Інститут олійних культур НААН

Обґрунтування адаптивних механотронних систем прецизійного цільового поділу та відбору насіннєвого матеріалу соняшнику

Алієв Ельчин Бахтияр огли,
кандидат технічних наук, старший дослідник,
завідувач відділу техніко-технологічного забезпечення насінництва

Запоріжжя, 2020

Мета досліджень

Мета дослідження: підвищення ефективності функціонування техніко-технологічного забезпечення первинного насінництва шляхом обґрунтування адаптивних механотронних систем цільового поділу та відбору насіннєвого матеріалу соняшнику. .

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

Об'єкт дослідження: технологічний процес прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за морфологічними показниками і фізико-механічними властивостями.

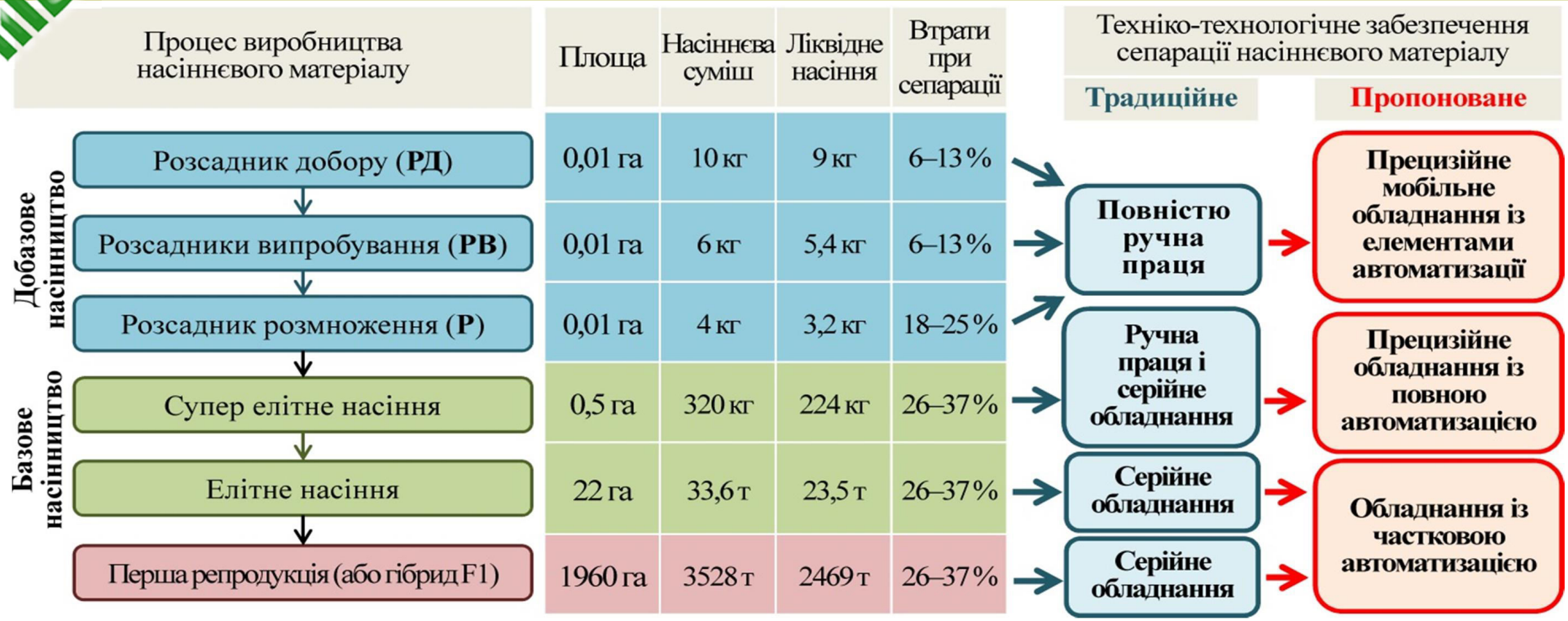
Предмет дослідження: насіннєвий матеріал соняшнику та умови і закономірності протікання технологічного процесу прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику.

Методи дослідження. В основу теоретичних досліджень покладено методи чисельного моделювання з використанням основних положень теорій класичної механіки, газодинаміки, вібрації, ймовірності, пружності, моделей дискретних елементів, багатофазної взаємодії, лагранжевої багатофазності. При цьому застосовувались методи диференційного та інтегрального числення.

Експериментальні дослідження проводились з використанням математичного методу планування експерименту, методів натурних спостережень та експертних оцінок, а обробка та аналіз результатів експериментальних досліджень здійснювались з використанням теорії ймовірності, кореляційно-регресійного аналізу.

Моделювання й обробка результатів досліджень здійснювались з використанням програмних пакетів STAR-CCM+ та Mathematica.

Технологічна лінія процесів очищення та розділення насіннєвого матеріалу

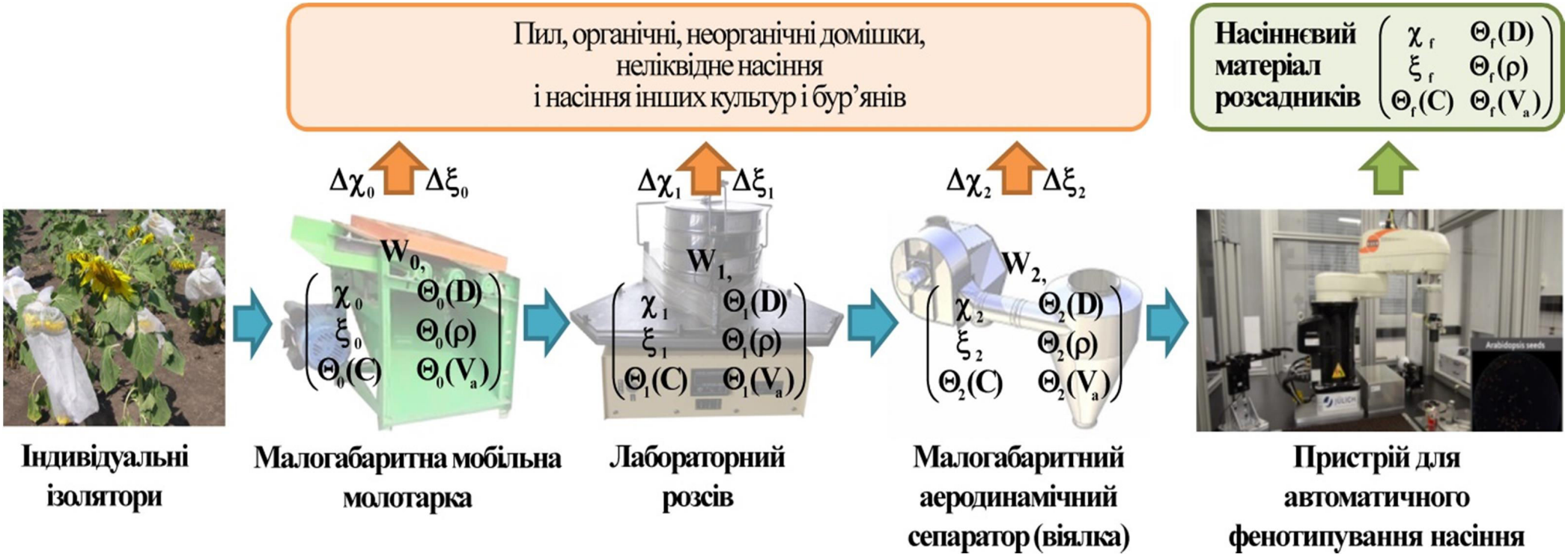


Узагальнена схема селекційно-насінницького процесу соняшнику

Вимоги до виконання технологічних операцій очищення, розділення і сепарації насіннєвого матеріалу:

- сортова чистота насіннєвого матеріалу повинна становити – 98,0-99,9 %;
- в процесі збирання та очищення безповоротні втрати не повинні перевищувати 1,5 % для базового насінництва та 0,1 % – для добазового;
- технічні засоби повинні повністю очищатися від насіннєвого матеріалу попередньої доопрацювання;
- машини повинні мати високу виборчу продуктивність, систему автоматизованого управління і контролю якості роботи;
- технологічне обладнання повинно бути екологічно безпечними як для персоналу, так і навколишнього середовища.

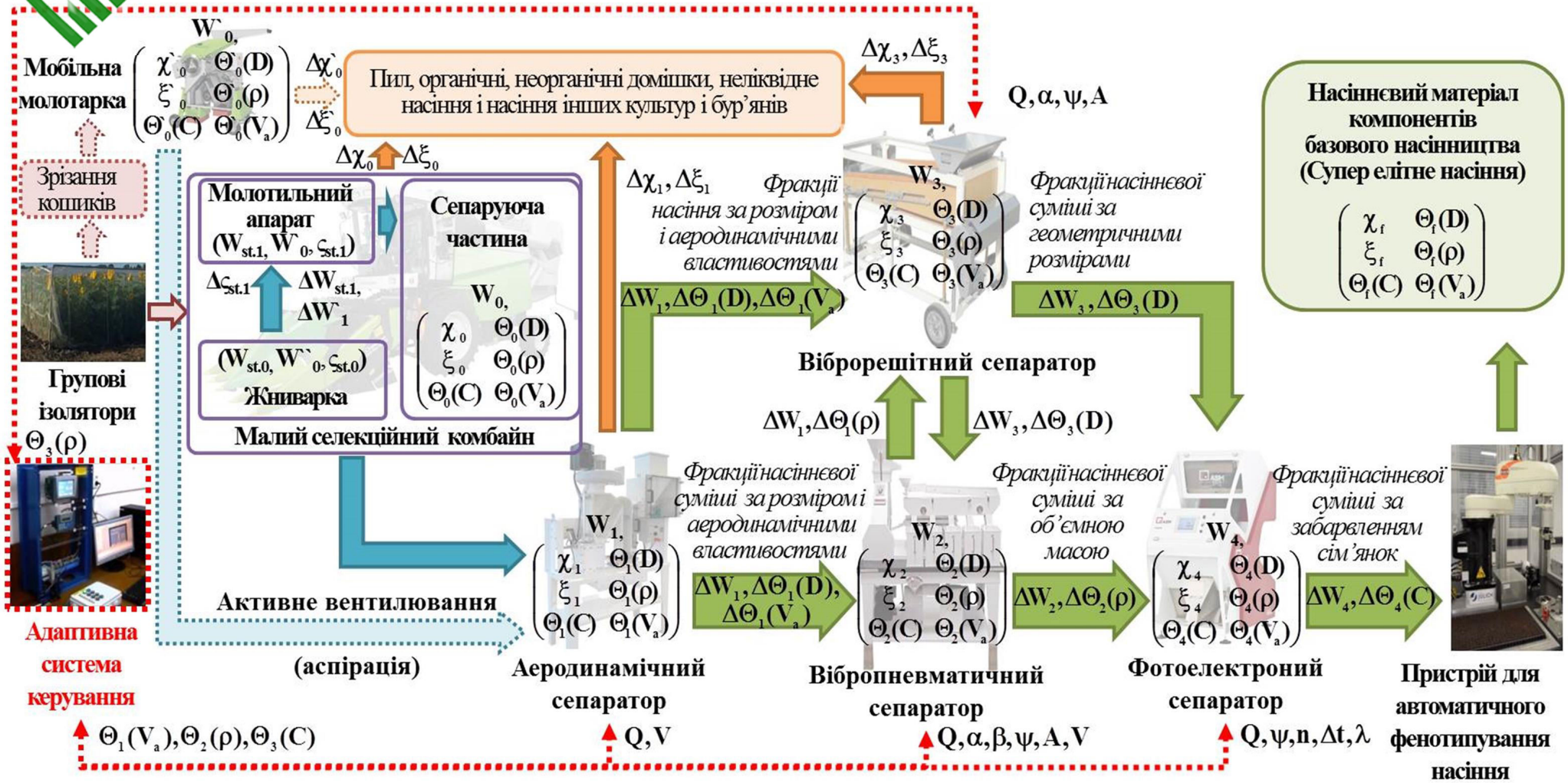
Технологічна лінія процесів очищення та розділення насіннєвого матеріалу



