

УДК 631.362.3

## РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО ФЕНОТИПУВАННЯ НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ СОНЯШНИКУ

Е. Б. Алієв

Інститут олійних культур, Україна.

Кореспонденція автора: [aliev@meta.ua](mailto:aliev@meta.ua).

Історія статті: отримано – лютий 2019, акцентовано – травень 2019.

Бібл. 11, рис. 3, табл. 0.

**Анотація.** Фенотипування насіння – процес типування, визначення, ідентифікації і розділення насіння, як селекційного матеріалу, за його морфологічними і маркерними ознаками. Техніко-технологічне забезпечення процесу автоматичного фенотипування насіння повинно ґрунтуватися на алгоритмах і методах обробки зображень насіння. Метою досліджень є підвищення ефективності селекційно-насінницького процесу соняшника шляхом розробки і застосування пристрою для автоматичного фенотипування насіннєвого матеріалу. Розроблено і експериментально перевірено алгоритм ідентифікації і розрахунку геометричних розмірів і забарвлення насіння, на якому оснований пристрій для автоматичного фенотипування насіннєвого матеріалу соняшника. Зазначений алгоритм реалізовано у програмному забезпеченні, яке застосовує бібліотеки OpenCV. Програмне забезпечення дозволяє ідентифікувати насіння соняшника за його геометричними розмірами (довжина  $L$ , ширина  $B$  та їх відношення) в колірному просторі HSV і гістограмами розподілу кольорів RGB області насіння. Розроблено пристрій для автоматичного фенотипування насіння, який зберігає точність індивідуального вимірювання геометричних розмірів насіння соняшника, визначення їх форми і забарвлення, що відповідає сучасним вимірювальним засобам, та забезпечує низьку трудомісткість і високу технологічність реалізації процедури фенотипування насіння, як селекційного матеріалу, за його морфологічними і маркерними ознаками.

**Ключові слова:** соняшник, насіннєвий матеріал, фенотипування, сепарація, ідентифікація, автоматизація.

### Постановка проблеми

Станом на кінець 2018 р. в Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні зареєстровано лише 17 % сортів та

гібридів соняшника вітчизняної селекції [1]. Це свідчить про загрозу національній продовольчій безпеці України.

Тому згідно з Державної цільової програмою розвитку аграрного сектору на період до 2020 року необхідне «...стимулювання збільшення виробництва базового та базового насіння сільськогосподарських культур вітчизняної селекції...» [2].

При виконанні селекційно-насінницького процесу важливим є використання маркерних ознак, які слугують для встановлення приналежності рослин до певного гібриду чи сорту (запобігання фальсифікації) та дозволяють швидко відібрати велику кількість рослин на різних етапах селекції.

Ознаки вегетативної частини рослин дозволяють проводити відбір на ранніх стадіях розвитку, проте апробація сортів проводиться у фазі технічної стиглості.

Тому важливими є ознаки, які можна дослідити саме у цій фазі. Відношення геометричних розмірів, форма і забарвлення насіння є якісними ознаками, які є стабільними у прояві, не залежать від факторів середовища і є показовими на даному етапі розвитку.

Фенотипування насіння – процес типування, визначення, ідентифікації і розділення насіння, як селекційного матеріалу, за його морфологічними і маркерними ознаками (наприклад, забарвлення, форма і геометричні розміри) [3].

Насіння рослин можуть приймати різноманітну геометричну форму і відповідно до цього мати різні геометричні розміри.

Процес визначення форми і розмірів індивідуальних насінин різних сортів однієї культури потребує величезних часових витрат, що призводить до погіршення ефективності селекційного процесу.

Тому розробка техніко-технологічного забезпечення процесу автоматичного фенотипування насіння є актуальною задачею і потребує вирішення.

### Аналіз останніх досліджень

Сучасне техніко-технологічне забезпечення процесу автоматичного фенотипування насіння повинно бути ґрунтоване на алгоритмах і методах обробки зображень насіння. Виходячи з проведеного аналізу науково-технічної літератури [4, 5] виділено три алгоритми обробки оптичних сигналів: нейромережеве розпізнавання, ідентифікація окремих об'єктів і кольоровий аналіз.

