

doi: 10.33249/2663-2144-2019-85-12-75-83

UDC 631.362.3

PRODUCTION TESTING OF TAPE DEVICE FOR AUTOMATIC PHENOTYPING OF SUNFLOWER SEEDS

E. Aliiev

e-mail: aliev@meta.ua

Institute of Oilseed Crops of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
1, Institutskaya Str., p. Sonyachne, Zaporizhzhya Region, 69093

When performing the breeding and seed production process, it is important to use marker traits that serve to establish the plant's affiliation to a particular hybrid or variety (prevent falsification) and quickly select a large number of plants at different stages of selection. Based on this, the development and improvement of technical and technological support for the automatic phenotyping test of sunflower seeds in the structure of systems for automated control of their structural and mode parameters is an urgent problem.

The purpose of the research is to develop and perform a production test of a tape device for the automatic phenotyping test of sunflower seeds.

A rational precision technological line of the processes of separation of sunflower seed material has been developed, which includes the stages of mechanically threshing baskets from under individual insulators and primary cleaning of the seed mixture, which is carried out on laboratory sieving and small aerodynamic separators using for automatic phenotyping test of seeds. The proposed sunflower device can significantly intensify and shorten the breeding process and improve the design of the breeding program. With the help of the specified device it is possible to carry out bioinformative analysis of the data, to carry out an assessment of their quality, to sort the seeds of oilseeds crops, to carry out the selection according to the given characteristics at the initial stages of the breeding process.

A tape device for automatic phenotyping test of seeds has been developed, which preserves the accuracy of individual measurement of the geometric dimensions of sunflower seeds, determination of their shape and color, which corresponds to modern measuring tools, and provides low complexity and high technological implementation of the phenotyping test procedure (determination, identification) breeding material, its morphological and marker features.

Key words: *seed, separation, equipment, size, shape, color.*

ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА СТРІЧКОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО ФЕНОТИПУВАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ

Е. Б. Алієв

e-mail: aliev@meta.ua

Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України
вул. Інститутська, 1, с. Сонячне, Запорізький р-н, Запорізька обл., 69093

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.

Виходячи з цього, розробка і удосконалення техніко-технологічного забезпечення автоматичного фенотипування насіння соняшнику в структурі систем автоматизованого керування їх конструктивно-режимних параметрів є актуальною проблемою. Метою досліджень є розробка і проведення виробничої перевірки стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику.

Розроблена раціональна прецизійна технологічна лінія процесів сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику, яка включає етапи механізованого обмолоту кошиків з-під індивідуальних

ізоляторів і первинне очищення насінневої суміші, що здійснюється на лабораторному розсіві та малогабаритному аеродинамічному сепараторі, та подальше його калібрування за морфологічними показниками і маркерними ознаками з використання пристрою для автоматичного фенотипування насіння. Запропонований пристрій соняшнику дозволяє значно інтенсифікувати та скоротити селекційний процес та поліпшити проектування програми схрещування. За допомогою зазначеного пристрою можна проводити біоінформативний аналіз даних, проводити оцінку їх якості, сортувати насіння у насінництві олійних культур, проводити добір за заданими ознаками на початкових етапах селекційного процесу. Розроблено стрічковий пристрій для автоматичного фенотипування насіння, який зберігає точність індивідуального вимірювання геометричних розмірів насіння соняшнику, 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.

Подальшими дослідженнями є створення виробничого зразка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння і його випробування.

Ключові слова: насінневий матеріал, сепарація, обладнання, розмір, форма, забарвлення.

Вступ

Станом на кінець 2019 р. в Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні, зареєстровано більше 1400 сортів і батьківських компонентів соняшнику і лише 17 % вітчизняної селекції. Це свідчить про загрозу національній продовольчій безпеці України. Тому згідно з Державною цільовою програмою розвитку аграрного сектору на період до 2020 року необхідне «...стимулювання збільшення виробництва добазового та базового насіння сільськогосподарських культур вітчизняної селекції...». Посівна площа соняшника в 2019 р. становить близько 5,8 млн га, на яку витрачено близько 29 тис. т посівного насінневого матеріалу.

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 (Poliakova & Vedmedeva, 2016). Тому важливими є ознаки, які можна дослідити саме у цій фазі. Забарвлення насіння є якісною ознакою, яка є стабільною у прояві, не залежить від факторів середовища і є показовою на даному етапі розвитку (Gorohivets & Vedmedeva, 2016).

