

**ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ В РОБОЧИХ ЗОНАХ  
ПНЕВМОСЕПАРУВАЛЬНИХ КАНАЛІВ****Харченко Сергій Олександрович**

доктор технічних наук, доцент  
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна  
ORCID: 0000-0002-4883-2565  
kharchenko\_mtf@ukr.net

**Біловод Олександра Іванівна**

кандидат технічних наук, доцент  
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна  
ORCID: 0000-0003-3470-0091  
oleksandra.bilovod@pdau.edu.ua

**Абдусь Магомед Меджидович**

кандидат сільськогосподарських наук, доцент  
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна  
ORCID: 0000-0002-6421-1961  
mahomed.abduiev@gmail.com

**Литвиненко Віта Володимирівна**

аспірант  
Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна  
ORCID: 0009-0008-8882-507X  
vitalitvinenkopdaa@gmail.com

**Вольвач Тетяна Сергіївна**

асистент  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0002-8890-6901  
tashavolvach@ukr.net

*Продуктивність та якість роботи машин для очищення та калібрування сипких матеріалів, відповідно до зростаючих вимог виробництва, потребує інтенсифікації. Ефективність процесу пневмосепарування сипких матеріалів визначається рівномірністю швидкості повітряного потоку в робочій зоні пневмосепарувальних пристроїв або пневмосепараторів. Серед основних факторів, які утворюють нерівномірність швидкості повітряного потоку є: конструктив робочих зон пневмосепарувальних каналів, типи вентиляторів та їх патрубків. Аналіз конструкцій та способів регулювання швидкості повітряного потоку в робочих зонах дозволив зосередитися на жалюзійних пристроях з вертикальним та горизонтальним розташуванням, що і стало об'єктом досліджень. Серед параметрів, які підлягали дослідженню: кут нахилу, ширина та локація жалюзі. Критеріями в дослідженнях прийнято коефіцієнт варіації у вигляді рівномірності швидкості повітряного потоку, засміченість та вага 1000 зерен в лотках приймача або ефективність поділу. В результаті досліджень отримані залежності рівномірності швидкості повітряного потоку від параметрів пневмосепарувального каналу, повноти поділу та ваги 1000 зерен матеріалу озимої пшениці. Встановлено, що рівномірність повітряного потоку в робочій зоні безпосередньо впливає на ефективність поділу сипких матеріалів в пневмосепарувальних пристроях. Отримана методика визначення рівномірності швидкості повітряного потоку в робочій зоні горизонтального пневмосепарувального каналу при поділу компонентів сипких матеріалів за аеродинамічними властивостями. З метою підвищення ефективності поділу компонентів сипких матеріалів запропоновано технічні засоби у вигляді жалюзійного пристрою, який складається з вертикальних та горизонтальних жалюзі, що вирівнюють швидкість повітряного потоку в робочій зоні. Дослідженнями встановлені раціональні параметри пневмосепарувального пристрою при яких отримана найкраща рівномірність з мінімальним коефіцієнтом варіації (2,1%). Запропонована методика досліджень та отримані залежності дозволяють підвищити ефективність пневмосепарувальних пристроїв при поділу компонентів сипких матеріалів за аеродинамічними властивостями. Побідні результати корисні на етапі дослідження, проектування або експлуатації зерноочисних калібрувальних машин.*

**Ключові слова:** повітряний потік, рівномірність, канал пневмосепарувальний, жалюзі, ефективність, сипкі матеріали, фракція.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.13>

**Вступ.** Поділ компонентів сипких матеріалів є однією з розповсюджених технологічних операцій в харчовій, хімічній, будівельній та аграрній промисловості. Найбільшої популярності здобуло обладнання для аеродинамічного поділу – пневмосепарувальні канали, які використовують повітряний потік та властивості компонентів як відповідні ознаки. Ефективність поділу сипких матеріалів за аеродинамічними властивостями визначається (Mukhailov Ye., 2020; Котов Б., 2017; Степаненко С., 2017; Кюрчев С.В., 2019): конструктивом подібного обладнання, технологічними параметрами (швидкість та рівномірність повітряного потоку, питоме завантаження і т.п.), властивостями сипких матеріалів тощо.

Підвищення ефективності поділу досягається забезпеченням необхідних умов в робочій зоні, серед яких основними є рівномірність подавання сипкого матеріалу та рівномірність швидкості повітряного потоку в робочій зоні. Питання рівномірності подавання сипкого матеріалу в робочій зоні можна вирішити за рахунок відповідних завантажувальних конструктивних елементів, які забезпечують стабільне подавання сипкого матеріалу заданої товщини шару по всій ширині робочої зони (Литвиненко В.В., Харченко С.О., 2022; Харченко С.О., Біловод О.І., Литвиненко В.В., 2023; Харченко С. О. та інші, 2023; Харченко С. О. та інші, 2023; Харченко С. О. та інші, 2023).

Основними показниками ефективності роботи пневмосепарувальних каналів, як і більшості сепарувального обладнання, є: продуктивність, повнота поділу, втрати основного продукту, енергії та металу. Слід зазначити, що повітряний потік є несучою фазою, для динаміки якої потрібна переважна частина енергії сепарувального обладнання. Іншим важливим моментом є використання конструкцій робочих зон зі значними аеродинамічним опором, наприклад, квадратного та прямокутного перетину. Крім опору, відбувається зміна рівня ламінарності потоку, поява повітроворотів та ділянок з різкою зміною траєкторій (Литвиненко В.В., 2022; Kharchenko S., Lytvynenko V., 2022). Утруднює рух відносно лінії току використання різних типів вентиляторів: відцентрових або осьових.

