 0, & \max = R \quad G \geq B, \\ 60 \times \frac{G - B}{\max - \min} + 360, & \max = R \quad G < B, \\ 60 \times \frac{B - R}{\max - \min} + 120, & \max = G, \\ 60 \times \frac{G - B}{\max - \min} + 240, & \max = B, \end{cases} \quad (2.11)$$

$$S = \begin{cases} 0, & \max = 0, \\ 1 - \frac{\min}{\max}, & \end{cases}$$

$$V = \max.$$

Для перетворення HSV на RGB приймаємо таке:

$$\begin{aligned} H &\in [0; 360], \\ S, V &\in [0; 100]. \end{aligned} \quad (2.12)$$

Після перетворення вираз (2.11) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} H_i &= \left[\frac{H}{60} \right] \bmod 6, \\ V_{\min} &= \frac{(100 - S) \times V}{100}, \\ a &= (V - V_{\min}) \frac{H \bmod 60}{60}, \\ V_{inc} &= V_{\min} + a, \\ V_{dec} &= V - a. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Отримані значення червоного, зеленого і синього каналів RGB обчислюють у відсотках. Щоб привести їх у відповідність до поширеного представлення COLORREF потрібно помножити кожне з них на 255/100.

За цілочислового кодування для кожного кольору в HSV є відповідний колір в RGB. Однак зворотне твердження не є правильним: деякі кольори в RGB можна виразити в HSV так, щоб значення кожного компонента було цілим. Фактично, за такого кодування доступна лише 1/256 частини кольорного простору RGB.

Два кольори називаються додатковими, якщо за змішування їх у рівній пропорції виходить чистий сірий колір. Якщо задано один колір (H, S, V) , то обов'язково є додатковий йому колір (H', S', V') . Оскільки результувальний колір має бути сірим, його насиченість S має дорівнювати 0. Отже,

$$\begin{aligned} H' &= \begin{cases} H - 180, & H \geq 180, \\ H + 180, & H < 180, \end{cases} \\ S' &= \frac{VS}{V(S-1)+1}, \\ V' &= V(S-1)+1. \end{aligned} \quad (2.14)$$

Вибір кольору для подальшого пошуку об'єкта з таким кольором полягає у завданні виділення деякої цільової області в кольорному просторі. Передбачається, що шуканий об'єкт повинен мати колір, відповідний точкам з цієї кольорної області. Тут можливі дві ситуації:

- цільова область задалегідь виокремлюється в кольорному просторі;
- цільова область визначається вказівками користувача, наприклад, описується кольоровими термінами природної мови людини.

Перша ситуація реалізується у разі пошуку об'єктів задалегідь відомих кольорів. Друга ситуація виникає за взаємодії з людиною. Інший приклад – це пошук за базою зображень із зазначенням кольору об'єкта або особливостей його кольорної композиції.

Завдання побудови відповідностей між кольорними термінами природної мови і областями кольорного простору відомі давно [64]. Існує безліч методик вирішення цього завдання [65–67].

Одна точка на шкалі H визначає двомірну область з різними значеннями S і V (насиченість і значення). Але підходять не всі точки цієї області. Наприклад, якщо обрано значення H для червоного тону, то при $S = 0$ і будь-якому V отримуємо відтінки, які стосуються градацій сірого, а при малих V і будь-яких S отримуємо дуже темні відтінки, близькі до чорного кольору. Тому для заданого H цільову область у цій двовимірній області визначаємо умовою: $V > V_{\min}$ і $S > S_{\min}$, де V_{\min} , S_{\min} – деякі константи.

Якщо обмежуватися тільки одним значенням H , то цільова область буде двовимірною областю, і будь-які, навіть незначні зміни кольорного тону виводять за межі цієї області. Тому в загальному випадку людина обирає цільовий діапазон на шкалі H , вказуючи два значення: H_{\min} і H_{\max} .

При цьому для кожного H з діапазону $[H_{\min}, H_{\max}]$ формується двовимірною область, подібна згаданій вище. Отже, як цільова область формується тривимірною областю в просторі HSV. І ця область однозначно визначається вибором тільки двох значень за шкалою H , а саме H_{\min} і H_{\max} .

На цьому етапі було запропоновано просте рішення, засноване на тому, що вибір кольору відбувається завдяки встановленню

діапазонів $[H_{\min}, H_{\max}]$, $[V_{\min}, V_{\max}]$, $[S_{\min}, S_{\max}]$, що одразу ж формує цільову тривимірну область у колірному просторі.

2.3. Методика експериментальних досліджень процесу автоматичного фенотипування насіння

У сфері очищення і розділення насінневого матеріалу важливе місце посідає проблема пошуку насіння на основі їх колірних характеристик. До основних переваг використання кольору як ключової ознаки належать швидкість виділення об'єкта і мала мінливість від кути зору. Однак можна виділити дві проблеми, що ускладнюють використання кольору для пошуку об'єкта:

- проблема зміни інтенсивності освітлення і зміщення відтінків завдяки джерелу освітлення [68, 69];
- проблема інтерпретації кольорів, що виникає у разі команд і запитів оператора [70].

З огляду на перелічені проблеми було поставлено завдання розробки пристрою для автоматичного фенотипування насіння й алгоритму пошуку і виділення насіння на основі інформації про забарвлення.

Дослідження були проведені на стенді (рис. 2.4), який складався з таких елементів: відеокамери Video Microscope Camera 1080P 16MP HDMI USB виробництва Eakins, набору світлодіодів трьох типів (червоний, зелений, синій) і персонального комп'ютера. Принцип роботи полягав у такому: оператор за допомогою вмикання світлодіодів задає освітлення певного кольору, а відеокамера фіксує розміщені в стаціонарному положенні або під час руху насінини і передає отримані дані на персональний комп'ютер.

Алгоритм програмного забезпечення складається з таких етапів:

- отримання зображення з відеокамери;
- переклад зображення з колірного простору RGB в HSV;
- фільтрація за кольором (налаштування колірної маски);
- проведення основних морфологічних перетворень – розтягання і звуження;
- виявлення контурів знайденого об'єкта;
- відтисовка мітки.

До переваг цього алгоритму можна зарахувати такі особливості:

- оператор вибирає діапазони за шкалами H , V , S , і в результаті одразу формується тривимірна область у колірному просторі;
- оператор не обмежений набором тонів, відповідних базовому кольору або кольору, похідному з базових, він може вибирати будь-який діапазон колірних тонів на шкалі H , навіть об'єднуючи колірні тони сусідніх базових кольорів в один діапазон.

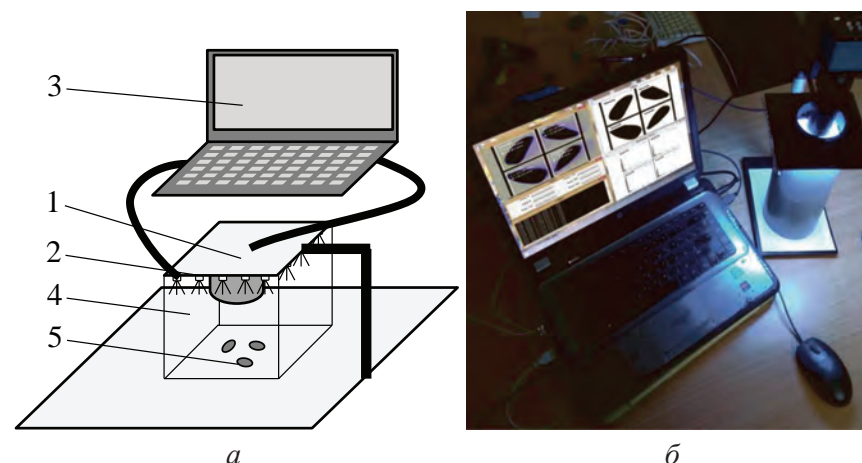


Рис. 2.4. Конструктивна схема (а) і загальний вигляд (б) експериментального пристрою для автоматичного фенотипування насіння: 1 – відеокамера Video Microscope Camera 1080P 16MP HDMI USB виробництва Eakins; 2 – набори світлодіодів трьох типів (червоний, зелений, синій); 3 – персональний комп'ютер; 4 – захисний екран; 5 – насіння

Для реалізації алгоритму було вирішено написати програму з використанням бібліотеки OpenCV.

На вхід відеопотоку подавалися різні насінини різних кольорів, розмірів і форм. Як вже зазначалося, для кожної насінини потрібно спеціально налаштовувати кольорову маску. Щоб виділити потрібний колір, слід підібрати межі компонента H . Параметр S відповідає за насиченість кольору, V визначає яскравість кольору. Затінений об'єкт буде мати низьке значення V .

При запуску програмного забезпечення пристрою для автоматичного фенотипування насінневого матеріалу з'являється 5 вікон (рис. 2.5). Перше вікно (Camera) – оригінальне зображення з фотокамери при білому освітленні (всі світлодіоди увімкнені) із виділеними контурами насінин і їх геометричними розмірами. Друге вікно (Filter) – зображення з фотокамери після перетворення кольорової картинки з кольорового простору HSV на черно-білу маску. У цій масці всі пікселі, що потрапляють у заданий діапазон, стають білими. Інші – чорними. Третє вікно (HSV) – повзунки HSV, за допомогою яких налаштовується кольорова маска. Четверте вікно (RGB bar chart) – гістограми розподілу кольорів у кольоровому просторі RGB. П'яте вікно (CMD) – вікно вводу і виводу повідомлень і даних.

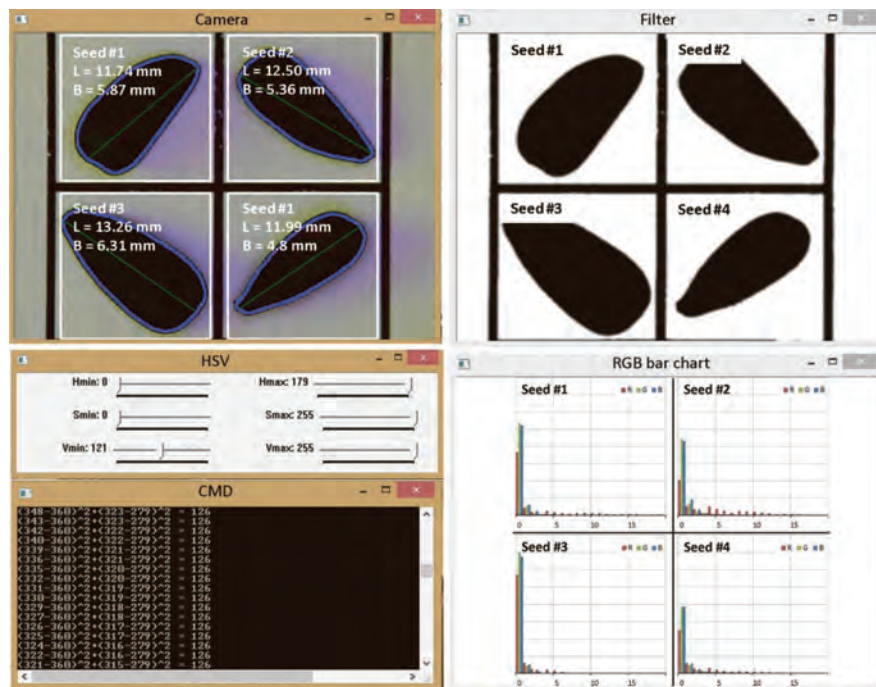


Рис. 2.5. Програмне забезпечення пристрою для автоматичного фенотипування насінневого матеріалу

У результаті тестування були отримані такі результати: алгоритм дає змогу коректно визначити насінини в просторі; при зміні положення насінини в просторі мітка коректно переміщується за ним; для правильної роботи алгоритму потрібне попереднє налаштування кольорової маски; завдяки правильному вибору кольорової моделі алгоритм стійкий щодо зміни умов освітлення.

Як об'єкт досліджень було обрано насіння соняшнику наступних сортів: APS04, НА300Б, НАР7, І2К87, ІnК1276, LD4, АН70029RF, APS10, НА298, І2К670, І3К1070, Іn18906, ІnК85, ІnК1124, ІnК2830, LD722, LD723, М19, RHA273, SL2966, КГ13, КГ15, КГ111, КГ113, Л7242, Л259524, СЛ1218, СЛ2354, І2К20031, Іn7034, Іn18917. Обране насіння сортів соняшнику різнилося між собою за маркерними ознаками, а саме за забарвленням.

Як фактор досліджень було обрано освітлення, яке встановлювалося за допомогою вмикання або вимикання діодів певного кольору. Для досліджень було прийнято чотири типи освітлення: червоне ($R = 255; G = 0; B = 0$), зелене ($R = 0; G = 255; B = 0$), блакитне ($R = 0; G = 0; B = 255$) і біле ($R = 255; G = 255; B = 255$).

Для виділення чіткої області (границі) насіння у вікні черно-білого зображення розробленого програмного забезпечення встановлювалися діапазони значень шкал кольорового простору HSV. Критеріями ідентифікації насіння є його геометричні розміри (довжина L , ширина B і їх відношення) і гістограми розподілу кольорів областей насіння в кольоровому просторі RGB. У результаті досліджень слід було встановити похибку вимірювання геометричних розмірів, яка визначалася через порівняння отриманих цифрових даних із показниками мікрометра 1 класу точності (± 2 мкм). Крім того, потрібно визначити узагальнений універсальний показник забарвлення насіння.

2.4. Результати експериментальних досліджень процесу автоматичного фенотипування насіння

У результаті досліджень встановлені значення геометричних розмірів насіння соняшнику (довжини L і ширини B), які визначені з використанням експериментального пристрою для автоматичного фенотипування насіння і мікрометра. Графічна інтерпретація представлена на рис. 2.6.

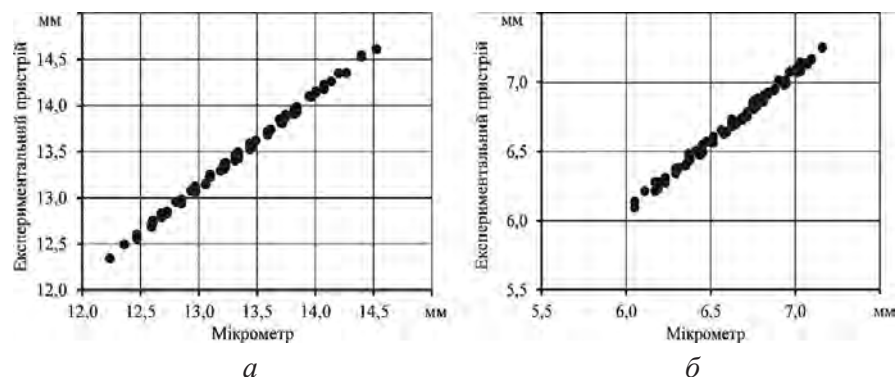


Рис. 2.6. Порівняння значень геометричних розмірів насіння соняшнику: довжини L – (а) і ширини B – (б), які визначені з використанням експериментального пристрою для автоматичного фенотипування насіння і мікрометра

При цьому середня похибка вимірювань становить 0,06 мм. За розрахованим критерієм Пірсона (χ^2) нормальність розподілу похибок вимірювань становить 2,21, більше за табличне значення $\chi^2(0,95;5) = 1,15$. Проведено перевірку гіпотези про однорідність значень за допомогою критерію Кохрена $G = 0,14 < G_{0,05}(1;100) = 0,33$. Розрахунок коефіцієнтів калібрувальної характеристики вимірювання геометричних розмірів з використанням експериментального пристрою для автоматичного фенотипування в припущенні, що ця залежність є лінійною, було перевірено з використанням критерію Фішера $F = 1,15 < F_{0,05}(91, 100) = 1,39$.

З колекції соняшнику нами було виокремлено 12 груп, які різнилися між собою забарвленням і наявністю панцирності й антоціану.

Забарвлення насіння соняшнику у сортозразків з встановлених груп представлено в табл. 2.1 і на рис. 2.7.

Таблиця 2.1. Забарвлення насіння соняшнику

№ з/п	Зразок	Візуальне сприйняття забарвлення			Забарвлення	Група
		суцільність	панцирність	наявність антоціану		
1	2	3	4	5	6	7
1	Сл2613	Суцільне	+	–	Чорне	1
2	14RNA274	–«–	+	–		
3	BK419-2	–«–	+	–		
4	InK225	–«–	+	–	Темно-коричневе	2
5	АН70029Rf	–«–	–	–		
6	КГ13	–«–	–	–		
7	BK475	–«–	–	–	Світло-коричневе	3
8	InK2238	–«–	–	–		
9	LD4/1	–«–	–	–		
10	LD72/1	–«–	–	–	Чорне з сірими смугами	4
11	BK428	Смугасте	+	–		
12	НА300Б	–«–	+	–		
13	Орп1	–«–	+	–		
14	SL2966	–«–	+	–		
15	BK484	–«–	+	–		
16	СЛ1218	–«–	+	–		
17	ІЗК1070	–«–	+	–		
18	ЛГ13-2	–«–	+	–	Світло-сіре з білими смугами	5
19	InK404	–«–	–	–		

Закінчення табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7
20	I2K1962-1	Смугасте	–	–	Чорне з бурими смугами	6
21	InK1587	–«–	+	–	Чорне зі світло-сірими смугами	7
22	I2K670	–«–	+	–		
23	I2K2003-1	–«–	+	–		
24	НАР/7	–«–	+	–		
25	НА298	Суцільне	+	+	Чорно-червоне	8
26	КГ104	–«–	+	+	Чорно-бордове	9
27	СЛ2354	–«–	+	+		
28	СЛ2349	–«–	+	+		
29	КГ111	Смугасте	+	+	Чорне з темно-червоними смугами	10
30	InK1124	–«–	–	–	Темно-сіре з коричневими смугами	11
31	I2K2218	Суцільне	–	–	Біле	12
32	ВИР130	–«–	–	–		
33	КГ9	–«–	–	–		

На основі проведених досліджень, можна стверджувати, що за проєктування та розрахунку машини для очищення та розділення насіннєвого матеріалу соняшнику як вихідні розмірні показники насіння можуть бути прийняті їх середні значення. Також дані дослідження зі встановлення фізико-механічних властивостей насіння соняшнику дадуть змогу отримати вихідні дані для моделювання процесу їх очищення та розділення, вибору оптимальних параметрів машин для забезпечення зазначених процесів.