Фенотипування насіння – процес типування, визначення, ідентифікації і розділення насіння як селекційного матеріалу за його морфологічними та маркерними ознаками (наприклад, забарвлення, форма і геометричні розміри) (Jahnke et al., 2016).

Насіння рослин можуть приймати різноманітну геометричну форму і відповідно до цього мати різні геометричні розміри. Процес визначення форми і розмірів індивідуальних насінин різних сортозразків однієї культури потребує величезних часових витрат, що призводить до погіршення ефективності селекційного процесу (Tanabata et al., 2012).

Окрім цього, насіння рослин мають цілий спектр забарвлення, що визначає цей показник важливою маркерною ознакою. Враховуючи різноманіття забарвлень насіння різних сортозразків однієї культури, виникає надзвичайна потреба в їх ідентифікації та систематизації. В зв'язку з тим що сприйняття кольору для кожної людини є індивідуальним, виключення людського фактору і застосування інструментальних можливостей розпізнавання забарвлення насіння є дуже актуальним.

Відомий спосіб визначення розмірів насіння (Tishchenko et al., 2015), 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. Відомий спосіб визначення розмірних характеристик насіння (Bakum et al., 2006), який включає формування вибірки насіння і поштучне вимірювання спеціальними засобами розмірних характеристик кожної насінини, шляхом сканування, перенесення зображення у файл програми «AutoCAD», проставляння в цій програмі умовних їх розмірів, визначення коефіцієнту перерахунку і обчислення дійсних розмірів компонентів вибірки.

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.

Відомі пристрій і відповідний спосіб визначення однорідності партії насіння за їх характеристиками кольору, розміру й форми (Ringenbakh et al., 2006), який включає поетапне виконання наступних операцій: кожне насіння поміщають в 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 колірної моделі *HSI* (колірний відтінок, насиченість та інтенсивність, скор. від англ. "Hue, Saturation, Intensity") для розпізнавання об'єктів, розташованих в межах заданої зони, переважно дискретних об'єктів, що виконується в кожній заданій зоні шляхом сегментації; для кожного об'єкта визначають розмір, форму і колір на основі колірної моделі *HSI* шляхом 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 фактичні розмір, форму, колірний розподіл і колір на основі колірної моделі, а при необхідності – і насиченості, і виводять звіт щодо кольору, колірної моделі, фактичного розміру і форми насіння в партії із забезпеченням показника однорідності партії.

До недоліків відомого способу слід віднести 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 загальної партії за вищезазначеними морфологічними показниками.

Виходячи з цього, розробка і удосконалення техніко-технологічного забезпечення автоматичного фенотипування насіння соняшнику в структурі систем автоматизованого керування їх конструктивно-режимних параметрів є актуальною проблемою.

Метою досліджень є розробка і проведення виробничої перевірки стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику.

Матеріали та методи

Розроблена раціональна прецизійна технологічна лінія процесів сепарації насінневого матеріалу соняшнику розсадників (рис. 1) включає етапи механізованого обмолоту кошиків з-під індивідуальних ізоляторів і первинне очищення насінневої суміші, яке здійснюється на лабораторному розсіві та малогабаритному аеродинамічному сепараторі, та подальше його калібрування за морфологічними показниками і маркерними ознаками з використанням пристрою для автоматичного фенотипування насіння. Запропонований пристрій соняшнику дозволяє значно інтенсифікувати та скоротити селекційний процес та поліпшити проектування програми схрещування. За допомогою зазначеного пристрою можна проводити біоінформативний аналіз даних, оцінку їх якості, сортувати насіння у насінництві олійних культур, проводити добір за заданими ознаками на початкових етапах селекційного процесу (Aliiev & Yaropud, 2019).

