

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
освітнього ступеня «Магістр» на тему:
**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів блока подачі
фотосепаратора насіння**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГІз-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Бубенець Максим Анатолійович

Керівник: _____ Алієв Ельчин Бахтияр огли

Рецензент: _____ Луц Павло Михайлович

Дніпро, 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«26» грудня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Бубенцю Максиму Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів блока подачі фотосепаратора насіння

керівник роботи Алієв Ельчин Бахтияр огли, д-р техн. наук, старший дослідник

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«26» грудня 2023 року № 4084

2. Строк подання студентом роботи 12 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі механізації насінництва, а саме сепарації насіннєвого матеріалу. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання, мета та завдання досліджень. 2. Теоретичні дослідження процесу подачі насіння в фотосепараторі. 3. Програма і методика експериментальних досліджень. 4. Результати експериментальних досліджень. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність удосконаленого фотосепаратора насіння. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень (2 аркуша, А4). 2. Аналіз адаптивних доїльних апаратів (1 аркуш, А4). 3. Аналітичні дослідження (2 аркуша, А4). 4. Експериментальні дослідження (2 аркуша, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (2 аркуша, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Алієв Е. Б., професор	26.12.2023	12.02.2024
Нормоконтроль	Івлєв В. В., доцент	26.12.2023	12.02.2024

7. Дата видачі завдання: 26 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний	26.12.2023-30.12.2023	виконано
2	Теоретичний	02.01.2024-15.01.2024	виконано
3	Експериментальний	16.01.2024-27.01.2024	виконано
4	Охорона праці	28.01.2024-01.02.2024	виконано
5	Економічний	01.02.2024-06.02.2024	виконано
6	Демонстраційна частина	06.02.2024-12.02.2024	виконано

Студент

_____ Бубенець М. А. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Алієв Е. Б. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Бубенець М. А. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів блока подачі фотосепаратора насіння. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

У вступі міститься обґрунтування актуальності теми дипломної роботи, відображено її мета та задачі, наведено методи досліджень. В першому розділі встановлено, що фотосепаратори мають вагомні переваги над механічними сепараторами у відношенні якості сортування зернової маси, надійності, економічної ефективності, відповідності санітарним нормам, а також в питаннях пожежної та вибухової безпеки. Однак сфера застосування цих сепараторів обмежена тим, що вони можуть сортувати зернівки лише за однією ознакою – кольором. Чисельне моделювання і експериментальні дослідження процесу руху насіння під дією привода блока подачі фотосепаратора дозволило розробити фізичну та математичну моделі, які пов'язують продуктивність фотосепаратора з середнім інтервалом часу падіння насіння, частотою коливань вібраційного лотка та частотою обертання барабана блока подачі. Проведено аналіз умов праці при роботі з фотосепаратором. Проведена техніко-економічна оцінка розробки. Сформовані висновки і наведено перелік використаної літератури.

Ключові слова: насіння, льон олійний, сепарація, фотосепаратор, параметри, ефективність, критерій, якість, продуктивність

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	8
1.1 Аналіз етапів розвитку фотосепарування.....	8
1.2 Класифікація сучасних фотосепараторів	13
1.3 Розширення сфери застосування фотосепараторів.....	24
1.4 Мета і задачі дослідження.....	30
1.5 Висновки з розділу	31
2 ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФОТОСЕПАРАЦІЇ НАСІННЄВОЇ СУМІШІ	33
2.1 Методика чисельного моделювання.....	33
2.2 Результати чисельного моделювання.....	35
2.3 Оптимізація результатів чисельного моделювання.....	40
2.4 Висновки з розділу.....	41
3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
3.1 Опис експериментальної установки	42
3.2 Методика експериментальних досліджень дослідження блока подачі...	43
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	46
4.1 Експериментальні математичні моделі.....	46
4.2 Застосування фотосепаратора для очищення вороху льону.....	51
4.3 Висновки з розділу	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	56
5.1 Основні положення.....	56
5.2 Розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення	58
5.3 Висновки з розділу	59
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	60
ВИСНОВКИ.....	63
БІБЛІОГРАФІЯ.....	65

ВСТУП

Низька якість насіння призводить до значного зменшення врожайності сільськогосподарської продукції і великих витрат на насіннєвий матеріал. Покращення якості сільськогосподарської продукції становить найважливішу проблему у сфері сільського господарства [1]. Результати сільськогосподарської продукції значною мірою залежать від технологічного рівня обладнання для контролю та сортування, а також від їхніх можливостей та функціональності [2].

Зазвичай у сільському господарстві використовується традиційна технологія обробки насіння олійних культур, яка включає в себе послідовний прохід через всі етапи насіннеочисних машин, розташованих в насіннеочисному комплексі або агрегаті. На кожному з цих етапів відділяються наступні домішки [3]: органічна домішка, биті насіння, щуплі та обрушені насіння. Основне зерно піддається численним впливам робочих органів, що може призвести до його пошкодження та вимагає використання машин з однаковою продуктивністю на кожному етапі, що є неефективним [4]. Згідно з діючим державним стандартом України ДСТУ 2240-93 [5], насіння олійних культур повинно мати сортову чистоту, яка для елітного насіння (еліта, супереліта) повинна становити від 99,6 % до 99,9 %, залежно від культури. Один із способів покращення процесу сортування насіння в насіннеочисному комплексі – це його фракціонування, яке досягається за допомогою фотосепаратора на останньому етапі обробки насіння [6, 7, 8].