Технологічна лінія добазового насінництва соняшнику

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 вагою 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 – стеблева частина; ς – коефіцієнт соломистого,%

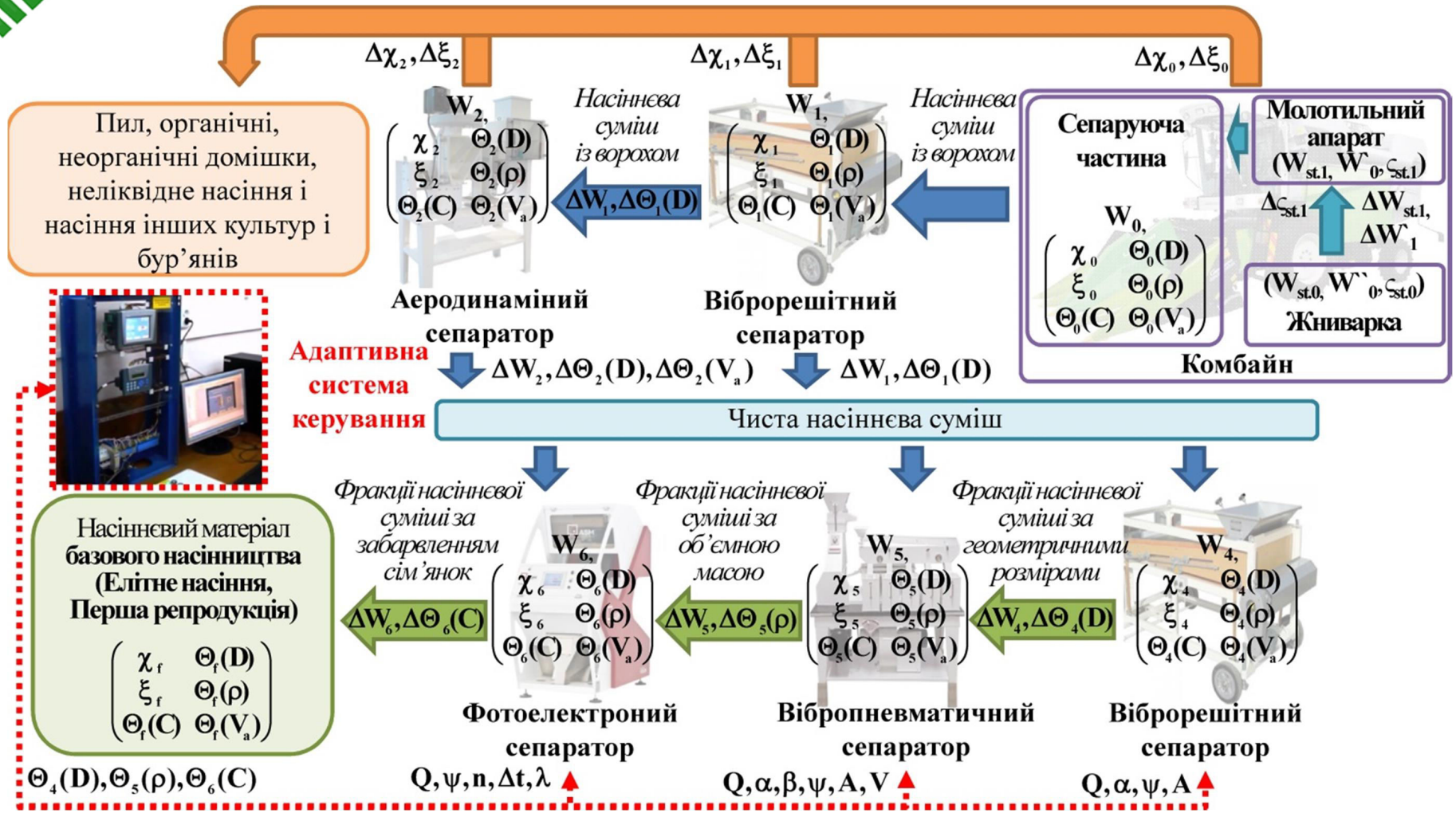
Технологічна лінія процесів очищення та розділення насіннєвого матеріалу



Технологічна лінія базового насінництва соняшнику (супер еліта)

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 вагою 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 – стеблева частина; ς – коефіцієнт соломистого,%

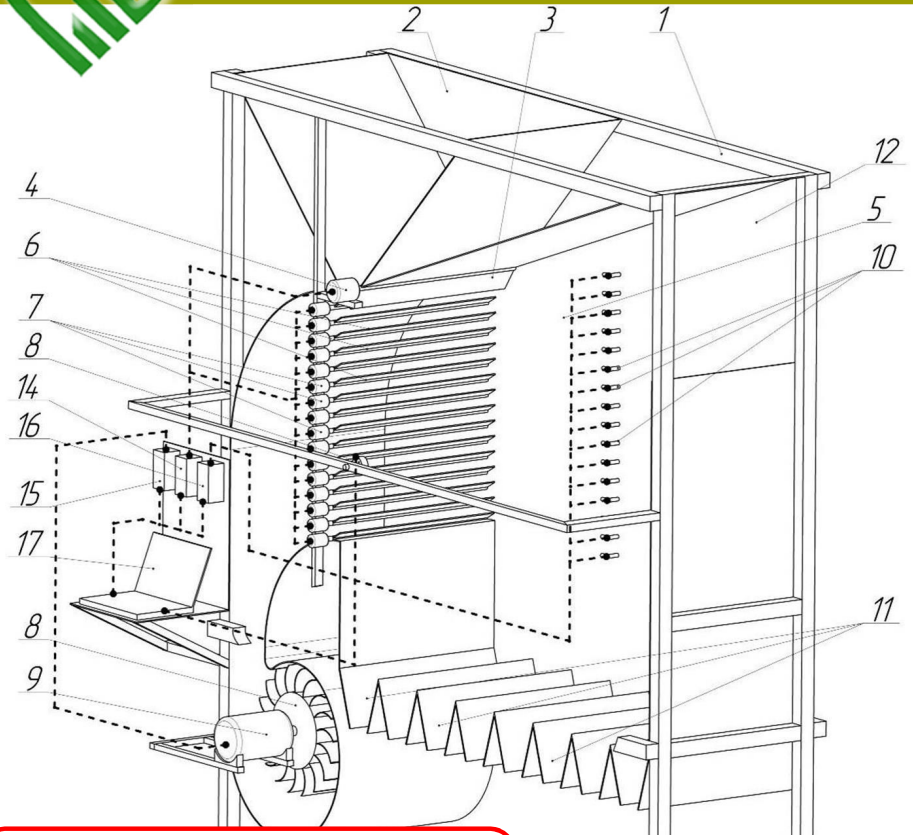
Технологічна лінія процесів очищення та розділення насіннєвого матеріалу



Технологічна лінія базового насінництва соняшнику (еліта, перша репродукція або F1)

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 вагою 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 – стеблева частина; ς – коефіцієнт соломистого,%

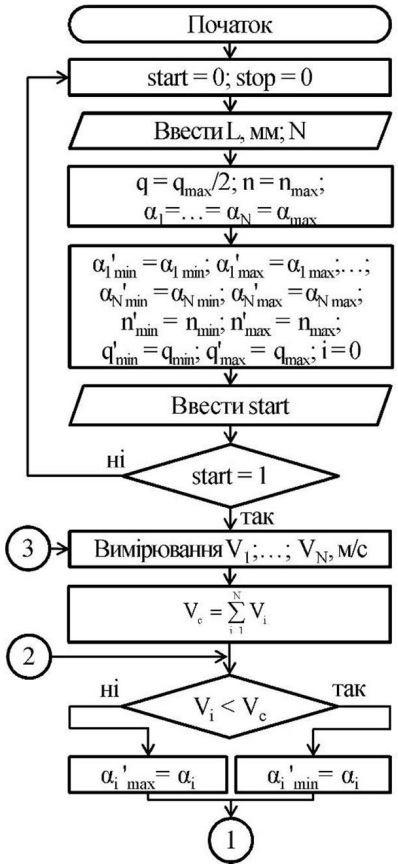
Адаптивний аеродинамічний сепаратор насіння соняшнику

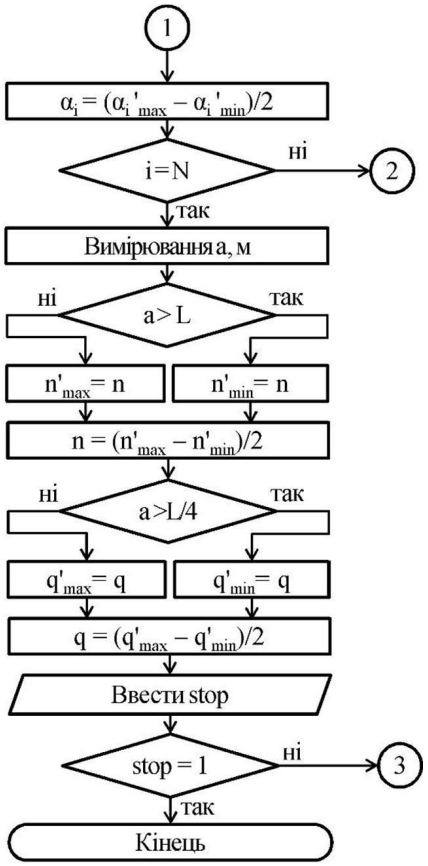


Патент на корисну модель 136828

1 – рама; 2 – бункер; 3 – заслінка; 4 – кроковий електродвигун; 5 – сепараційна камера; 6 – каскад заслінок; 7 – крокові електродвигуни; 8 – відцентровий вентилятор; 9 – асинхронний електродвигун; 10 – датчики швидкості повітряного потоку; 11 – збірники фракцій; 12 – збірник пилу; 13 – фотокамера; 14 – блок керування заслінками; 15 – частотний перетворювач; 16 – блок обробки даних; 17 – персональний комп'ютер

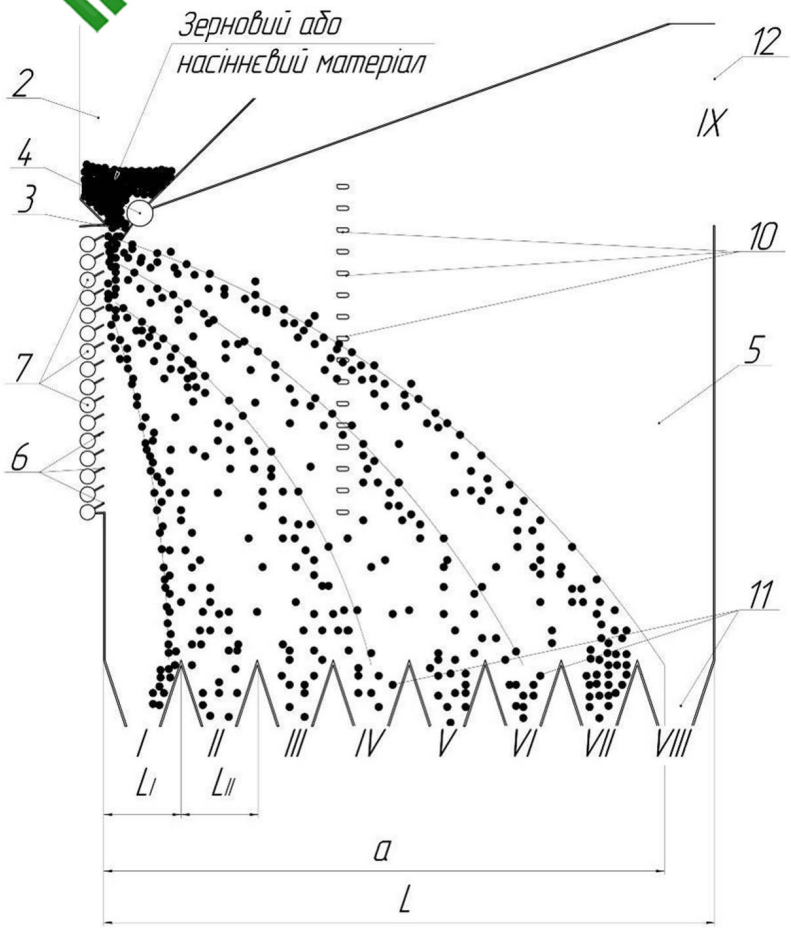
Конструктивна схема адаптивного аеродинамічного сепаратора