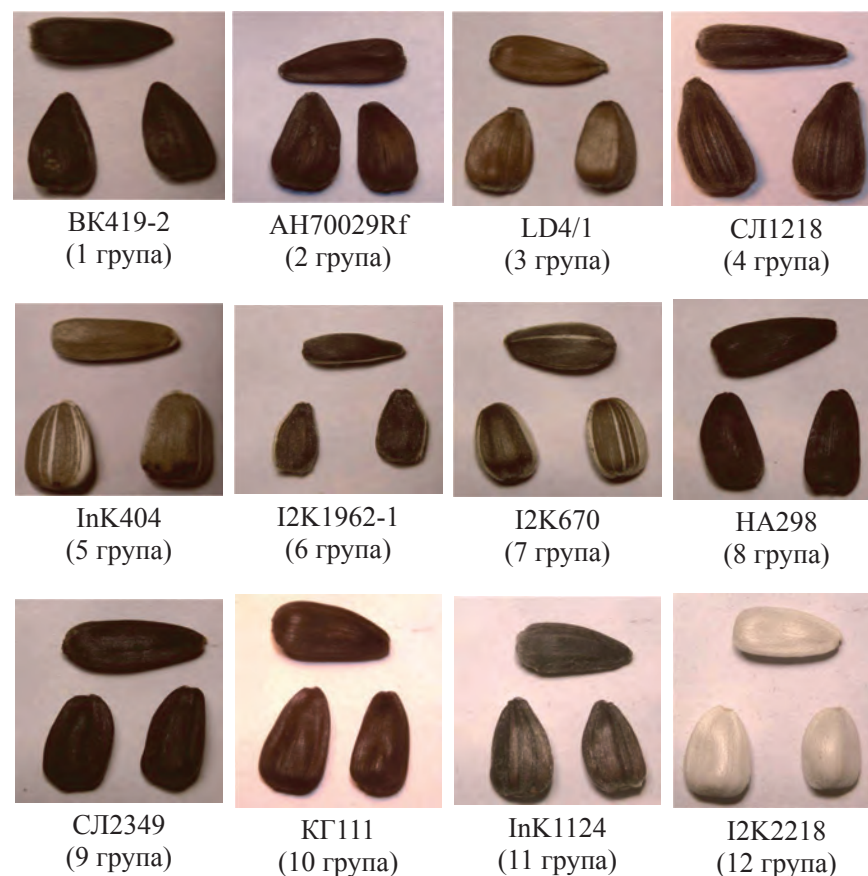
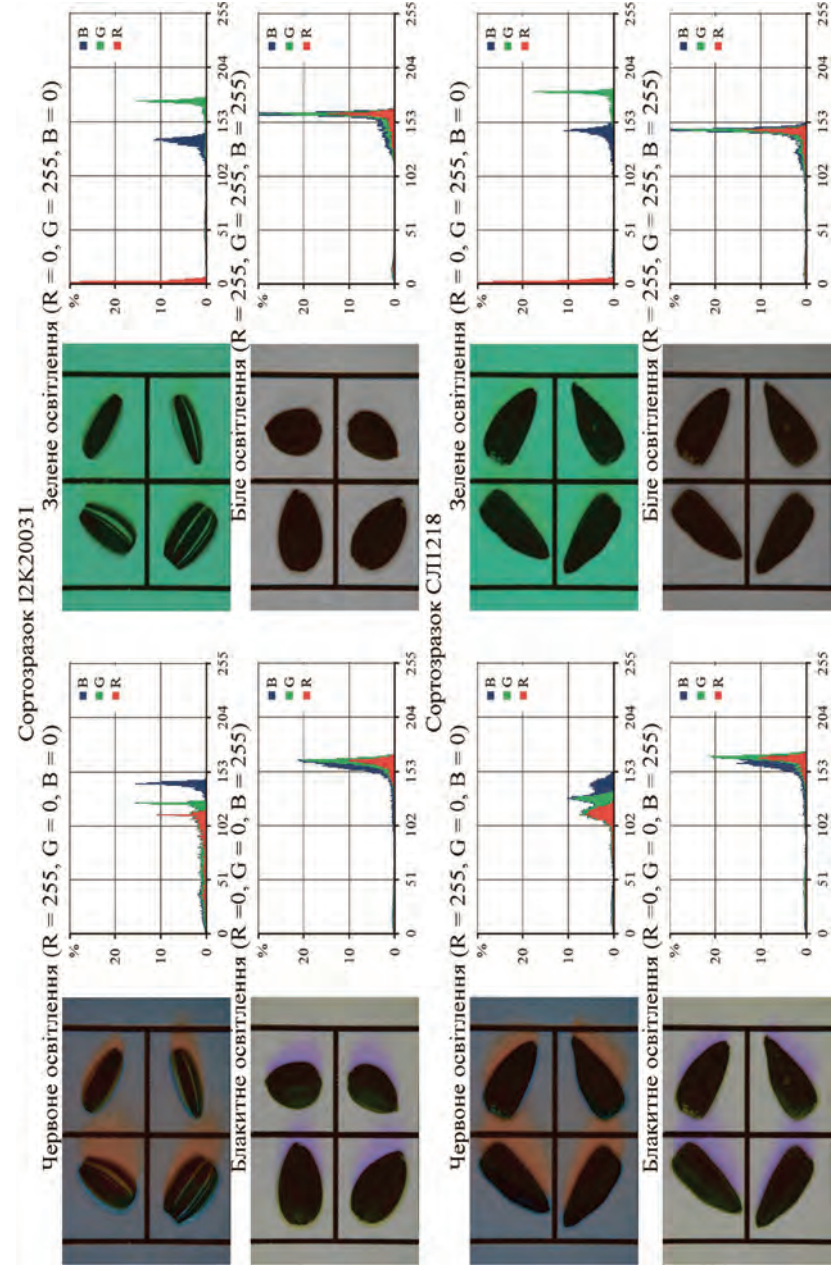
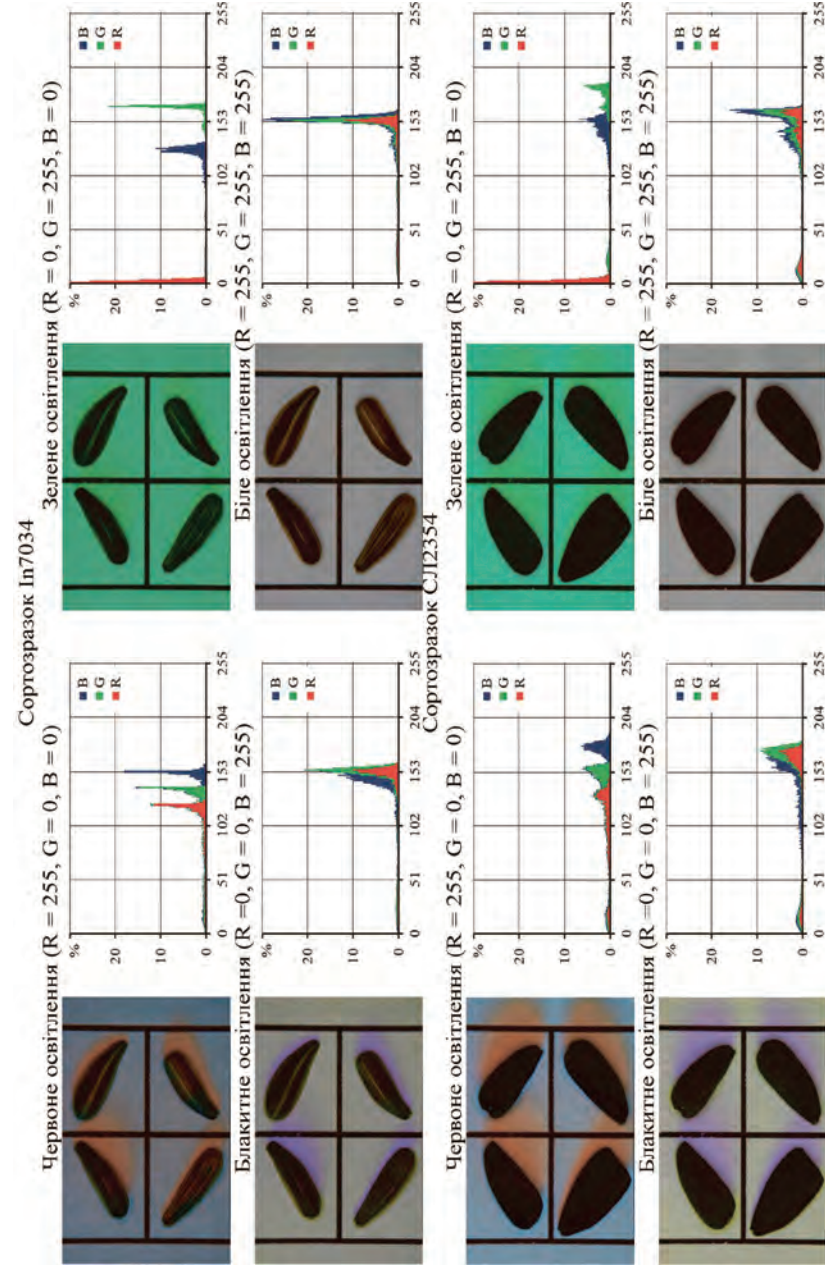
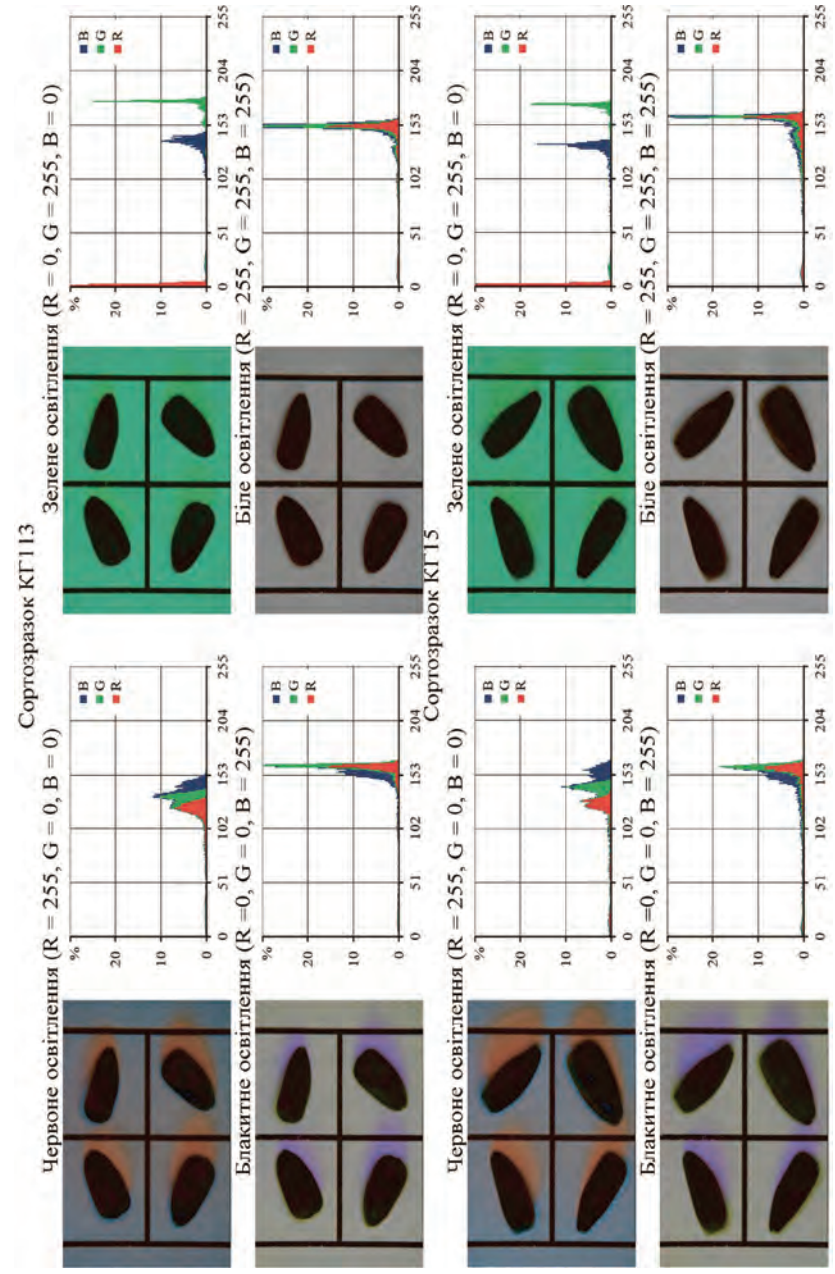
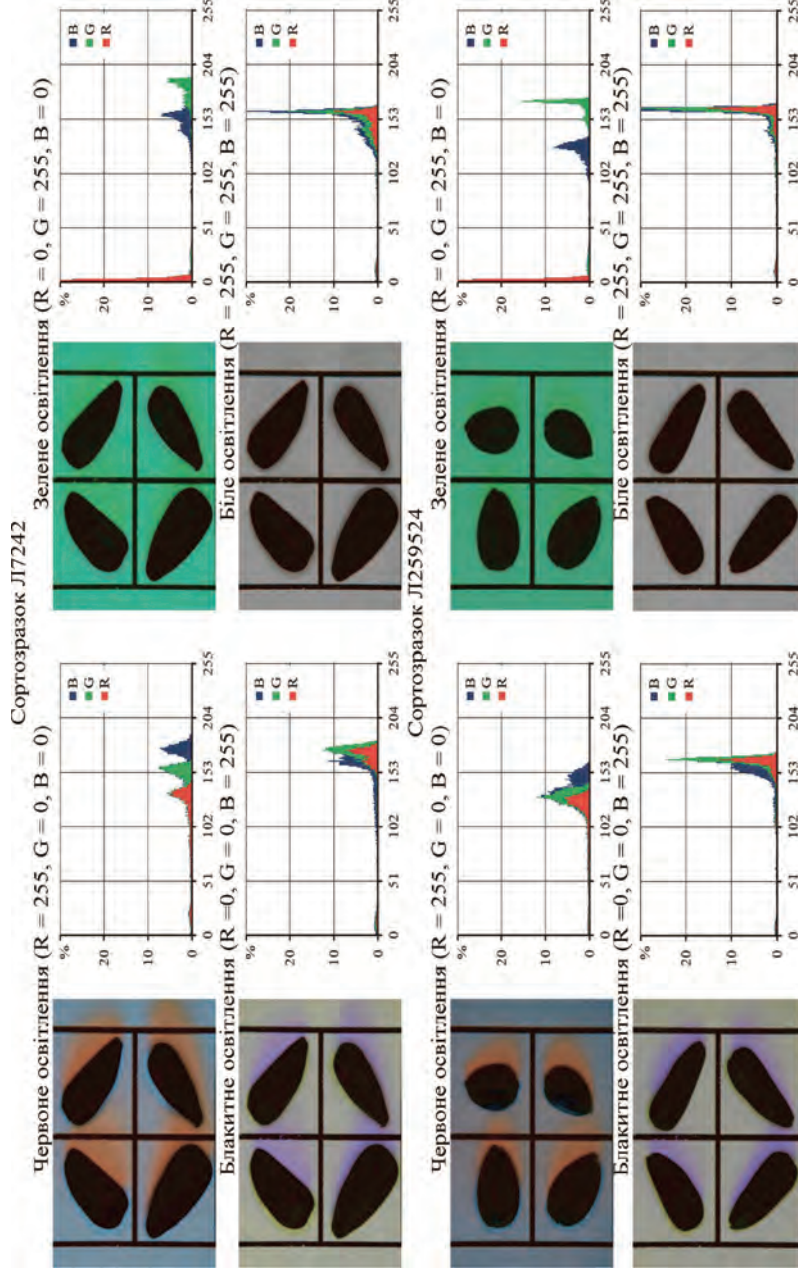
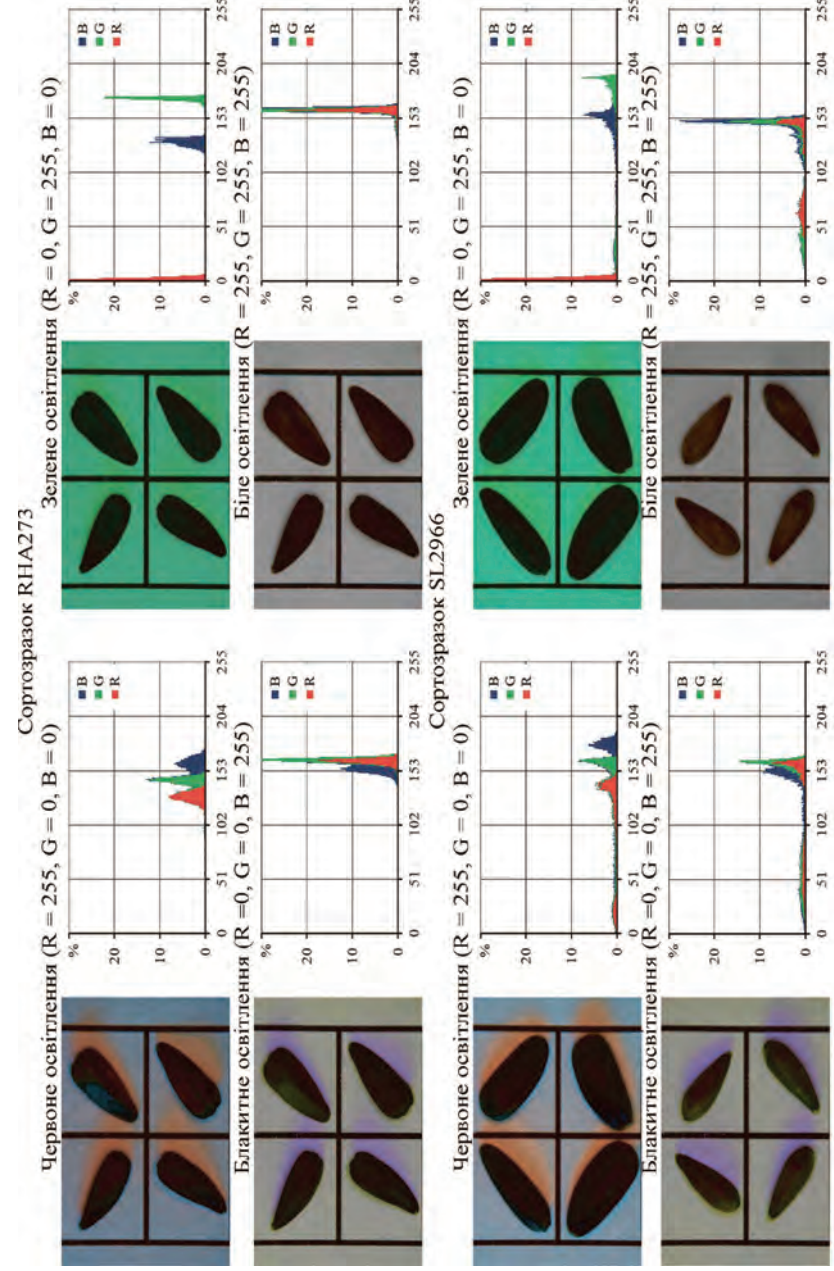
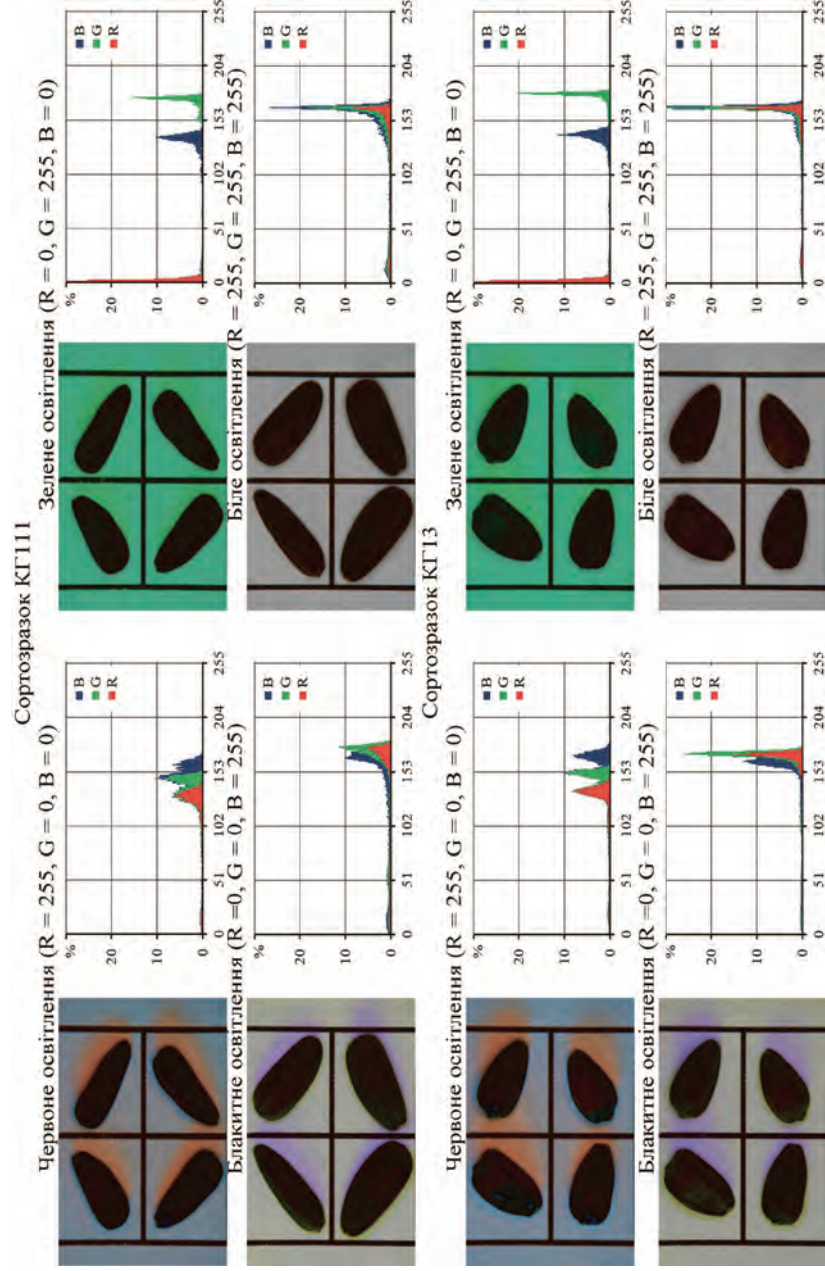