Наявне обладнання для процесу сортування насіння з метою досягнення заданої сортової чистоти потребує великих капітальних вкладень (від 100 000 до 300 000 грн.) та значних експлуатаційних витрат (від 700 до 900 грн. за тону), що збільшує собівартість елітного насіння. Тому в рамках дослідження планується розробити технічне обладнання – оптичний сортувальник елітного насіння олійних культур. Даний оптичний сортувальник не має українських аналогів і може знизити експлуатаційні витрати (на 30–40 %) та підвищити продуктивність (на 15–25 %) порівняно із зарубіжними аналогами.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Аналіз етапів розвитку фотосепарування

«Фотосепарація – це процес розділення матеріалу, здійснюваний за допомогою обробки сигналів з камер або фоточутливих сенсорів. Фотосепаратор є високопродуктивним обладнанням, призначеним для видалення домішок із сипучих матеріалів, які відрізняються за кольором. Пристрій виявляє навіть найдрібніші відхилення у сортованому продукті і відсіює його» [9].

«Фотосепарація є важливим завершальним етапом тонкого очищення через те, що механічна сортування не забезпечує необхідної чистоти сортованого насіння. Механічно можуть бути відсіяні параметри, такі як вага, форма, розмір, електропровідність і аеродинамічні властивості. Однак деякі бур'яни можуть мати схожі характеристики і пройти через всі попередні етапи очищення разом із головною культурою» [9].

«Найбільш характерні параметри для фази фотосепарації включають колір, тип і рельєф поверхні. Колір може бути легко та швидко визначений у перевіряному об'єкті і дозволяє відокремити, наприклад, темні сміттєві частинки від світлих злакових культур» [9]. Тип поверхні може служити важливим показником для відрізнення блискучих насінневих часток від матових. Рельєф також може бути визначений, якщо він має нерівність по краях або наявність ямок і тріщин в центрі об'єкта, що також може свідчити про його віднесення до потрібної культури.

У практичних реалізаціях, розробники різних компаній використовують різноманітні технічні рішення, кожен з яких мають свої переваги та недоліки. Світова практика свідчить про зростання застосування і виробництва оптичних фотосепараторів, що призводить до розширення переліку фірм, які виробляють це обладнання.

«Піонером у світовій практиці дослідження процесу сортування компонентів сипучої маси за кольором стала англійська компанія "Sortex"» [9]. Це відкриття призвело до створення фотосепараторів і введення їх на ринок. Сучасна конструкція фотосепараторів включає найновіші досягнення в електроніці та мікропроцесорній техніці і практично охоплює всі види сипучих продовольчих продуктів, включаючи заморожені ягоди та овочі. Принцип їхньої роботи залишається незмінним: сортований за кольором продукт подається поодиноці до зони контролю, де проводиться порівняння електричного сигналу, що генерується фотоелементом при впливі світла, відбитого від аналізованої частини, з еталонним сигналом, що відповідає світлу, відбитому від доброякісної частини. Якщо значення сигналів збігаються в межах встановлених норм, частина вважається якісною і додається до кінцевого продукту. У випадку відмінності у контрольному сигналі, цей сигнал підсилюється, і видається команда на видалення, що виконується механізмом видалення за допомогою короткочасного струменя повітря. Дюза, яка направляє повітряний струмінь на відсіяну частину, розташована нижче від точки виявлення на такій відстані, що дозволяє об'єкту відхилитися від траєкторії падіння доброякісного зерна і потрапити до контейнера для недоброякісного продукту.

На тому ж принципі функціонують фотосепаратори, які виробляються іншими міжнародними компаніями. Ці компанії прийняли цю технологію після успішного впровадження сепараторів від фірми "Sortex" як надійних та високоефективних машин, незважаючи на високі витрати на їх конструкцію [10].

Наприклад, компанія "Gimsoifs Sortex Ltd." з Великобританії розробила багатоканальний фотосепаратор з управлінням на основі мікропроцесорів [11]. Процес сортування розпочинається з того, що насіння з підйомного бункера потрапляє на вібраційний стіл, де ядра направляються в вертикальні канали, які об'єднані в групи, наприклад, по чотири штуки.

Для визначення кольоровості ядер використовуються кілька фотодатчиків, розташованих в поперечному ряду, кожен з яких пов'язаний з власним мікропроцесором. Для створення світлових потоків використовуються

флюоресцентні джерела світла та відбивна призма. Пристрій для контролю кольору оснащено поворотним екраном, який є загальним для всіх фотодатчиків і має змінну відбивну здатність.

Аналоговий електричний сигнал від фотодатчиків, що пропорційний відбивній здатності або світлопоглинаючому показнику окремого насіння, передається в мікропроцесори. На основі аналізу інформації від фотодатчиків мікропроцесори формують команди для активації пневматичного пристрою відсіювання, який видаляє дефектні темні насіння з потоку і виводить їх в контейнер для відходів.

Та сама компанія розробила фотооптичний сепаратор на основі електронно-логічного пристрою [12]. Процес розпочинається з того, що насіння з вібраційного бункера подається на нахилений жолоб, звідки вони по одному падають вниз і проходять через фотооптичний пристрій. Цей пристрій обладнаний фотодетектором, оптичною системою, освітлювальною лампою і екраном, на якому відображаються насіння.

Сигнал з фотодетектора підсилюється і подається в електронно-логічний пристрій, який аналізує ступінь затемнення кожного окремого насіння. Якщо виявляється дефектне насіння, ступінь затемнення якого перевищує встановлену норму, електронно-логічний пристрій видає сигнал на пневматичний механізм для видалення. Цей механізм за допомогою струменя стиснутого повітря відхиляє дефектне насіння від нормальної траєкторії падіння і направляє його до контейнера для дефектного матеріалу. Решта насіння без перешкод потрапляють в приймальний бункер для готової продукції.