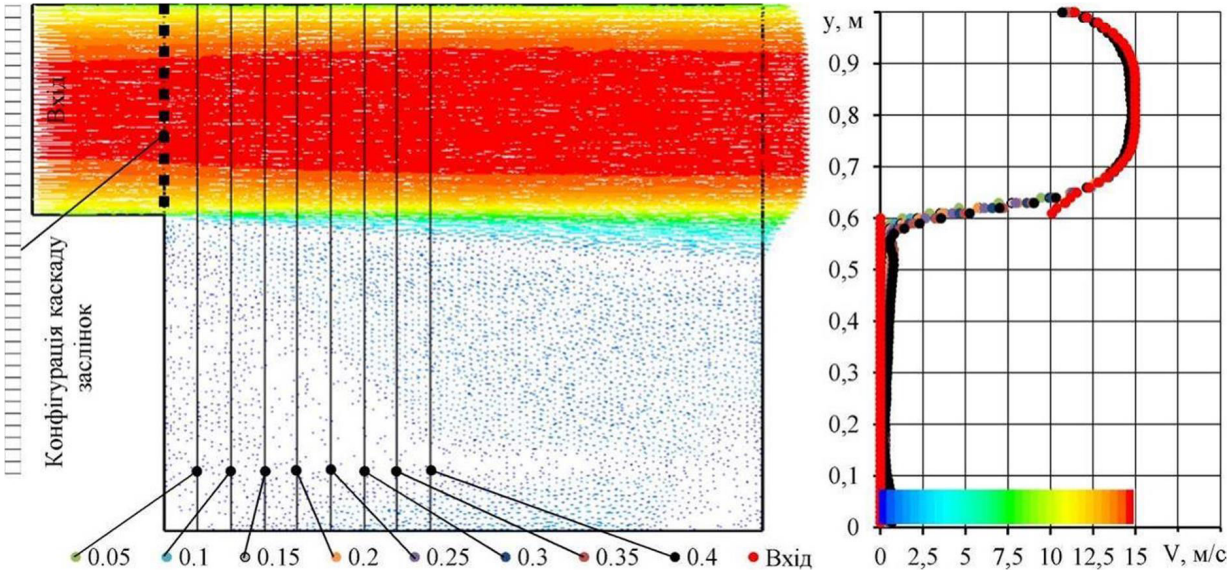
start – змінна запуску алгоритму; stop – змінна зупинки алгоритму; q – подача зернового або насіннєвого матеріалу, кг/год; n – частота обертання ротора асинхронного електродвигуна 9, об/хв; α_i – кут закриття заслінки 6, °; i – порядковий номер датчика швидкості повітряного потоку 10; N – кількість датчиків швидкості повітряного потоку 10; V_i – значення швидкості повітряного потоку, яка виміряна i-датчиком швидкості повітряного потоку 10; L – довжина сепараційної камери 5, мм; a – максимальна відстань польоту зернового або насіннєвого матеріалу, мм; «'» – позначає тимчасові змінні; «min» – позначає мінімальне значення змінної; «max» – позначає максимальне значення змінної

Обґрунтування автоматизованої системи керування потоком повітря

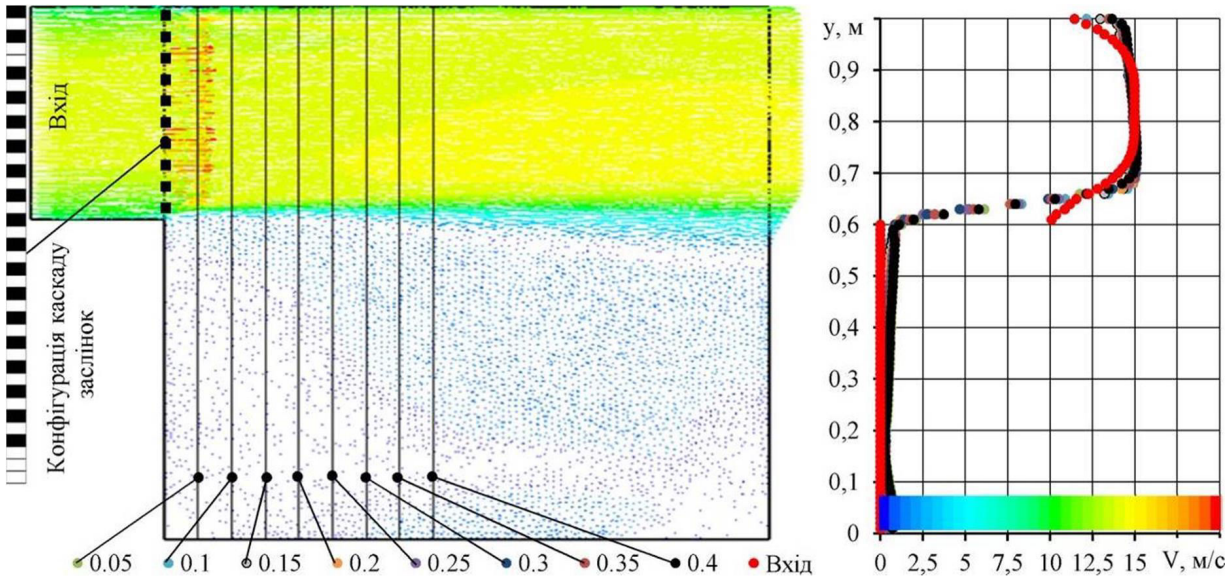


2 – бункер; 3 – заслінка; 4 –кроковий електродвигун; 5 – сепараційна камера; 6 – каскад заслінок; 7 – крокові електродвигуни; 10 – датчики швидкості повітряного потоку; 11 – збірники фракцій; 12 – збірник пилу;

Процес розділення зернового або насіннєвого матеріалу



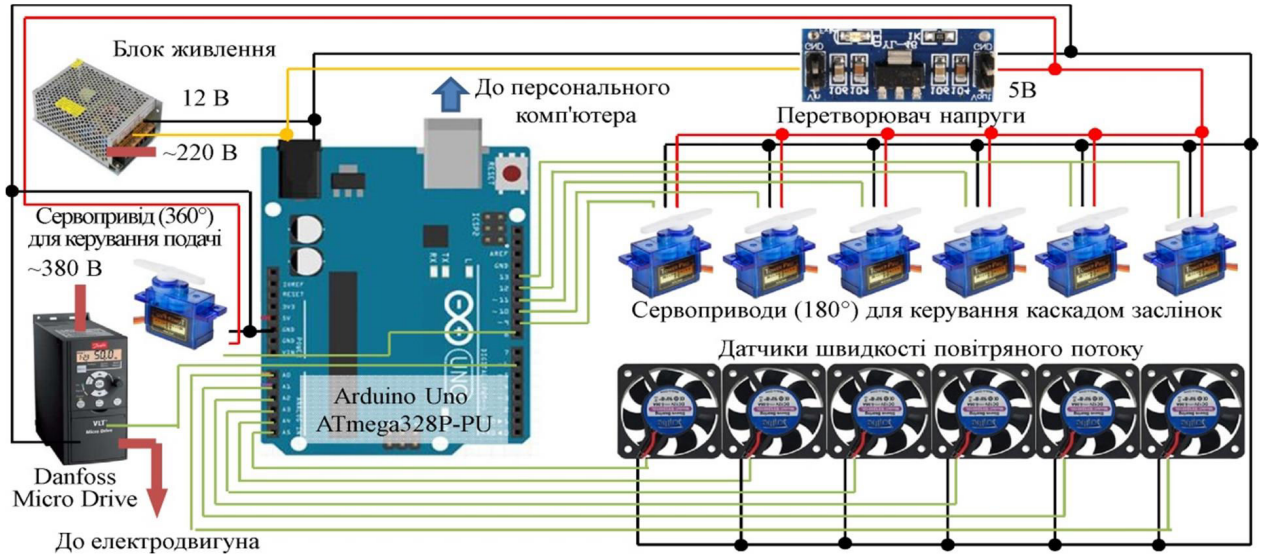
Розподіл швидкостей потоку повітря в сепараційній камері аеродинамічного сепаратора із відкритими заслінками



Розподіл швидкостей потоку повітря в сепараційній камері аеродинамічного сепаратора із закритими заслінками

Експериментальна перевірка адаптивного аеродинамічного сепаратора

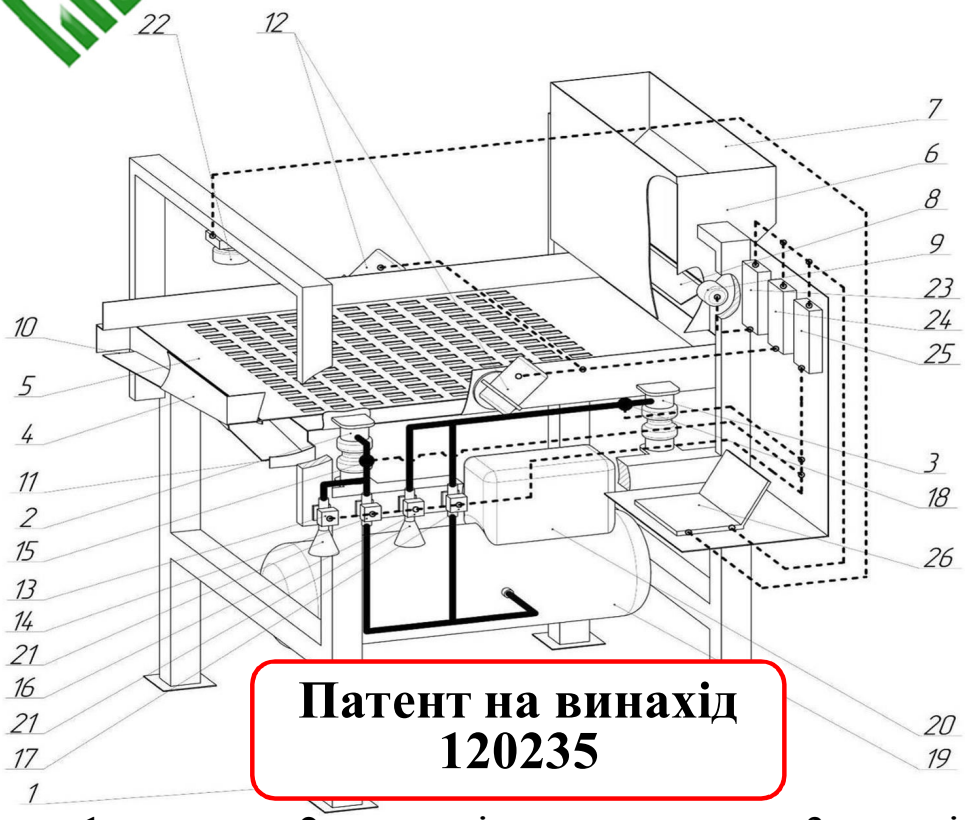
Загальний вигляд експериментального адаптивного аеродинамічного сепаратора