Загальний алгоритм нейромережевого розпізнавання включає наступні етапи створення «навчальної» бази даних для спектрального аналізу плоского зображення насіння і подальшого розпізнавання зображень [6]:

- отримання зображення насіння на однотонному фоні;
- виділення піксельних зображень окремих одиничних насінин;
- встановлення центрів мас насіння і прив'язати їх до координат;
- нормалізування розмірів насіння таким чином, щоб їх геометричні розміри збігалися;
- проведення дискретного вейвлет-перетворення кольорних складових всіх пікселів, що належать виділеній в попередніх пунктах області;
- впорядкування отриманих коефіцієнтів;
- зберігання отриманих даних в базу даних одиничних вейвлет спектрів;
- сортування насіння по вейвлет спектру.

Наступним алгоритмом є кольоровий аналіз, який ґрунтується на оцінці контрасту кольорних компонентів [7]. Метод містить наступні основні етапи [6, 7]:

- отримання зображення досліджуваних насінин;
- статистична обробка числових значень R-, G-, B-компонентів;
- виявлення закономірності зміни числових значень кольорних компонентів;
- розрахунок значень контрастів RGB складових;
- сортування насіння по розрахованому RGB контрасту.

Патентний пошук показує наявність способів визначення розмірних характеристик насіння [8, 9], які 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 у двох двовимірних взаємно перпендикулярних площинах. Недоліками вищезазначених 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 дані способи дозволяють ідентифікувати насіння лише за двома морфологічними показниками – розмір і форма.

Також відомий пристрій і відповідний спосіб визначення однорідності партії насіння за їх характеристиками кольору, розміру й форми [10], який оснований на отриманні зображення насіння, що освітлене підібраним електромагнітним випромінюванням, і подальшою його обробкою в колірному просторі HSI. До недоліків відомого способу слід віднести трудомісткість підбору довжини хвилі електромагнітного випромінювання, не висока точність визначення розміру, форми і кольору партії насіння через вибір колірної моделі HSI, відсутність можливості автоматичного виділення і розділення індивідуальних насінин з загальної партії за вищезазначеними морфологічними показниками.

### Мета досліджень

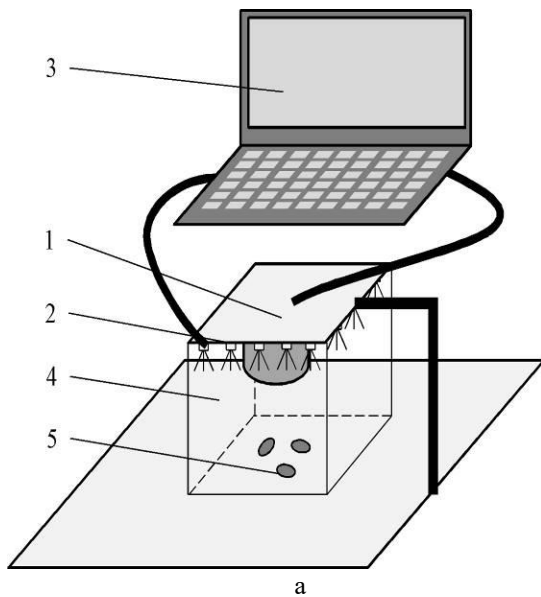
Підвищення ефективності селекційно-насінницького процесу соняшника шляхом розробки і застосування пристрою для автоматичного фенотипування насіннєвого матеріалу.

### Результати досліджень

Для перевірки створеного алгоритму ідентифікації і розрахунку геометричних розмірів і забарвлення насіння, на якому буде оснований пристрій для автоматичного фенотипування насіннєвого матеріалу соняшника, були проведені експериментальні дослідження. Дослідження були проведені на стенді (рис. 1), який складався з наступних елементів: відеокамери Video Microscope Camera 1080P 16MP HDMI USB виробництва Eakins, набору світлодіодів трьох типів (червоний, зелений, синій) і персональний комп'ютер. Принцип роботи полягав в наступному: оператор за допомогою вмикання світлодіодів задає освітлення певного кольору, а відеокамера фіксує розміщені в стаціонарному положенні або під час руху насіння і передає отримані дані на персональний комп'ютер [11].

Алгоритм програмного забезпечення складається з наступних етапів: отримання зображення з відеокамери; перетворення зображення з кольорного простору RGB в HSV; фільтрація за кольором (настройка колірної маски); проведення основних морфологічних перетворень – розтягування і звуження; знаходження контурів знайденого об'єкта; отримання гістограми розподілу кольорів в колірному просторі RGB; визначення геометричних розмірів насіння і аналітичне

рівняння її контуру у вигляді матриці.