Дослідженнями ефективності поділу сипких матеріалів за аеродинамічними властивостями займалися ряд вчених (Степаненко С.П., 2022; , Алієв Е.Б.О., 2018; Ольшанскій В.П. та ін., 2017; Nesterenko A.V., and at. , 2017; Kharchenko, S., Borshch, Y., 2021; Тищенко Л.М., Сліпченко М.В., 2016), в результатах яких зазначено значущі фактори: швидкість та рівномірність повітряного потоку, швидкість та напрям подавання сипкого матеріалу до робочої зони, попередня підготовка або обробка сипкого матеріалу перед робочою зоною та інші.

Розробка технічних засобів, моделювання процесів та обґрунтування параметрів дозволила знайти математичні вирази та оптимальні діапазони значень низки вказаних значущих параметрів. Проте залишаються відкритим питання рівномірності повітряного потоку в робочих зонах.

Проведений аналіз відомих досліджень (Бакум М.В., 2021; Абдуєв М.М., 2007) щодо забезпечення рівномірності повітряного потоку в робочих зонах доводить:

інтенсивний вплив на повноту поділу фракцій, значні втрати основного продукту, підвищення коефіцієнта використання енергії. Технічними засобами, які реалізують рівномірність повітряного потоку в зазначених дослідженнях, є жалюзі. Серед параметрів жалюзі увагу зосереджують на: кути нахилу, ширині, кроку та локації (відносно робочої зони або вентилятора) розташування.

Під рівномірністю повітряного потоку приймаємо ступінь відмінності швидкості повітряного потоку в окремих точках поперечного перетину робочої зони пневмосепарувального каналу.

Для розрахунків рівномірності використано методику варіаційної статистики (Карташов М.В., 2007; Єременко, В.С., 2013), яка дозволяє чисельно оцінити ступінь рівномірності потоку по коефіцієнту варіації  $\Phi$ :

$$\Phi = \left( \frac{\sigma}{V_{cp}} \right) 100\%, \quad (1)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення швидкостей в окремих точках від середньої швидкості повітряного потоку;

$V_{cp}$  – середня швидкість повітряного потоку в робочій зоні, м/с.

Середнє квадратичне відхилення визначається як корінь квадратний з дисперсії:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - V_{cp})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Середня швидкість повітряного потоку – це найбільш ймовірне значення вимірюваної величини при даній кількості вимірів та дорівнює сумі всіх окремих результатів дослідів ( $V_i$ ), поділений на кількість вимірів ( $n$ ).

Коефіцієнт варіації є показником ступені відхилення швидкості повітряного потоку в окремих точках поперечного перетину робочої зони від середньої швидкості в цьому перетині. Підвищення коефіцієнта варіації свідчить про збільшення відхилення швидкостей в окремих точках від середньої швидкості повітряного потоку, що призводить до нерівномірності. При значенні «нуль» коефіцієнта рівномірності маємо поле швидкості у вигляді прямої лінії з максимальною рівномірністю. Слід зауважити, що тертя повітряного потоку по бокових стінках каналу знижує швидкість, що унеможлиблює отримання коефіцієнта варіації з подібним значенням.

**Мета роботи:** дослідження впливу рівномірності швидкості повітряного потоку в робочій зоні на ефективність поділу компонентів сипких матеріалів в пневмосепарувальних каналах.

Завдання дослідження: визначення залежностей коефіцієнта варіації (рівномірності) швидкості повітряного потоку від параметрів пневмосепарувального каналу, закономірностей зміни повноти поділу, продуктивності та якості кінцевого продукту.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження проведені на пневмосепарувальному каналі сепаратора АЛМА-10 (рис. 1) виробництва Харківпродмаш (м. Харків). Даний тип пневматичних сепараторів призначений для очищення та калібрування зернових/насіневих матеріалів, а в якості джерела повітряного потоку

використано осьові вентилятори. Регулювання швидкості повітряного потоку виконується за рахунок варіювання частоти обертання лопатей за допомогою частотного перетворювача ОВЕН.

Розташування осевого вентилятора під кутом до напрямку руху сипкого матеріалу пояснюється необхідністю досягнення максимального ефекту відділення легких компонентів. Для забезпечення прямого кута між траєкторіями повітряного потоку та руху сипкого матеріалу передбачено встановлення горизонтальних жалюзі. Тому в процесі дослідження вони не підлягали варіюванню. Вертикальні жалюзі та конфузори призначені для вирівнювання швидкості повітряного потоку по ширині робочої зони.

Проте наявність закрученого повітряного потоку навколо вісі, за рахунок використання осевого вентилятора, призводить до перерозподілу швидкості повітряного потоку по ширині пневмосепарувального каналу.

Для вимірювання швидкості повітряного потоку в робочій зоні вибрано відповідну точку вимірювання (рис.1, б) та використано цифровий диференціальний манометр DT-8920 з трубкою Піто (рис. 2). Серед технічних характеристик приладу можна виділити: діапазон вимірювання швидкості потоку – 1,0...80,0 м/с, дискретність – 0,01 м/с; точність  $\pm 2,5\%$ .

Червона лінія – лінія току (руху) ядра повітряного потоку (рис.1, б) направлена уздовж осі вентилятора до вихідного патрубку з урахуванням нахилу горизонтальних жалюзі, а синя лінія – траєкторія руху сипкого

матеріалу. На їх перетині маємо зелену точку – точка вимірювання швидкості по ширині робочої зони.

При дослідженнях кінчик трубки Піто манометра розташовано паралельно червоній лінії (рис.1, б), а отвір на корпусі зміщений на відповідну довжину уздовж червоної лінії.

Методика експериментального визначення швидкості повітряного потоку та його рівномірності наступна:

1. Визначення точки проведення дослідів.
2. Герметизація лотків-патрубок для фракції.
3. Вмикаємо машину та встановлюємо частотний перетворювач на відповідну швидкість повітряного потоку. Всі заміри без сипкого матеріалу проводимо на даному положенні частотного перетворювача.
4. Проводимо заміри манометром та фіксуємо значення швидкості повітряного потоку. На манометрі обираємо одиниці вимірювання «m/s», а після кожного досліді виконуємо обнуління приладу натиснувши «HOLD/ZERO».
5. Проводимо визначення швидкості повітряного потоку без використання вертикальних жалюзі.
6. Визначення швидкості повітряного потоку при встановленні параметрів жалюзі відповідно плану досліджень: кут нахилу, ширина та відстань між жалюзі.
7. Проводимо обробку результатів та визначаємо рівномірність розподілу швидкості повітряного потоку по перетину шляхом встановлення коефіцієнта варіації.