У електронно-логічному пристрої передбачена автоматична регулювання яскравості екрану і чутливості фотодатчиків. Регулювання проводиться періодично з командою на зупинку вібратора бункера для тимчасового припинення подачі насіння в жолоб. У сепараторі існують кілька паралельних ліній контролю готових насіння.

У Сполучених Штатах був розроблений фотосепаратор з двома проєкційними екранами [13]. Кожне насіння експонується на тлі двох екранів у

світлових променях загального оптичного освітлювального пристрою. Проекції на обидва екрани ідентичні. Відображення світлових променів від кожного екрану перетворюється за допомогою фотоелементів в електричні сигнали. Різниця між сигналами з двох екранів визначається на вихідному пристрої у відсотках відбивної здатності, що вказує на затемненість насіння. У фотопристрої передбачений контур автоматичної коригування нульового рівня, який компенсує будь-які відхилення під час проходження насіння через пристрій. Особливістю сепаратора є можливість контролю різних видів великокубових культур без зміни фонових екранів.

Японська компанія "Satake" розробила комбіновану фотосортувальну систему для розділення насіння за розміром, формою і кольором ядер [14]. Процес починається з живильного бункера, звідки насіння спускається гравітаційно на віброживильники, а потім на багатоярусний сортувальний стіл, де вони розділяються за масою. Насіння потім проходить через вертикальні вібраційні перегородки з отворами різного діаметру і відсмоктуються відтяжним вентилятором.

На виході з отворів перегородок встановлені фотодатчики, які контролюють затемненість і форму насіння. Фотодатчики генерують сигнали для керування пневматичним механізмом, який направляє ціле ядро, дробить його насіння і виділяє потемніле насіння до відповідних приймачів. Насіння, яке не проходить через отвори перегородок, повертається на гравітаційний спуск для повторного сортування.

Компанією "Satake" також була розроблена конструкція фотосепаратора для насіння [15]. Насіння з живильного бункера, розташованого у верхній частині сепаратора, подається на віброживильники, які активуються електромагнітом. Потім насіння проходить повз джерела світла і кольороаналізатор, який знаходиться напроти джерела світла. У сепараторі передбачено автоматичне регулювання подачі насіння до кольороаналізатора, який створює відповідний сигнал для керування виконавчим механізмом. Виконавчий механізм відповідає за налаштування заданої амплітуди коливань електромагніту.

У [16] описано сепаратор, який використовує електронну обробку сигналу для сортування зерен за кольором. Описано структуру і принцип дії лабораторного пристрою, призначеного для сортування зерен за кольором. Цей пристрій має моно- і біхроматичні оптичні системи. Він відокремлює частинки нестандартного кольору з потоку зерна за допомогою пневматичного методу. Зазначається, що ця система майже на 100% гарантує видалення іноземних домішок з зерна. Проте, варто відзначити, що, по-перше, іноземні частки, які мають той самий колір, що і зерно, що сортується, за цим пристроєм залишаються непорушеними, а по-друге, дрібні фрагменти зерна (які мають однаковий колір) можуть проходити як придатні для використання з високим рівнем ймовірності.

У [17] досліджено питання аналізу пшеничного зерна за допомогою відеозображення в ближньому інфрачервоному спектральному діапазоні. Розглянуто використання фотолінійки і відеозображення, проведено дослідження зерна за допомогою відеоспостереження. Також був проведений контроль якості пшениці за допомогою спектроскопії в ближньому інфрачервоному спектральному діапазоні, і були отримані хлібопекарські характеристики пшеничного борошна за допомогою досліджень в області видимого світла і ближнього інфрачервоного спектрального діапазону. Результати цього дослідження дозволяють порівняти спектральні властивості різних сортів пшениці, які були вивчені різними авторами.

У [18] представлені дані щодо створення промислового сепаратора, який базується на принципах сортування компонентів зернової маси за кольором, при цьому зерно має однорідні фізико-механічні властивості. Фотоелектронний блок сепаратора аналізує колір кожного зерна, що потрапляє в його поле зору, і порівнює його з кольором еталону. Якщо виявляються відмінності в кольорі, вмикається точний і швидкий пневматичний механізм. Цей сепаратор, за думкою його розробників, вирізняється універсальністю, оскільки його можна використовувати для сортування зерна всіх видів круп'яних і злакових культур і продуктів їх переробки. Він також має високу швидкодію, що дозволяє сортувати зерно та зернові продукти в потоці, а також дуже ефективно відділяти компоненти

(до 95-98% в виробничих умовах) і швидко окупність, менше ніж за півроку. Проте функціональна схема цього сепаратора вказує на відсутність принципових відмінностей від зарубіжних аналогів, які використовують тільки інформацію про колір частинок, використовуючи монохроматичну або біхроматичну оптичну схему.

У [19] розглянуто інший варіант стенду для сортування зерна та продуктів переробки за кольором, який базується на монохроматичній оптичній схемі.

В світовій практиці застосування і виробництво фотосепараторів зростає, і розширюється перелік фірм, що виготовляють це обладнання. Розробники різних фірм використовують різні рішення для принципів дії сепараторів, які мають свої переваги і недоліки. У [20] наведено класифікацію зарубіжних моделей фотосепараторів на основі порівняльного аналізу існуючих конструкцій.