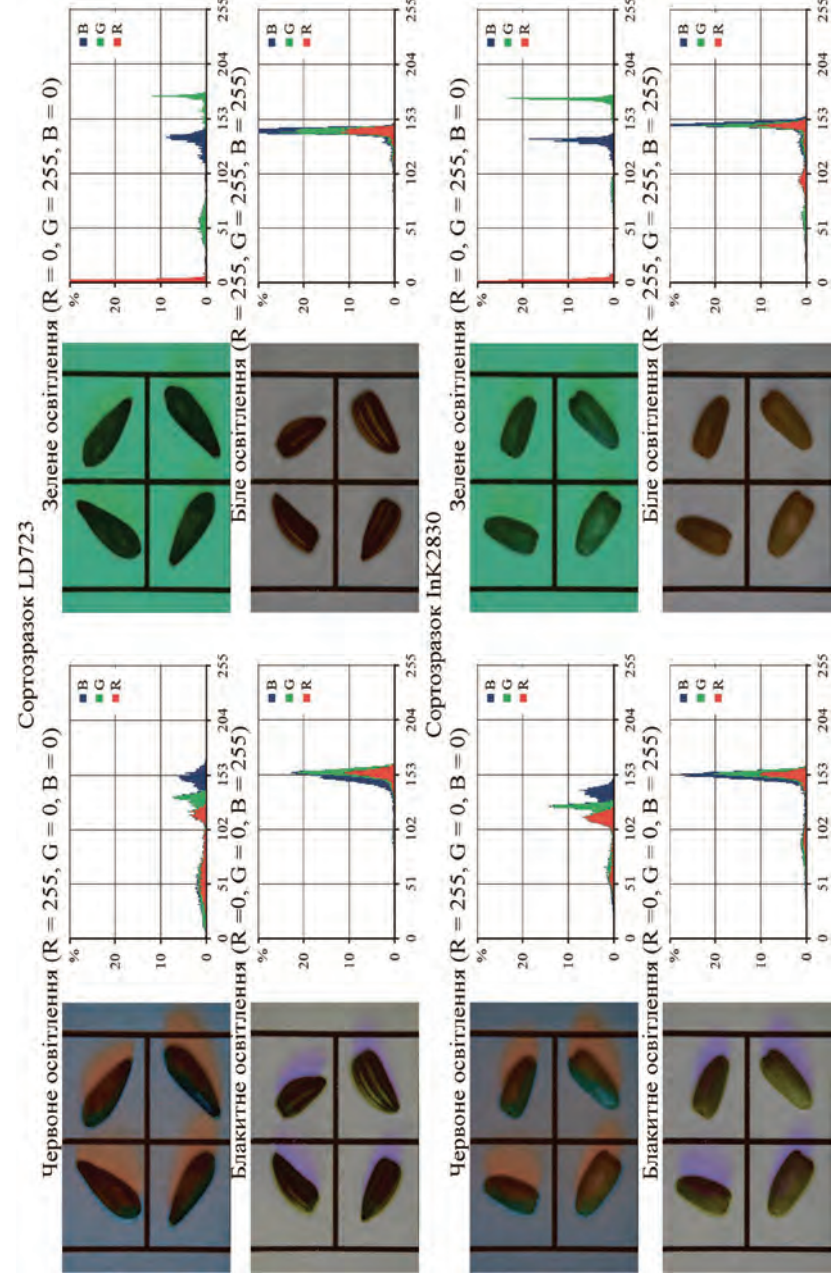
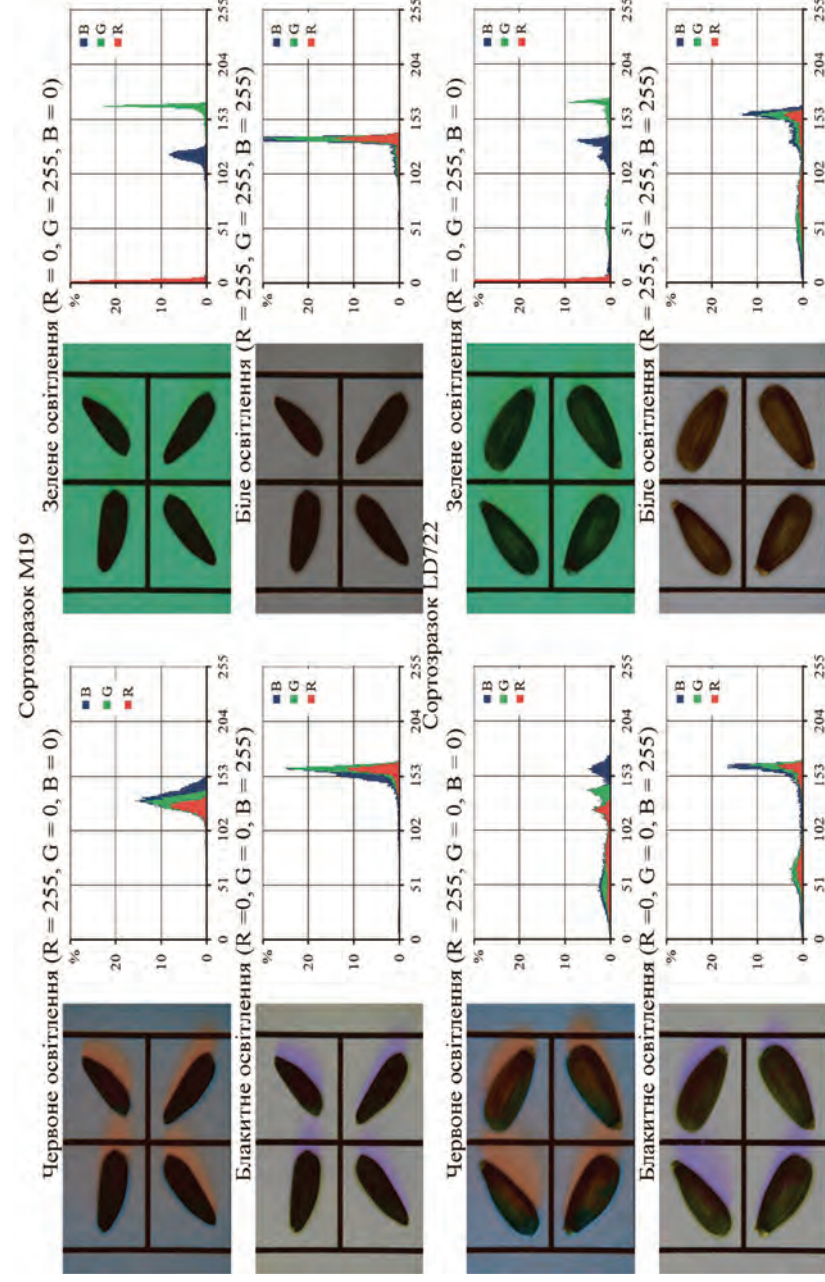
Рис. 2.7. Візуальне сприйняття забарвлення насіння соняшнику

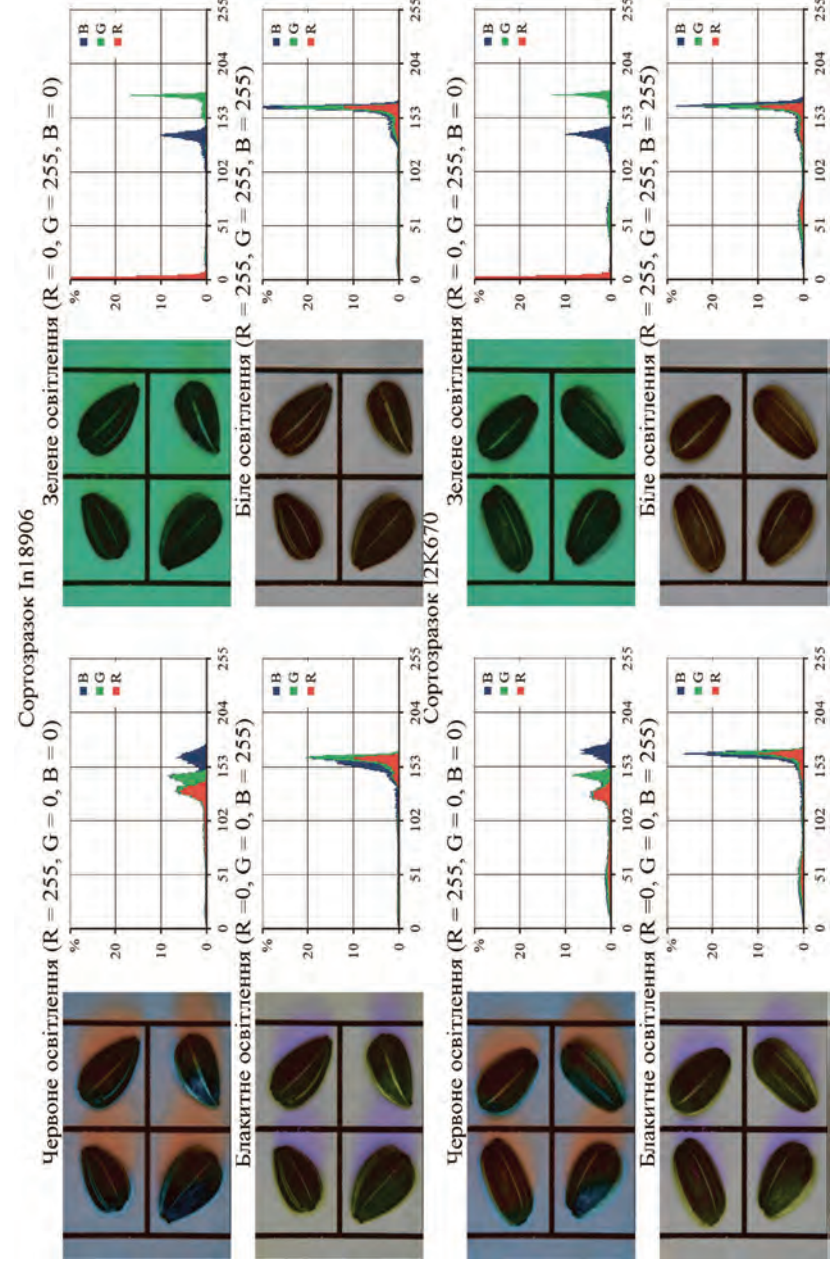
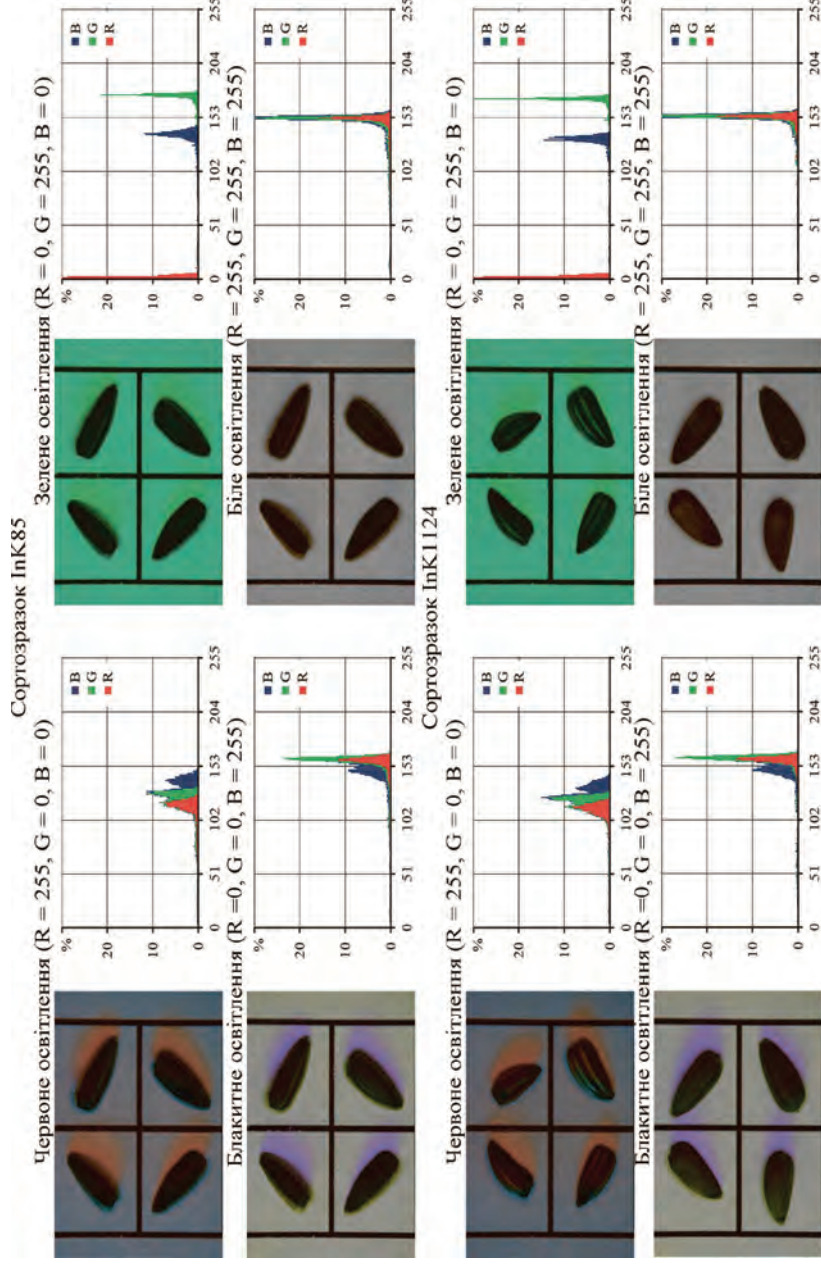
Гістограми розподілу кольорів областей насіння соняшнику в колірному просторі RGB за різного освітлення подано нижче.

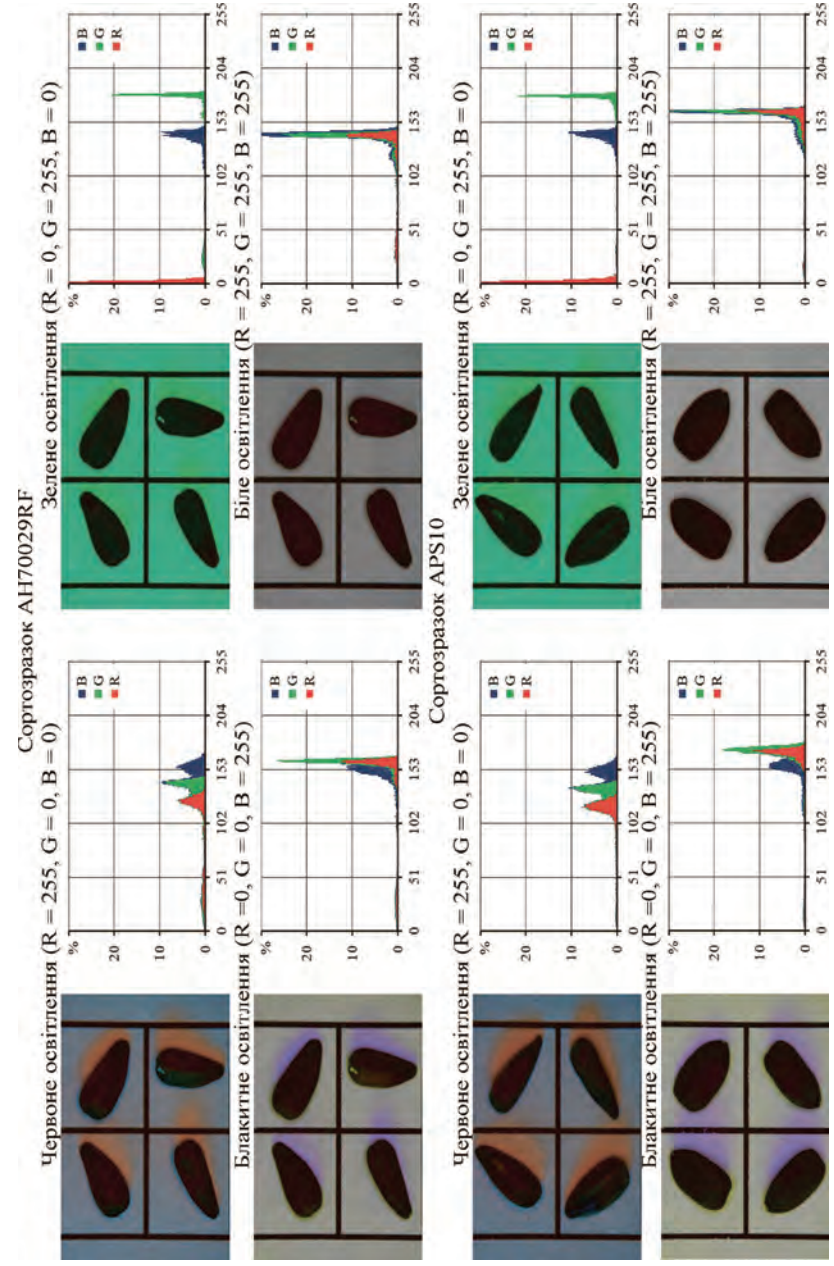
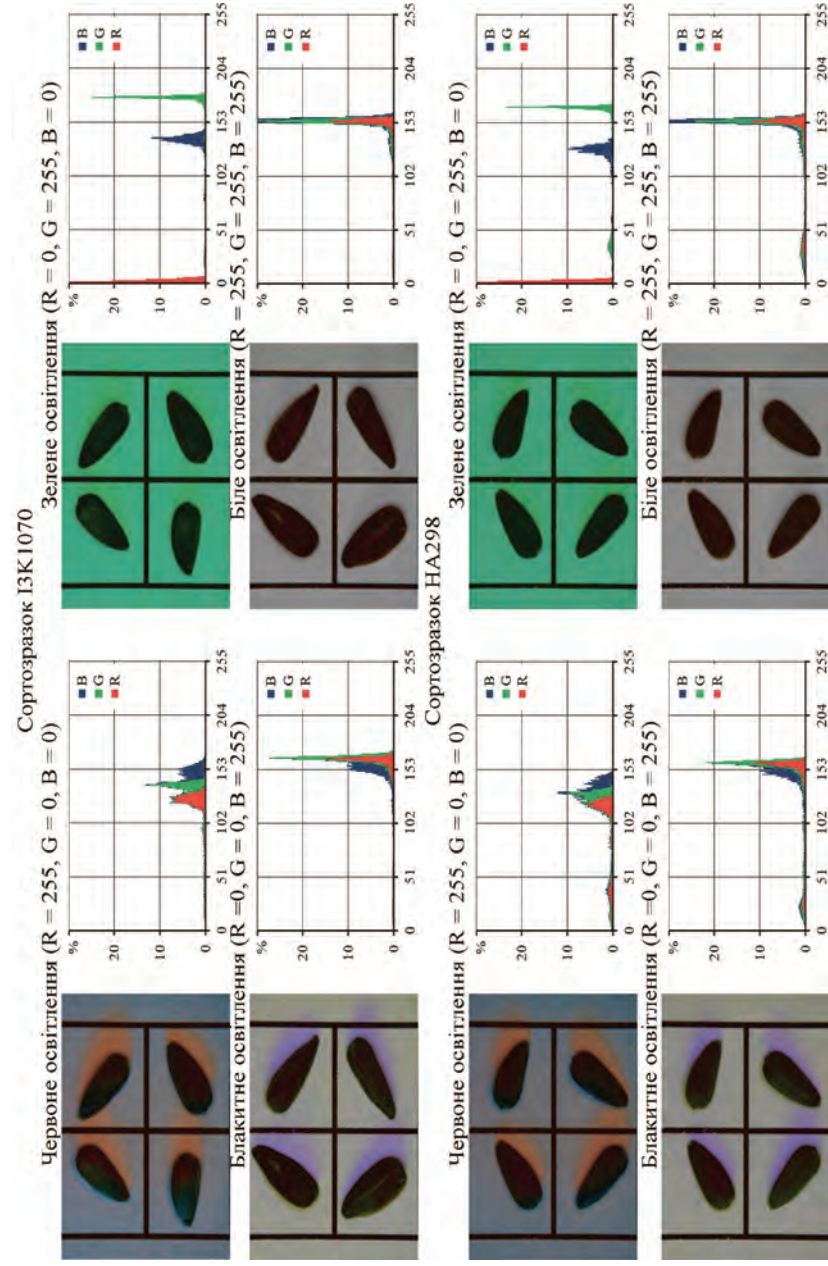