№ повторності	Перший етап сепарації				Другий етап сепарації			
	Раціональні параметри		Розроблений алгоритм		Раціональні параметри		Розроблений алгоритм	
	q, кг/год	δ, %	q, кг/год	δ, %	q, кг/год	δ, %	q, кг/год	δ, %
1	278	66	304	77,76	109	84,36	108	94,26
2	287	66,78	318	78	107	84,3	110	94,5
3	288	67,08	314	77,76	109	83,76	110	94,26
4	310	71,64	306	83,4	92	90,6	126	99,9
5	319	71,34	300	82,56	94	90,06	126	99,06
6	294	65,76	300	77,52	111	84,12	106	94,02
7	290	64,56	320	78,48	105	86,28	106	94,98
8	303	70,5	314	81,72	95	89,22	124	98,22
9	300	70,56	316	83,4	92	90	122	99,9
10	299	64,92	304	77,76	110	84,96	105	94,26
Середнє	297	67,9	310	79,8	102	86,8	114	96,3
σ	12	2,8	8	2,6	8	2,9	9	2,6

Застосування розробленого алгоритму при дворазовій сепарації насіннєвої суміші на адаптивному аеродинамічному сепараторі дозволяє виконувати технологічний процес сепарації насіннєвої суміші соняшнику за аеродинамічними властивостями із продуктивністю q = 114±9 кг/год і коефіцієнтом розподілу δ = 96,3±2,6 % %

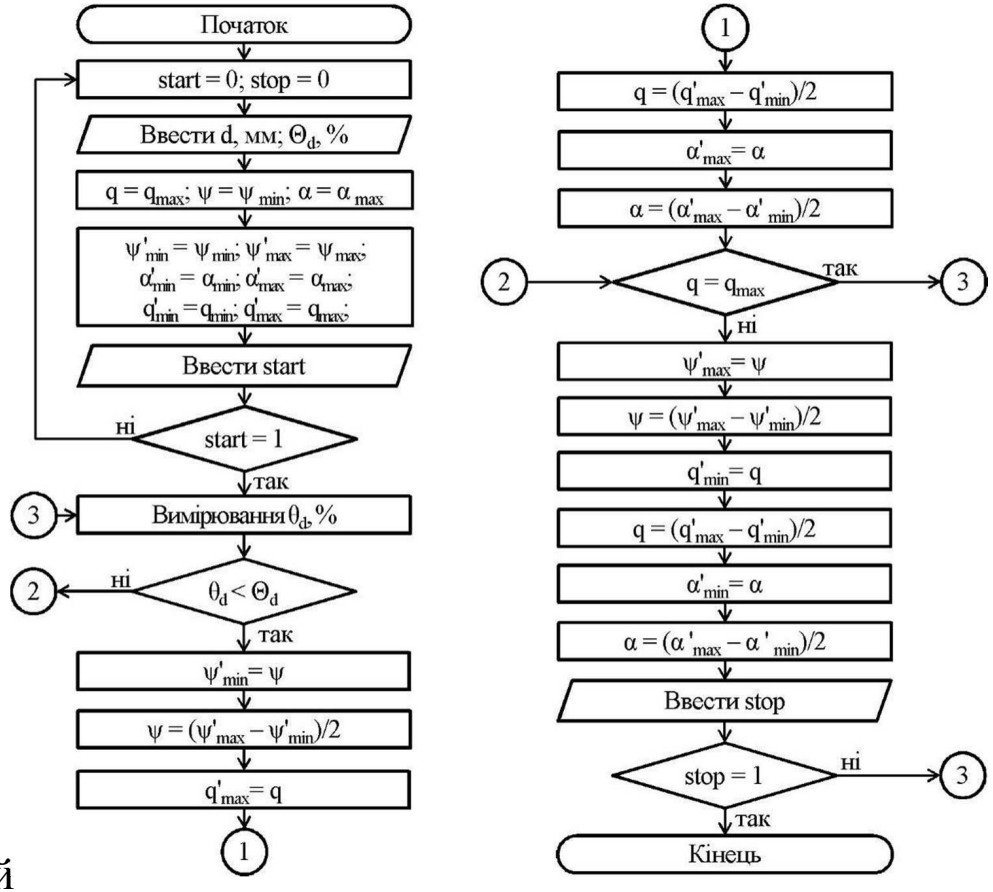
Адаптивний віброрешітний сепаратор насіння соняшнику



Патент на винахід 120235

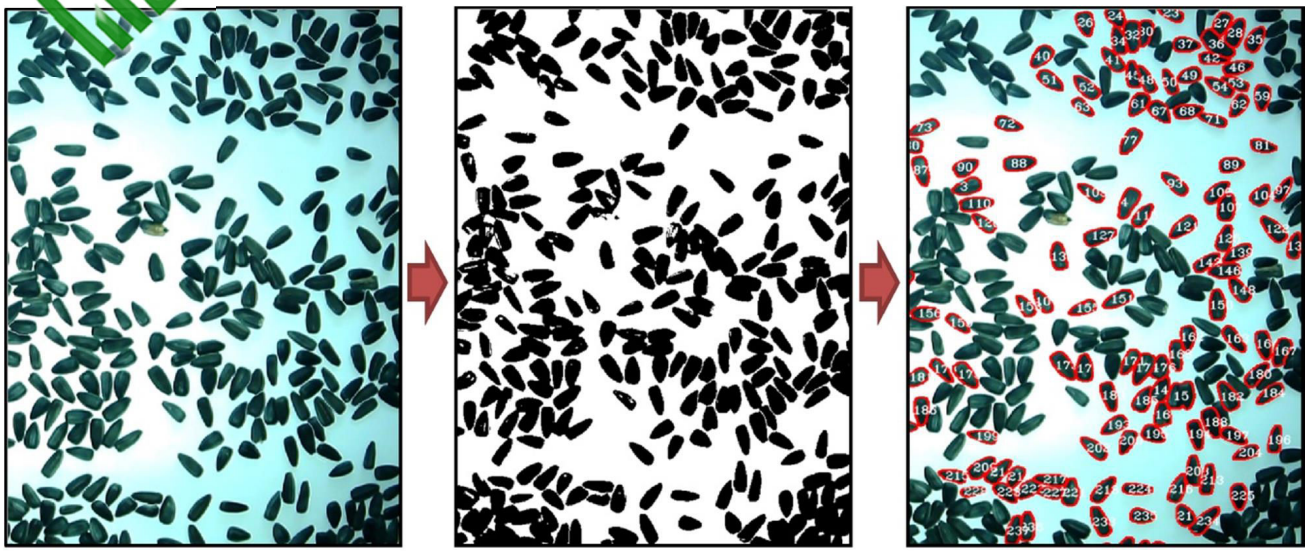
1 – станина; 2 – передні пневмоподушки; 3 – задні пневмоподушки; 4 – кузов; 5 – решітна рамка; 6 – приймальний пристрій; 7 – бункер; 8 – заслінка; 9 – кроковий електродвигун; 10 – вивантажувальне вікно для сходу; 11 – вивантажувальне вікно для проходу; 12 – електровібратори; 13 – передній електроклапан високого тиску; 14 – передній електроклапан атмосферного тиску; 15 – передній електронний датчик тиску; 16 – задній електроклапан високого тиску; 17 – задній електроклапан атмосферного тиску; 18 – задній електронний датчик тиску; 19 – повітряний ресивер; 20 – компресор; 21 – повітряні фільтри; 22 – фотокамера; 23 – блок керування кроковим електродвигуном; 24 – блок керування електродвигунами; 25 – блок керування пневмоподушками; 26 – персональний комп'ютер

Конструктивна схема адаптивного віброрешітного сепаратора



start – змінна запуску алгоритму; stop – змінна зупинки алгоритму; d – значення найменшого розміру отворів решітної рамки 5, мм; Θd – необхідна концентрація насіння за сходом, %; q – подача зернового або насіннєвого матеріалу, кг/год; ψ – частота вібрації решітної рамки 5, Гц; α – кут нахилу решітної рамки 5, ◦; θd – виміряна сумарна концентрація фракції зернової або насіннєвої суміші, %; «'» – позначає тимчасові змінні; «min» – позначає мінімальне значення змінної; «max» – позначає максимальне значення змінної

Алгоритм і програмне забезпечення визначення фракційного складу насіння соняшнику за фотозображенням



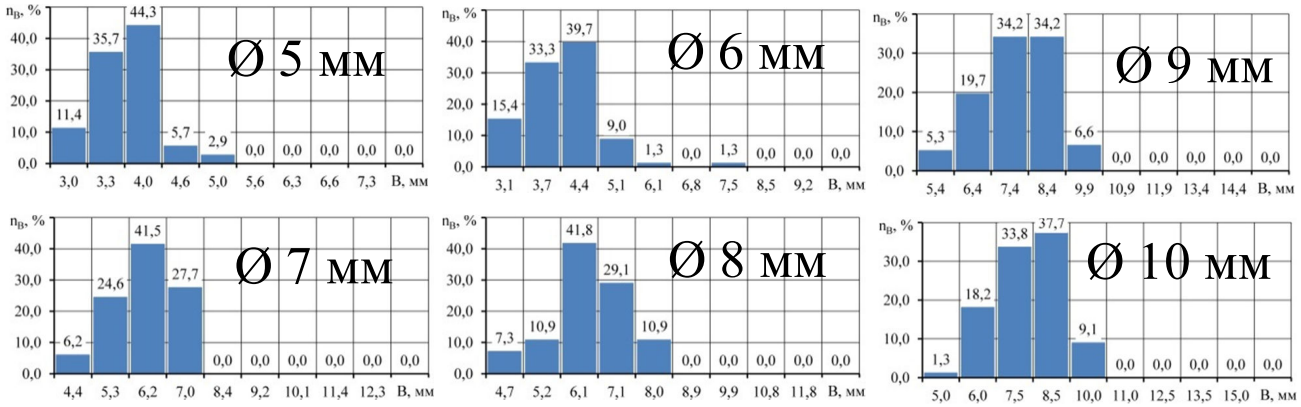
Вихідне зображення насіння — Перетворене (чорно-біле) зображення насіння — Визначення контурів насіння

Етапи обробки зображення

Координати центра мас насіння $(x_C, y_C) = \left(\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} x_i, \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} y_i\right)$

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

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



Розподіл насіння за їх шириною при проведеному калібруванню на комплекті лабораторних решіт