1.2 Класифікація сучасних фотосепараторів

З наданою інформацією було розроблено систему класифікації оптичних фотосепараторів на основі їхніх конструктивних параметрів та характеристик технологічного процесу сортування насіння [21]. Згідно з цією системою класифікації оптичні фотосепаратори можна розділити на такі групи:

1. За структурою робочих органів:
 - В залежності від кількості викидів (ежекторів);
 - За наявністю кількох камер;
 - В залежності від кількості скатних лотків;
 - За наявністю вібраторів.
2. За типом камери, яка використовується:
 - CCD камера;
 - Інфрачервона опція (NIR);
 - Моно- та біхроматична камера.
3. За конструкцією скатних лотків:
 - Скатний лоток з рівною поверхнею;

- Скатний лоток з вирізами або жолобами на поверхні.

Система класифікації використовується для розподілу оптичних фотосепараторів за їхніми конструктивними характеристиками, щоб легше розуміти їхні можливості та особливості застосування. Наприклад, CCD камери використовуються для сортування насіння в багатьох оптичних фотосепараторах, тоді як інші камери можуть використовуватися як додаткові елементи. Різні конструкції скатних лотків також підходять для різних типів оптичних фотосепараторів.

Оптичні фотосепаратори можна класифікувати за технологічним процесом сортування наступним чином:

1. За технологічним процесом сортування:

- Первинний процес сортування;
- Вторинний процес сортування;
- Зворотне сортування.

Фотосепаратор Sea Chrome (Італія) використовується для вторинного та зворотного сортування насіння. Фотосепаратори Matrix, CE (Китай), Isort (CAS, Nanta Ace - Південна Корея), Satake (Японія), Pixel (Італія) використовуються для первинного та вторинного сортування.

2. За подачею вихідного матеріалу в канал:

- Одношаровий потік;
- Двошаровий потік;
- Дозування.

Вітчизняні оптичні фотосепаратори серії Ф і ФЛ-100 використовують одношарову подачу насіння для обробки. У зарубіжних оптичних фотосепараторів інколи використовується двошаровий потік, але це рідко зустрічається, наприклад, в Sortex M від Buhler (Швейцарія). Дозована подача насіння використовується в оптичних фотосепараторах Sortex Z + (Швейцарія).

3. За видом сортованої культури.

Деякі оптичні фотосепаратори є універсальними і можуть сортувати всі види сільськогосподарських культур, включаючи олійні, зернові, технічні та бобові культури.

4. За параметрами насіння:

- Колір;
- Густина;
- Розмір;
- Форма;
- Нерівності;
- Структура.

Оптичні фотосепаратори використовуються для сортування насіння залежно від його кольору, густини, розміру, форми, нерівностей і структури. Наприклад, Futura HP (ASM, Італія) використовується для сортування за кольором, густиною та розміром, а Vision (ASM, Італія) - за розміром та формою. Інші фотосепаратори, такі як Lux (Італія), Isort (CAS, Південна Корея), Sortex M (Швейцарія), Satake (Японія), використовуються для сортування за кольором. Деякі фотосепаратори, наприклад, OS 900 (Petkus, Німеччина), Sortex Z + (Buhler, Швейцарія), та серія FCS (Тайвань), використовуються для сортування за розміром, кольором, формою, структурою тощо.

Ця класифікація допомагає визначити, які функції виконує кожен оптичний фотосепаратор та в яких сферах сільського господарства він може бути застосований.

Запропонована класифікація фотосепараторів базується на різних варіантах виконання основних їхніх компонентів, таких як живлення, оптика (яка включає джерело світла та сенсор, оснащений системою лінз), електроніка, відсікання частинок за кольором, керування роботою сепаратора і, у деяких випадках, моніторинг відходів. Для зручності в цій класифікації вказані компанії, які впроваджують конкретні рішення у своїх моделях фотосепараторів. Певний ряд компаній, які застосовують схожі рішення, не був включений до цієї класифікації.

Класифікація фотосепараторів за кольором будується наступним чином (див. рисунок 1.1):

Блок живлення відповідає за поштучну подачу окремих частинок сипучого продукту в зону контролю за їхнім кольором. У більшості конструкцій для цього використовуються віброживильники з системою каналів у формі літери "V" або схожої форми, які нахилені до горизонталі під кутом близько 60 градусів. Канали, яких може бути від 2 до 40, розташовані паралельно під вібрототком. Вони спроектовані таким чином, щоб продукт подавався по каналах або жолобах в одному шарі без інтервалів, і частинки переміщувалися по них поодиноці без зупинок, потрапляючи в зону контролю за кольором під час вільного падіння.