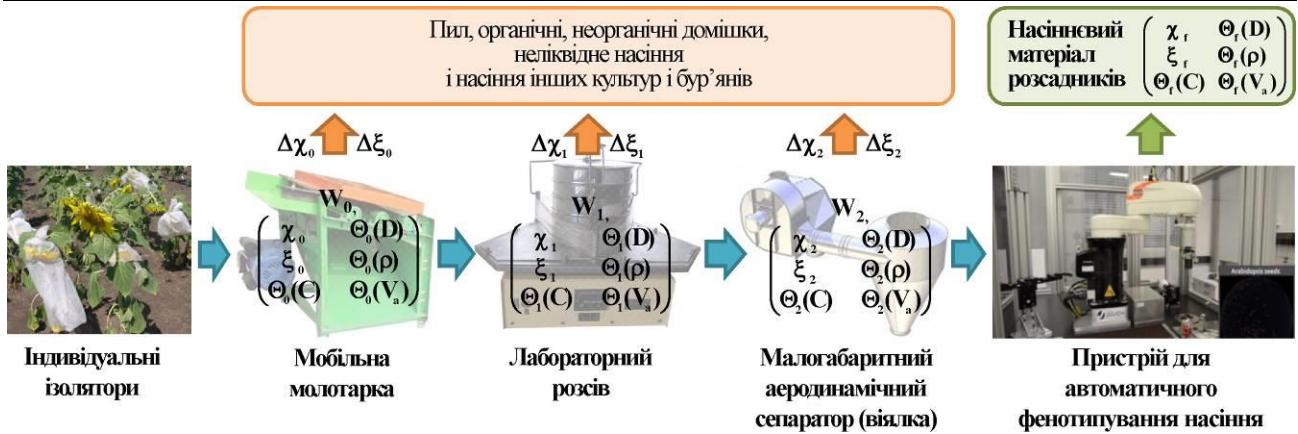


Рис. 1. Розроблена раціональна прецизійна технологічна лінія процесів сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику розсадників

Раціональна прецизійна технологічна лінія процесів сепарації супер-елітного насіннєвого матеріалу соняшнику (рис. 2) включає етапи збирання насіннєвої суміші з-під групових ізоляторів шляхом прямого комбайнування малим селекційним комбайном або ручного зрізання і обмолоту на мобільній молотарці. Далі йдуть етапи розділення насіннєвої суміші за фізико-механічними і морфологічними властивостями з використанням селекційних сепараторів із елементами автоматизації і контролю якості сепарації. Наприкінці

технологічної лінії виконується процес відбору проб і його контролю на пристрої автоматичного фенотипування насіння. Прецизійність даної лінії досягається шляхом застосування адаптивної системи керування техніко-технологічного забезпечення (Shevchenko & Aliiev, 2018).

Для реалізації представлених прецизійних технологічних ліній процесів сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику розроблено пристрій для автоматичного фенотипування насіння стрічкового типу (рис. 3).