**Рис. 1.** 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.

**Fig. 1.** Structural diagram (a) and general view (b) experimental device for automatic ventipane seeds

До переваг даного алгоритму можна віднести наступні особливості:

- оператор вибирає діапазони за шкалами H, V, S, і в результаті відразу формується тривимірна область в кольорному просторі;
- оператор не обмежений набором тонів, відповідних базовому кольором або кольором, похідному з базових, він може вибирати будь-який діапазон кольорних тонів на шкалі H, навіть об’єднуючи кольорні тони сусідніх базових кольорів

в один діапазон.

В якості об’єкту дослідження було обрано насіння соняшника наступних сортів: L3408, СЛ2613, L3136, LG3, InK34, U5/303, КГ18, InK1124, Б2073, I2K87, LD1217, Сл179, Л2079, ZB231AC, Л7242, Сл2177, Сл1790, InK2238, InK404, Сл2639, LD1251, ВК511, InK3159, InK912, №552, InK2058, SL2966, M1048, ЗКН32, НА73Б, ЗКН51. Обрані насіння сортів соняшника відрізнялися між собою за маркерними ознаками, а саме за забарвленням.

В якості фактору 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 ( $R = 255, G = 255, B = 255$ ).

Критеріями досліджень було прийнято діапазони значень шкал кольорового простору HSV при якому в окні чорно-білого зображення розробленого програмного забезпечення чітко спостерігаються контури насіння.

Також критеріями ідентифікації насіння є їх геометричні розміри (довжина L, ширина B і їх відношення) і гістограми розподілу кольорів областей насіння в кольорному просторі RGB.

Для реалізації алгоритму було написано на C++ програмне забезпечення з використанням бібліотеки OpenCV.

На вхід відеопотоку подавалися різні насіння різних кольорів, розмірів і форм. Як вже зазначалося, для кожної насіння потрібно спеціально налаштувати кольорову маску. Щоб виділити потрібний колір, необхідно підібрати межі компоненту 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).

Перше вікно (Camera) – оригінальне зображення з фотокамери при білому освітленні (всі світлодіоди увімкнені) із виділеними контурами насіння і їх геометричними розмірами.

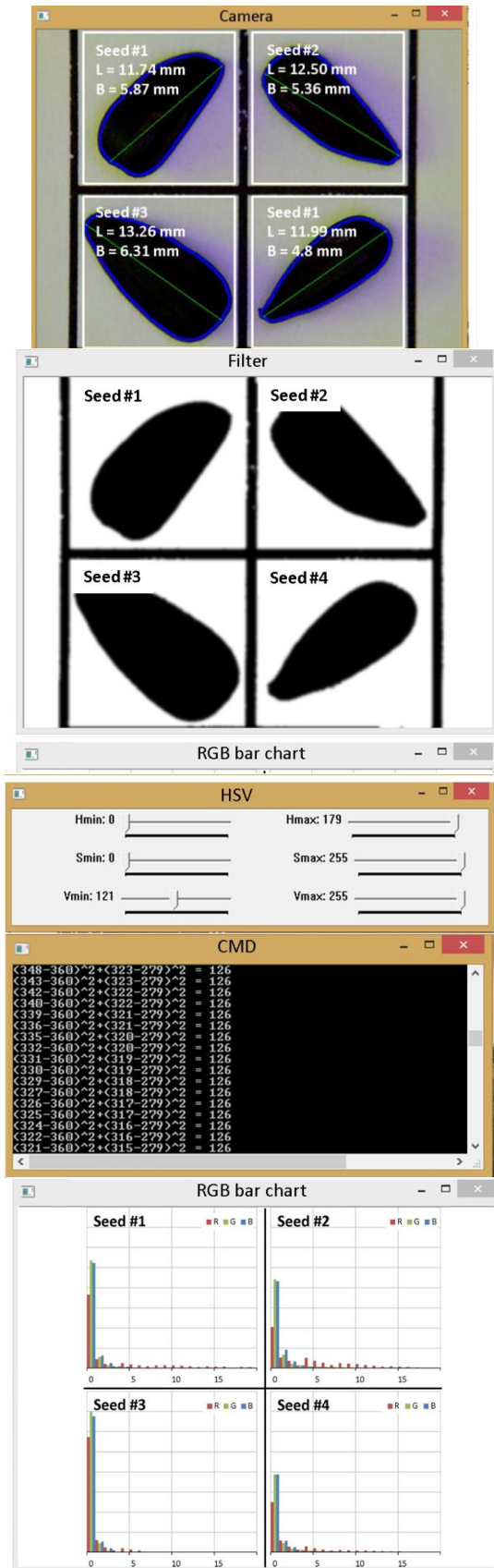
Друге вікно (Filter) – зображення з фотокамери після перетворення кольорової картини з кольорного простору HSV в чорно-білу маску.