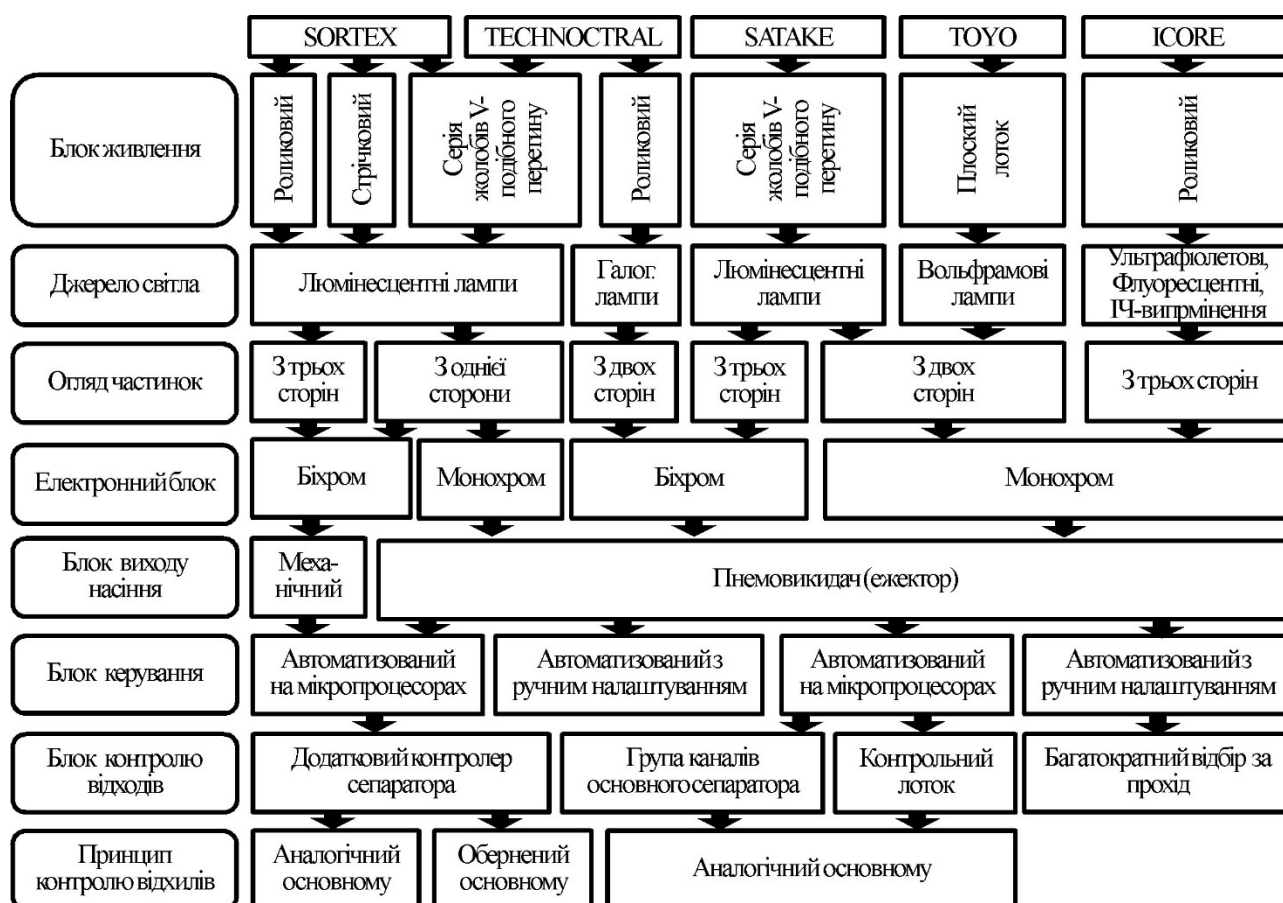


Рисунок 1.1 – Класифікація фотосепараторів

Отже, живильники сепараторів виготовлені відповідно до стандартів і моделей таких виробників, як «Sortex» 9401 Range, «Sortex» 9400 Range, «Sortex»

700 Range, «Sortex» моделей 1161, 1120, 962, 920; «Tecnostral»: Seletron M-10, Seletron SMS 608, Seietron SMS 247; «Saiake»; Gram Sorter GS 400 A, GS 300 FA; «SEA» моделей Sernit CR 3000 MS, CR 600 BS, CR 600 MS; «Justus»; Megasort G-3800R, Megasort 38X [20].

Існують інші можливі способи подачі частинок, такі як роликові або стрічкові конвеєри. Ролики обертаються в протилежних напрямках, і продукт подається на них з віброживильника, рухаючись по них як по жолбчатому самопливу безперервно в одну лінію. Ролики забезпечують постійну швидкість і орієнтацію частинок при їх входженні в зону контролю кольору. Фірма «Sortex» [15] пропонує такі рішення в моделях 922 – роликовий живильник і 923 – стрічковий живильник. Фірма «Isore» рекламує роликовий живильник, який за її даними є найкращим способом подачі зернинок в моделі 516 IE.

Фірма «Тоуо» [16] використовує вібраційний живильник без додаткових пристроїв, який поділяє загальний потік на окремі частинки. Віброживильники формують плоский потік продукту товщиною в одну зернину, що стікає з лотка і вільно падає в зону контролю кольору. Такий живильник має перевагу через свої компактні розміри та здатність орієнтувати частинки в зоні контролю кольору. Фірма «Тоуо» випускає сепаратори моделей СА 150, СА-100, СА-75, СА-50, СА-20, СА-10, що відповідають сепараторам з традиційними v-подібними і каналами, в кількості відповідно 75, 50, 38, 25, 10 і 5.

Оптичний блок фотосепаратора складається з джерела світлового потоку, оптичної системи лінз, світлофільтрів, конденсорів і фотоелементу. Для джерела світла використовуються різні типи ламп, включаючи люмінесцентні, галогенні, вольфрамові, інфрачервоні та ультрафіолетові флуоресцентні випромінювачі.

Деякі компанії, такі як «Sortex», «Tecnostral», «Satake», «SEA» та «Justus», віддають перевагу використанню люмінесцентних джерел світла через їхню енергоефективність і тривалу службу, а також рівномірний світловий потік, який вони створюють. З іншого боку, фірма «Тоуо» використовує вольфрамову лампу розжарювання як джерело світла через менше зміну світлової енергії з часом

порівняно з люмінесцентними лампами. Це допомагає підвищити ефективність сортування за кольором.