Варіювання куту нахилу лівої та правої вертикальних жалюзі виконували за допомогою розробленого механізму

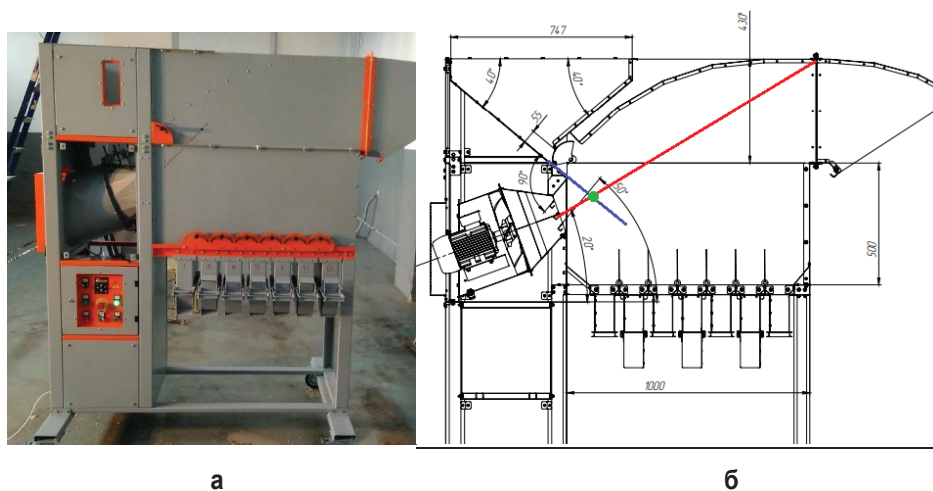


Рис. 1. Зображення (а) та схема вимірювання швидкості повітряного потоку (б) в сепараторі АЛМА-10

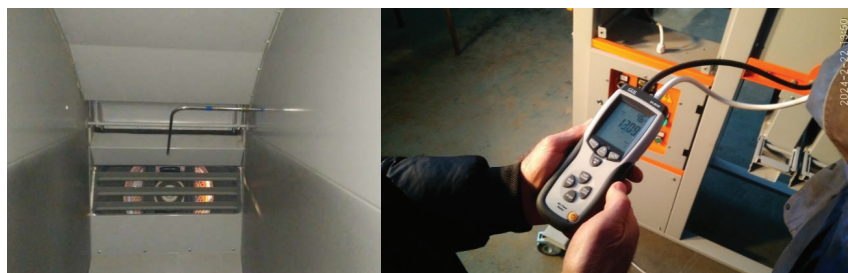


Рис. 2. Вимірювання швидкості повітряного потоку диференціальним манометром DT-8920

(рис. 3). Конструкція механізму дозволяла регулювати окремо кожну жалюзі, а також змінювати відстань між ними. Крім того, також варіювали ширину жалюзі шляхом їх заміни.

Дослідження проведені на сипкому матеріалі: озима пшениця сорту Досконала 1 репродукції, вологість 13,5%, засміченість 11,5%.

Діапазони варіювання параметрів пневмосепарувального каналу сепаратора, з урахуванням проведених попередніх експериментів, представлені в табл. 1.

Методика визначення показників ефективності поділу компонентів сипкого матеріалу була наступною:

1. Тарування частотного перетворювача з отриманням залежності швидкості повітряного потоку в робочій зоні від частоти перетворювача.

2. Тарування дозатора з отриманням залежності продуктивності сепаратора від положення заслінки.

3. Встановлення параметрів частотного перетворювача, жалюзі та розподільних перегородок лотків відповідно до програми досліджень.

4. Аналіз вмісту лотків (рис. 4) та визначення показників ефективності: засміченості, ваги 1000 насінин, повноти поділу.

Для тарування частотного перетворювача приймали: кут лівої та правої вертикальними жалюзі рівний –  $10^\circ$ ; ширина жалюзі – 80 мм; відстань між вертикальними жалюзі – 230 мм; кут нахилу горизонтальних жалюзі  $30^\circ$  градусів; глибина занурення трубки Піто 25 см. Крок варіювання частоти перетворювача склав 5 Гц, а діапазон від 0 до 52,6 Гц.

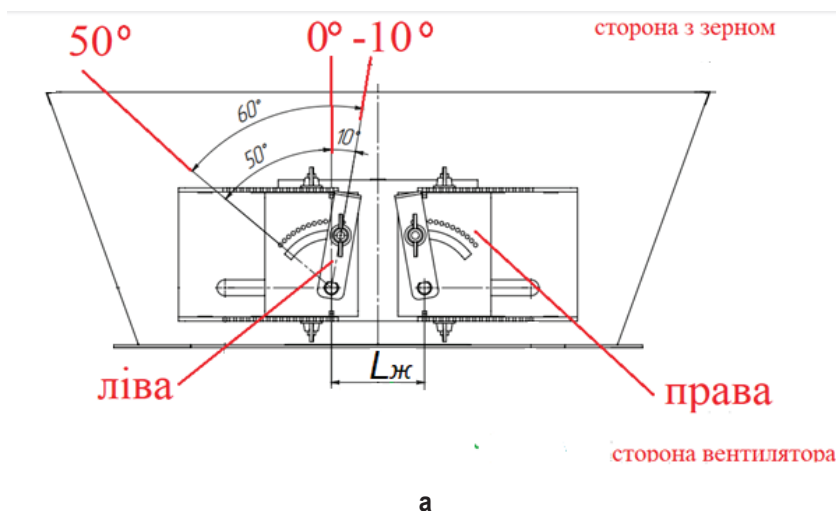


Рис. 3. Схема (а) та загальний вигляд (б) механізму регулювання вертикальних жалюзі сепаратора АЛМА-10