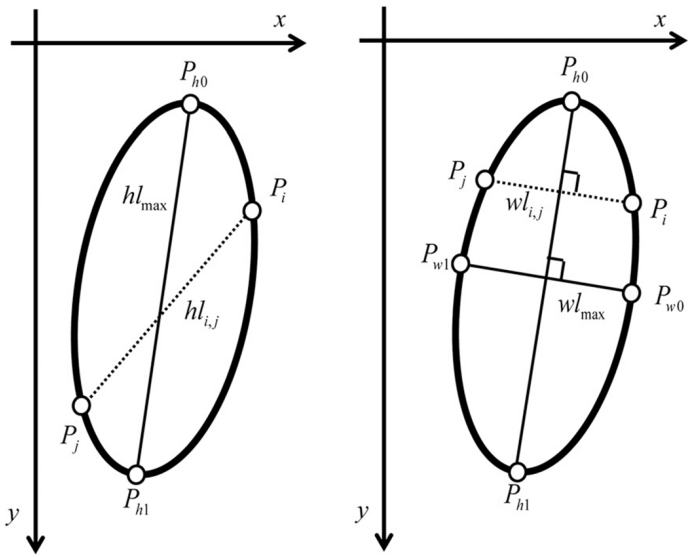
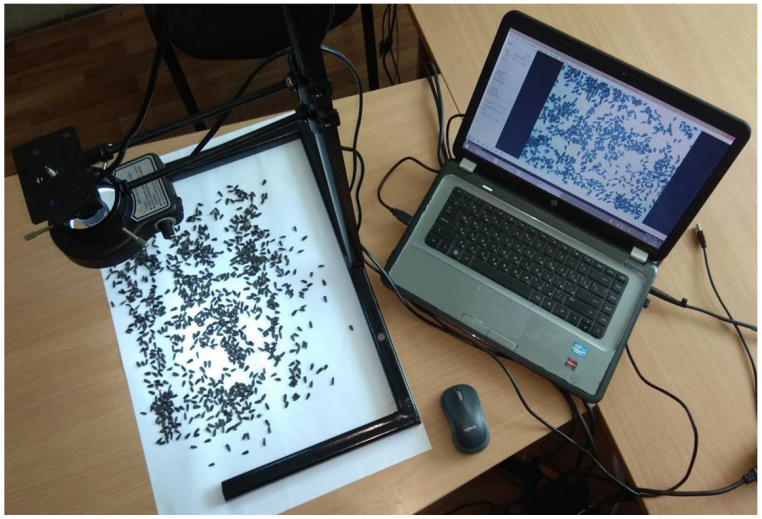
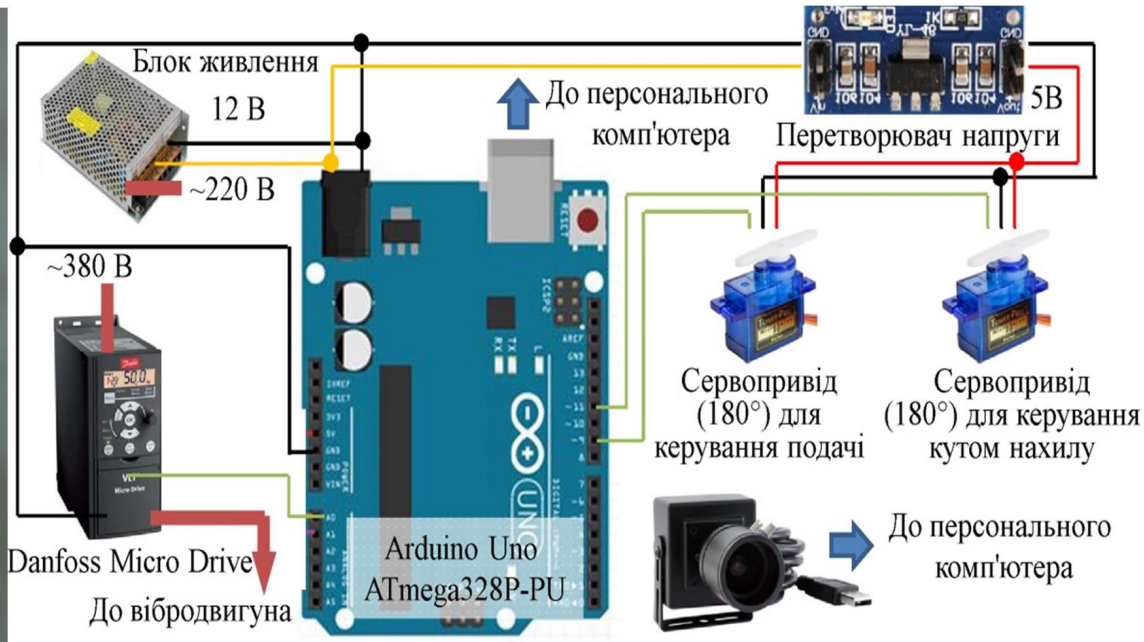


Схема визначення параметрів насіння



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

Експериментальна перевірка адаптивного віброрешітного сепаратора



Загальний вигляд експериментального адаптивного віброрешітного сепаратора

Застосування розробленого алгоритму при дворазовій сепарації насіннєвої суміші на адаптивному віброрешітному сепараторі дозволяє виконувати технологічний процес сепарації насіннєвої суміші соняшнику за геометричними розмірами із продуктивністю q = 189±13 кг/год і сумарною концентрацією насіння θ = 3,4±1,3 %.

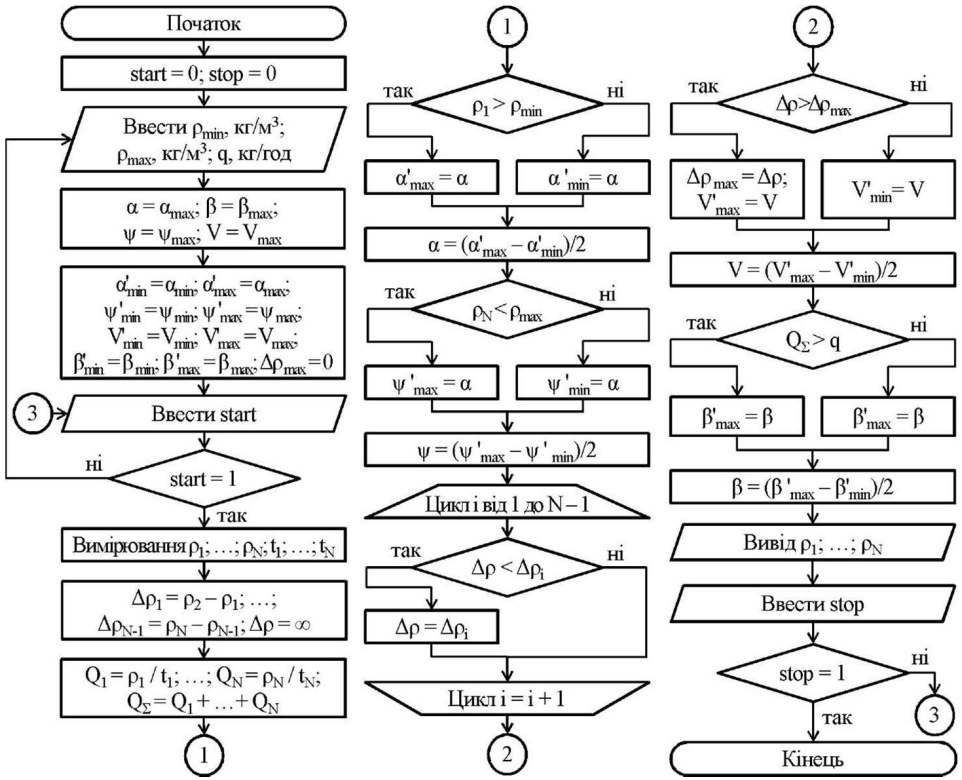
№ повторності	Перший етап сепарації				Другий етап сепарації			
	Раціональні параметри		Розроблений алгоритм		Раціональні параметри		Розроблений алгоритм	
	q, кг/год	θ, %	q, кг/год	θ, %	q, кг/год	θ, %	q, кг/год	θ, %
1	330	9,1	375	7,3	178	8,0	180	2,9
2	340	9,5	375	7,3	177	7,9	184	2,9
3	348	9,9	364	6,7	183	7,2	185	2,3
4	332	9,1	368	6,9	182	7,5	180	2,5
5	391	12,0	422	9,5	156	10,1	209	5,1
6	378	11,4	427	9,8	152	10,3	200	5,4
7	326	8,8	375	7,3	178	8,0	178	2,9
8	331	9,1	372	7,1	180	7,7	180	2,7
9	395	12,2	416	9,3	159	9,9	211	4,9
10	334	9,2	360	6,5	187	7,0	180	2,1
Середнє	351	10,0	385	7,8	173	8,4	189	3,4
σ	27	1,3	26	1,3	13	1,3	13	1,3

Адаптивний вібропневматичний сепаратор насіння соняшнику

Подано заявку № а201807029 на винахід

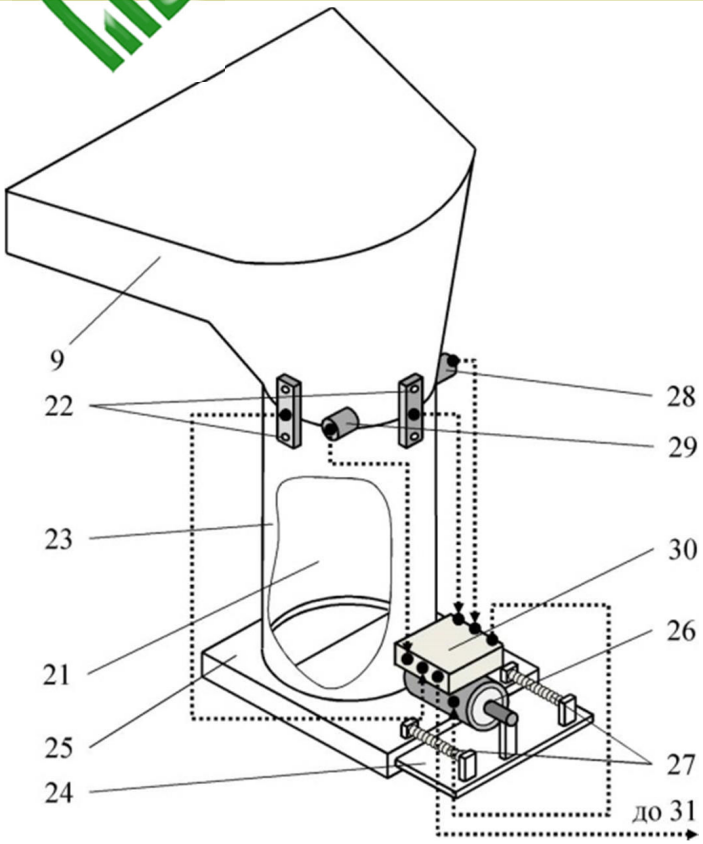
1 – рама; 2 – дека; 3 – пружини; 4, 5 – регулювальні гвинти; 6, 7 – крокові електродвигуни; 8 – повітропроникна робоча поверхня; 9 – вивантажувальні вікна; 10 – вентилятор; 11 – електродвигун; 12 – кривошипно-шатунний механізм; 13 – електродвигун; 14 – блок подачі насіння; 15 – горловини; 16 – заслінка; 17 – кроковий електродвигун; 18, 19 – блоки керування електродвигунами; 20 – блок керування кроковими електродвигунами; 21 – блок вимірювання об'ємної ваги; 22 – тензометричні датчики розтягування; 23 – полий циліндр; 24 – заслінка; 25 – кронштейн; 26 – штовхаючий електромагніт (соленоїд); 27 – пружини розтягування; 28 – інфрачервоний діод; 29 – інфрачервоний фотоприймач; 30 – блок керування вимірюваннями; 31 – загальний блок вимірювання; 32 – персональний комп'ютер, на якому встановлено відповідне програмне забезпечення