Галогенні, ультрафіолетові флуоресцентні та інфрачервоні випромінювачі застосовуються в біхроматичних системах для визначення кольору частинок. Вони дозволяють сортувати продукт на "білі" та "небілі" частинки, незалежно від колірної забарвлення "небілих" зерен, таких як жовті, червоні, зелені або чорні. Монохроматичні системи простіше в конструкції, дешевше і продуктивніше, і для контролю якості насіння вони є достатніми. Біхроматичні системи використовуються для сортування насіння гороху, квасолі, горіхів, кави. Такі сепаратори випускають фірми «Sortex», «Tecnostral» та «Satake» [15-17].

У зоні контролю кольору для кожного потоку зерна встановлено фотоелемент, який перетворює енергію світла, відображену від кожного зерна, в електричний сигнал. В разі однорідних за кольором дефектів цього достатньо. Але якщо потрібно виявити зерна з пошкодженнями або плямами, які знаходяться на одному боці зерна, то встановлюють два або навіть три фотоелемента, які спостерігають за зерном з різних сторін. Наприклад, японські фірми «Тоуо» і «Satake» встановлюють два протилежно розташованих фотоелемента в монохроматичних сепараторах, в той час як фірма «Icog» ставить три фотоелемента під кутом 120 градусів. Фірма «Satake» також використовує три фотоелемента в біхроматичних сепараторах.

Складність технічного виконання фотосепаратора найбільше проявляється у блоку вилучення некондиційних зерен із сепарованого потоку. Основна складність полягає в тому, що цей механізм має реагувати на виявлення дефектних зерен протягом дуже короткого періоду часу, коли зерно летить від місця виявлення до місця збору некондиційних частинок. Він також повинен бути майже беззворотнім, щоб впевнитися, що він відсортую декілька дефектних зерен, навіть якщо вони розташовані поблизу один одного.

Для вирішення цих викликів найчастіше використовують пневмовибросівателі або ежектори. Ці пристрої дозволяють створювати жорсткий та напрямлений струмінь повітря, який впливає на зерно протягом того часу, поки

воно вільно падає і не перевищує своєї власної довжини. Це забезпечує ефективний викид дефектних зерен, без зачеплення наступних зерен, які летять за ними. Такий процес ежекції здійснюється за дуже короткий час, приблизно від 0,0005 до 0,0008 секунди.

Багато виробників фотосепараторів використовують пневмоежектори у своїх моделях, існують також моделі з механічним віброковшем, які пропонують фірма "Sortex".

Блок керування фотосепаратором може бути налаштованим вручну або повністю автоматизованим. Ручне керування іноді вважається простішим з точки зору конструкції і обслуговування. Проте більшість сучасних оцінок ефективності конструкції базуються на ступені її автоматизації. Наприклад, модель сепаратора "Sortex 9401 Range" має велику автоматизацію, включаючи управління світловими рівнями фону, чутливістю системи до різних кольорів продукту, діагностику несправностей і багато інших функцій. Це повністю автоматизована система з можливістю самодіагностики і автоматичним коригуванням. Інші фірми, такі як "Tecnostral" і "Icore", залишають певний рівень ручного налаштування поряд з елементами автоматизації.

У випадку потреби враховується можливість додаткового контролю за відходами продукту. Наприклад, компанія "Sortex" вважає за доцільне встановлення додаткового сепаратора, який може мати меншу продуктивність, але налаштований для виявлення і видалення більшої кількості некондиційного продукту. Компанія "Тоуо" вбудовує в основний сепаратор додаткову аналогічну, але меншу систему, яка включає віброживильник, лоток з сенсорами та пневмоежектори. У сепараторі передбачається два потоки продукту: один направляє відходи в систему контролю відходів після первинного сортування, а інший піднімає "очищений" продукт з системи контролю і надає йому пріоритет перед несортованим продуктом в живильнику.

Компанія "Satake" у одній зі своїх моделей, а саме GS 400 FA, виділяє 5 каналів з 40 до групи контролю відходів після первинного сортування [22]. Компанія "Icore" використовує нову гнучку систему сортування за допомогою

універсальної логічної системи, яка дозволяє багаторазово видаляти некондиційний продукт за один прохід.

Принцип контролю відходів може бути подібним до первинного сортування або протилежним. У випадку аналогічного контролю, з потоку продукту, який був відсортований на первинному етапі, вилучають некондиційні частки, які мають темніший колір, ніж еталон. При зворотному контролі еталон налаштовується на найсвітліший тон некондиційних зерен, а електронний блок на вилучення з потоку відходів зерен, які мають світліший колір, ніж "еталон", тобто некондиційну продукцію.

У 1995 році на Ленінградському об'єднанні "Пролетарський завод" планувалося розпочати масове виробництво сепараторів СРФ-5 для сортування насіння на етапі його перевірки перед упаковкою. Проте через фінансові труднощі цей сепаратор так і не був випущений у серійне виробництво. У цьому проекті брали участь Павловопосадський оптико-механічний завод, Петербурзький інститут точної механіки і оптики, а також Всеросійський науково-дослідний інститут зерна, які розробили початкові вимоги і вирішили ключові питання в галузі розробки [23].