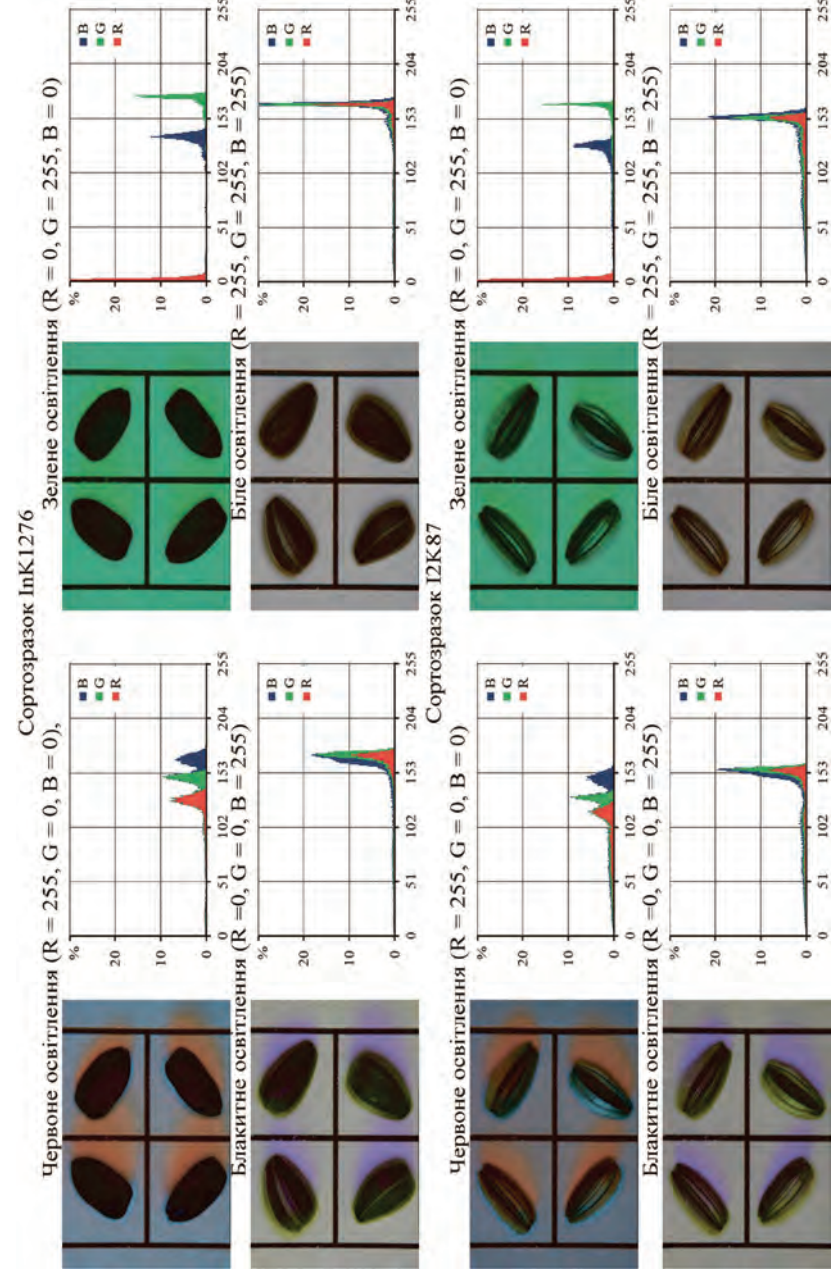
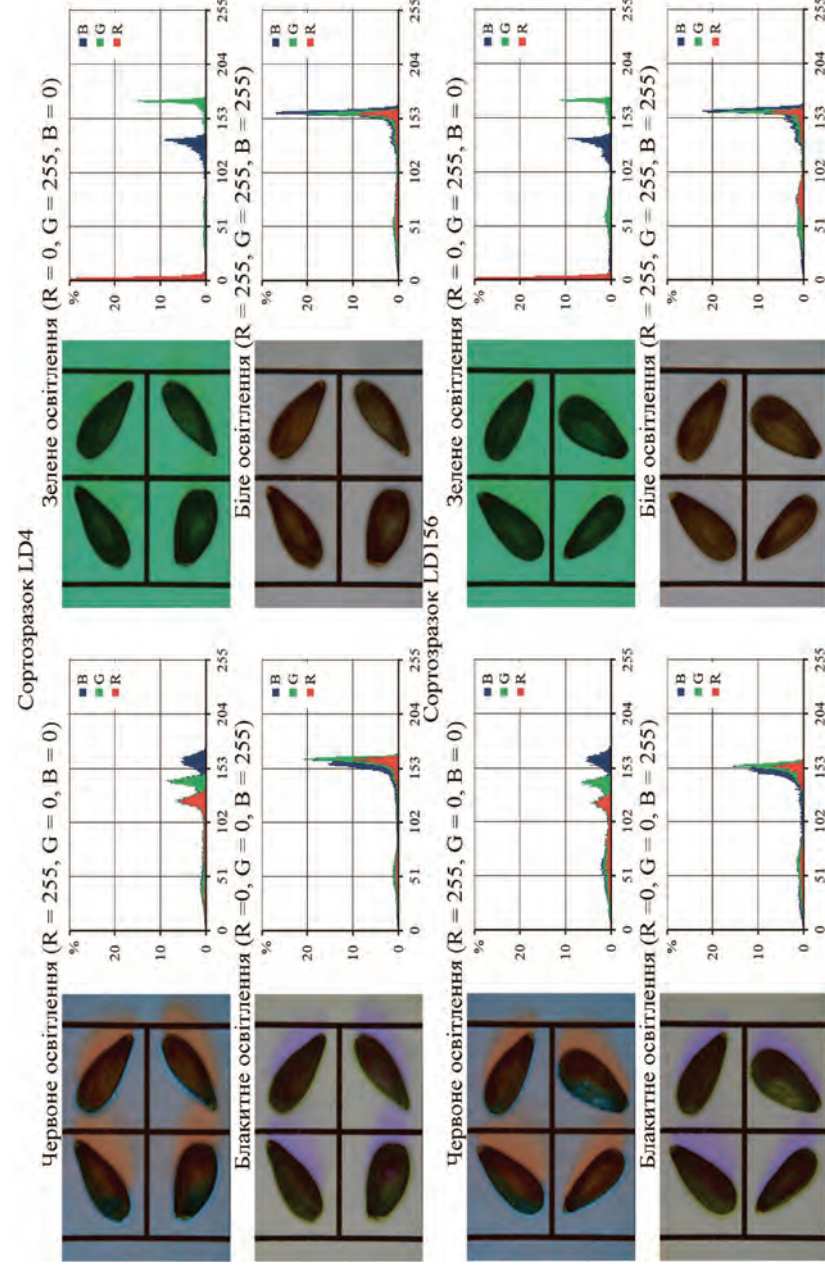


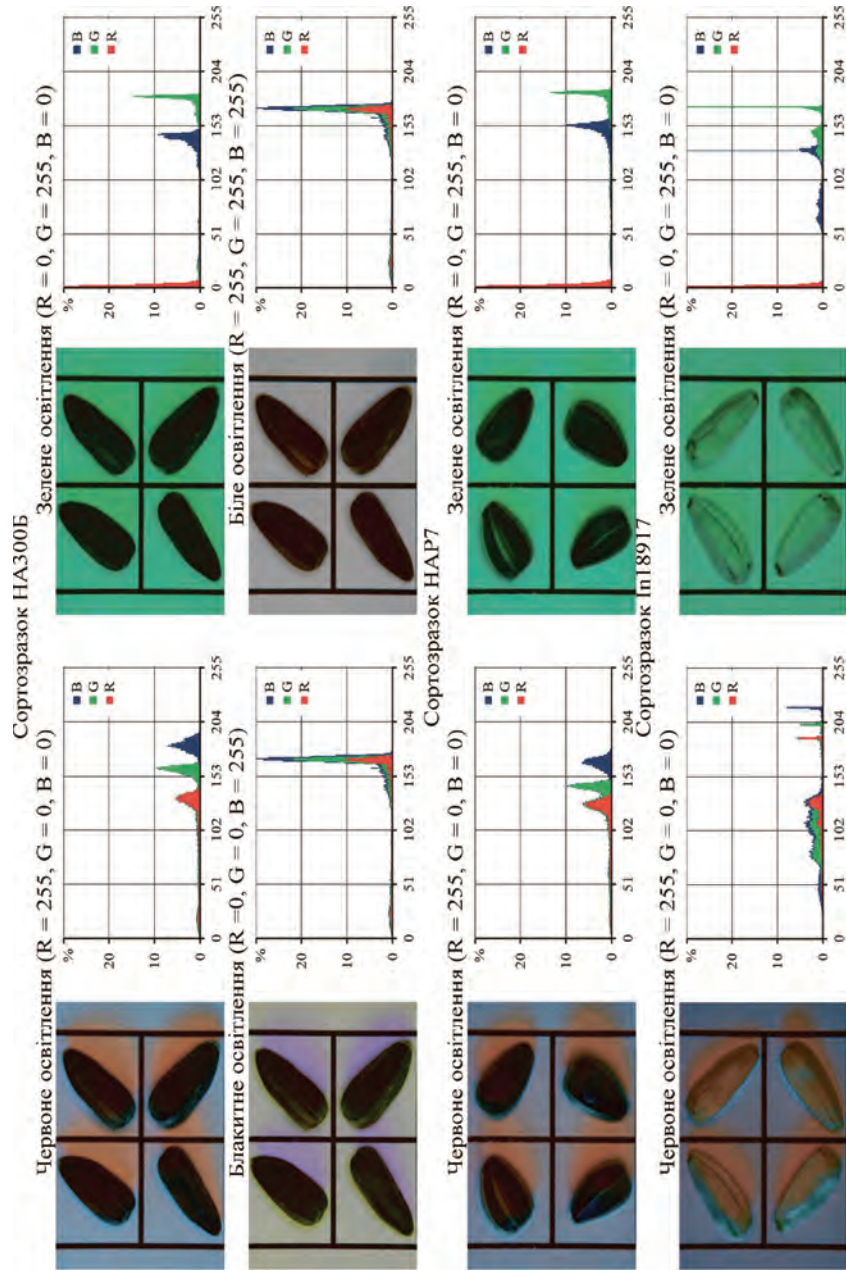












У результаті аналізу отриманих гістограм розподілу кольорів областей насіння соняшнику в колірному просторі RGB встановлено, що у випадку однорідності кольору найвиразніше видно дискретність каналів при червоному освітленні. При цьому гістограма має по одному максимуму для кожного каналу, який зміщується залежно від забарвлення насіння. Так, для чорного забарвлення $R = 182-189$, $G = 194-202$, $B = 211-218$, а для білого $R = 112-118$, $G = 124-129$, $B = 133-139$. Узагальнення отриманих результатів приведено в табл. 2.2.

Також виявлено, що у випадку двокольорового забарвлення насіння соняшнику на гістограмах спостерігається два максимуми, кожний з яких відповідає одному з кольорів. Частоти цих максимумів відповідають інтенсивності кожного з кольорів. Враховуючи зазначене вище можна визначити показник забарвлення насіння C як матрицю частот f відповідних максимумів (max) в колірному просторі RGB при червоному освітленні насіння:

$$C = \begin{pmatrix} R_{1max} & f_{R1max} & R_{2max} & f_{R2max} \\ G_{1max} & f_{G1max} & G_{2max} & f_{G2max} \\ B_{1max} & f_{B1max} & B_{2max} & f_{B2max} \end{pmatrix}. \quad (2.15)$$

Гістограму значень максимумів каналів у колірному просторі RGB при червоному освітленні сортозразків соняшнику представлено на рис. 2.8.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях [71–91].

Таблиця 2.2. Узагальнення результатів визначення забарвлення насіння соняшнику при різному освітленні

Сорто-зразок	Освітлення Колір	Червоне				Зелене				Блакитне				Біле			
		R	G	B	V	R	G	B	V	R	G	B	V	R	G	B	V
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
APS04	Значення	126	151	170	2	182	147	168	170	160	160	160	161				
	Частота, %	6,42	10,0	6,3	49,4	19,5	12,5	14,0	14,3	9,5	19,5	24,1	21,2				
HA300Б	Значення	132	161	182	2	181	145	169	170	173	169	170	173				
	Частота, %	5,36	9,4	7,2	46,5	14,7	9,2	10,6	12,1	10,9	10,6	12,1	10,9				
HA7	Значення	127	144	166	2	185	154	170	173	164	167	167	167				
	Частота, %	5,80	9,5	6,6	45,4	13,4	9,8	9,7	10,0	8,8	17,9	19,8	14,3				
I2K87	Значення	117	131	147	2	167	128	156	158	151	154	154	158				
	Частота, %	4,91	9,1	6,1	45,5	15,6	8,2	8,3	9,6	6,6	7,9	8,6	7,7				
InK1276	Значення	127	150	166	2	175	136	171	174	155	164	164	164				
	Частота, %	7,26	9,3	6,9	51,7	15,4	12,2	11,4	12,5	7,1	14,7	17,6	16,9				
LD4	Значення	124	142	160	2	170	133	161	163	156	158	158	160				
	Частота, %	5,94	8,2	5,5	46,7	15,1	9,0	10,0	11,6	10,1	8,9	11,5	12,4				
AH700 29RF	Значення	124	142	155	2	179	144	161	162	153	141	142	144				
	Частота, %	5,89	8,7	6,4	56,7	20,5	9,6	12,4	14,5	9,3	11,3	14,2	13,1				
APS10	Значення	118	136	151	2	178	144	164	165	154	155	155	156				
	Частота, %	7,46	9,9	7,2	51,3	21,7	10,5	15,1	15,2	7,8	14,1	15,8	12,7				
HA298	Значення	121	131	140	2	168	128	159	161	149	155	154	154				
	Частота, %	5,85	9,8	6,3	56,9	23,6	9,8	11,3	11,1	7,7	11,8	12,6	13,0				

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I2K670	Значення	125	145	169	2	175	137	166	167	164	164	164	166
	Частота, %	4,04	8,2	6,7	42,9	12,9	9,9	9,8	10,6	11,1	9,8	12,7	13,7
I3K1070	Значення	127	138	149	2	177	138	160	162	150	154	154	155
	Частота, %	7,10	12,2	6,0	54,0	24,8	11,5	13,6	15,8	8,7	17,7	18,2	17,1
In18906	Значення	130	145	162	2	175	137	162	164	156	164	164	165
	Частота, %	6,13	8,1	6,5	43,7	16,6	10,2	10,0	12,0	8,7	12,1	13,9	12,3
InK85	Значення	119	127	140	2	175	138	159	161	149	153	153	154
	Частота, %	7,27	10,6	7,2	52,7	21,4	11,8	11,6	14,3	8,1	16,0	17,7	14,0
InK1124	Значення	115	124	133	2	171	132	155	156	150	141	141	144
	Частота, %	8,36	13,3	7,6	51,4	29,8	14,5	11,2	10,9	10,8	12,0	13,1	12,3
InK2830	Значення	114	124	139	2	173	135	154	156	152	147	147	150
	Частота, %	6,51	13,5	7,6	58,1	22,9	18,6	10,3	11,2	13,0	12,9	14,1	13,3
LD722	Значення	122	140	160	2	169	134	163	164	161	157	157	161
	Частота, %	3,67	4,9	4,9	44,3	9,3	7,1	5,8	7,2	7,9	4,2	5,9	7,2
LD723	Значення	119	133	152	2	175	136	161	163	152	149	150	151
	Частота, %	3,52	7,4	6,1	53,1	11,8	8,7	7,2	10,2	6,1	6,4	11,0	11,4
M19	Значення	125	131	138	2	166	121	161	161	154	136	136	136
	Частота, %	8,17	9,8	6,5	56,9	22,5	8,4	11,3	13,0	10,5	13,8	16,9	14,7
RHA273	Значення	130	145	160	2	172	131	163	165	155	161	161	162
	Частота, %	8,16	12,2	6,9	58,0	22,3	12,1	17,5	16,9	11,6	24,8	26,3	19,3
SL2966	Значення	140	163	178	2	191	156	174	177	166	165	166	166
	Частота, %	4,34	8,1	6,4	46,9	7,6	7,1	5,5	6,9	6,5	8,3	10,1	9,0

Закінчення табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
КГ13	Значення	135	152	169	2	179	140	170	172	163	165	165	166
	Частота, %	8,02	9,7	8,1	51,4	20,0	11,3	14,7	13,7	10,5	18,3	21,5	15,8
КГ15	Значення	128	142	158	2	172	135	159	162	151	161	161	161
	Частота, %	6,26	9,8	6,2	58,8	17,7	15,9	8,6	10,0	6,8	13,5	15,1	13,9
КГ111	Значення	130	147	160	2	175	137	166	166	159	164	164	164
	Частота, %	5,75	8,8	6,5	53,0	15,3	10,2	12,6	11,7	7,0	15,2	16,8	16,3
КГ113	Значення	122	132	142	2	176	138	161	163	156	152	152	152
	Частота, %	7,04	10,1	6,9	57,2	25,2	9,9	15,5	17,0	10,8	15,7	17,7	15,2
ЛГ7242	Значення	132	157	176	2	189	157	174	177	164	161	161	161
	Частота, %	4,86	7,3	7,2	48,2	5,5	6,5	7,3	8,0	6,1	10,0	10,5	9,3
ЛГ259524	Значення	129	135	147	2	170	127	163	165	158	161	161	161
	Частота, %	5,51	6,6	5,5	57,9	15,2	7,9	10,2	10,5	9,2	14,7	16,4	16,2
СЛГ1218	Значення	112	128	140	2	182	145	166	168	161	146	146	146
	Частота, %	6,22	9,0	5,3	48,1	17,5	10,8	10,4	12,5	11,0	13,6	15,3	13,1
СЛГ2354	Значення	130	157	178	2	187	156	173	177	158	162	164	164
	Частота, %	3,75	5,7	6,3	44,7	5,9	6,2	5,2	5,9	4,4	4,8	6,0	5,7
Л2К20031	Значення	113	124	142	2	173	136	157	159	153	153	152	155
	Частота, %	10,57	15,0	15,6	56,3	15,2	11,3	9,7	11,5	8,7	12,6	13,9	10,8
Іn7034	Значення	122	138	153	2	168	128	155	156	146	155	155	157
	Частота, %	11,51	14,6	18,0	48,9	21,5	11,1	10,1	11,1	8,6	12,0	13,5	12,7
Іn18917	Значення	189	202	218	2	171	130	153	155	153	134	139	142
	Частота, %	5,15	4,8	8,0	73,6	30,5	33,2	4,0	5,2	6,2	4,4	4,2	4,4

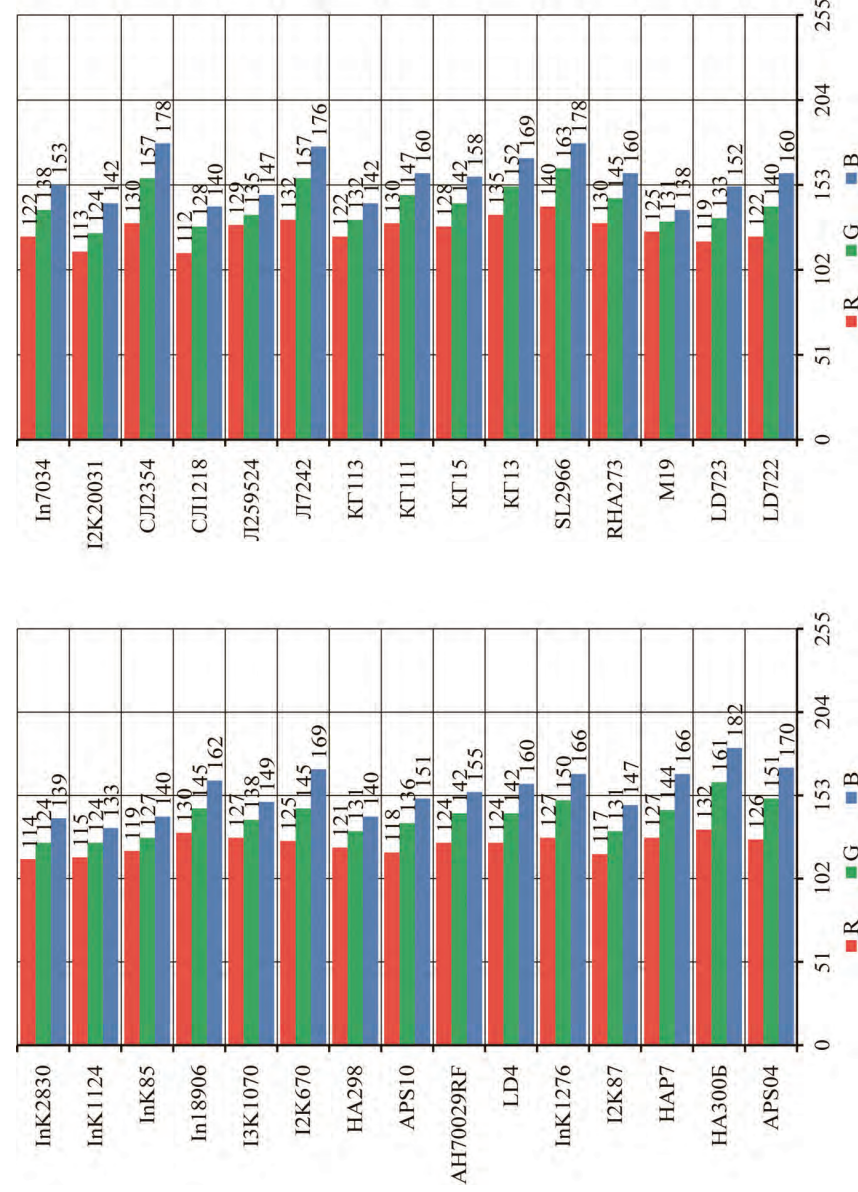


Рис. 2.8. Гістограма значень максимумів каналів у колірному просторі RGB при червоному освітленні сортозразків соняшнику

Розділ 3

Реалізація результатів досліджень

3.1. Алгоритм і програмне забезпечення визначення фракційного складу насіння соняшнику за фотозображенням

Сутність визначення фракційного складу соняшнику полягала в отриманні зображення насінневої суміші на поверхні та подальша його обробка за таким алгоритмом. Цей алгоритм використовує новий метод аналізу зображень, за допомогою якого можна зменшити час, потрібний для підготовки насіння та зйомки зображень. Контури насіння автоматично розпізнаються з цифрових зображень, і обчислюється кілька параметрів форми, такі як довжина L , ширина B , площа S та довжина периметра P насіння.