Конструктивна схема адаптивного вібропневматичного сепаратора



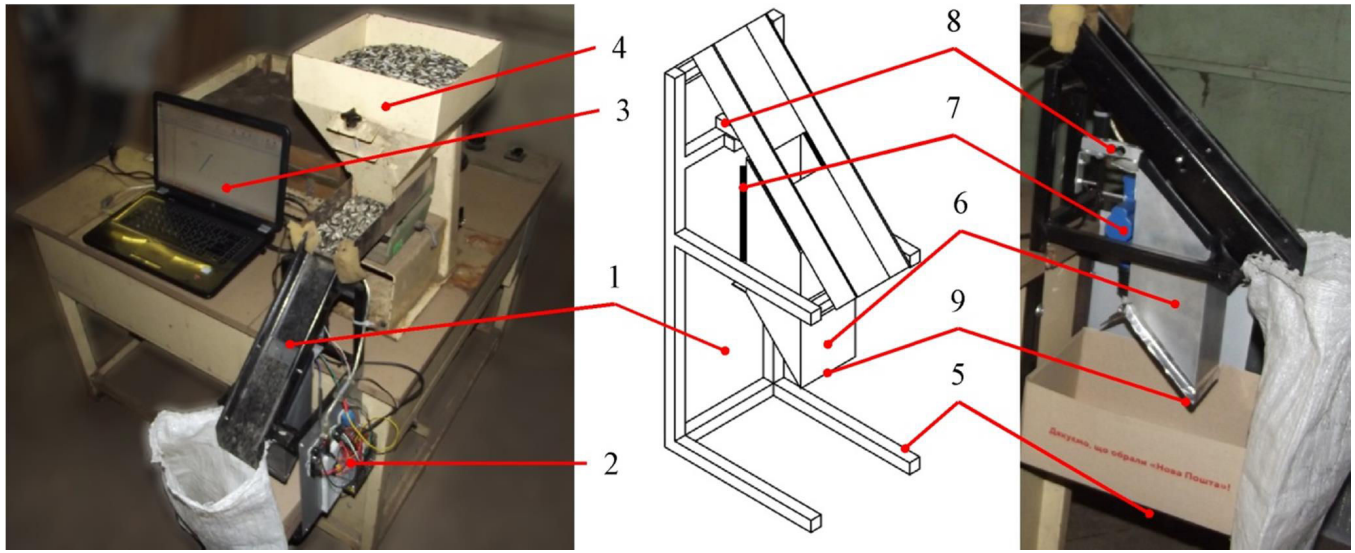
start – змінна запуску алгоритму; stop – змінна зупинки алгоритму; q – подача зернового або насінного матеріалу, кг/год; ρ – об'ємна маса зернового або насінного матеріалу, кг/м3; β і α – подовжній і поперечний кути нахилу деки, °; ψ – частота вібрація деки, Гц; V – швидкість потоку повітря з вентилятора, м/с; t – час наповнення полого циліндру, с; N – кількість блоків вимірювання об'ємної ваги; «'» – позначає тимчасові змінні; «min» – позначає мінімальне значення змінної; «max» – позначає максимальне значення змінної

Калібрування блока вимірювання об’ємної маси



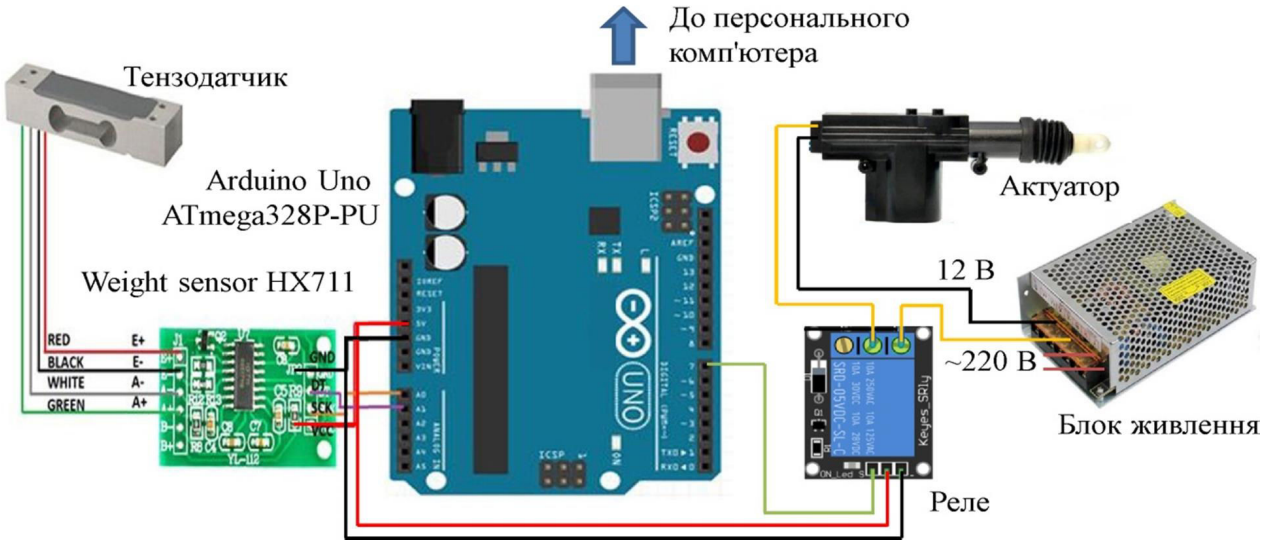
9 – вивантажувальні вікна; 22 – тензометричні датчики розтягування; 23 – полий циліндр; 24 – заслінка; 25 – кронштейн; 26 – штовхаючий електромагніт (соленоїд); 27 – пружини розтягування; 28 – інфрачервоний діод; 29 – інфрачервоний фотоприймач; 30 – блок керування вимірюваннями

Конструктивна схема адаптивного блока вимірювання об’ємної маси



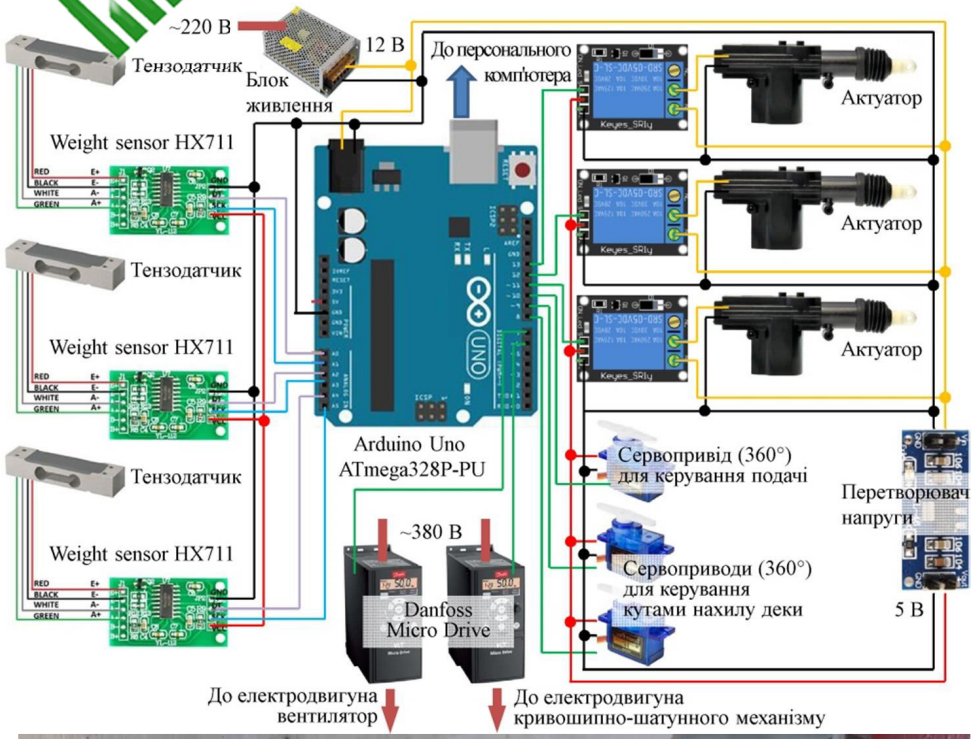
1 – блок вимірювання об’ємної маси; 2 – загальний блок вимірювання; 3 – персональний комп’ютер; 4 – блок подачі насіннєвої суміші; 5 – рама; 6 – ємність; 7 – актуатор; 8 – тензодатчик; 8 – заслінка

Загальний вигляд блоку вимірювання об’ємної маси



Електрична схема керування блоку вимірювання об’ємної маси

Експериментальна перевірка адаптивного вібропневматичного сепаратора

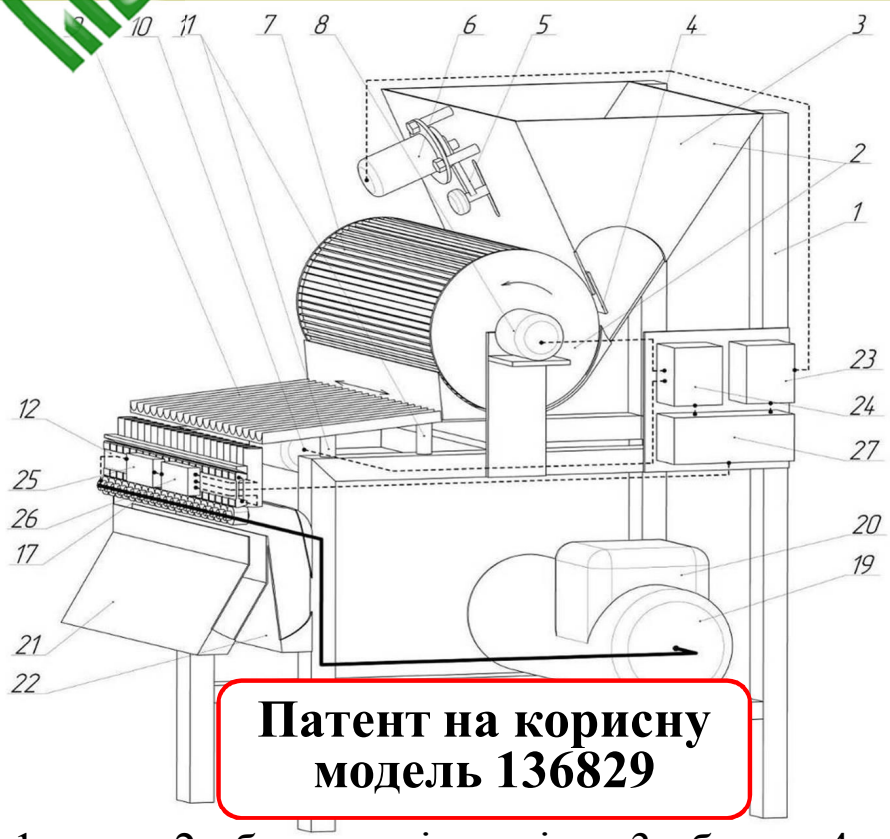


Застосування розробленого алгоритму при дворазовій сепарації насіннєвої суміші на адаптивному вібропневматичному сепараторі дозволяє виконувати технологічний процес сепарації насіннєвої суміші соняшнику за об'ємною масою із продуктивністю q = 131±6 кг/год і коефіцієнтом розподілу δ = 95,5±1,5 %

№ повт.	Перший етап сепарації				Другий етап сепарації			
	Раціональні параметри		Розроблений алгоритм		Раціональні параметри		Розроблений алгоритм	
	q, кг/год	δ, %	q, кг/год	δ, %	q, кг/год	δ, %	q, кг/год	δ, %
1	334	80,2	320	85,7	144	83,5	139	95,5
2	344	80,4	330	86,2	148	82,8	131	97,4
3	364	82,6	346	88,6	158	84,0	137	93,0
4	377	84,2	358	90,9	164	83,5	137	96,9
5	364	82,6	346	88,6	158	82,0	132	95,0
6	346	80,9	335	86,3	149	83,2	127	95,2
7	341	79,9	326	85,1	147	82,4	128	94,8
8	354	81,5	338	87,4	153	82,9	133	95,7
9	372	83,2	349	90,7	162	83,7	118	97,7
10	367	83,1	350	88,7	159	84,4	132	93,6
Сер.	356	81,9	340	87,8	154	83,2	131	95,5
σ	15	1,5	12	2,0	7	2,0	6	1,5