Згідно з наведеною класифікацією, головний розробник вітчизняної моделі фотосепаратора СРФ-5 прийняв наступні технічні рішення для окремих блоків:

- Блок живлення містить 56 жолобів v-подібного перетину (розділені на 7 модулів, по 8 жолобів у кожному).
- Оптичний блок включає в себе люмінесцентні лампи як джерело світла та односторонній огляд частинок.
- Для датчика використовується монохроматичний сенсор.
- Вилучення кольорових ядер здійснюється за допомогою пневмоежектора.
- Управління сепаратором повністю автоматизоване і базується на мікропроцесорах.
- Для контролю над відходами передбачений окремий модуль з 8 жолобами.

- Принцип контролю відходів ґрунтується на логіці, яка збігається з основним принципом роботи сепаратора.

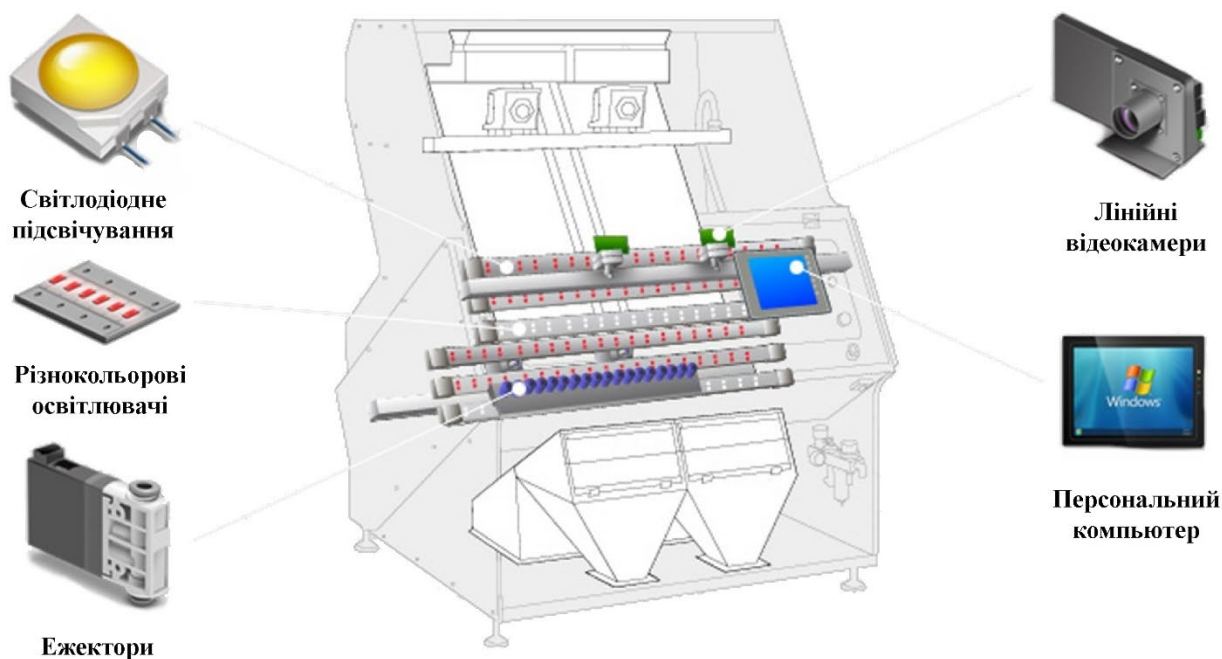


Рисунок 1.2 – Технологічна схема фотосепаратора

Фотосепаратор вітчизняного виробництва володіє модульною структурою, здатністю до обробки 0,83 тонн продукту на годину для кожного окремого модуля. Кількість модулів у сепараторі залежить від продуктивності контрольованого потоку. У випадку, коли сепаратор має продуктивність 5 тонн на годину, він складається з шести основних модулів та сьомого контрольного модуля, який призначений для зменшення кількості доброякісних ядер у відходах, що виокремлюються в основних шести секціях.

Конструкція стандартного модуля сепаратора включає в себе механізм поштучного подачі блоку з 8 лотками спеціального профілю, монохроматичний оптико-електронний блок для контролю кольоровості, та пневмоклапан з електромагнітним приводом для видалення недоліків. Продуктивність живильника залежить від амплітуди коливань, і вона регулюється відповідно до вихідної засміченості продукту. Швидкість руху зерен на вході в зону контролю

кольору становить 4–5 метрів на секунду. Опорний фоновий сигнал у блоку контролю кольору регулюється за допомогою рідких кристалів, котрі контролюють яскравість залежно від яскравості доброякісних зерен.

Пневмоклапан для видалення недоліків встановлений під шкірною поверхнею лотків, з тривалістю імпульсу 0,8–1,0 мілісекунди, що менше часу перебування зерна в зоні імпульсу. Максимальна частота спрацьовування становить тисячу разів на секунду, що набагато більше, ніж максимальна кількість кольорових зерен, які можуть бути виділені за кольором і проходять контроль. Для подачі виокремлених недоліків на повторний контроль у цьому модулі передбачено норію з продуктивністю 950 кілограмів на годину.

Технічні характеристики різних моделей сепараторів наведені у таблицях 1.1–1.2.