Спочатку на зображенні вибирають прямокутну область фракції «схід» зернового або насінневого матеріалу. За результатами сканування зазначеної області проводять морфологічні перетворення, метою яких є позбавлення зображень випадкових краплень, шумів і об'єднання зон, розділених тінню.

Алгоритм і реалізоване відповідне програмне забезпечення на базі Visual Studio C++ і бібліотеки OpenCV аналізує всі зображення, що отримані з фотокамери. В результаті аналізу автоматично ідентифікуються насіння через взяття послідовних точок по периметру насіння та максимізації або мінімізації значень у такій послідовності:

- завантаження зображення;
- перетворення в 1-бітне зображення (чорне насіння на білому фоні);
- аналіз морфології для видалення шумів і пропусків;

- визначення контурів, позначивши все насіння на зображенні та обчисливши довжину L , ширину B , площу S та довжину периметра P насіння.

Зображення обробляється в три етапи (рис. 3.1).

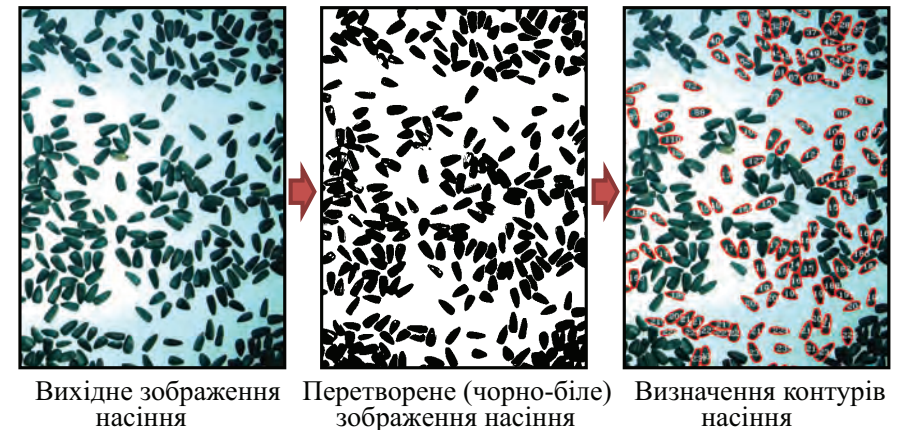


Рис. 3.1. Етапи обробки зображення

По-перше, зображення обраної прямокутної області фракції зернового або насінневого матеріалу перетворюється з 24-розрядного (повнокольорового) на 1-бітне (чорно-біле) за допомогою методу сегментації, щоб отримати чорні насіння на білому [92]. Цей спосіб стабільний до рівня освітлення.

По-друге, будь-який шум або пропуск видаляється. Програмне забезпечення використовує функції OpenCV Erode та Dilate на основі морфологічних операцій [93].

По-третє, з використанням детектора границь Кенні та перетворення Хафа функція OpenCV FindContour [94] автоматично визначає контур кожного насіння в 1-бітному зображенні, який набуває набір координат (рис. 3.2)

$$P_i = (x_i, y_i). \quad (3.1)$$

Положення початкової точки системи координат $O(0, 0)$ за всіх P_i визначається як лівий верхній кут на зображенні. З набору координат контуру функція OpenCV ContourArea обчислює його

площу, а ArcLength [95] обчислює периметр. Використовуючи ці функції, обчислюються координати центра мас насіння як

$$(x, y) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i, \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n y_i \right). \quad (3.2)$$

Для вимірювання довжини L алгоритм виявляє максимальну відстань між точками по периметру через обчислення всіх відстаней сегмента $hl_{i,j}$ між усіма парами точок контуру (рис. 3.2):

$$hl_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}. \quad (3.3)$$

Найдовший сегмент L визначається через:

$$L = hl_{\max} = \max_{i,j} (hl_{i,j}), P_{h0}(x_{h0}, y_{h0}), P_{h1}(x_{h1}, y_{h1}). \quad (3.4)$$

Для вимірювання ширини B алгоритм виявляє найдовший сегмент, який перпендикулярний довжині L (рис. 3.2):

$$wl_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \left(\text{if } \frac{(y_{h1} - y_{h0})(y_i - y_j)}{(x_{h1} - x_{h0})(x_i - x_j)} = -1 \right), \quad (3.5)$$

$$B = wl_{\max} = \max_{i,j} (wl_{i,j}), P_{w0}(x_{w0}, y_{w0}), P_{w1}(x_{w1}, y_{w1}). \quad (3.6)$$

Далі, використовуючи властивість нормального розподілу, проводиться процедура поетапного виділення складових, що входять до інтегральної кривої розподілу щільності ймовірності (функція Гауса):

$$P(x) = A \exp \left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\delta^2} \right], \quad (3.7)$$

де $P(x)$ – щільність ймовірності ознаки x (геометричний розмір насінини); A – амплітуда розподілу Гауса; \bar{x} – середнє значення ознаки; δ – середньоквадратичне відхилення ознаки x від середнього \bar{x} .

Використовуючи квадратичну регресію до логарифму попередньої залежності,

$$\ln P(x) = -\frac{x^2}{2\delta^2} + \frac{\bar{x}}{\delta^2}x + \left[\ln A - \frac{\bar{x}^2}{2\delta^2} \right], \quad (3.8)$$

де коефіцієнт при змінній другого порядку $-1/2\delta^2$; при змінній першого порядку \bar{x}/δ^2 ; вільний член $-(\ln A - \bar{x}^2/2\delta^2)$, визначаються всі параметри нормального розподілу граничної ділянки інтегральної кривої. Послідовне видалення виділених Гаусіан дає змогу відновити всі складові. Кожна компонента має свій максимум, що відповідає середньому значенню геометричного розміру насінини і площі нормованої до одиниці, яка у відсотковому вираженні відображає сумарну концентрацію тієї чи іншої фракції зернової або насінневої суміші (θ_p %).

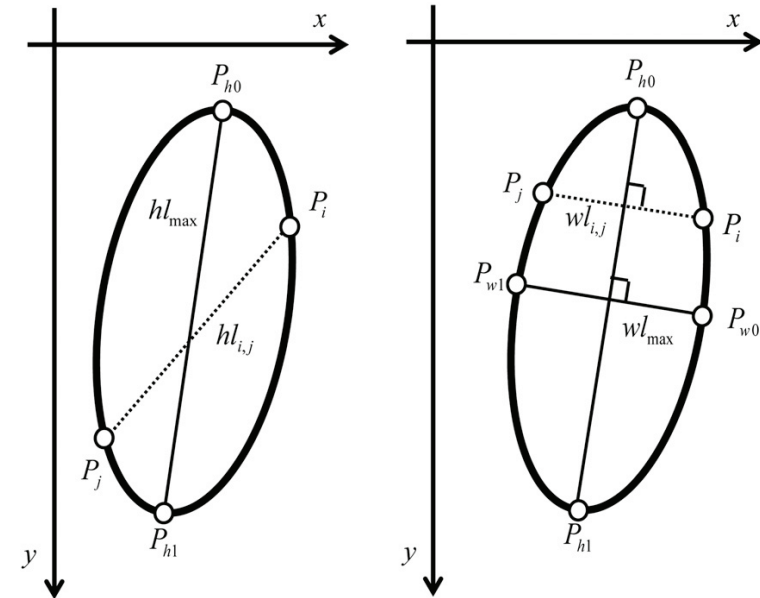


Рис. 3.2. Схема визначення параметрів насіння

Для відпрацювання зазначеної методики було складено спеціалізований штатив із фотокамерою ELP-USBFHD01M-BFV і джерелом світла, загальний вигляд яких представлено на рис. 3.3.

Вихідним матеріалом за проведення експериментальних досліджень була насіннева суміш соняшнику, до складу якої входили такі сортозразки соняшнику селекції Інституту олійних культур НААН: Сл2613, 14RHA274, BK419-2, InK22, InK404, I2K2218, ВИР130,

КГ9. Калібрування за геометричними розмірами проводилося за допомогою комплекту лабораторних решіт на лабораторному розсіві РЛУ-3.

У результаті фотозйомки отримано набір зображень насінин соняшнику різних фракцій «проходу» \varnothing 5 мм – \varnothing 10 мм (рис. 3.4).



Рис. 3.3. Загальний вигляд спеціалізованого штатива із фотокамерою ELP-USBFHD01M-BFV і джерелом світла

У результаті обробки зображень насінин соняшнику різних фракцій на розробленому програмному забезпеченні отримано розподіл насіння за їх шириною, що відповідає проведеному калібруванню на комплекті лабораторних решіт (рис. 3.5).

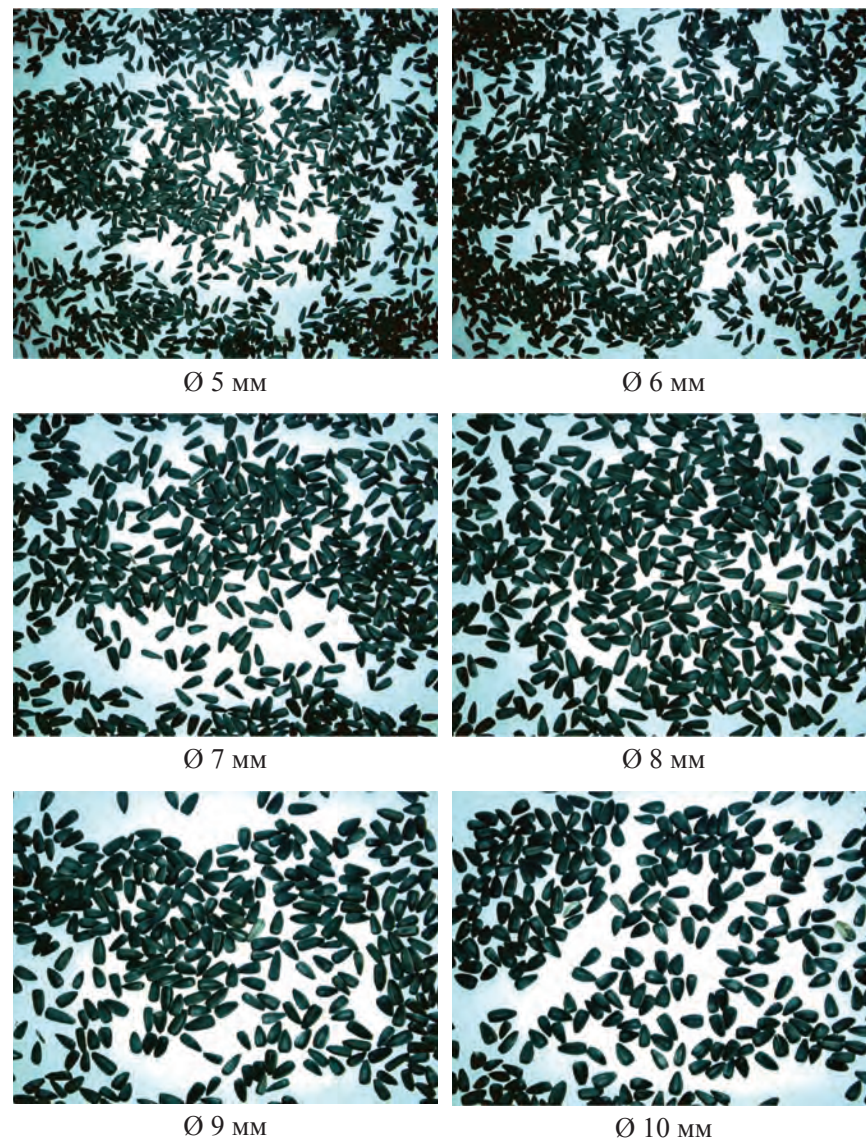
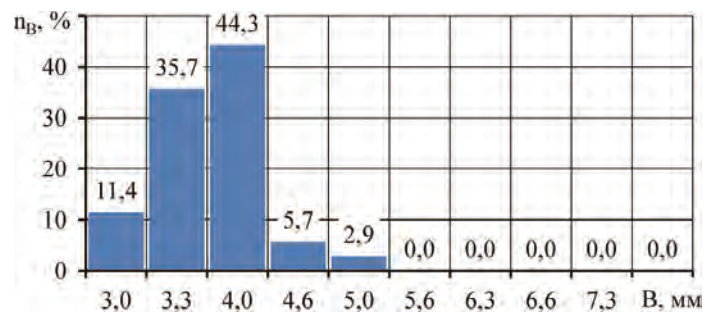
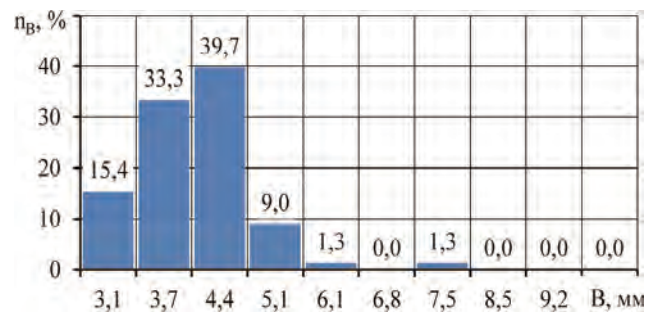


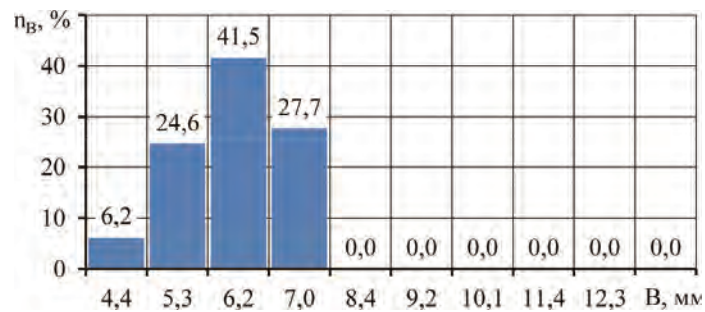
Рис. 3.4. Зображення насінин соняшнику різних фракцій



Ø 5 мм

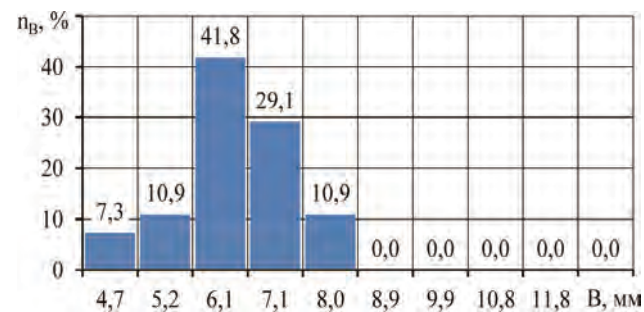


Ø 6 мм

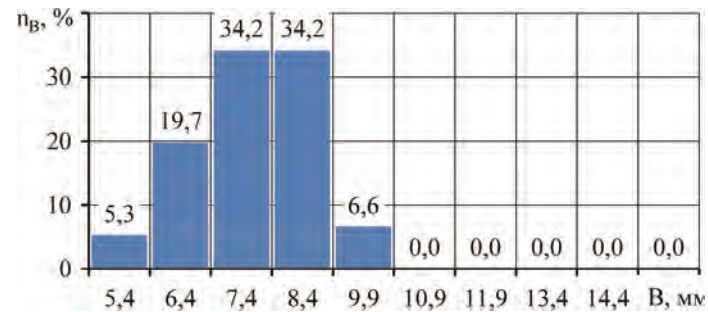


Ø 7 мм

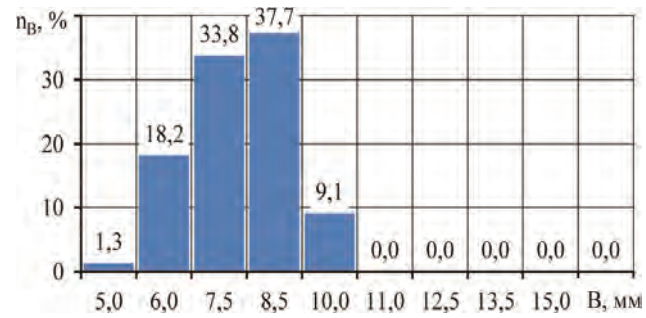
Рис. 3.5. Розподіл насіння за їх шириною при проведенному



Ø 8 мм



Ø 9 мм



Ø 10 мм

калібруванні на комплекті лабораторних решіт

3.2. Блок вимірювання об'ємної маси

Для реалізації розробленої конструктивно-технологічної схеми вібропневматичного сепаратора розроблено блок вимірювання об'ємної маси, загальний вигляд якого у складі експериментального стенду представлено на рис. 3.6. Як тензодатчик із підсилювачем використано Weight sensor HX711. Керування заслінкою і обробку інформації з тензодатчика здійснює апаратно-програмний засіб Arduino Uno ATmega328P-PU у комплексі із реле і актуатором. Електрична схема блока вимірювання об'ємної маси представлена на рис. 3.7. Для забезпечення точності роботи блока було проведено його калібрування відповідно до традиційного методу вимірювання об'ємної маси за допомогою пурки згідно із ДСТУ 4694:2006 [96].

У результаті статичного калібрування з використанням набору лабораторних гир (відхилення від номіналу 0,1 г) встановлено рівняння перерахунку напруги у значення маси:

$$M = 416,6(U - U_0), \quad (3.9)$$

де M – маса, г; U – вимірювана напруга, В; U_0 – початкова напруга, яка встановлюється без навантаження, В.