У цій масці, всі пікселі, що потрапляють в 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 в кольорному просторі RGB.

П’яте вікно (CMD) – вікно вводу і виводу повідомлень і даних.



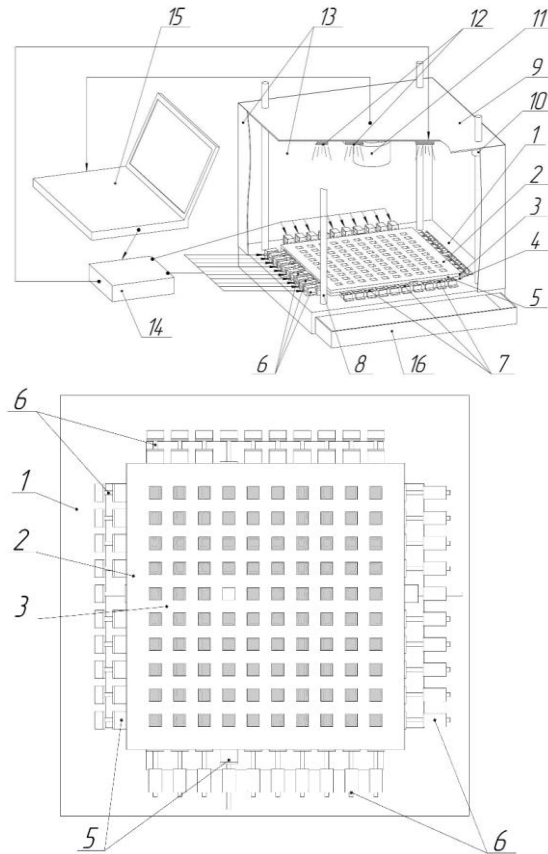
**Рис. 2.** Програмне забезпечення пристрою для автоматичного фенотипування насіннєвого матеріалу.

**Fig. 2.** Device software for automatic ventipane seed.

В результаті тестування програмного забезпечення пристрою для автоматичного фенотипування насіннєвого матеріалу були отримані наступні результати:

- алгоритм дозволяє коректно визначити насінини в просторі;
- при зміні положення насінини в просторі мітка коректно переміщується за ним;
- для правильної роботи алгоритму потрібна попереднє налаштування колірної маски;
- завдяки правильному вибору колірної моделі алгоритм стійкий по відношенню до зміни умов освітлення.

Для реалізації процесу сепарації насіннєвого матеріалу соняшника за визначеними морфологічними властивостями розроблено конструктивно-технологічну схему пристрою для автоматичного фенотипування насіння (рис. 3)



**Рис. 3.** Загальний вигляд пристрою для автоматичного фенотипування насіннєвого матеріалу: 1 – рама; 2 – матриця; 3, 4 – пластини; 5 – полоси; 6 – тягнучий електромагніт (соленоїд); 7 – пружину розтягування; 8 – направляючі; 9 – основа; 10 – фіксатор; 11 – відеокамер; 12 – набори світлодіодів трьох типів (червоний, зелений, голубий); 13 – стінки із світлонепроникного матеріалу; 14 – блок керування; 15 – персональний комп'ютер; 16 – піддон для збору насіння.

**Fig. 3.** General view of the device for automatic ventipane seed.

Запропонований пристрій із розроблене програмне забезпечення зберігає точність індивідуального вимірювання геометричних розмірів насіння соняшника, визначення їх форми і забарвлення, що відповідає сучасним вимірювальним засобам, та забезпечує 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 пристрій дозволяє визначати морфологічні і маркерні ознаки (геометричний розмір, форма і забарвлення) всієї вибірки, що неможливо виконати за допомогою безпосереднього вимірювання, чим підвищує загальну продуктивність дослідження. При цьому також в значній мірі виключається вплив людського фактора на точність вимірювання морфологічних і маркерних ознак (геометричний розмір, форма і забарвлення) насіння.

### Висновки

1. Розроблено і експериментально перевірено алгоритм ідентифікації і розрахунку геометричних розмірів і забарвлення насіння, на якому оснований пристрій для автоматичного фенотипування насінневого матеріалу соняшника.