Таблиця 1

Діапазони варіювання параметрів сепаратора

№	Параметри	Діапазон варіювання
1	Швидкість повітряного потоку	4...8 м/с
2	Кути нахилу вертикальних жалюзі	60 градусів
3	Ширина жалюзі	60...80 мм
4	Відстань між жалюзі	150...230 мм
5	Відстань вимірювання за шириною робочої зони	10/25/40 см
6	Кут нахилу розподільчих перегородок лотків	0 градусів



Рис. 4. Нумерація лотків-приймачів

Для тарування заслінки бункеру використали її положення у вигляді відсотку відкритості: 0 – повністю закрито, 100% – повністю закрито. Крок досліджень склав 25%. При цьому також фіксувався час на повне висипання сипкого матеріалу з бункеру.

**Результати досліджень.** *Ідентифікація показників рівномірності повітряного потоку.* Проведення досліджень за запропонованою методикою дозволило отримати відповідні залежності коефіцієнту варіації від параметрів пневмосепарувального пристрою (табл. 2, рис. 5, 6).

При дослідженні варіювали кут нахилу лівої та правої жалюзі, ширину жалюзі та відстань  $L_{ж}$  між ними. Фіксація швидкості повітряного потоку відбувалася на глибині занурення 10 см, 25 см та 40 см, що дозволило дослідити ширину робочої зони в трьох рівних частинах.

Кут нахилу лівої та правої жалюзі зі значенням 0 градусів вносить мінімальне корегування траєкторії повітряного потоку, а подальше збільшення кутів призводить до інтенсивних змін.

Аналізом отриманих результатів (табл. 2, рис. 5, 6) встановлено:

- базові конструкції пневмосепарувальних каналів з осьовими вентиляторами не відповідають вимогам щодо рівномірності повітряного потоку в робочій зоні з коефіцієнтом варіації 31,1% (дослід 1-3, табл. 2);

- діапазон середніх швидкостей повітряного потоку в робочій зоні склали 4,7...10 м/с;

- на рівномірність повітряного потоку істотно впливають параметри жалюзі, від варіювання яких у досліджувальних діапазонах змінюється рівномірність від 2,1 до 82,7 %;

- раціональні значення параметрів жалюзі з рівномірністю 2,1% склали: кут нахилу лівої та правої жалюзі -10 градусів; відстань між ними – 230 мм;

- збільшення відстані між жалюзі зменшує коефіцієнт варіації в 14,9 разів, а збільшення куту нахилу лівої та правої жалюзі збільшує його в 3,4 разів.

*Визначення ефективності поділу компонентів.* Наступним етапом дослідження стало визначення

технологічних показників продуктивності та швидкості повітряного потоку в робочій зоні, ефективності поділу компонентів в залежності від параметрів сепаратора.

В результаті досліджень використавши раціональні параметри жалюзі (за умови максимальної рівномірності повітряного потоку) встановлені залежності швидкості повітряного потоку від частоти обертання крильчатки вентилятора (рис. 7) та продуктивності сепаратора від положення відкриття заслінки дозатора (рис. 8).

Для визначення ефективності поділу компонентів сипкого матеріалу, з урахуванням даних тарування завантажування та швидкості повітряного потоку, проведено аналіз вмісту лотків-приймачів (рис. 4) для варіанту з жалюзійним пристроєм та без. Результати представлені в табл. 3, на рис. 9-11.

Розподілення загального вмісту лотків та зміна засміченості матеріалу свідчить, що використання жалюзі забезпечує рівномірність повітряного потоку в робочій зоні та впливає на ефективність поділу. Так вміст лотків №4-6 доводить значну кількість легких домішок у варіанті з використанням жалюзі, що говорить про ефективність очищення зернового матеріалу. Базова конструкція (без жалюзі) попри наявність перерозподілу не здатна забезпечити повне відділення легких домішок від основного компоненту.

Наявність поліпшеного перерозподілу компонентів з низькою щільністю (легких домішок) не дає змогу оцінити ефективність перерозподілу частинок основного компоненту (зерна озимої пшениці). Для цього проведено визначення маси 1000 зерен в кожному з лотків приймачів для базового та запропонованого варіантів (табл. 4, рис. 12).

Аналіз результатів (рис. 12) свідчить про наявність повновісного зерна з найбільшою вагою в перших чотирьох лотках пневмосепарувального каналу з жалюзі. В інших лотках зерно основної культури було відсутнє, а наявними були лише домішки.

В базовій конструкції каналу розподіл зерен спостерігався серед всіх лотків без явної закономірності. Це говорить про складність налаштування пневмосепарувального каналу без жалюзі для отримання ефективного