Коефіцієнт кореляції становить $R = 0,98$.

Оскільки об'ємності блока вимірювання становить $v = 1,03968$ л, то об'ємну масу розраховують за формулою

$$\rho = M/v = 400,7(U - U_0), \quad (3.10)$$

де ρ – об'ємна маса, г/л.

Динамічне калібрування було проведено на експериментальному стенді за подачі насінневої суміші соняшнику різних сортів і різних фракцій. При цьому дослідження проводили для різних значень подачі насінневої суміші соняшнику, які встановлювалися положенням заслінки і частотою коливань лотка блока подачі насінневої суміші. Графічна інтерпретація отриманих результатів представлена на рис. 3.8. Як видно з рисунку, спочатку спостерігається ріст об'ємної маси, що є логічним для процесу заповнення ємності блока вимірювання. Далі відбувається стабілізація значення об'ємної маси, що підтверджує факт повного заповнення ємності блока

вимірювання. Час стабілізації значення, середнє значення остаточної об'ємної маси і її середньоквадратичне відхилення представлено в табл. 3.1.

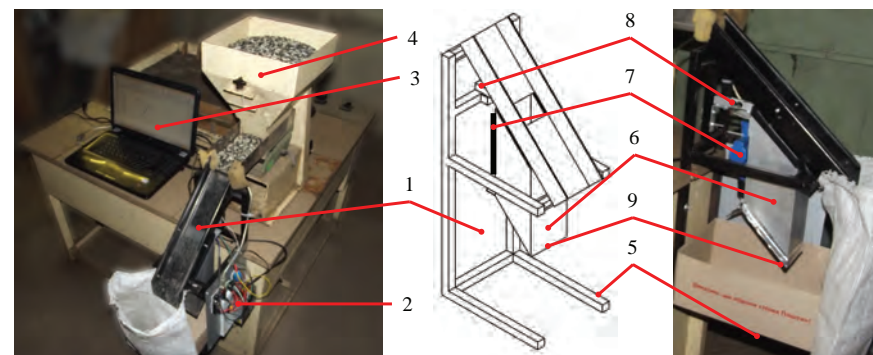


Рис. 3.6. Загальний вигляд блока вимірювання об'ємної маси: 1 – блок вимірювання об'ємної маси; 2 – загальний блок вимірювання; 3 – персональний комп'ютер; 4 – блок подачі насінневої суміші; 5 – рама; 6 – ємність; 7 – актуатор; 8 – тензодатчик; 9 – заслінка

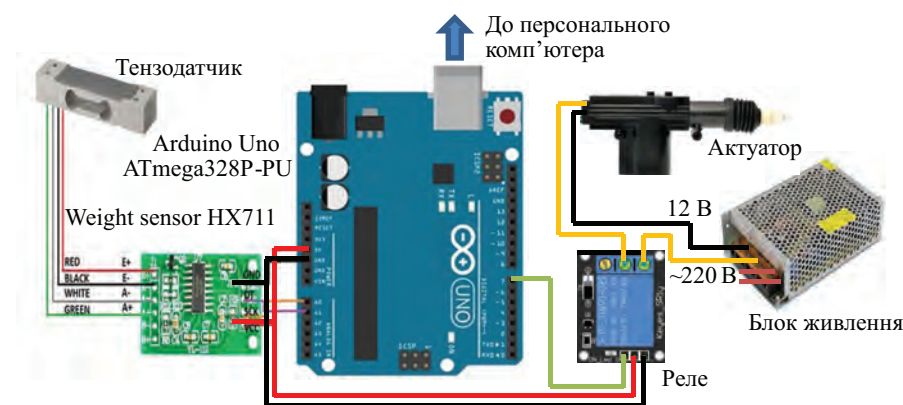


Рис. 3.7. Електрична схема керування блоком вимірювання об'ємної маси

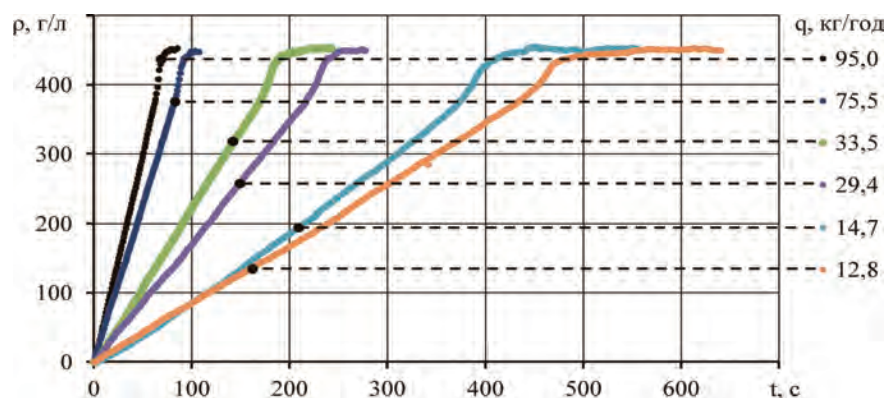


Рис. 3.8. Динамічна залежність вимірної об'ємної маси для різних значень подачі насіннєвої суміші соняшнику

У результаті порівняння отриманих значень із традиційним методом вимірювання об'ємної маси за розрахованим критерієм Пірсона (χ^2) нормальність розподілу похибок вимірювань становить 2,13, більше за табличне значення $\chi^2(0,95;5) = 1,15$. Проведено перевірку гіпотези про однорідність значень за допомогою критерію Кохрена $G = 0,39 < G_{0,05}(1;20) = 0,48$.

Таблиця 3.1. Результати динамічного калібрування блока вимірювання об'ємної маси

Показник	Значення					
Подача, кг/год	14,7	12,8	29,4	33,5	75,5	95,0
Час стабілізації значення, с	440,6	556,1	259,3	215,7	99,2	73,9
Середнє значення об'ємної маси, г/л	453	450	450	453	448	451
Відхилення об'ємної маси, г/л	0,13	0,20	0,83	0,32	0,86	1,27

3.3. Спосіб автоматичного фенотипування насіння

Спосіб автоматичного фенотипування насіння (рис. 3.9) передбачає такі етапи:

1. Розміщення партії насіння в області під фотокамерою, яка ізолювана від зовнішнього освітлення.

2. Почергове опромінення цієї області електромагнітними випромінюваннями, довжина хвилі яких становить 465–470 нм (червоний спектр – R), 515–520 нм (зелений спектр – G), 620–625 нм (блакитний спектр – B).

3. За допомогою фотокамери та програмного забезпечення, яке ґрунтується на бібліотеці алгоритмів комп'ютерного зору OpenCV [97], з використанням модуля HighGui отримують цифрові зображення розміщеної партії насіння в кожному з трьох опромінь.

4. З використанням модулів cvtColor та inRange бібліотеки OpenCV [28] отримані зображення обробляють у колірному просторі HSV (Hue – основний тон, Saturation – насиченість кольору, Value – кількість світла) і перетворюють на чорно-біле зображення.

5. З використанням модулів getStructuringElement і erode бібліотеки OpenCV [97] проводять морфологічні перетворення отриманих зображень, метою яких є позбавлення зображень випадкових крапель, шумів і об'єднання областей, розділених тінню.

6. З отриманих зображень для кожної насінини з партії визначають відповідну матрицю даних їх забарвлення при трьох видах опромінення:

$$\begin{pmatrix} H_R & H_G & H_B \\ S_R & S_G & S_B \\ V_R & V_G & V_B \end{pmatrix}, \quad (3.11)$$

де H – основний тон; S – насиченість кольору; V – кількість світла; індекси R, G, B – відповідають довжині хвилі електромагнітного випромінювання (освітлення), що діє на область під фотокамерою.

7. З отриманих зображень, перетворених на чорно-білий кольоровий простір з використанням детектора границь Кенні (модуль cvCanny бібліотеки OpenCV) і перетворення Хафа для кожного

насіння визначають координати його контуру і апроксимують до математичного рівняння в Декартовій системі координат.

8. З отриманих контурів кожного насіння визначають їх геометричні розміри: довжину як найбільшу відстань між двома протилежними точками контуру з урахування симетрії, та ширину як найбільшу відстань між точками контуру, що перпендикулярна довжині.

9. Задаючи необхідні діапазони математичних значень визначених морфологічних показників насіння (забарвлення, геометричні розміри і форма), здійснюється їх розділення.

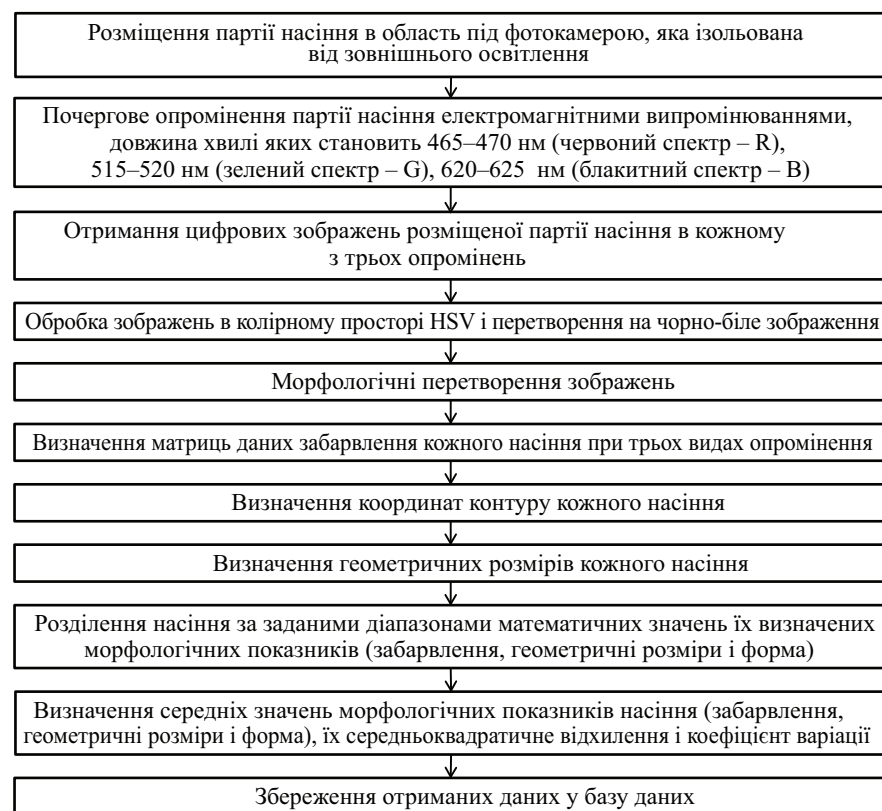


Рис. 3.9. Етапи способу автоматичного фенотипування насіння

10. Для кожної групи розділеної партії насіння визначаються середні значення визначених морфологічних показників насіння (забарвлення, геометричні розміри і форма), їх середньоквадратичне відхилення і коефіцієнт варіації.

11. Усі отримані дані зберігають у базі даних.

3.4. Обґрунтування конструктивно-технологічних схем

Спосіб автоматичного фенотипування було реалізовано на двох пристроях: матричному і стрічковому.

Матричний пристрій для автоматичного фенотипування насіння (рис. 3.10) містить раму 1 і розміщену на ній матрицю 2. Матриця 2 (рис. 3.11) складається з двох однакових пластин 3 і 4, які розміщені дзеркально і повернуті одна від одної на кут 90°. Пластини 3 і 4 містять квадратні отвори, які розміщені на них по горизонталі й вертикалі (рис. 3.11). На кожній пластині 3 і 4 відповідно до горизонтального розміщення отворів зроблені повздовжні поглиблення. Між пластинами 3 і 4 розміщено однакові смуги 5 по горизонталі й вертикалі. Кожна смуга 5 має квадратні отвори, що збігаються за розмірами і розміщенням із отворами на пластинах 3 і 4. Пластини 3 і 4 та смуги 5 утворюють на матриці 2 комірки. До кожної смуги 5 з одного краю закріплено шток тягнучого електромагніта (соленоїда) 6, а з іншого – пружину розтягування 7. Кожні тягнучий електромагніт (соленоїд) 6 і пружина розтягування 7 жорстко закріплено на рамі 1. На рамі 1 встановлено чотири направляючі 8, на яких вільно переміщується основа 9, що фіксується за допомогою фіксаторів 10. На основі 9 розміщено фотокамеру 11 і однакову кількість різнокольорових ламп 12 трьох спектрів електромагнітного випромінювання: червоний (R), зелений (G) і блакитний (B). Навколо основи 9 і рами 1 розміщуються стінки 13 із світлонепроникного матеріалу. Кожний тягнучий електромагніт (соленоїд) 6 і різнокольорові лампи 12 приєднані за допомогою електричних проводів до блока керування 14. Фотокамеру 11 приєднано за допомогою електричних проводів до персонального комп'ютера 15, який, своєю чергою, з'єднується і блоком керування 14. Внизу рами 1 встановлено піддон 16 для збирання насіння.

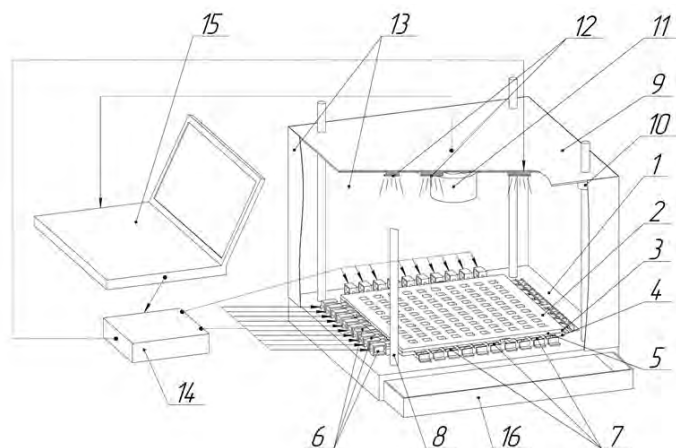


Рис. 3.10. Конструктивно-технологічна схема матричного пристрою для автоматичного фенотипування насіння

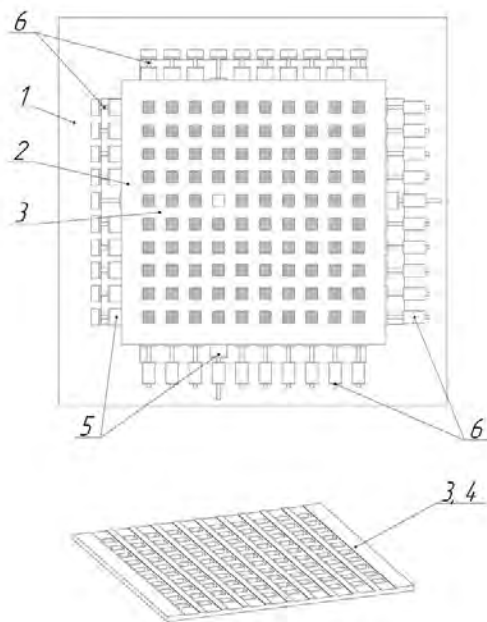


Рис. 3.11. Конструктивно-технологічна схема матриці

Матричний пристрій для автоматичного фенотипування насіння працює так.

Фіксатори 10 послаблюються і основа 9 піднімається вгору по направляючому 8. При цьому з'являється вільний доступ до рами 1 із матрицею 2. Насіння, що потрібно дослідити, розміщують у комірках на матриці 2. Далі основу 9 зі стінками 13 опускають вниз по направляючому 8 і фіксують за допомогою фіксаторів 10.

Оператор запускає на персональному комп'ютері 15 відповідне програмне забезпечення на основі бібліотеки алгоритмів комп'ютерного зору OpenCV, яке виконує процес сканування насіння. При цьому персональний комп'ютер передає цифровий сигнал до блока керування 14, який по чергово вмикає різнокольорові лампи 12 у таких спектрах електромагнітного випромінювання: червоний (R), зелений (G) і блакитний (B). Після кожного вмикання різнокольорових ламп 12 фотокамера 11 фотографує матрицю 2 із розміщеним на ній насінням і передає цифрове зображення до персонального комп'ютера 15.

Персональний комп'ютер 15 визначає колір кожного насіння при кожному вмиканні різнокольорових ламп 12 у червоному (R), зеленому (G) і блакитному (B) спектрах у кольоровому просторі HSV (Hue – основний тон, Saturation – насиченість кольору, Value – кількість світла). Крім того, персональний комп'ютер за отриманими зображеннями визначає форму і геометричні розміри кожного насіння, що досліджується. Вся визначена інформація зберігається у базі даних, відображається на дисплеї персонального комп'ютера 15 і подається на огляд оператору.

Оператор з огляду на представлені дані встановлює потрібні йому діапазони кольору та геометричних розмірів і форми насіння і вносить їх у персональний комп'ютер 15. Далі персональний комп'ютер 15 передає цифровий сигнал до блока керування 14. Блок керування 14 починає по чергово вмикати тягучі електромагніти (соленоїди) 6, що відповідають коміркам матриці 2, в яких лежать насіння із кольором, геометричними розмірами і формою, заданими оператором. Після вмикання тягучого електромагніта (соленоїда) 6 смуга 5 зміщується відносно матриці 2 і відкриває відповідні комірочки. При зміщенні горизонтальної і вертикальної смуги 5 однозначно

відкривається одна комірка і насіння випадає в піддон 16. Далі блок керування 14 вмикає тягучі електромагніти (соленоїди) 6 і смуги 5 під дією пружин розтягування 7 повертаються у початкове положення. Так у піддон 16 потрапляє насіння, яке відповідає заданим оператором вимогам щодо кольору, геометричних розмірів і форми.

Стрічковий пристрій для автоматичного фенотипування насіння (рис. 3.12) містить раму 1 і розміщений на ній стрічковий транспортер 2. Стрічковий транспортер 2 містить стрічку 3 і електродвигун 4. Перед стрічковим транспортером 2 на рамі 1 закріплено лоток подачі насіння 5 на резинових амортизаторах 6. Лоток подачі насіння 5 оснащений регульованою заслінкою 7. До нижньої частини лотка подачі насіння 5 кріпиться вібродвигун 8. На початку і в кінці стрічкового транспортера 2 навпроти один одного встановлені інфрачервоні світлодіоди 9 і 10 та фотоприймачі 11 і 12 відповідно. Над стрічковим транспортером 2 встановлені фотокамера 13, RGB-світлодіоди 14 і труба 15 із світлонепроникного матеріалу. Після стрічкового транспортера 2 встановлено приймальний лоток 16 на тензодатчику 17, який закріплено на рамі 1. Тензодатчик 17 по засобам електричних проводів приєднано до підсилювача 18. Електродвигун 4, вібродвигун 8, інфрачервоні світлодіоди 9 та 10, фотоприймачі 11 та 12, RGB-світлодіоди 14, підсилювач 18 за допомогою електричних проводів приєднано до блока керування 19. Своєю чергою, блок керування 19 і фотокамеру 13 за допомогою електричних проводів приєднано до персонального комп'ютера 20.

Стрічковий пристрій для автоматичного фенотипування насіння працює так.

Насіння, яке потрібно дослідити, розміщують у лотку подачі насіння 5. За використання регульованої заслінки 7 встановлюють задану подачу насіння на стрічковий транспортер 2. Далі оператор запускає на персональному комп'ютері 20 відповідне програмне забезпечення на основі бібліотеки алгоритмів комп'ютерного зору OpenCV і послідовного порту COM. Персональний комп'ютер 20 передає сигнал про початок роботи до блока керування 19, який включає вібродвигун 8 і електродвигун 4. Вібродвигун 8 створює вібраційні коливання лотка подачі насіння 5, і як наслідок, насіння потрапляє на стрічку 3, яка переміщується під дією електродвигуна 4.

Насіння проходить між інфрачервоним світлодіодом 9 і фотоприймачем 11. У результаті чого формується сигнал, який через блок керування 19 потрапляє до персонального комп'ютера 20. Персональний комп'ютер 20 вмикає фотокамеру 13 і передає сигнал до блока керування 19 про почергове вмикання RGB-світлодіодів 14. Зображення насіння в трьох освітленнях зберігається у базі даних персонального комп'ютера 20.