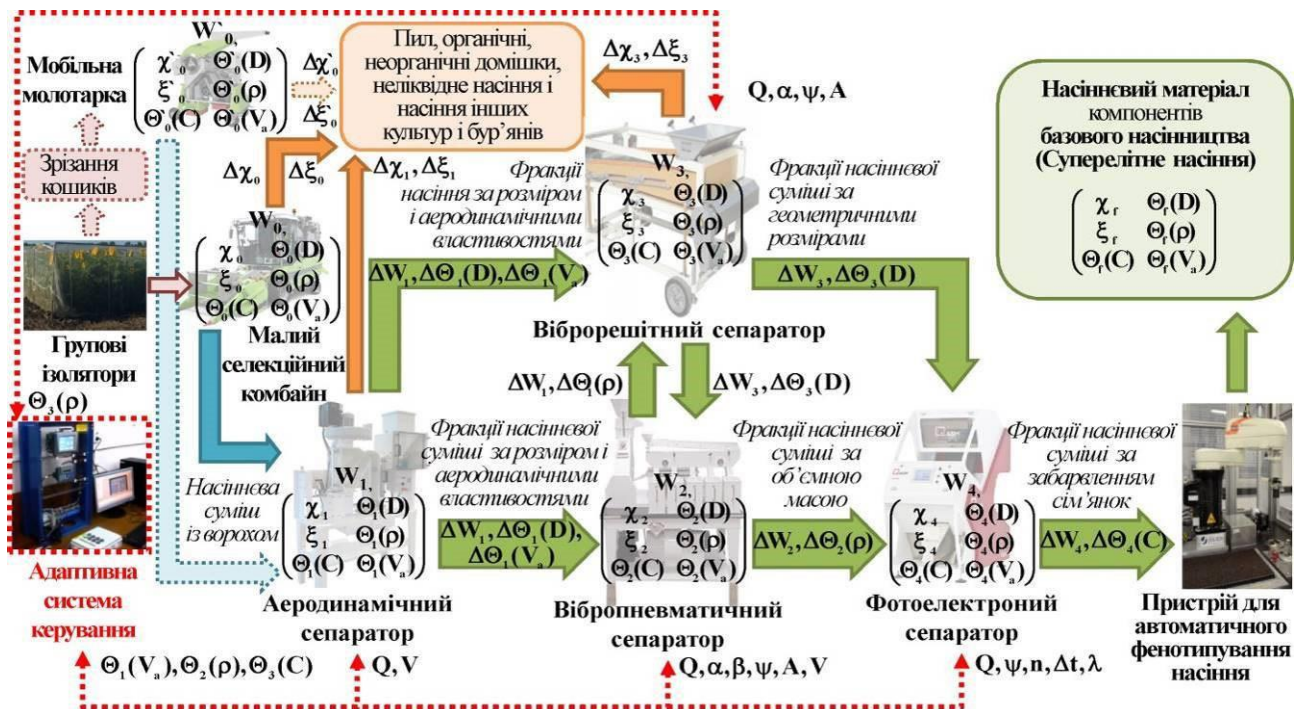
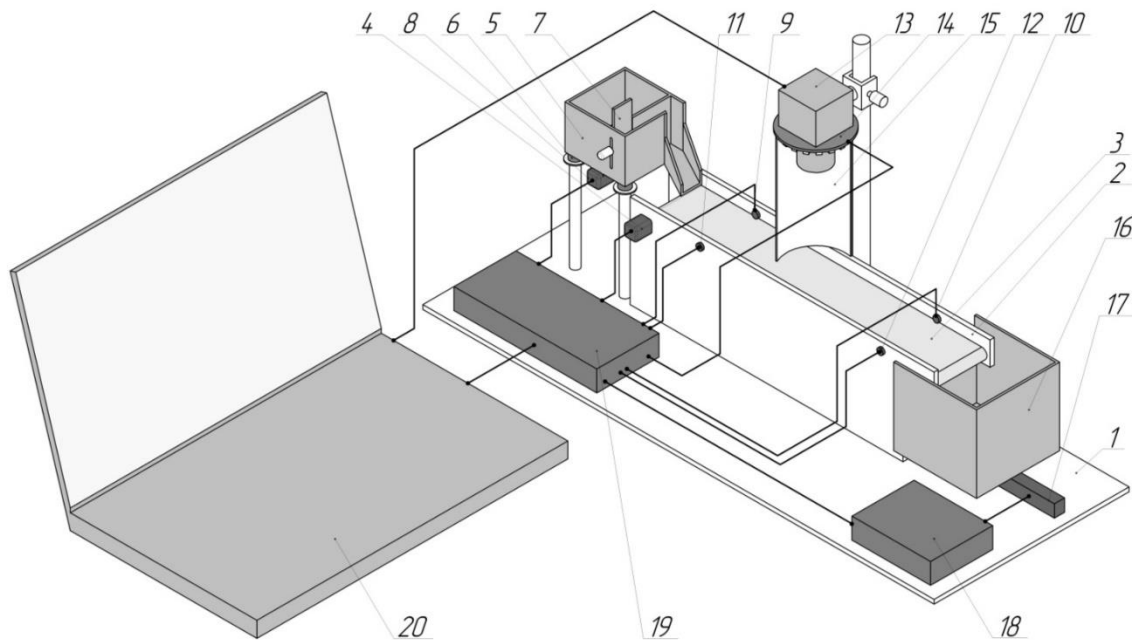


Рис. 2. Розроблена раціональна прецизійна технологічна лінія процесів сепарації супер елітного насіннєвого матеріалу соняшнику



1 – рама, 2 – стрічковий транспортер, 3 – стрічка, 4 – електродвигун, 5 – лоток подачі насіння, 6 – резинові амортизатори, 7 – регульована заслінка, 8 – вібродвигун, 9, 10 – інфрачервоні світлодіоди, 11, 12 – фотоприймачі, 13 – фотокамера, 14 – RGB-світлодіоди, 15 – труба із світлонепроникного матеріалу, 16 – прийомний лоток, 17 – тензодатчик, 18 – підсилювач, 19 – блок керування, 20 – персональний комп'ютер

Рис. 3. Схема стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння

Стрічковий пристрій для автоматичного фенотипування насіння працює таким чином. Насіння, що необхідно дослідити, розміщують в лотку подачі насіння 5. За використанням 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 віброючі 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. В 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 чергове вмикання RGB-світлодіодів 14. Зображення