## Визначення показників рівномірності повітряного потоку

№	Глибина занурення трубки Піто, см	Кут нахилу жалюзі, градусів		$V_p$ , м/с	$V_{ср}$ , м/с	$\sigma$ , м/с	$\Phi$ , %
		лівої	правої				
1	2	3	4	5	6	7	8
Без жалюзі							
1	10	-	-	12,5	9,67	3,01	31,1
2	25	-	-	5,5			
3	40	-	-	11			
Ширина між вертикальними жалюзі $L_{ж}=150$ мм							
4	10	0	0	12	9,83	2,72	27,64
5	25	0	0	6			
6	40	0	0	11,5			
7	10	-10	-10	11	9,33	2,36	25,25
8	25	-10	-10	6			
9	40	-10	-10	11			
10	10	+10	+10	12	9,67	2,62	27,15
11	25	+10	+10	6			
12	40	+10	+10	11			
Ширина між вертикальними жалюзі $L_{ж}=200$ мм							
13	10	0	0	12	9,00	2,16	24
14	25	0	0	8			
15	40	0	0	7			
16	10	-10	-10	11	8,00	2,16	27
17	25	-10	-10	7			
18	40	-10	-10	6			
19	10	+10	+10	11	8,00	2,45	30,62
20	25	+10	+10	5			
21	40	+10	+10	8			
22	10	+30	+30	13	10,00	2,94	29,44
23	25	+30	+30	6			
24	40	+30	+30	11			
25	10	+30	0	12	7,50	3,67	48,99
26	25	+30	0	7,5			
27	40	+30	0	3			
28	10	0	+30	13	8,67	3,68	42,48
29	25	0	+30	4			
30	40	0	+30	9			
31	10	0	+50	9	7,33	3,09	42,15
32	25	0	+50	3			
33	40	0	+50	10			
34	10	+50	+50	11	4,67	3,86	82,68
35	25	+50	+50	7			
36	40	+50	+50	6			
Ширина між вертикальними жалюзі $L_{ж}=230$ мм							
37	10	0	0	12	8,67	2,49	28,78
38	25	0	0	6			
39	40	0	0	8			
40	10	+50	0	12	6,83	3,79	55,51
41	25	+50	0	5,5			
42	40	+50	0	3			
43	10	0	+50	8	5,50	3,89	70,81
44	25	0	+50	0			
45	40	0	+50	8,5			
46	10	-10	-10	9	8,9	0,23	2,1
47	25	-10	-10	9			
48	40	-10	-10	8,6			

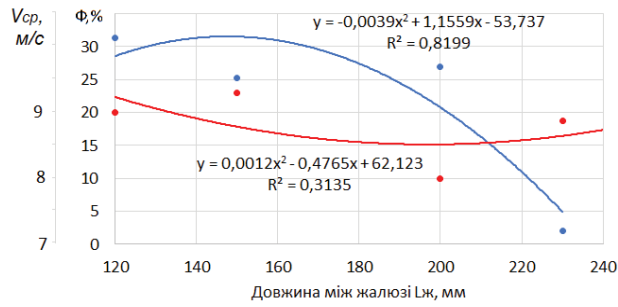


Рис. 5. Залежності середньої швидкості повітряного потоку ( $V_{cp}$ ) та коефіцієнта варіації ( $\Phi$ ) від відстані між вертикальними жалюзі ( $L_{ж}$ ): синя крива – закономірність зміни  $\Phi$ ; червона крива – закономірність зміни  $V_{cp}$  ( $\alpha_n = -10$  градусів,  $\alpha_{np} = -10$  градусів)

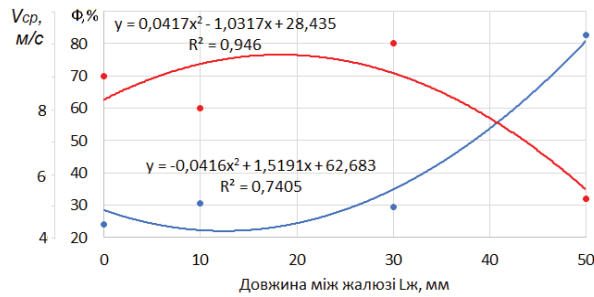


Рис. 6. Залежності середньої швидкості повітряного потоку ( $V_{cp}$ ) та коефіцієнта варіації ( $\Phi$ ) від куту нахилу вертикальних жалюзі ( $\alpha_n, \alpha_{np}$ ): синя крива – закономірність зміни  $\Phi$ ; червона крива – закономірність зміни  $V_{cp}$  ( $L_{ж} = 200$  мм)

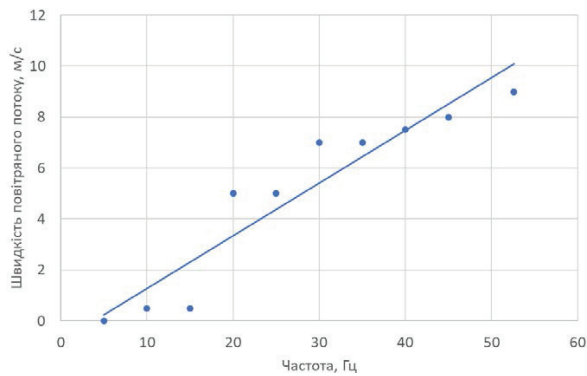


Рис. 7. Залежність швидкості повітряного потоку від частоти обертання крильчатки вентилятора (частоти перетворювача)

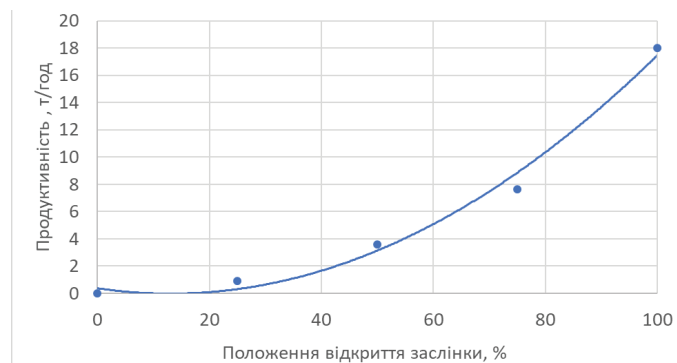


Рис. 8. Залежність продуктивності сепаратора від положення відкриття заслінки дозатора

Результати визначення ефективності поділу (кут лівої та правої жалюзі -10 градусів, відстань між жалюзі – 230 мм, положення відкриття заслінки бункеру – 50%, частота перетворювача – 25 Гц)

Параметри	Приймачі						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
з раціональними параметрами жалюзі							
Загальна вага в приймачі, кг	7,6	14,4	7,4	0,3	0,11	0,05	0,11
Засміченість, %	1,69	5,48	4,17	53,10	82,35	100	100
без жалюзі							
Загальна вага в приймачі, кг	0,35	6,4	11,6	7,6	2,4	0,8	0,8
Засміченість, %	1,08	3,92	2,31	2,03	8,26	16,85	26,47