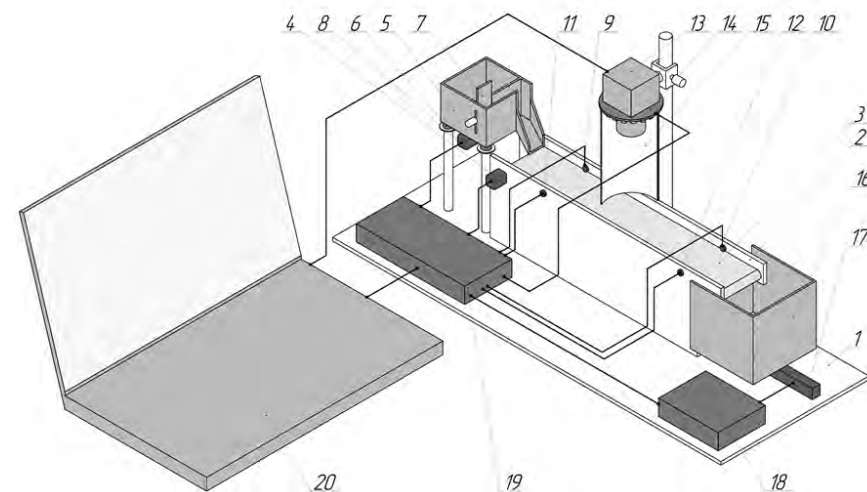


Рис. 3.12. Конструктивно-технологічна схема стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння

Далі насіння проходить між інфрачервоним світлодіодом 10 і фотоприймачем 12. У результаті чого формується сигнал, який через блок керування 19 потрапляє до персонального комп'ютера 20. В кінці стрічкового транспортера 2 насіння потрапляє до приймального лотка 16. Сигнал з тензодатчика 17 через підсилювач 18 і блок керування 19 потрапляє до персонального комп'ютера 20, де значення маси насінини записується в базу даних.

Зображення насіння обробляється персональним комп'ютером 20. При цьому визначається колір кожного насіння при кожному вмиканні RGB-світлодіодів 14 у червоному (R), зеленому (G) і блакитному (B) спектрах у колірному просторі HSV (Hue – основний

тон, Saturation – насиченість кольору, Value – кількість світла). Крім того, персональний комп'ютер 20 за отриманими зображеннями визначає форму і геометричні розміри кожного насіння, що досліджується. Вся визначена інформація зберігається у базі даних, відображається на дисплеї персонального комп'ютера 20 і подається на огляд оператора.

Отже, запропонований спосіб і пристрої для його здійснення зберігають точність індивідуального вимірювання геометричних розмірів насіння, визначення їх форми і забарвлення, що відповідає сучасним вимірювальним засобам та забезпечують низьку трудомісткість і високу технологічність реалізації процедури фенотипування (визначення, ідентифікації і сепарації) насіння як селекційного матеріалу за його морфологічними і маркерними ознаками. Крім того, запропонований спосіб і пристрої для його здійснення дають змогу визначати морфологічні і маркерні ознаки (геометричний розмір, форму і забарвлення) всієї вибірки, що неможливо виконати за допомогою безпосереднього вимірювання, чим підвищує загальну продуктивність дослідження. При цьому також значною мірою виключається вплив людського фактора на точність вимірювання морфологічних і маркерних ознак (геометричний розмір, форму і забарвлення) насіння.

3.5. Експериментальна перевірка макетного зразка обладнання

Експериментальну перевірку матричного пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику було проведено на макетному зразку, загальний вигляд якого представлено на рис. 3.13.

Як фотокамеру використано Video Microscope Camera 1080P 16MP HDMI USB виробництва Eakins. Керування матричним пристроєм для автоматичного фенотипування насіння здійснює апаратно-програмний засіб Arduino Uno ATmega328P-PU у комплексі із сервоприводами SG 90 і блоком реле. Електричну схему макетного зразка матричного пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику подано на рис. 3.14.

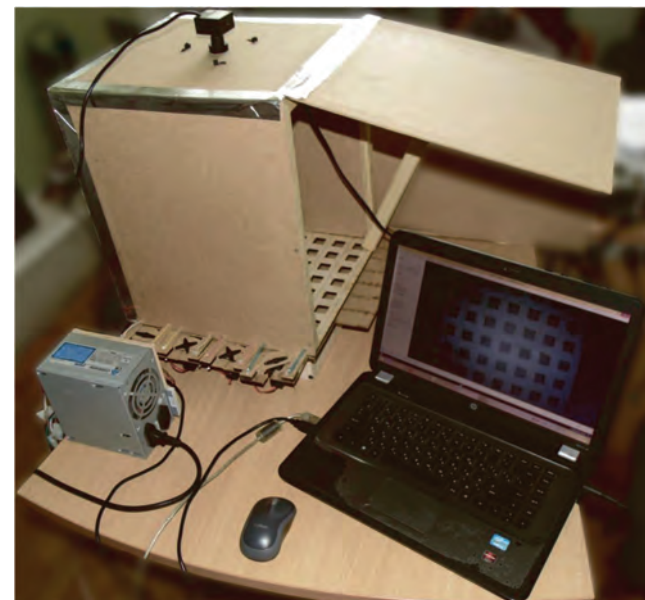


Рис. 3.13. Загальний вигляд макетного зразка матричного пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику

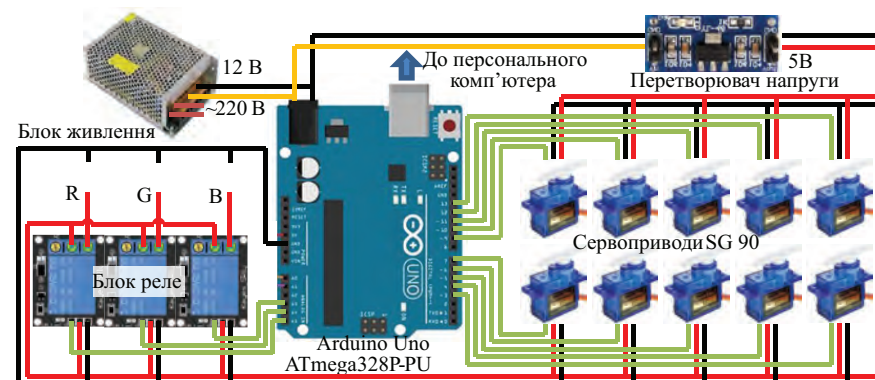


Рис. 3.14. Електрична схема макетного зразка матричного пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику

У результаті експериментальної перевірки матричного пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику встановлено його продуктивність, яка становила 1 кг/год, і споживчу потужність (разом із персональним комп'ютером) – 76 Вт. Під час перевірки було проведено операцію сепарації 143 сортозразків соняшнику за морфологічними і маркерними ознаками. Матричний пристрій для автоматичного фенотипування насіння соняшнику забезпечує низьку трудомісткість і високу технологічність реалізації процедури сепарації зразків насіння як селекційного матеріалу за його морфологічними і маркерними ознаками.

Експериментальну перевірку стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику було проведено на макетному зразку, загальний вигляд якого представлено на рис. 3.15.

Як тензодатчик із підсилювачем використано Weight sensor HX711. Як фотокамеру використано Video Microscope Camera 1080P 16MP HDMI USB виробництва Eakins. Керування стрічковим пристроєм для автоматичного фенотипування насіння здійснює апаратно-програмний засіб Arduino Uno ATmega328P-PU у комплексі із блоком реле. Електричну схему макетного зразка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику подано на рис. 3.16.

У результаті експериментальної перевірки стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику встановлено його продуктивність, яка становила 5 кг/год, і споживчу потужність (разом із персональним комп'ютером) – 114 Вт. Під час перевірки було створено базу даних морфологічних і маркерних ознак насіння 31 сортозразка соняшнику. Стрічковий пристрій для автоматичного фенотипування насіння соняшнику забезпечує низьку трудомісткість і високу технологічність реалізації процедури фенотипування (визначення та ідентифікації) насіння як селекційного матеріалу за його морфологічними і маркерними ознаками.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях [98–109].

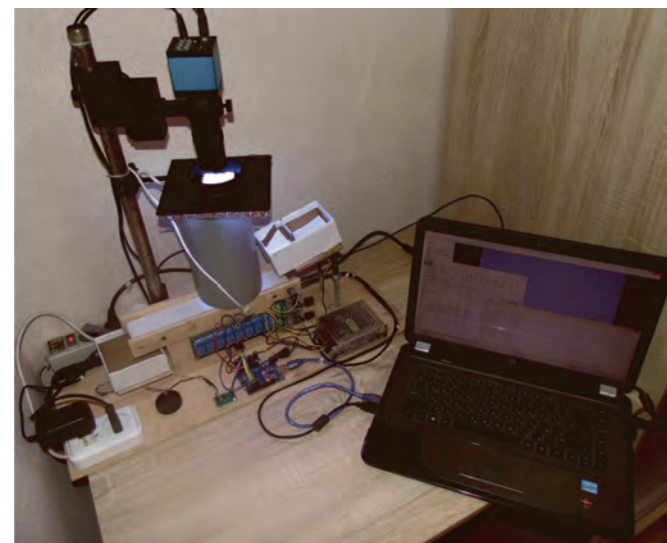


Рис. 3.15. Загальний вигляд макетного зразка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику

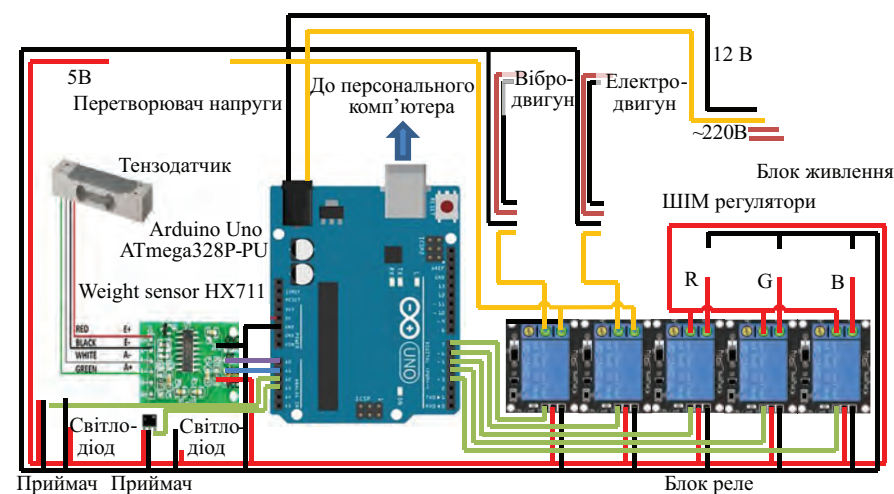


Рис. 3.16. Електрична схема макетного зразка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику

Висновки

На підставі системного підходу визначено структуру адаптивного техніко-технологічного забезпечення первинного насінництва соняшнику, що дає можливість здійснювати пошук слабких ланок в технологічних процесах доробки та біоінформативної систематизації насінневого матеріалу за якістю розподілу та продуктивністю ліній при мінімізації питомих витрат. За результатами досліджень зроблено такі висновки:

1. За вимогами до технологічних процесів очищення та розділення насіннєвої суміші для отримання насінневого матеріалу соняшнику батьківських компонентів (сортова чистота – 98,0–99,9 %) для всіх ланок селекційно-насінницького процесу розроблено раціональну прецизійну технологічну схему лінії процесів сепарації, яка включає автоматизацію технічних засобів. Для підвищення ефективності селекційно-насінницького процесу соняшнику щодо розробленої технологічної лінії додано пристрій для автоматичного фенотипування насіння, що дає можливість значно інтенсифікувати та скоротити селекційний процес і поліпшити проектування програми схрещування завдяки біоінформативному аналізу даних і сортування насіння. Отже, пристрій для фенотипування насіння може слугувати основою для розробки інформаційно-аналітичного програмного комплексу селекціонера.
2. Розроблено модель впливу агротехнологічних і техніко-технологічних параметрів на насіннєву суміш, яка містить частково керований вплив (селекцію, підготовку ґрунтів, післяпосівну обробку та ін.), випадковий некерований вплив (погода, температура, механічні пошкодження під час збирання та ін.) і керований фізичний вплив (усі види сепарації). Встановлені узагальнені перетворення зміни стану (фізико-механічних і морфологічних властивостей) насіннєвої суміші (2.9) в результаті керованого фізичного впливу.
3. Розроблено математичну модель замкнутої системи автоматичного фенотипування насіння соняшнику із реалізацією принципу відбракування за кількома параметрами (забарвленням, формою, геометричними розмірами) за допомогою перетворювачів зображення, які реалізовані на визначенні забарвлення і контуру насіння у колірному просторі HSV.
4. Результати експериментальних досліджень процесу автоматичного фенотипування насіння різних сортозразків соняшнику дали змогу встановити середню похибку визначення геометричних розмірів насіння соняшнику (довжини L і ширини B) – 0,06 мм. Розрахунок коефіцієнтів калібрувальної характеристики вимірювання геометричних розмірів із використанням експериментального пристрою для автоматичного фенотипування з припущенням, що ця залежність є лінійною, було перевірено з використанням критерію Фішера $F = 1,15 < F_{0,05}(91, 100) = 1,39$.
5. Встановлено гістограми розподілу кольорів областей насіння соняшнику в колірному просторі RGB за різного освітлення. У результаті аналізу отриманих гістограм розподілу кольорів областей насіння соняшнику в колірному просторі RGB встановлено, що у випадку однорідності кольору найвиразніше видно дискретність каналів при червоному освітленні. При цьому гістограма має по одному максимуму для кожного каналу, який зміщується залежно від забарвлення насіння. Так, для чорного забарвлення $R = 182–189$, $G = 194–202$, $B = 211–218$, а для білого $R = 112–118$, $G = 124–129$, $B = 133–139$. Також виявлено, що у випадку двокольорового забарвлення насіння соняшнику на гістограмах спостерігається два максимуми, кожен з яких відповідає певному кольору. Частоти цих максимумів відповідають інтенсивності кожного з кольорів. Враховуючи зазначене вище, можна визначити показник забарвлення насіння C як матрицю частот f відповідних максимумів (\max) в колірному просторі RGB при червоному освітленні насіння (2.15).
6. У результаті досліджень розроблено відповідне програмне забезпечення для визначення фракційного складу насіння за фотозображенням, які ґрунтуються на його перетворенні з

- 24-розрядного (повнокольорового) на 1-бітне (чорно-біле) за допомогою методу сегментації, обробки на основі морфологічних операцій і з використанням детектора границь Кенні та перетворення Хафа автоматичного визначення контуру кожного насіння в 1-бітному зображенні з подальшим обчисленням довжини L , ширини B , площі S та довжини периметра P насіння.
7. Розроблено і проведено калібрування блока вимірювання об'ємної маси адаптивного вібропневматичного сепаратора. У результаті порівняння отриманих значень із традиційним методом вимірювання об'ємної маси (ДСТУ 4694:2006) за розрахованим критерієм Пірсона (χ^2) нормальність розподілу похибок вимірювань становить 2,13, більше за табличне значення $\chi^2(0,95;5) = 1,15$. Поведено перевірку гіпотези про однорідність значень за допомогою критерію Кохрена $G = 0,39 < G_{0,05}(1;20) = 0,48$.
 8. Розроблено матричний і стрічковий пристрої для автоматичного фенотипування насінневого матеріалу соняшнику за його морфологічними і маркерними ознаками. Пристрої налаштовані на високу точність індивідуального вимірювання геометричних розмірів насіння соняшнику із визначенням їх форми й забарвлення та забезпечують низьку трудомісткість і високу технологічність реалізації процедури фенотипування (визначення, ідентифікації і сепарації) насіння.

Список використаних джерел

1. *Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2020 рік*. Київ: Міністерство аграрної політики та продовольства України, 2020. 447 с.
2. *Державна цільова програма розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року*. *Офіційний вісник України*. 2020. № 24. 11 с.
3. *Державна служба статистики України (2020)*. Економічна статистика/Економічна діяльність/Сільське, лісове та рибне господарство. URL: https://ukrstat.org/uk/operativ/menu/menu_u/cg.htm
4. *ДСТУ 2240-93*. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. Київ: Держстандарт України, 1993. 74 с.
5. *Кириченко В. В., Петренкова В. П., Кривошеєва О. В. та ін.* Ідентифікація морфологічних ознак соняшнику (*Helianthus L.*): посібник. Харків: Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва УААН, 2007. 78 с.
6. *Кутіщева Н. М., Одинець С. І., Шудря Л. І. та ін.* Каталог робочої колекції ліній-відновників фертильності пилку (*Helianthus annuus L.*). Запоріжжя: Інститут олійних культур НААН, 2015. 36 с.
7. *Кириченко В. В., Сивенко В. І., Сивенко О. А. та ін.* Каталог ліній-відновників фертильності пилку соняшнику (*Helianthus annuus L.*). Харків: Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, 2015. 33 с.
8. *Кириченко В. В.* Селекція и семеноводство подсолнечника (*Heliantus annus*). Харьков, 2005. 387 с.
9. *Кириченко В. В.* Основи управління продукційним процесом польових культур. Харків, 2016. 711 с.
10. *ДСТУ 4138-2002*. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ: Держстандарт України, 2002. 173 с.
11. *Петренкова В. П., Кривошеєва О. В., Леонова Н. М.* Створення високобілкових ліній соняшнику для кондитерського напряму селекції. *Сучасні технології селекційного процесу сільськогосподарських*

культур: зб. тез міжнар. наук. симп. (7–8 лип. 2004, м. Харків). УААН, Ін-т рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. Харків, 2004. С. 138–139.

12. *Леонова Н. М., Кириченко В. В., Сивенко А. А.* Проявление эффекта гетерозиса и комбинационная способность линий подсолнечника кондитерского типа. *Масличные культуры*. Научно-технический бюллетень ВНИИ масличных культур. 2015. Вып. 1 (161). С. 16–21.

13. *Атлас* морфологічних ознак сортів рослин соняшнику однорічного (*Helianthus annuus* L.). *Методики проведення інспектування насінницьких посівів соняшнику однорічного*: наочне доповнення. Український інститут експертизи сортів рослин. Київ: Алефа, 2011. 87 с.

14. *Нікітчин Д. І.* Соняшник. Київ: Урожай, 1993. 192 с.

15. *Gorohivets, N. A., Vedmedeva, E. V.* (2016). Inheritance of epidermis pigmentation in sunflower achenes. *Cytol Genet.* 50. 2: 116–120. DOI: 10.3103/S0095452716020031

16. *Poliakova, N. A., Vedmedeva, E. V.* (2016). Inheritance of Anthocyanin Coloration Trait in Pericarp of Sunflower Seeds. *HELIA*. P. 81–90. DOI: 10.1515/helia-2016-0005

17. *Ведмедева К. В.* Окраска краевых цветков в коллекции линий подсолнечника. *Масличные культуры*. Научно-технический бюллетень ВНИИ масличных культур. 2017. Вып. 4 (172). С. 31–38.

18. *Шевченко І. А., Лях В. О., Поляков О. І. та ін.* Льон олійний, гірчиця. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені культури). Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Запоріжжя: СТАТУС, 2017. 44 с.

19. *Шевченко І. А., Поляков О. І., Ведмедева К. В., Комарова І. Б.* Рижій, сафлор, кунжут. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені культури). Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Запоріжжя: СТАТУС, 2017. 40 с.

20. *Окнин Б. С., Горбачев И. В., Терехин А. А., Соловьев В. М.* Машины для послеуборочной обработки зерна. Москва: Агропромиздат, 1987. 238 с.

21. *Тарасенко А. П.* Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян: учеб. пособ. Москва: Колос, 2008. 232 с.

22. *Трубилин Е. И., Федоренко Н. Ф., Глишев А. И.* Механизация послеуборочной обработки зерна и семян: учеб. пособ. для студентов с.-х. вузов. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2009. 96 с.

23. *Галкин В. Д., Кошурников А. Ф., Хавыев А. А. и др.* Вибропневмосепараторы и их использование в линиях очистки семян: учеб. пособ. М-во с.-х. РФ; федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высш. проф. образов. Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д. Н. Прянишникова. 2-е изд. перераб. и доп. Пермь: ИПЦ «ПрокростЪ», 2014. 102 с.