Загальний вигляд експериментального адаптивного вібропневматичного сепаратора

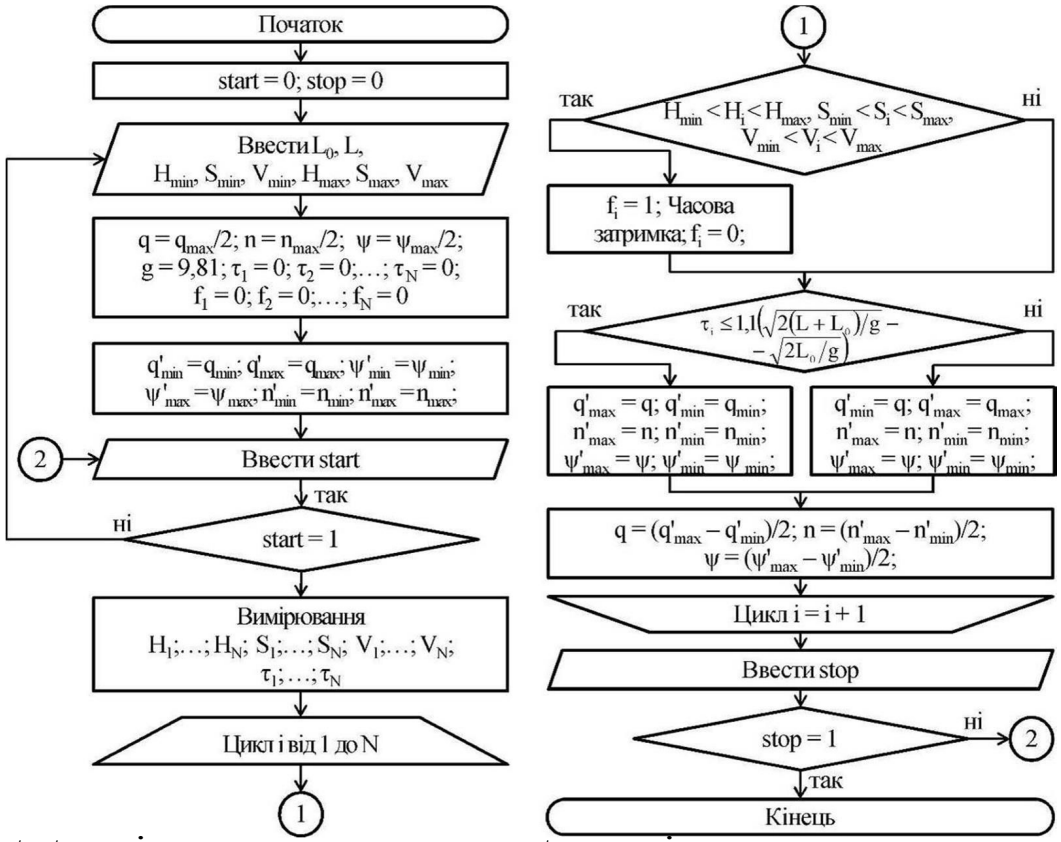
Фотоелектронний сепаратор насіння соняшнику



Патент на корисну модель 136829

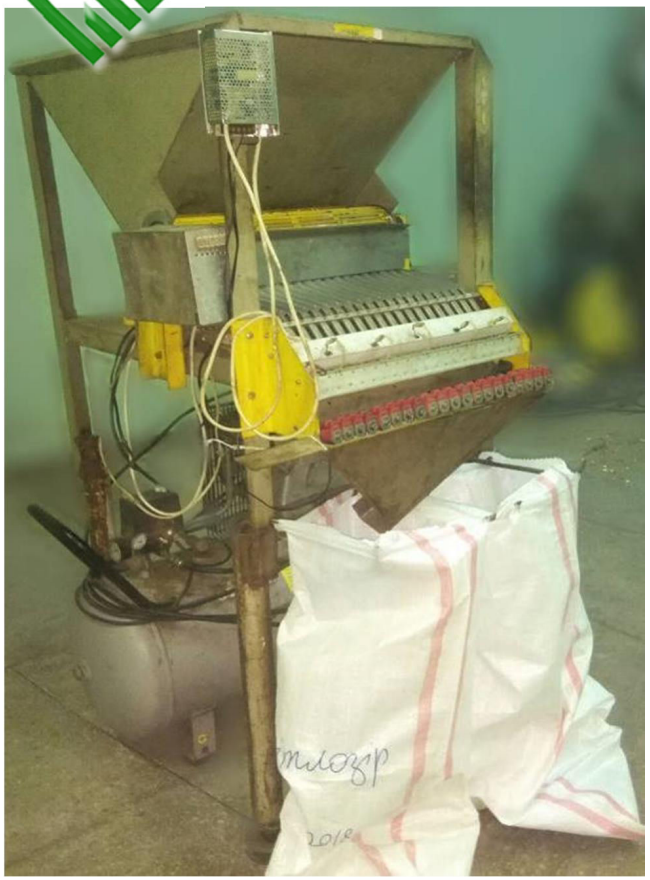
1 – рама; 2 – блок подачі матеріалу; 3 – бункер; 4 – заслінка; 5 –кривошипно-шатунний механізм; 5 – кроковий електродвигун; 7 – барабан із радіальними лопатями; 8 – асинхронний електродвигун; 9 – вібролоток; 10 –вібродвигун; 11 – пружини; 12 – блок реєстрації насіння; 13 – патрубки; 14 –освітлювач; 15, 16 – реєструючі і контролюючі фотоприймачі; 17 – блок виходу насіння; 18 – газові форсунки; 19 – повітряний ресивер; 20 – компресор; 21, 22 – забірники ліквідних і неліквідних насінин; 23 – блок керування кроковим електродвигуном; 24 – частотний перетворювач; 25 – блок реле; 26 – блок обробки інформації; 27 – загальний блок керування

Конструктивно-технологічна схема удосконаленого фотоелектронного сепаратора



start – змінна запуску алгоритму; stop – змінна зупинки алгоритму; H, S, V – числові значення забарвлення насіння в кольоровому просторі HSV; q – подача зернового або насіннєвого матеріалу, кг/год; n – частота обертання барабана із радіальними лопатями 7, об/хв; ψ – частота коливань вібролотка 9, c^{-1}; L_0 – вертикальна відстань між кінцем вібролотка 9 і реєструючим фотоприймачем 15, м; L – вертикальна відстань між реєструючим і контролюючим фотоприймачами 15 і 16 відповідно, м; g – прискорення вільного падіння, $м/с^2$; i – порядковий номер патрубків 13 і відповідних реєструючих і контролюючих фотоприймачів 15 і 16; N – загальна кількість патрубків 13; τ – час між реєстраціями насіння, с; f – стан газової форсунки 18 (1 – відкрита, 0 – закрита); «′» – позначає тимчасові змінні; «min» – позначає мінімальне значення змінної; «max» – позначає максимальне значення змінної

Експериментальна перевірки фотоелектронного сепаратора

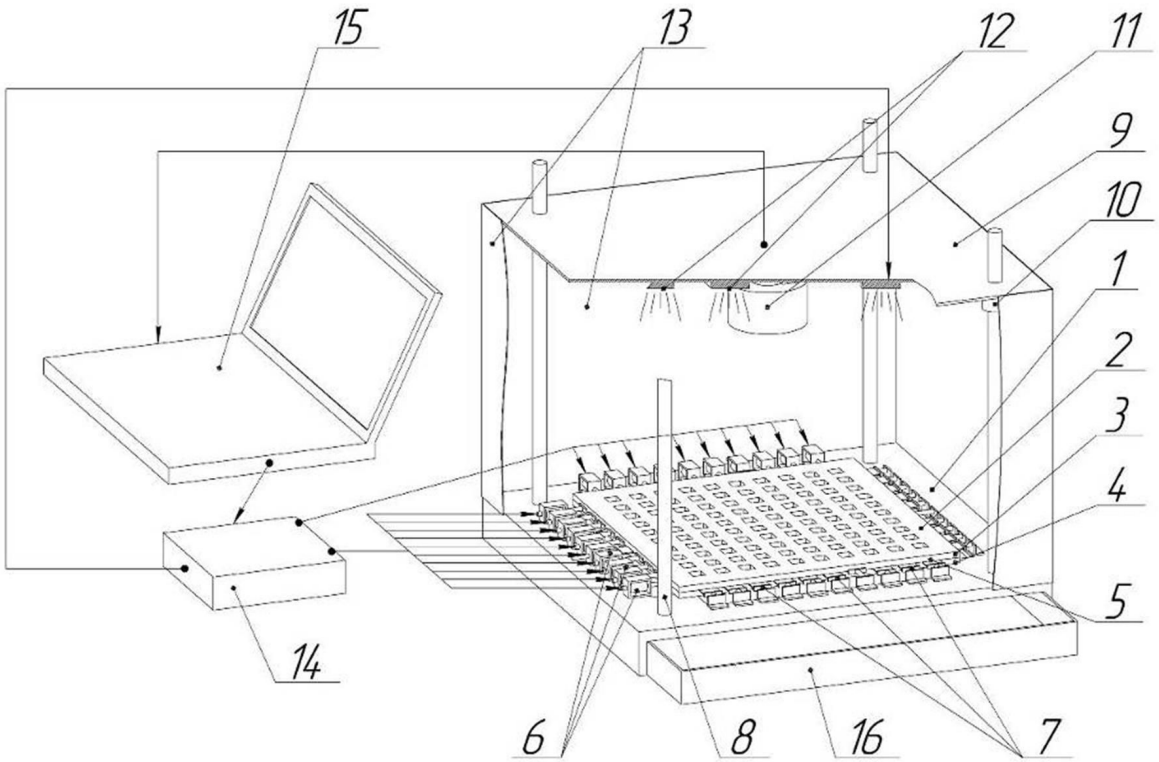


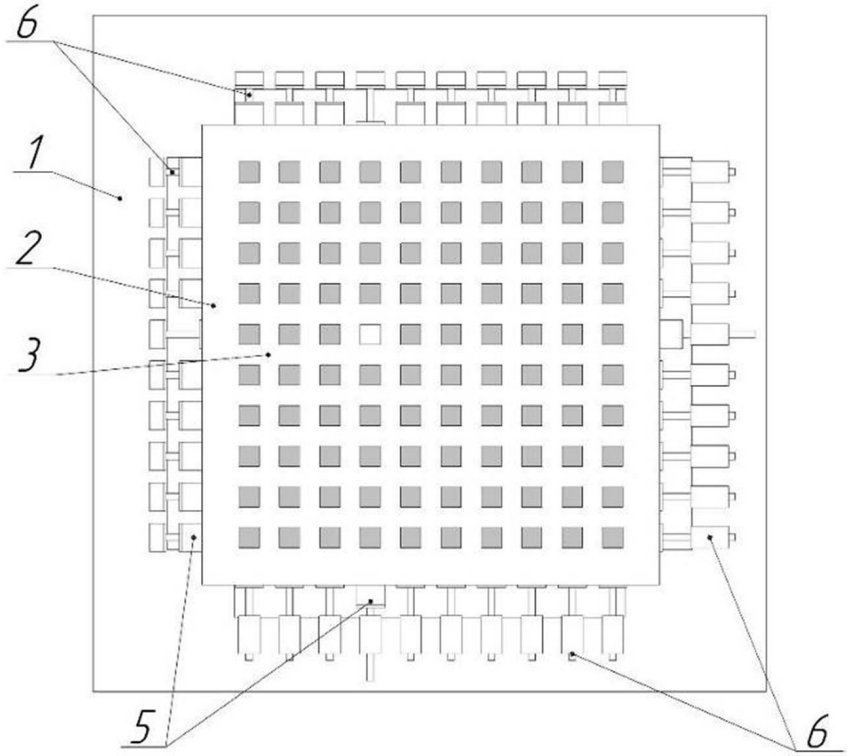
Загальний вигляд експериментального стенду фотоелектронного сепаратора із автоматизованою системою керування режимних параметрів блоку подачі насіннєвого матеріалу