насіння у трьох освітленнях зберігається в базі даних персонального комп'ютера 20. Далі насіння проходить між інфрачервоним світлодіодом 10 і фотоприймачем 12. В результаті чого формується сигнал, який через блок керування 19 потрапляє до персонального комп'ютера 20. В кінці стрічкового транспортеру 2 насінини потрапляють 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 кожної насінини за кожного вмикання 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). Окрім цього, персональний комп'ютер 20 за отриманими зображеннями визначає форму і геометричні розміри кожної насінини, що досліджується. Вся визначена інформація зберігається у базі даних, відображається на

дисплеї персонального комп'ютера 20 і представляється на огляд оператора.

Таким чином, запропонований пристрій зберігає точність індивідуального вимірювання геометричних розмірів насіння, 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 для його здійснення дозволяє визначити

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.

Виробнича перевірка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику була проведена на макетному зразку, загальний вид якого представлено на рис. 4.

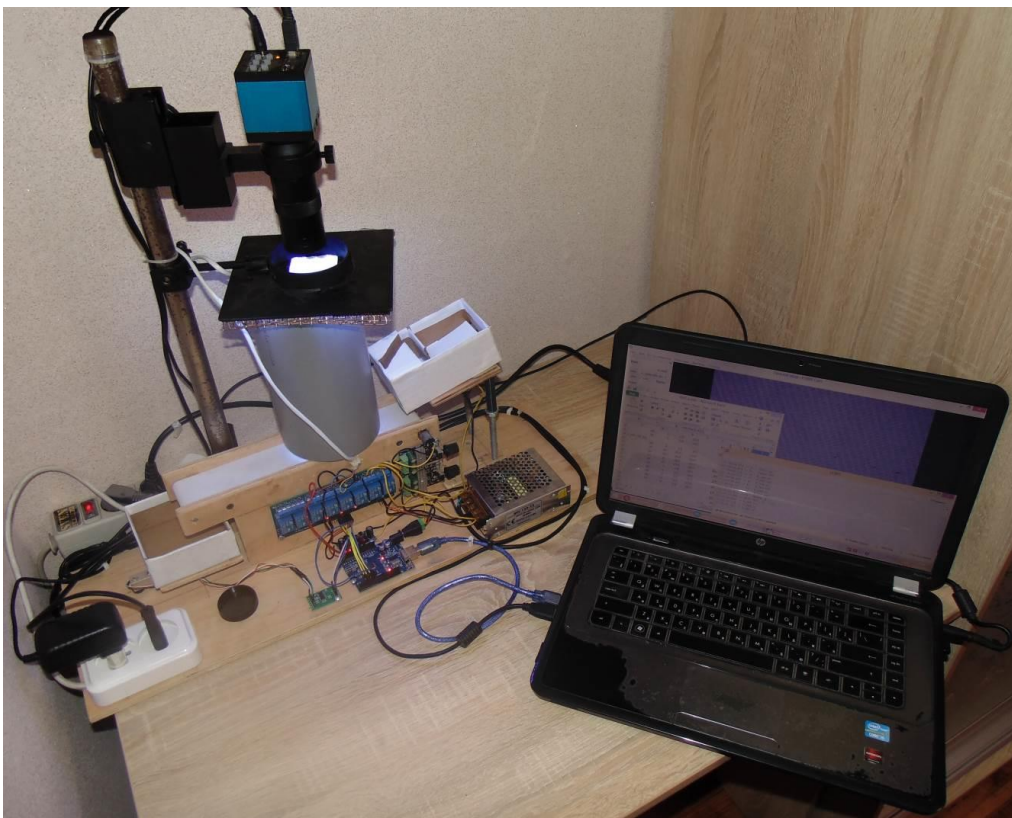


Рис. 4. Загальний вигляд макетного зразка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику

В якості тензодатчика із підсилювачем використано *Weight sensor HX711*. В якості фотокамери використано *Video Microscope Camera 1080P 16MP HDMI USB* виробництва *Eakins*. Керування стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння здійснює апаратно-програмний засіб *Arduino Uno ATmega328P-PU* у комплексі із блоком реле. Електрична схема макетного зразка стрічкового

пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику приведена на рис. 5.

Результати досліджень та обговорення

В результаті виробничої перевірки стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування встановлено середню похибку вимірювань геометричних розмірів насіння соняшнику (довжини L і ширини B), яка складає 0,06 мм.