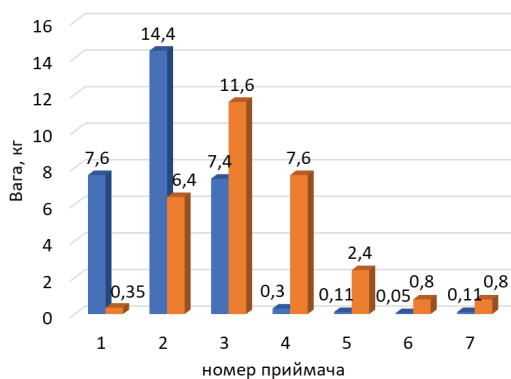


Рис. 9. Розподіл зерна по приймачах (синім кольором – з жалюзі, помаранчевим – без жалюзі)

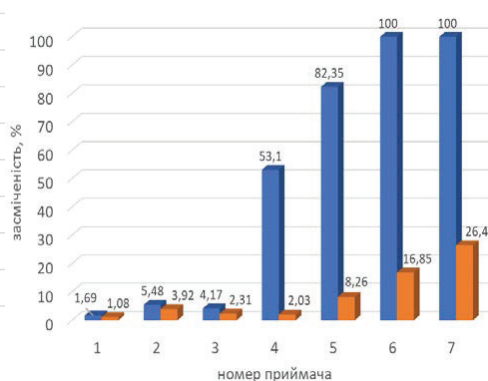
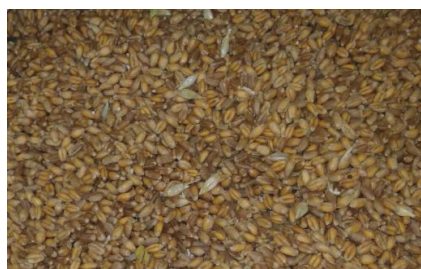


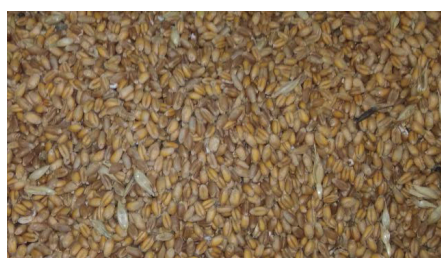
Рис. 10. Засміченість зерна в приймачах (синім кольором – з жалюзі, помаранчевим – без жалюзі)



приймач I



приймач II



приймач III



приймач IV



приймач V



приймач VI





приймач VII



аспірація

Рис. 11. Зображення фракцій (вмісту приймачів) сепаратора з раціональними параметрами жалюзі

Таблиця 4

Залежність маси 1000 зерен (г)

Тип пневмо-сепарувального каналу	Лотки-приймачі						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
з жалюзі	46	46	44	41	-	-	-
без жалюзі	47	45	50	43	44	42	44

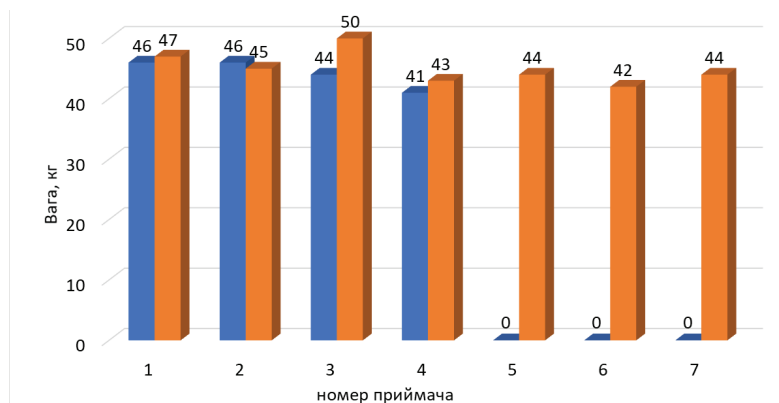


Рис. 12. Вага 1000 зерен у приймачах сепаратора (синім кольором – з жалюзі, помаранчевим – без жалюзі)

процесу калібрування сипких матеріалів за питомою вагою.

**Обговорення.** Використання жалюзійного пристрою забезпечує рівномірність повітряного потоку в робочій зоні, що позитивно відображається на ефективності поділу компонентів сипких матеріалів за аеродинамічними властивостями.

Використання осьових вентиляторів в пневмосепарувальних каналах призводить до кільцевого характеру руху повітряного потоку. При цьому всередині кільця (зоні біля вісі каналу або вентилятору) швидкість потоку має близьке до нуля значення. Встановлені вертикальні жалюзі руйнують ядро кільцевого потоку і перенаправляють його частину до центру. Це вирівнює швидкість в середині каналу по відношенню до периферії.

Критерієм рівномірності обрано коефіцієнт варіації значень швидкості повітряного потоку за шириною сепарувального каналу, що довело доцільність. Мінімізація коефіцієнта варіації свідчить про максимальну рівномірність. Подібні визначення узгоджуються з відомими з методиками та результатами досліджень (Абдуев М.М.,

2007; Ольшанский В.П. та ін., 2017; Степаненко С.П., 2020).

Значущими факторами, які визначають рівномірність обрано кут нахилу, ширину та розміщення жалюзі. Визначені раціональні параметри жалюзі дозволили отримати коефіцієнт варіації 2,1%, що забезпечило рівномірність швидкості повітряного потоку та його однаково дію на сипкий матеріал за шириною пневмосепарувального каналу.

Оцінка ефективності поділу компонентів сипкого матеріалу проведено за технологічних процесів очищення та калібрування. При очищенні сипкого матеріалу орієнтувались на показники засміченості в різних лотках приймачах, а при калібруванні – на критерій ваги 1000 зерен. Порівняння показників базової та запропонованої конструкції зі жалюзійним пристроєм (з раціональними параметрами) довело суттєві переваги остаточної, що підтверджує наукову гіпотезу та виконання мети роботи.