2. Зазначений алгоритм реалізовано у програмному забезпеченні, яке застосовує бібліотеки OpenCV. Програмне забезпечення дозволяє ідентифікувати насіння соняшнику за його геометричними розмірами (довжина L, ширина B та їх відношення) в колірному просторі HSV і гістограмами розподілу кольорів RGB області насіння.

3. Розроблено пристрій для автоматичного фенотипування насіння, який зберігає точність індивідуального вимірювання геометричних розмірів насіння соняшника, визначення їх форми і забарвлення, що відповідає сучасним вимірювальним засобам, та забезпечує низьку трудомісткість і високу технологічність реалізації процедури фенотипування (визначення, ідентифікації і сепарації) насіння, як селекційного матеріалу, за його морфологічними і маркерними ознаками.

### Список літератури

1. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2018 рік. Київ: Міністерство аграрної політики та продовольства України. 2018. 28 с.

2. Державна цільова програма розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020

року. Офіційний вісник України. № 24. Київ: Кабінет Міністрів України. 2016. 11 с.

3. *Jahnke S., Roussel J., Hombach T., Kochs J., Fischbach A., Huber G., Scharr H.* PhenoSeeder – A robot system for automated handling and phenotyping of individual seeds. *Plant Physiology* 172. 2016. P. 1358-1370.

4. *Усати́ков С. В., Горонков К. А., Руденко О. В.* База данных обучающей выборки для высокоточного распознавания плоских изображений сортов злаковых и масличных культур. *Фундаментальные исследования*. Москва. Вып.8. Часть 2. 2011. С. 342-346.

5. *Mira Park, Jesse S. Jin, Sherlock L. Au, Suhuai Luo, Yue Cui.* Automated Defect Inspection Systems by Pattern. *Recognition International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*. 2009. Vol. 2. No. 2. P. 31-41.

6. *Домасев М. В., Гнатюк С. П.* Управление цветом, цветовые расчеты и измерения. Спб.: Питер. 2009. 224 с.

7. *Гонсалес С., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера. 2005. 1072 с.

8. *Тищенко Л. М., Харченко С. О., Харченко Ф. М., Бакум М. В., Абдуев М. М., Борщ Ю. П., Коришонов К. С.* Патент на корисну модель UA 101069 U, МПК (2015.01) G01B 11/00 G01B 11/02 (2006.01). Спосіб визначення розмірів насіння. № у 2015 01890. Заявл. 03.03.2015. Опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16.

9. *Бакум М. В., Манчинський Ю. О., Горбатовський О. М., Леонов В. П., Путівцев А. А., Приз К. Л.* Деклараційний патент на корисну модель UA 13868 U, МПК (2006) B07B 01/00. Спосіб визначення розмірних характеристик насіння. № u200510506. Заявл. 07.11.2005. Опубл. 17.04.2006, Бюл. № 4.

10. *Рингенбах А., Лойенбергер Я. А.* Патент RU 2388203, МПК A01C1/00 (2006.01). Устройство для определения однородности партии семян. № 2007130533/13. Заявл. 09.01.2006. Опубл. 10.05.2010.

11. *Шевченко І. А., Алієв Е. Б.* Дослідження фотоелектронного процесу визначення забарвлення насіння олійних культур. *Техніка і технології АПК*. УкрНДДПВТ ім. Л. Погорілого. 2018. № 4 (103). С. 40-43.

### References

1. State register of plant varieties, suitable for distribution in Ukraine in 2018. (2018). Kyiv: Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. 28.

2. State target program for the agrarian sector of the economy for the period up to 2020. (2016). Official Bulletin of Ukraine. № 24. Kyiv: Cabinet of Ministers of Ukraine. 11.

3. *Jahnke S., Roussel J., Hombach T., Kochs J., Fischbach A., Huber G., Scharr H.* (2016).

PhenoSeeder – A robot system for automated handling and phenotyping of individual seeds. *Plant Physiology* 172. 1358-1370.

4. *Usatkov S. V., Goronkov K. A., Rudenko O.* (2011). The database of the training sample for the high-precision recognition of flat images of varieties of cereals and oil crops. Magazine "Fundamental research". Moscow. Issue 8 Part 2. 342-346.

5. *Mira Park, Jesse S. Jin, Sherlock L. Au, Suhuai Luo, Yue Cui.* (2009). Automated Defect Inspection Systems by Pattern. Recognition International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition. Vol. 2. No 2. 31-41.

6. *Domasev M. V., Gnatyuk S. P.* (2009). Color management, color calculations and measurements. St. Petersburg: Peter. 224.