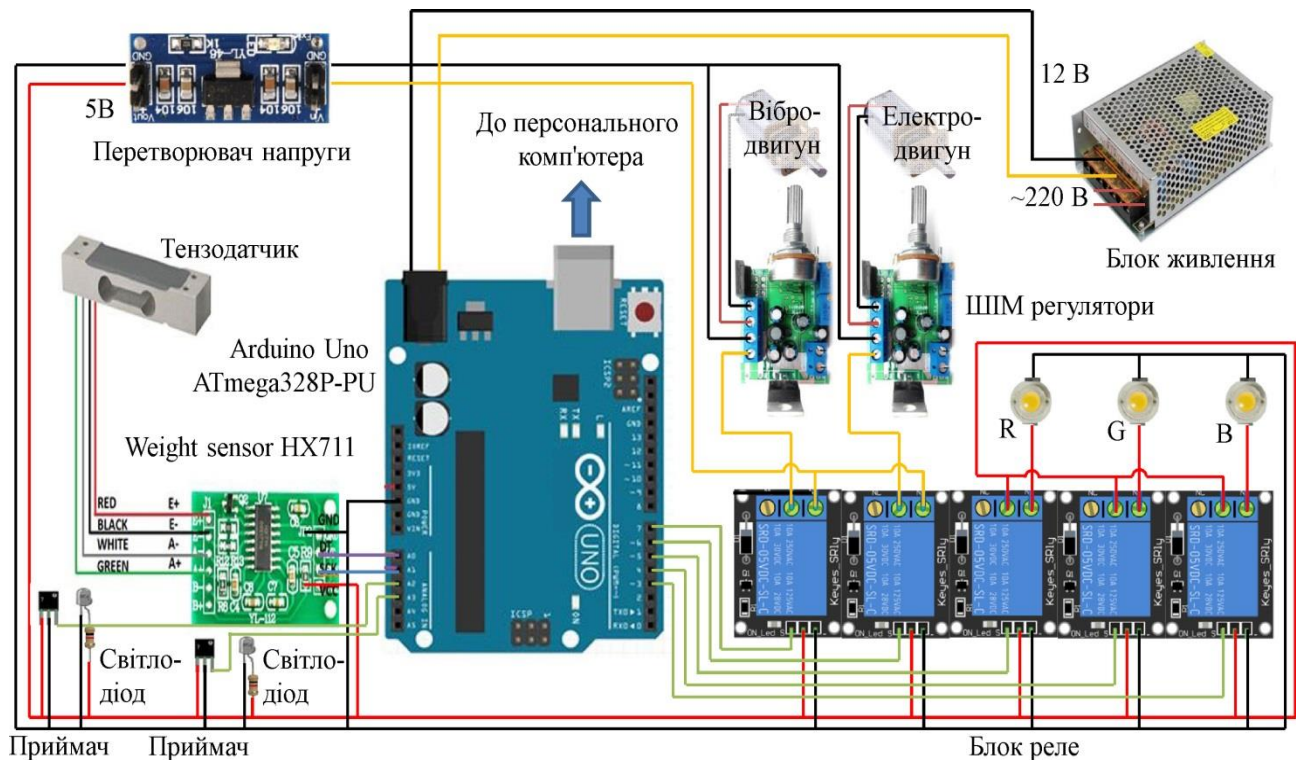


Рис. 5. Електрична схема макетного зразка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику

За розрахованим критерієм Пірсона (χ^2) нормальність розподілу похибок вимірювань складає 2,21, більше за табличне значення $\chi^2(0,95;5) = 1,15$. Поведена перевірка 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 $F = 1,15 < F_{0,05}(91, 100) = 1,39$.

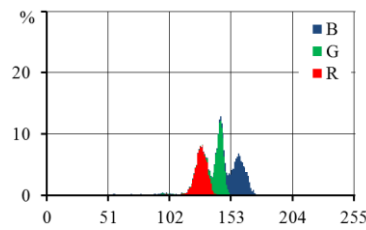
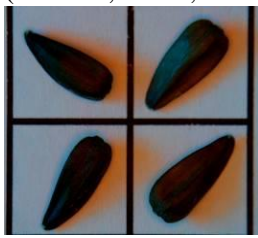
В результаті аналізу отриманих гістограм розподілу кольорів областей насіння соняшнику в колірному просторі RGB встановлено, що у випадку однорідності кольору найбільш виразно видно дискретність каналів за червоного освітлення. При цьому, гістограма має по одному максимуму для кожного каналу, який зміщується в залежності від забарвлення насіння. Так, для

чорного забарвлення $R = 182-189$, $G = 194-202$, $B = 211-218$, а для білого $R = 112-118$, $G = 124-129$, $B = 133-139$. Приклади гістограм розподілу кольорів областей насіння соняшнику в колірному просторі RGB за різного освітлення представлені на рис. 6–7.