Таким чином, врахування рівномірності швидкості повітряного потоку в робочих зонах пневмосепарувальних каналах в дослідженнях, інженерному проектуванні

або налаштуваннях при експлуатації є актуальним та перспективним завданням.

#### **Висновки**

1. Отримана методика визначення рівномірності швидкості повітряного потоку в робочій зоні горизонтального пневмосепарувального каналу при поділу компонентів сипких матеріалів за аеродинамічними властивостями.

2. З метою підвищення ефективності поділу компонентів сипких матеріалів запропоновано технічні засоби у вигляді жалюзійного пристрою, який складається з вертикальних та горизонтальних жалюзі, що вирівнюють швидкість повітряного потоку в робочій зоні.

3. Використанням запропонованої методики проведено експериментальні дослідження та визначені раціональні параметри жалюзійного пристрою: кут нахилу лівої та правої вертикальної жалюзі, відстань між ними за якими отримано максимальну рівномірність (коефіцієнт варіації 2,1%).

4. Ефективність поділу компонентів сипкого матеріалу досліджена за показниками засміченість та вага 1000 зерен, а порівняльним аналізом доведено значна перевага запропонованого пневмосепарувального каналу з жалюзійним пристроєм.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Abduev M.M. (2007). Obgruntuvannia parametriv separatora z nakhylenym povitrianyom kanalom dlia rozdilennia zernovykh sumishei [Ground of parameters of separator with the inclined air duct for the division of corn mixtures]: Avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.11. Kharkiv, 22. (in Ukrainian).

2. Aliev, E.B., Yaropud, V.M., Dudin, V.Y., Pryshliak, V.M., Pryshliak, N.V., Ivlev, V.V. (2018). Research on sunflower seeds separation by airflow. INMATEH – Agricultural Engineering, 56 (3), 119-128.

3. Bakum, M., Krekot, M., Abduev, M. (2021). Doslidzhennia efektyvnosti pnevmoseparatora z pokhylym kanalom na pidhotovtsi posivnoho materialu safloru. [Investigation of the efficiency of a pneumatic separator with an inclined channel for the preparation of safflower seed]. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ekolohichnoho universytetu. Seriya Ahroinzhenerni doslidzhennia, (25), 28–35. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2021.25.028>.

4. Kartashov, M.V. (2007). Imovirnist, protsesy, statystyka. [Probability, processes, statistics]. Kyiv: VPTs Kyivskiy universytet, 504. (in Ukrainian).

5. Kharchenko, S., Borshch, Y., Kovalyshyn, S., Popardowski, E., Kielbasa, P. (2021). Modeling of aerodynamic separation of preliminarily stratified grain mixture in vertical pneumatic separation duct. Applied Sciences (Switzerland), 2021, 11(10), 4383.

6. Kharchenko, S., Lytvynenko, V. (2022). Direction of efficiency increasing of seed materials pneumatic separation. Sustainable Development in Wartime Ukraine and the World: MULTIDISCIPLINARY CONFERENCE FOR YOUNG RESEARCHERS (November 25, 2022). Prague, Czech Republic, 19-20.

7. Kharchenko, S.O., Bilovod, O.I., Lytvynenko, V.V. (2023). Sposib zavantazhennia pnevmoseparovalnogo kanalu [Method of loading the pneumatic separation channel]. Problemy ta perspektyvy rozvytku silskohospodarskoho mashynobuduvannia: materialy VI Vseukr. nauk.-prakt. Internet-konferentsii (Poltava, 21-22 hrudnia 2023 r.). Poltava: PDAU, 208. (in Ukrainian).

8. Kiurchev, S., Kolodii, O., Burdin, V. (2019). Analiz pnevmoseparatoriv [Analysis of pneumatic separators]. Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu imeni Dmytra Motornoho, 18(2), 84-98. <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/pratsi/article/view/60> (in Ukrainian).

9. Kotov, B.I., Stepanenko, S.P., Kalinichenko, R.A. (2017). Kontseptualni osnovy stvorennia tekhnichnykh zasobiv pervynnoi obrobky zerna v umovakh hospodarstv APK. [Conceptual bases for the creation of technical means of primary grain processing in the conditions of agricultural enterprises]. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn, 2017. Vol.47, T.1. 104-114. (in Ukrainian).

10. Lytvynenko, V.V. (2022). Identyfikatsiia faktoriv protsesu separuvannia nasinnievykh sumishei na bahatoskatnykh robochykh orhanakh pnevmoseparatoriv [Identification of factors of the process of separation of seed mixtures on multi-slope working bodies of pneumatic separators.] Materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Innovatsiini protsesy ahropromyslovoi inzhenerii v umovakh staloho rozvytku: problemy ta perspektyvy», VNAU, 20-21.2022 r. (in Ukrainian).

11. Lytvynenko, V.V., Kharchenko, S.O. (2022). Cposib pidvyshchennia efektyvnosti protsesu pnevmoseparuvannia nasinnievykh sumishei [A method of increasing the efficiency of the process of pneumatic separation of seed mixtures.]. Tekhnolohii KhKhI storichchia: Zbirnyk tez za materialamy 28-oi mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii (23-25.11.2022 r.). P.1. Sumy: SNAU, 147. (in Ukrainian).

12. Mykhailov, Ye., Golebiewski, J., Kiurchev, S., Hutsol, T., Kolodii, O., Nurek, T., Glowacki, Sz., Zadosna, N., Verkholtantseva, V., Palianychka, N., Kucher, O. (2020). Economic and technical efficiency of sunflower seed processing. Monograph. – Warszawa, 158.

13. Nesterenko, A.V., Leshchenko, S.M., Vasylykovskiy, O.M., Petrenko, D.I. (2017). Analytical assessment of the pneumatic separation quality in the process of grain multilayer feeding. INMATEH – Agricultural Engineering, 53 (3), 65-70.