24. *Шафоростов В. Д.* Универсальная контейнерная технология послеуборочной обработки семенного материала. *Масличные культуры*. Научно-технический бюллетень ВНИИ масличных культур. 2013. Вып. № 2 (155–156). С. 108–112.

25. *Шафоростов В. Д., Припоров И. Е.* Усовершенствование универсального семяочистительного комплекса. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2014. № 8–1 (27). С. 71–73.

26. *Шафоростов В. Д., Тюрин А. А., Перетягин Е. А.* Основные направления совершенствования технологии подготовки семенного материала высших репродукций. *Масличные культуры*. Научно-технический бюллетень ВНИИ масличных культур. 2005. Вып. № 2 (133). С. 58–63.

27. *Шафоростов В. Д., Припоров И. Е.* Качественные показатели работы универсального семяочистительного комплекса на базе отечественных семяочистительных машин нового поколения. *Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК*: сб. науч. трудов 9-й Междунар. науч.-практ. конф.; в 2-х ч. 2014. С. 162–167.

28. *Припоров И. Е., Шафоростов В. Д.* Технология послеуборочной обработки семян масличных культур. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2014. № 5 (10). С. 10–14.

29. *Припоров И. Е.* Параметры усовершенствованного процесса разделения компонентов вороха семян крупноплодного подсолнечника в воздушно-решетных зерноочистительных машинах: дис. ... канд. техн. наук по специальности 05.20.01. Кубанский государственный аграрный университет. Краснодар, 2012. 149 с.

30. Припоров И. Е., Лазебных Д. В. Рациональная технология послеуборочной обработки семян подсолнечника. *Научный журнал КубГАУ*. 2015. № 112 (08). С. 1–11.

31. Про насіння і садивний матеріал: Закон України від 04.10.2018. (зі змінами та доповненнями). *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2003. № 13. Ст. 92. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua>

32. Jahnke, S., Roussel, J., Hombach, T. et al. (2016). PhenoSeeder – A robot system for automated handling and phenotyping of individual seeds. *Plant Physiology*. 172: 1358–1370.

33. Тищенко Л. М., Харченко С. О., Харченко Ф. М. та ін. Спосіб визначення розмірів насіння: пат. на корисну модель UA 101069 U, МПК (2015.01) G01B 11/00 G01B 11/02 (2006.01); № u 2015 01890; заявл. 03.03.2015; опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16. 4 с.

34. Бакум М. В., Манчинський Ю. О., Горбатовський О. М. та ін. Спосіб визначення розмірних характеристик насіння. Деклараційний патент на корисну модель UA 13868 U, МПК (2006) B07B 01/00; № u200510506; заявл. 07.11.2005; опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4. 4 с.

35. Рингенбах А., Лойенбергер Я. А. Устройство для определения однородности партии семян: пат. RU 2388203, МПК A01C1/00 (2006.01); № 2007130533/13; заявл. 09.01.2006; опубл. 10.05.2010.

36. Лисицын А. Н., Быкова С. Ф. Особенности технологических свойств отечественных сортов и гибридов семян подсолнечника современной селекции. *Масложировая промышленность*. 2006. № 4. С. 34–37.

37. Barrozo, M., Silva, A., Oliveira, D. (2008). The use of curvature and bias measures to discriminate among equilibrium moisture equations for mustard seed. *Journal of Stored Products Research*. 44: 65–70.

38. Baumler, E., Cuniberti, A., Nolasco, S., Riccobene I. (2006). Moisture dependent physical and compression properties of safflower seed. *Journal of Food Engineering*. 72: 134–140.

39. Gupta, R. K., Das, S. K. (2000). Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive Loading. *J. Food Eng.* 46: 1–8.

40. Khazaei J., Sarmadi, M., Behzad, J. (2008). Physical properties of sunflower seeds and kernels related to harvesting and dehulling. *Lucrari Stiintifice*. P. 49.

41. Ягло М. Н., Лях В. А. Маркерные признаки льна. *Научно-технический бюллетень ИОК НААН*. Запоріжжя, 2007. Вип.12. С. 86–91.

42. Ayoub Bagvand (2013). Determination of Physical Properties and Mechanical Behavior of Sunflower seeds. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5(11): 1255–1259.

43. Škoric, D., Seiler, G. J., Liu, Z. et al. (2012). Sunflower genetics and breeding: international monograph. Novi Sad: Serbian Academy of Sciences and Arts. *Branch*. 520 p.

44. Ревенко В. Ю., Фролов С. С. Физико-механические свойства семян подсолнечника современной селекции. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 12(6). С. 8–14.

45. Ionescu, M., Voicu, Gh., Biriş, S. et al. (2016). Determination of some mechanical properties for oilseeds using uniaxial compression tests. *INMA Bucharest. INMATEH – Agricultural Engineering*. 49. 2: 71–76.

46. Білокопитов О. О. Аналіз результатів визначення критичної швидкості та коефіцієнту парусності складових зернового вороху. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2012. Вип. 2. Т. 5. С. 198–207.

47. Береснева Н. Д. Характеристика крупноплодных гибридов подсолнечника: VII *международ. конф. молодых ученых и специалистов*. ВНИИМК, 2013. С. 20–23.

48. Mohammad Reza Seifi, Reza Alimardani. (2010). Moisture-Dependent Physical Properties of Sunflower Seed (SHF8190). Published by Canadian Center of Science and Education. *Modern Applied Science*. 4. 7: 135–143.

49. Ghodsevali, A., Vafaei, A. (2008). Studying of physical properties of sunflower in Golestan province. *The fifth conference of agricultural machinery and mechanization*. Mashad, Iran. 306 p.

50. Gupta, R. K., Das, S. K. (1997). Physical properties of sunflower seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 66: 1–8.

51. Sahebeh Jafari, Javad Khazaei, Akbar Arabhosseini et al. (2011). Study on mechanical properties of sunflower seeds. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 14. 1: 1–11.

52. Chavoshgoli, Es., Abdollahpour, Sh., Abdi, R., Babaie, A. (2014). Aerodynamic and some physical properties of sunflower seeds as affected by moisture content. *Agric Eng Int: CIGR Journal*. 16. 2: 136–142.

53. *Jafari, S.* (2008). Design and construction a laboratory sunflower seed dehuller machine. A thesis submitted to Graduate Studies Office in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Mechanic of Agricultural Machinery. Tehran, Iran, (in farsi).

54. *Khodabakhshian, R. B., Emadi, M. H.* Abbaspour Fard. (2009). Aerodynamic properties of sunflower seed, kernel and its hull affected by moisture content and size, azargol variety as a case study. *International Agricultural Engineering Conference*, Bangkok, Thailand.

55. *Михайлов С. В., Задосна Н. О.* Аеродинамічні властивості складових олійної сировини соняшнику. *Праці ТДАТУ*. 2015. Вип. 15. Т. 4. С. 28–38.

56. *Алієв Е. Б.* Техніко-технологічне забезпечення процесів очищення та розділення насінневого матеріалу олійних культур. *Роль наукових досліджень у забезпеченні процесів інноваційного розвитку аграрного виробництва України: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених і спеціалістів (25–26 травня 2016, м. Вінниця)*. НААН, ДУ ІЗК НААН, М-во аграр. політики та прод. України, Укр. ін-т експертизи сортів рослин. Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. С. 4–5.

57. *Алієв Е. Б., Кутіщев В. Л.* Очищення та розділення насінневого матеріалу олійних культур. *Олійні культури: тенденції та перспективи: зб. тез Міжнар. наук. інтернет-конф. (1 листопада 2016, м. Запоріжжя)*. Запоріжжя: ІОК НААН, 2016. С. 134–135.

58. *Алієв Е. Б., Чеботарьов В. П.* Раціональна прецизійна технологічна лінія процесів сепарації насінневого матеріалу соняшника. ІОК НААН. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2018. С. 154–159.

59. *Алієв Е. Б., Яропуд В. М.* Техніко-технологічне забезпечення прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшника. *Вібрації в техніці та технологіях: Всеукр. наук.-техн. журн.; редколегія: Г. М. Калетник (голов. ред.) та ін. Вінниця, 2019. № 1 (92). С. 40–47.*

60. *Aliiev, E. B.* Mechanical and technological bases of the precision separation process of sunflower seeds. *Олійні культури: сьогодні та перспективи: зб. тез Міжнар. наук. інтернет-конф. (31 березня 2021, м. Запоріжжя)*. Запоріжжя: ІОК НААН, 2021. С. 108–109.

61. *Aliiev, E. B.* (2021). Precision separation process of sunflower seeds. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. № 30. С. 119–128. DOI: 10.36710/ioc-2021-30-12

62. *Казаков Е. Д.* Зернодоведение с основами растениеводства. Москва: Колос, 1983. 288 с.

63. *Csirik, L., Paulus, D., Ahlrichs, U., Heigl, B.* (1998). Color normalization and object localization. *Vierter Workshop Farbbildverarbeitung*. Koblenz. P. 49–55.

64. *Funt, B., Barnard, K., Martin, L.* (1998). Is machine colour constancy good enough? ECCV 1998: Computer Vision. Freiburg. 1406: 445–459.

65. *Wang, F., Man, L., Wang, B. et al.* (2008). Fuzzy-based algorithm for color recognition of license plates. *Pattern Recognition Letters*. 29: 1007–1020.

66. *Berlin, B., Kay, P.* (1969). Basic color terms: their universality and evolution. University of California Press. 196 p.

67. *Lammens, J.* (1994). A computational model of color perception and color naming. Ph.D. thesis, State University of New York. Genoa. 253 p.

68. *Han, J., Ma, K.* (2002). Fuzzy color histogram and its use in color image retrieval. *IEEE Transactions on Image Processing*. 11: 944–952.

69. *Sural, S., Qian, G., Pramanik, S.* (2002). Segmentation and histogram generation using the HSV color space for image retrieval. *Proceedings 2002 International Conference on Image Processing*. New York. 2: 589–592.

70. *Fleyeh, H.* (2005). Road and traffic sign color detection and segmentation – A Fuzzy Approach. IAPR Conference on Machine Vision Applications. Tsukuba Science City. P. 124–127.

71. *Aliiev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M. et al.* (2018). Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 54.1: 95–104.

72. *Алієв Е. Б., Лабатюк Ю. М.* Чисельне моделювання механіко-технологічних процесів агропромислового виробництва. Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві. *Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2017. Вип. 180. С. 67–71.

73. Алієв Е. Б., Яропуд В. М. Результати чисельного моделювання процесу роботи блока подачі насіння фотоелектронного сепаратора. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*: Всеукр. наук.-техн. журн.; редкол.: Г. М. Калетник (голов. ред.) та ін. 2017. № 4 (99). С. 18–23.

74. Алієв Е., Пацула О., Стрельченко Ю. Математична модель процесу роботи блока подачі насіння фотоелектронного сепаратора. *Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва*: матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. (30 листоп. 2017, м. Тернопіль). Ч. 1. Тернопіль: Крок, 2017. С. 219–220.

75. Aliiev, E. B. (2017). Modeling of the mechanical and technological processes for the separation of oilseeds. *Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: Internationals research and practice conference. Conference Proceedings* (December 27–28, 2017–Radom, Republic of Poland). 19. 3: 107–110.

76. Алієв Е. Б. Модель системи фотоелектронного сепаратора насіннєвого матеріалу. *Вісник Степу*: наук. зб. *Стан та перспективи розвитку агропромислового виробництва України*. 2017. Вип. 14. С. 135–138.

77. Алієв Е. Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС, 2019. 196 с. ISBN 978-617-7759-32-3

78. Алієв Е. Б., Бакарджієв Р. О. Статистична оцінка показників роботи дозатора безперервної дії. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2014. Вип. 21. С. 131–136.

79. Shevchenko, I. A., Aliiev, E. B. (2018). Research on the photoelectric separator seed supply block for oil crops. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 54. 1: 129–138.

80. Алієв Е. Б., Шевченко І. А. Дослідження аеродинамічних властивостей насіння олійних культур. *Вісник аграрної науки*. 2017. № 3 (769). С. 63–65.

81. Elchin Aliiev, Viktor Pryshliak, Vitaly Yaropud. (2017). Research of physical and mechanical properties of oilseed crops. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin – Rzeszów. 19. 3: 103–108.

82. Шевченко І. А., Алієв Е. Б. Дослідження фотоелектронного процесу визначення забарвлення насіння олійних культур. *Техніка*

і технології АПК. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. 2018. № 4 (103). С. 40–43.

83. Алієв Е. Б. Результати експериментальних досліджень блока виходу насіння фотоелектронного сепаратора. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*: зб. наук. пр. ДНУ «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого» (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого); редкол.: В. Кравчук (голов. ред.) та ін. Дослідницьке, 2018. Вип. 22 (36). С. 61–65.

84. Алієв Е. Б. Результати експериментальних досліджень блока подачі фотоелектронного сепаратора насіння олійних культур. Проблеми надійності машин. *Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2018. Вип. 192. С. 185–193.

85. Aliiev, E. B., Yaropud, V. M., Dudin, V. Yr. et al. (2018). Research on sunflower seeds separation by airflow. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 56. 3: 119–128.

86. Shevchenko, I., Aliiev, E. (2018). Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds. *Food Science and Technology*. 12. 4: 135–142.

87. Aliiev, E. B. Results of the experimental study of separation process seeds in photoelectric separator. *Олійні культури: інновації та перспективи*: зб. тез Міжнар. наук. інтернет-конф. (14 травня 2019, м. Запоріжжя). Запоріжжя: ІОК НААН, 2019. С. 89–90.

88. Шевченко І., Алієв Е., Камінський Ян Р. Результати експериментальних досліджень процесу прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за об'ємною вагою. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*: зб. наук. пр. ДНУ «Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого» (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого); редкол.: В. Кравчук (голов. ред.) та ін. Дослідницьке, 2019. Вип. 24 (38). С. 252–259. URL: [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-1-24\(38\)-26](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2019-1-24(38)-26)

89. Алієв Е. Б. Критерії оцінки якості процесу сепарації насіннєвої суміші. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*: загальнодержавний міжвід. наук.-техн. зб. Вип. 48. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. С. 170–176. DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2018.48.170-176>

90. Алієв Е. Б. Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів фотоелектронного сепаратора насіння соняшника. *Наукові горизонти*: наук. журн. 2019. № 5 (78). С. 23–30.

91. Алієв Е. Б. Результати досліджень процесу автоматичного фенотипування насіння соняшнику. *Наукові читання до 100-річчя від дня народження професора Івана Вікторовича Яшовського*: матеріали міжнар. наук. конф. (14–15 серпня 2019, смт Чабани); за ред. д-ра с.-г. наук В. Ф. Камінського. Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2019. С. 90–92.

92. Wang, S., Wu, K., Yuan, Q. et al. (2012). Control of grain size, shape and quality by OsSPL16 in rice. *Nat Genet.* 44: 950–954.

93. *OpenCV*. Developers Team. (2012). *OpenCV Reference Manual*. URL: <http://opencv.org/documentation.html> (July 31, 2012)

94. Suzuki, S., Abe, K. (1985). Topological structural analysis of digital binary image by border following. *Comput Vis Graph Image Process.* 30: 32–46.

95. Tanabata, T., Yamada, T., Shimizu, Y. et al. (2010). Development of automatic segmentation software for efficient measurement of area on the digital images of plant organs. *Hort Res.* 9: 501–506.

96. *ДСТУ 4694*. Соняшник. Олійна сировина. Технічні умови. Київ: Держстандарт України, 2006. 12 с.

97. *OpenCV* (Open Source Computer Vision Library) [Electronic resource] : [Web-site]. (2018). Electronical Data. OpenCV team. Access mode: <https://opencv.org> (date of treatment 22.07.2018) – Title from the screen.

98. Алієв Е. Б. Фотоелектронний сепаратор: пат. на корисну модель України 136829, МПК (2006) В07В 13/18, (2006.01) В07В 4/00; заявник: Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, № u201902091; заявл. 01.03.2019; опубл. 10.09.2019, Бюл. № 17. 4 с.

99. Алієв Е. Б. Спосіб автоматичного фенотипування насіння і пристрій для його здійснення: пат. України на винахід 120231, МПК

(2006) А01С 1/00, G01В 11/00, G01В 11/02 (2006.01), G01N 21/25 (2006.01), G06Т 7/00; заявник: Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, № a201808708; заявл. 25.10.2019; опубл. 25.10.2019, Бюл. № 20. 4 с.

100. Шевченко І. А., Алієв Е. Б. Адаптивний вібропневматичний сепаратор: пат. України на винахід 122809, МПК (2006), В03В 4/02 (2006.01), В07В 4/00, В07В 13/18 (2006.01); заявник: Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, № a201807029; заявл. 22.06.2018; опубл. 06.01.2021, Бюл. № 1. 6 с.

101. Алієв Е. Б. Адаптивний віброрешітний сепаратор: пат. України на винахід 120235, МПК (2006) В07В 1/00, В07В 1/40 (2006.01), В07В 1/42 (2006.01), G05В 13/00, G05В 15/00; заявник: Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, № a201811084; заявл. 25.10.2019; опубл. 25.10.2019, Бюл. № 20. 4 с.

102. Aliiev, E. B. (2020). Automatic Phenotyping Test of Sunflower Seeds. *Helia.* 43. 72: 51–66. DOI: 10.1515/helia-2019-0019

103. Shevchenko, I., Aliiev, E., Viselga, G., Kaminski, J. R. (2021). Modeling Separation Process for Sunflower Seed Mixture on Vibro-Pneumatic Separators. *MECHANIKA.* 27(4): 311–320. URL: <https://doi.org/10.5755/j02.mech.27647>

104. Алієв Е. Б. Розробка пристрою для автоматичного фенотипування насіннєвого матеріалу соняшнику. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Київ. Ukraine, 2019. 10. 1: 11–17. ISSN 2663-1334

105. Алієв Е. Б. Пристрій для автоматичного фенотипування насіння соняшнику. *Сучасні проблеми землеробської механіки*: матеріали ХХ Міжнар. наук. конф., присвяч. 119-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка (17–19 жовтня 2019, м. Миколаїв). Міністерство освіти і науки України; Миколаївський національний аграрний університет. Миколаїв: МНАУ, 2019. С. 82–83.

106. Алієв Е. Б., Яронуд В. М. Визначення фракційного складу насіння за фотозображенням. *Вібрації в техніці та технологіях*: всеукр. наук.-техн. журн. 2019. № 3 (94). С. 102–109.

107. Aliiev Elchyn. Research of separation of sunflower seeds on selecting surface. *Науково-технічні засади розробки, випробування та*

прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій: тези наук. доп. XIX Міжнар. наук. конф., присвяч. 85-річчю від дня народження академіка Л. В. Погорілого та 150-річчю від дня народження професора К. Г. Шиндлера (13 вересня 2019, смт Дослідницьке, Україна). УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого; Дослідницьке, 2019. С. 90–91.

108. *Алієв Е. Б.* Фотоелектронні сепаратори насіння. Ефективність використання. *Пропозиція*. 2019. № 10. С. 166–170.

109. *Алієв Е. Б.* Економічна оцінка впровадження прецизійної технологічної лінії сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. зб. ННЦ «ІМЕСГ»*. 2019. Вип. № 9 (108). С. 81–87.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

АЛІЄВ Ельчин Бахтияр огли

Автоматичне фенотипування насіннєвого матеріалу соняшнику

Монографія

Редактор і коректор *І. М. Баланчук*
Комп'ютерна верстка *Л. О. Гордієнко*
Дизайн обкладинки *І. Г. Хорошого*

Підписано до друку 10.03.2022. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Папір офс. Гарнітура «Таймс». Друк офс.
Ум. друк. арк. 6,0. Обл.-вид. арк. 8,7.
Наклад 150 пр. Зам. №5-2022.

Державне видавництво «Аграрна наука» НААН
Свідоцтво про державну реєстрацію № 4116 від 21.07.2011 р.
вул. Васильківська, 37, м. Київ, 03022
Тел. (044) 257-85-27
E-mail: agrarnanauka@ukr.net

Віддруковано у друкарні ТОВ «Видавництво «Барми»
вул. Кирилівська, буд. 86, м. Київ, 04080
Тел. (067) 219-36-49
E-mail: BARMY-vidav@ukr.net