№ пов.	Перший етап сепарації				Другий етап сепарації			
	Раціональні параметри		Розроблений алгоритм		Раціональні параметри		Розроблений алгоритм	
	q, кг/год	θ, %	q, кг/год	θ, %	q, кг/год	θ, %	q, кг/год	θ, %
1	102	11,2	105	8,1	33	2,7	36	1,3
2	95	12,1	113	7,5	32	2,2	41	1,2
3	97	9,2	131	7,7	32	1,9	38	1,2
4	92	10,2	98	7,9	33	2,5	37	1,2
5	105	12,3	124	7,3	34	2,2	39	1,2
6	99	9,0	108	8,0	34	2,0	34	1,2
7	103	11,3	93	7,2	33	2,4	36	1,1
8	97	10,5	125	7,6	32	2,2	40	1,1
9	94	10,3	116	7,4	35	1,9	41	1,1
10	94	9,4	119	7,5	34	2,0	41	1,1
Сер.	98	10,6	113	7,6	33	2,2	38	1,2
σ	4	1,2	12	0,3	1	0,3	3	0,1

Матричний пристрій для автоматичного фенотипування насіння

Патент на винахід 120231

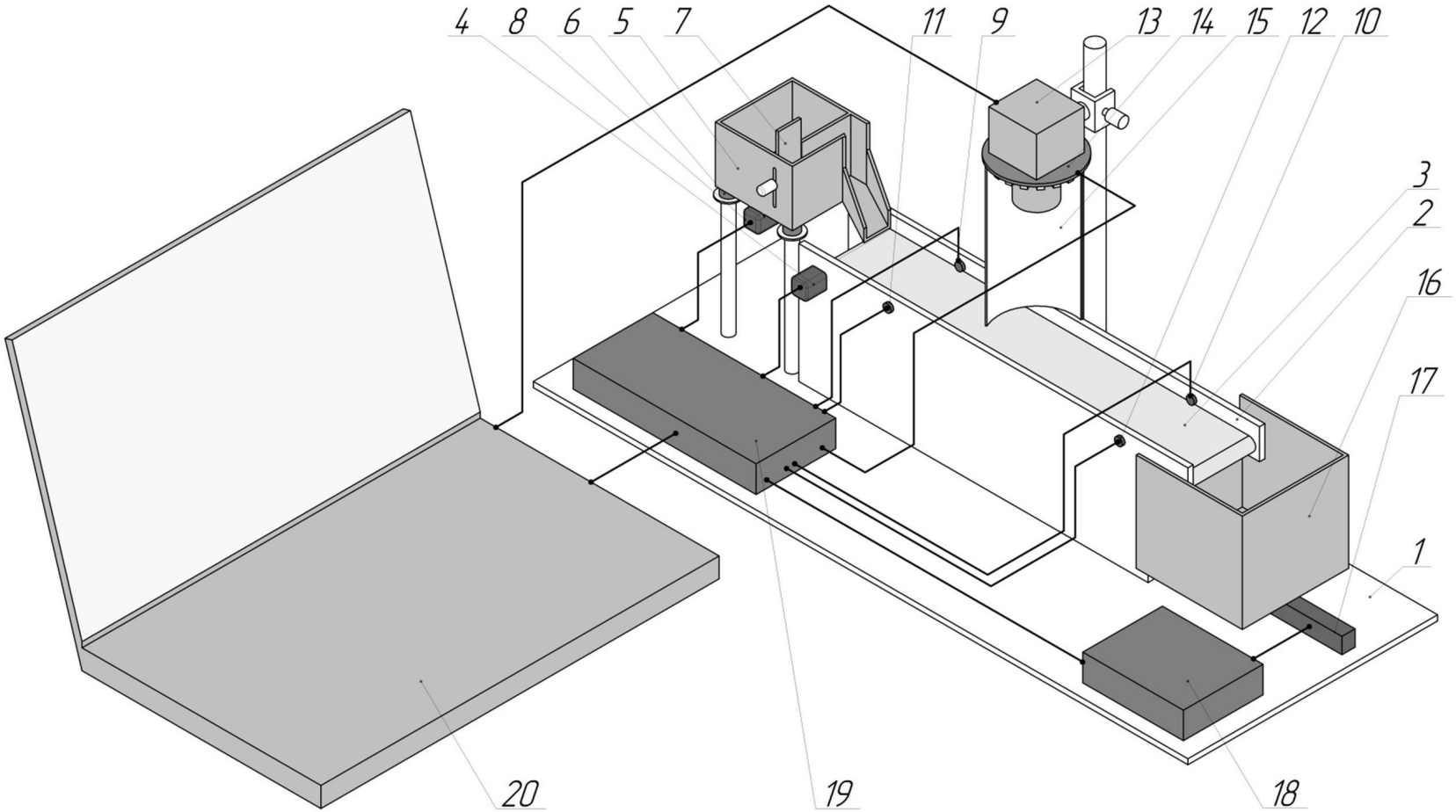




1 – рама; 2 – матриця; 3, 4 – пластини; 5 – полоси; 6 – тягнучий електромагніт (соленоїд); 7 – пружину розтягування; 8 – направляючі; 9 –основа; 10 – фіксатори; 11 – фотокамера; 12 – різнокольорові лампи; 13 – стінка; 14 – блок керування; 15 – персональний комп’ютер; 16 – піддон

Конструктивно-технологічна схема матричного пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику

Стрічковий пристрій для автоматичного фенотипування насіння

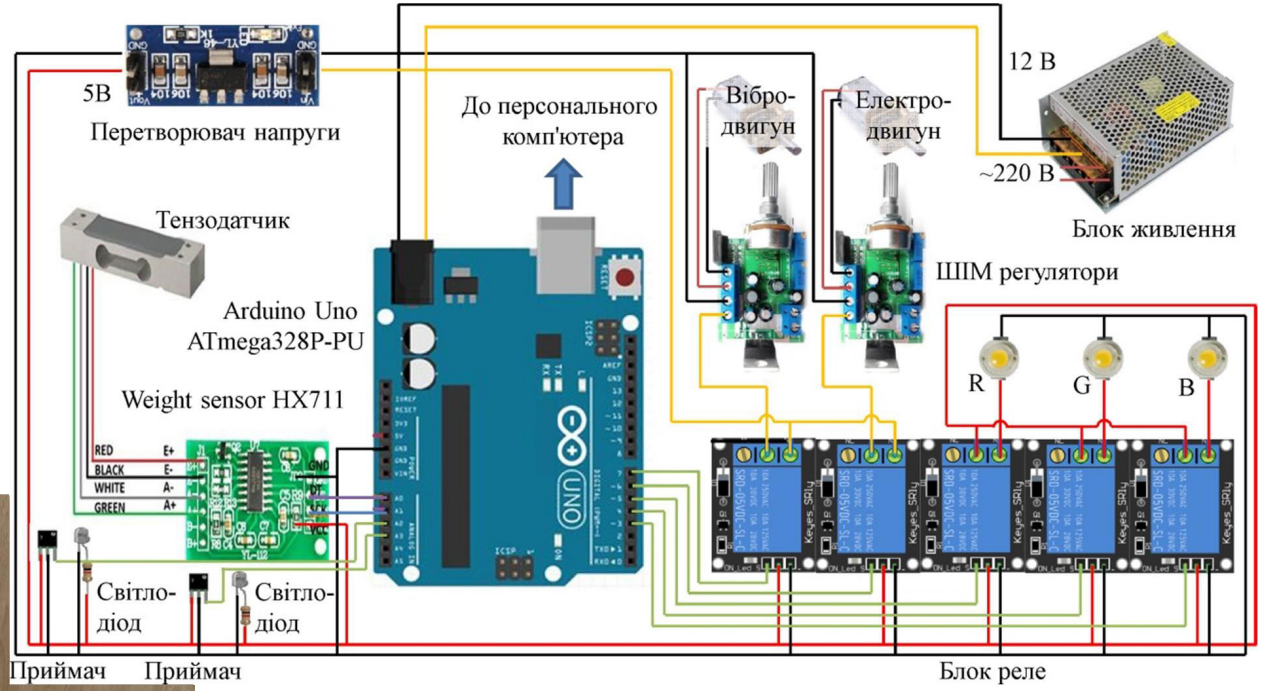


1 – рама; 2 – стрічковий транспортер; 3 – стрічка; 4 – електродвигун; 5 – лоток подачі насіння; 6 – резинові амортизатори; 7 – регульована заслінка; 8 – вібродвигун; 9, 10 – інфрачервоні світлодіоди; 11, 12 – фотоприймачі; 13 – фотокамера; 14 – RGB-світлодіоди; 15 – труба із світлонепроникного матеріалу;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

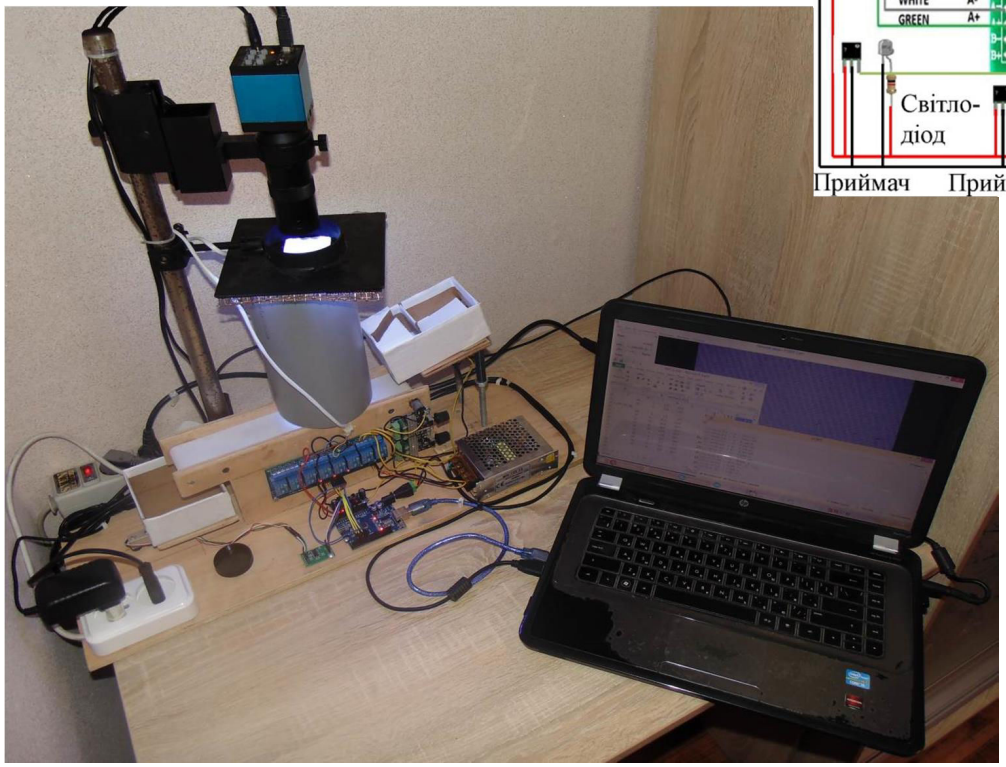
Конструктивно-технологічна схема стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику

Експериментальна перевірка макетного зразка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння

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.



Електрична схема макетного зразка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику



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.