14. Ol'shans'ki, V.P., Bredihin, V.V., Luk'yanenko, V. M., Piven, M.V., Slipchenko, M.V, Kharchenko, S. O. (2017). Teoriia separuvannia zerna: kolektyvna monohrafiia [Theory of grain separation: a collective monograph]. Kharkiv: Planeta-Print, 802. (in Ukrainian).

15. Sposib zavantazhennia zernovoho materialu do bunkera zernoochysnoi mashyny [Method for loading grain material into the hopper of a grain cleaning machine]: pat. 152607 Ukraine: МПК B65G 65/32 (2006.01) A01F 25/18 (2006.01). Kharchenko S. O.; Bakum M.V.; Krekot M.M.; Maiboroda M.M.; Siniaieva O. V.; Lytvynenko V.V.; Pankova O.V.; Syrovyskyi K.H. № u202202765; zaiavl. 02.08.2022; opubl. 22.03.2023, Biul. № 12, 6 s. (in Ukrainian).

16. Stepanenko, S.P. (2020). Mekhaniko-tekhnolohichne obhruntuvannia protsesiv i obladnannia bezreshitnoho fraktsionuvannia zernovykh materialiv [Mechanical and technological substantiation of processes and equipment for sieve-free fractionation of grain materials]: dyser. d.t.n., 05.05.11. Hlevakha. 687. (in Ukrainian).

17. Stepanenko, S.P., Shvydia, V.O., Popadiuk, I.S. (2017). Analiz rozvytku konstruktсии pnevmoseparuiuchykh system separatoriv [Analysis of the development of designs of pneumatic separator systems.]. Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia s.-h. Hlevakha. Vol.5. 132-142. (in Ukrainian).

18. Tishchenko, L.M., Slipchenko, M.V. (2016). Dynamika dvofaznogo seredovyshcha na potropronykni poverkhni pnevmoseparuiuchoho prystroiu. [Dynamics of a two-phase medium on the permeable surface of a pneumatic separator]. Inzheneriia pererobnykh i kharchovykh vyrobnytstv. № 1 (1). 12-16.

19. Yeremenko, V.S., Kuts Yu.V., Mokiichuk V.M., Samoilichenko O.V. (2013). Statystychnyi analiz danykh vymiriuvan: navch. Posib. [Statistical analysis of measurement data: a textbook]. K.: NAU, 2013. 320 c. (in Ukrainian).

20. Zavantazhuvalnyi prystrii bunkera zernoochysnoi mashyny [Loading device of grain cleaning machine hopper]: pat. 152606 Ukraina: MPK B65G 65/32 (2006.01) A01F 25/18 (2006.01). Kharchenko S.O.; Bakum M.V.; Krekot M.M.; Kharchenko F.M.; Maiboroda M.M.; Siniaieva O.V.; Lytvynenko V.V.; Pankova O.V.; Syrovytskyi K.H. № u202202764; zaiavl. 02.08.2022; opubl. 22.03.2023, Biul. № 12, 4 s. (in Ukrainian).

21. Zavantazhuvalnyi prystrii zernoochysnoi mashyny [Loading device for grain cleaning machine]: pat. 152715 Ukraina: MPK (2006) B02B 7/00 A01F 12/44 (2006.01) B02B 3/00. Kharchenko S.O.; Kovalyshyn S.I.; Bakum M.V.; Krekot M.M.; Maiboroda M. M.; Siniaieva O.V.; Ptashnyk V.V.; Nester B.V.; Lytvynenko V.V.; Haiek Ye.A. № u202201610; zaiavl. 18.05.2022; opubl. 05.04.2023, Biul. № 14. 5 s. (in Ukrainian).

**Kharchenko S. O.**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

**Bilovod O. I.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

**Abduyev M. M.**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

**Lytvynenko V. V.**, Postgraduate, Poltava State Agrarian University, Poltava, Ukraine

**Volvach T. S.**, Assistant, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

#### **Study of air flow uniformity in the working zones of pneumatic separation channels**

The performance and quality of machines for cleaning and calibrating bulk materials needs to be intensified to meet the growing demands of production. The efficiency of the pneumatic separation process of loose materials is determined by the uniformity of the air flow velocity in the working zone of pneumatic separation devices. Among the main factors contributing to the non-uniformity of velocity are the design of the working zones of pneumatic separation channels, types of fans, and their ducts. The analysis of designs and methods for regulating the air flow velocity in work zones made it possible to focus on louvre devices with vertical and horizontal arrangement, which became the object of research. Among the parameters to be studied were the angle of inclination, width and arrangement of the louvres. The criteria used in the research were the coefficient of variation (uniformity of air flow velocity), contamination and weight of 1000 grains in the receiver trays (separation efficiency). As a result of the studies, dependencies of air velocity uniformity on the parameters of the pneumatic separation channel, separation completeness, and the weight of 1000 grains of winter wheat material were obtained. It has been established that the uniformity of air flow in the working zone directly affects the efficiency of separation of loose materials in pneumatic separation devices. The obtained method of determining the uniformity of the air flow speed in the working zone of the horizontal pneumatic separation channel during the separation of the components of loose materials according to aerodynamic properties. In order to increase the efficiency of the separation of the components of loose materials, technical means are proposed in the form of a blind device, which consists of vertical and horizontal blinds that equalize the speed of the air flow in the working area. Rational parameters of the pneumatic separation device at which the best uniformity with a minimum coefficient of variation (2.1%) is obtained have been established by the research. The proposed research methodology and the obtained dependencies make it possible to increase the efficiency of pneumatic separation devices when separating components of loose materials by aerodynamic properties. The results are useful when researching, designing or operating grain cleaning calibration machines.

**Key words:** air flow, uniformity, pneumatic separation channel, louvres, efficiency, loose materials, fraction.