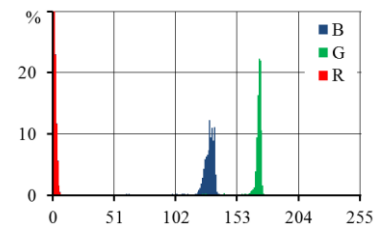
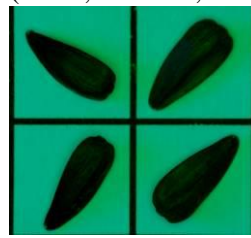
Також виявлено, що у випадку двокольорового забарвлення насіння соняшнику на гістограмах спостерігається два максимуми, кожен з яких відповідає одному з кольорів. Частоти цих максимумів відповідають інтенсивності кожного з кольорів. Враховуючи вищесказане, можна визначити показник забарвлення насіння C як матрицю частот f відповідних максимумів (max) у колірному просторі RGB за червоного освітлення насіння:

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

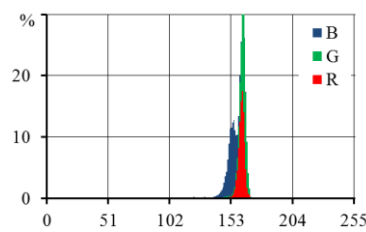
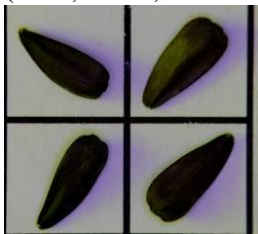
Червоне освітлення
($R = 255, G = 0, B = 0$)



Зелене освітлення
($R = 0, G = 255, B = 0$)



Блакитне освітлення
($R = 0, G = 0, B = 255$)



Біле освітлення
($R = 255, G = 255, B = 255$)

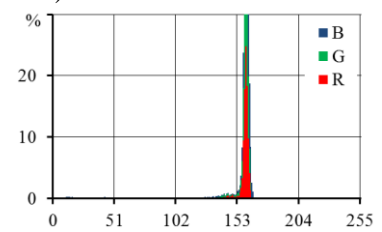
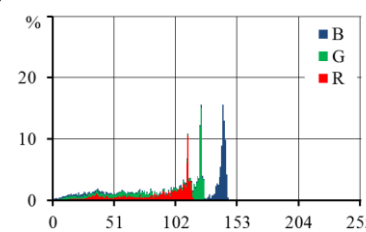
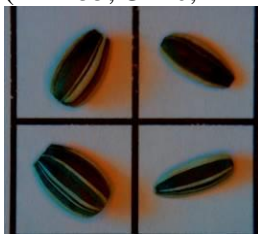
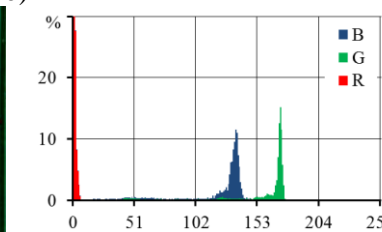


Рис. 6. Гістограми розподілу кольорів областей насіння соняшнику сортозразка *RHA273* у колірному просторі *RGB*

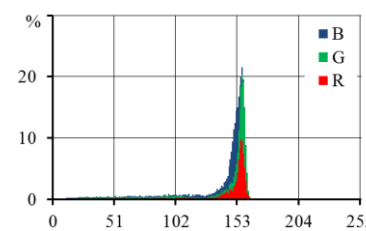
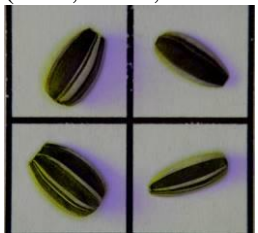
Червоне освітлення
($R = 255, G = 0, B = 0$)



Зелене освітлення
($R = 0, G = 255, B = 0$)