7. *Gonzalez S., Woods R.* (2005). Digital Image Processing. M.: Technosphere. 1072.

8. *Tishchenko L. M., Kharchenko S. A., Kharchenko F. M., Bakum M. V., Abduyev M. M., Borsch Yu. P., Korshunov K. S.* (2015). Patent for utility model UA 101069 U, IPC (2015.01) G01B 11/00 G01B 11/02 (2006.01). Method of determining the size of the seed. No. 2015 01890. Declared. 03.03.2015. Published by August 25, bulletin No. 16.

9. *Bakum M. V., Manchinsky Yu. O., Gorbatovsky O. M., Leonov V. P., Putovtsev A. A., Prize K. L.* (2006). Declarative Patent for Utility Model UA 13868 U, IPC (2006) B07B 01 / 00 Method of determining the dimensional characteristics of seeds. No. u200510506. Declared 07.11.2005. Published by April 17, Bul. No 4.

10. *Ringenbach A., Loyenberger J. A.* (2006). Patent RU 2388203, IPC A01C1 / 00 (2006.01). A device for determining the homogeneity of a seed lot. No. 2007130533/13. Declared Jan 09, Published by 10/05/2010.

11. *Shevchenko I. A., Aliiev E. B.* (2018). Research of the photoelectronic process of determining the coloration of seeds of oilseeds. Machinery and technology of agroindustrial complex. UkrNDIPVT them L. Burned. No 4 (103). 40-43.

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ  
АВТОМАТИЧЕСКОГО ФЕНОТИПИРОВАНИЯ  
СЕМЕННОГО МАТЕРИАЛА  
ПОДСОЛНЕЧНИКА

Э. Б. Алиев

**Аннотация.** Фенотипирования семян – процесс типирования, определение, идентификации и разделения семян, как селекционного материала, по его морфологическим и маркерным признакам. Техничко-технологическое обеспечение процесса автоматического фенотипирования семян основано на алгоритмах и методах обработки изображений семян. Целью исследований является повышение эффективности селекционно-

семеноводческого процесса подсолнечника путем разработки и применения устройства для автоматического фенотипирования семенного материала. Разработан и экспериментально проверен алгоритм идентификации и расчета геометрических размеров и окраски семян, на котором основано устройство для автоматического фенотипирования семенного материала подсолнечника. Указанный алгоритм реализован в программном обеспечении, которое применяет библиотеки OpenCV. Программное обеспечение позволяет идентифицировать семянку подсолнечника по ее геометрическим размерам (длина L, ширина B и их отношение) в цветовом пространстве HSV и гистограммам распределения цветов RGB области семянки. Разработано устройство для автоматического фенотипирования семян, который сохраняет точность индивидуального измерения геометрических размеров семян подсолнечника, определение их формы и окраски, соответствующей современным измерительным средствам, и обеспечивает низкую трудоемкость и высокую технологичность реализации процедуры фенотипирования семянки, как селекционного материала, по его морфологическим и маркерным признакам.

**Ключевые слова:** подсолнечник, семенной материал, фенотипирования, сепарация, идентификация, автоматизация.

DEVELOPMENT OF DEVICE FOR AUTOMATIC  
PHENOTYPING OF SEEDFLOWER MATERIAL

E. B. Aliiev

**Abstract.** Seed phenotyping is the process of typing, determining, identifying and dividing seeds, as a breeding material, according to its morphological and marker features. Technical and technological support of the process of automatic phenotyping of seeds is based on algorithms and methods for processing images of seeds. The aim of the research is to increase the efficiency of the sunflower breeding and seed process by developing and using a device for automatic phenotyping of seed material. An algorithm for identifying and calculating the geometric dimensions and color of seeds, on which the device for automatic phenotyping of sunflower seed is based, has been developed and experimentally verified. The specified algorithm is implemented in software that uses OpenCV libraries. The software allows identification of sunflower seeds by its geometric dimensions (length L, width B and their ratio) in the HSV color space and histograms of the distribution of colors of the RGB region of the seed. A device has been developed for automatic phenotyping of seeds, which preserves the accuracy of individual measurement of the geometric dimensions of sunflower seeds, determining their shape and color corresponding to modern measuring tools, and provides low labor intensity and high

manufacturability of the implementation of the procedure of phenotyping seeds as a selection material, according to its morphological and marker features.

**Key words:** sunflower, seed, phenotyping, separation, identification, automation.

**Е. Б. Алієв** ORCID 0000-0003-4006-8803.