Блакитне освітлення
($R = 0, G = 0, B = 255$)



Біле освітлення
($R = 255, G = 255, B = 255$)

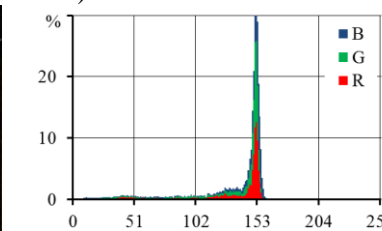


Рис. 7. Гістограми розподілу кольорів областей насіння соняшнику сортозразка *I2K20031* у колірному просторі *RGB*

Висновки

Розроблено стрічковий пристрій для автоматичного фенотипування насіння, який зберігає точність індивідуального вимірювання геометричних розмірів насіння соняшнику, 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. В результаті виробничої перевірки стрічкового пристрою для автоматичного

фенотипування насіння соняшнику встановлено його продуктивність, яка складала 0,3 кг/год; і споживаємо потужність (разом із персональним комп'ютером) – 114 Вт. Під час перевірки була створена база даних морфологічних і маркерних ознак насіння 31 сортозразка соняшника. 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.

References

- Aliiev, E. B. & Yaropud, V. M. (2019). Tekhniko-teknolohichne zabezpechennia pretsyziinoi separatsii nasinnievoho materialu soniashnyka [Technical and technological support of precision separation of sunflower seed material]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*, 1 (92), 40–47 [in Ukrainian].
- Bakum, M. V., Manchynskiy, Yu. O., Horbatovskiy, O. M., Leonov, V. P., Putivtsev, A. A. & Pryz, K. L. (2006). Patent Ukrainy13868. Kyiv : Derzhavne patentne vidomstvo Ukrainy [in Ukrainian].
- Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy (2019). Ekonomichna statystyka. Silske, lisove ta rybne hospodarstvo [Economic statistics. Agriculture, forestry and fisheries]. Retrieved from https://ukrstat.org/en/operative/menu/menu_u/cg.htm [in Ukrainian].
- Gorohivets, N. A. & Vedmedeva, E. V. (2016). Inheritance of epidermis pigmentation in sunflower achenes. *Cytol Genet.*, 50 (2), 116–120. doi: 10.3103/S009545271602003.
- 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. doi: <https://doi.org/10.1104/pp.16.01122>.
- Kabinet Ministriv Ukrainy (2016). Derzhavna tsilova prohrama rozvytku ahrarnoho sektoru ekonomiky na period do 2020 roku [State target program for the development of the agricultural sector for the period up to 2020]. *Ofitsiynyy visnyk Ukrainy*, 24 [in Ukrainian].
- Ministerstvo ahrarnoi polityky ta prodovolstva Ukrainy (2019). Derzhavnyy reyestr sortiv roslyn, prydatnykh dlya poshyrennya v Ukraini na 2019 rik [State register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine for 2019]. Kyiv [in Ukrainian].
- Poliakova, N. A. & Vedmedeva, E. V. (2016). Inheritance of Anthocyanin Coloration Trait in Pericarp of Sunflower Seeds. *HELIA*, 39 (64), 281–90. doi: 10.1515/helia-2016-0005.
- Ringenbakh, A. & Loyenberger, Ya. A. (2006). Patent Rossii 2388203. Moskva : Federalnyy institut promyshlennoy sobstvennosti [in Russian].
- Shevchenko, I. A. & Aliiev, E. B. (2018). Doslidzhennia fotoelektronnoho protsesu vyznachennia zabarvlennia nasinnia oliinykh kultur [Investigation of the photoelectronic process of determining the coloration of oilseeds]. *Tekhnika i tekhnolohii APK*, 4 (103), 40–43 [in Ukrainian].
- Tanabata, T., Shibaya, T., Hori, K., Ebana, K. & Yano, M. (2012). SmartGrain: High-Throughput Phenotyping Software for Measuring Seed Shape through Image Analysis. *Plant Physiology*, 160, 1871–1880. doi: <https://doi.org/10.1104/pp.112.205120>.
- Tishchenko, L. M., Kharchenko, S. O., Kharchenko, F. M., Bakum, M. V., Abduyev, M. M., Borshch, Yu. P. & Korshunov, K. S. (2015). Patent Ukrainy101069. Kyiv : Derzhavne patentne vidomstvo Ukrainy [in Ukrainian].