Таблиця 1.1 – Порівняльна технічна характеристика

Показники	ОАО «Сельмаш»				Компанія «CSort»				Компанія «AnMeiDa Group»						
	Ф 20.1	Ф 15.1	Ф 10.1	Ф 5.1	120 канал.	90 канал.	ZK5/320	ZK4/256	ZK/192	ZK2/128	320Z	240Z	208Z	160Z	128Z
Продуктивність т/ч	1,7...	1,3...2,5	0,9...1,6	0,6...1,0	до	до	до	до 13,7	до 10,3	до	до	до 11,3	до	до	до 5,6
Встановлена потужність, кВт	31	1,8	1,5	1,4	6	3,6	18	1,2,3	1,2,7	6,7	16	1,2...2,5	9,4	7,5	0,6...1,6
Споживання повітря л/хв, не більше	2,6	1,7	1,7	1,5	2,2	1,5	1,6...	1,3	01.авг	0,5...	1,6	1,4...	1,4...	0,9...	0,9...1,7
Кількість швидкодіючих пневморозподільників	288	216	144	96	120	90	3,6	нд	нд	1,9	нд	2,7	2,7	1,9	нд
Габаритні розміри, мм	1100	1100	1100	600	700	500	1600	1300	1100	700	1600	1300	600	900	600
	2600	2600	1600	1100	2100	1900	3100	2600	1900	1300	3100	2900	1500	1900	1500
	298	226	154	106	130	100	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд
Маса, кг	2025	1751	1378	1595	1885	1885	2120	1818	1516	1214	2076	2076	2076	1356	1356

Після узагальненого аналізу можна визначити вимоги до фотосепараторів:

1. Перевага фотосепараторів в очищенні продукту полягає у підвищенні якості кінцевого продукту. У механічних сепараторах відбір проводиться по всій масі сортованого матеріалу, в той час як фотосепаратори працюють з кожною часткою окремо. Це призводить до поліпшення якості очищення зерна.

Таблиця 1.2 – Порівняльна технічна характеристика (продовження)

Країна, фірма	Англія Sortex	Японія, Тоуо	Японія, Satake	Італія, SEA	Бразилія, Tecnostral	США, Техас ESM	Германія, Justus	Бельгія, Mandrel
Марка	Sortex 9401	CA-150	GF400FA	GR3000MS	SMS-608	G3800R	Megasort	Elexso
Продуктивність, т/год	12,1	9,1	2,1	2,1	0,8	0,9	3,5	2,5
Потужність, кВт	2,1	2,1	7,1	0,95	0,6	1,3	1,3	0,35
Габаритні розміри, м	2,1	1,3	1,6	1,9	0,6	2,3	1,6	0,9
	1,3	1,3	0,5	1,3	0,9	1,3	1,2	1,2
	1,5	2	1,7	1	1,1	1,2	2,4	2,4
Маса, кг	650	370	310	360	170	310	420	410

2. Фотосепаратори виграють у надійності і технологічності конструкції порівняно з механічними аналогами. У фотосепараторах кількість рухомих механічних деталей мінімізована, що підвищує час безвідмовної роботи машини і їх надійність.

3. Економічна ефективність фотосепараторів забезпечується завдяки продуктивному робочому процесу, високій продуктивності, міцності і надійності, технологічності виготовлення, низькій вагомості, енергоефективності та операційним витратам, а також завдяки високому ресурсу, ступеню механізації і автоматизації, простоті та безпеці обслуговування і зручності управління.

4. Фотосепаратори також відповідають вимогам щодо ергономіки, будівельних норм і правил, протипожежної безпеки і безпеки виробництва. Вони мають значний запас міцності в порівнянні з механічними аналогами, зокрема щодо вимог СНіП, протипожежної техніки і техніки безпеки.

Застосування фотосепараторів сприяє зменшенню пиловиділення та підвищенню безпеки на виробництві. Зменшення розмірів сортувальних агрегатів при використанні фотосепараторів допомагає підвищити вибухо- та пожежну безпеку на підприємстві і зменшити рівень шуму у виробничих приміщеннях.

1.3 Розширення сфери застосування фотосепараторів

Незважаючи на зростаюче використання фотосепараторів для контролю і сортування готової олійної культури, їх застосування залишається обмеженим. Однак вчені вже визнали переваги фотосепарування за одним параметром, таким як колір. Також вони розглядають можливості використання фотосепараторів у зернопереробних виробництвах, що відкриває перспективи для їх поширення в зерноводстві, насінництві і селекції.

Проте, навіть у галузі обробки готової сільськогосподарської продукції потенційні можливості фотопристроїв не використовуються повністю. Застосування фотосепараторів з можливістю відбору продукції за декількома критеріями (розміром, формою і т. д.) може значно покращити якість насінневої маси, яка переробляється [24].

Для визначення оптимального місця застосування фотосепараторів у процесах підвищення якості зернової продукції необхідно розглядати насінневу масу як об'єкт, стан якого визначається великою кількістю вхідних і вихідних параметрів.

Усі фактори, які впливають на насінневу масу, можуть бути класифіковані як зовнішні або внутрішні чинники. Зміна цих факторів дозволить змінити початкові параметри сортової маси у потрібному напрямку.

Внутрішні фактори розглядаються як параметри стану об'єкта, тоді як будь-які впливи на насінневу масу вважаються зовнішніми чинниками.

Побудова моделі впливів на об'єкт допоможе оцінити можливості застосування фотоприймачів у процесах підвищення якості зернової продукції. Модель на рисунку 1.4 містить три групи входів, які впливають на систему, і дві групи виходів, що відображають результати впливу цих факторів.

З запропонованої моделі можна чітко виокремити, що реально вплинути на якість зернової маси можна лише шляхом фізичних керованих впливів (позначених як Z). Некеровані впливи (позначені як Y) і частково керовані впливи (позначені як X) можна вважати несуттєвими, оскільки вони не мають впливу на

якість вже зібраної зерномаси. «Фізичні керовані впливи базуються на достовірній інформації про стан (якість) об'єкта, яка в свою чергу заснована на діагностичних параметрах (позначених як U)» [12].

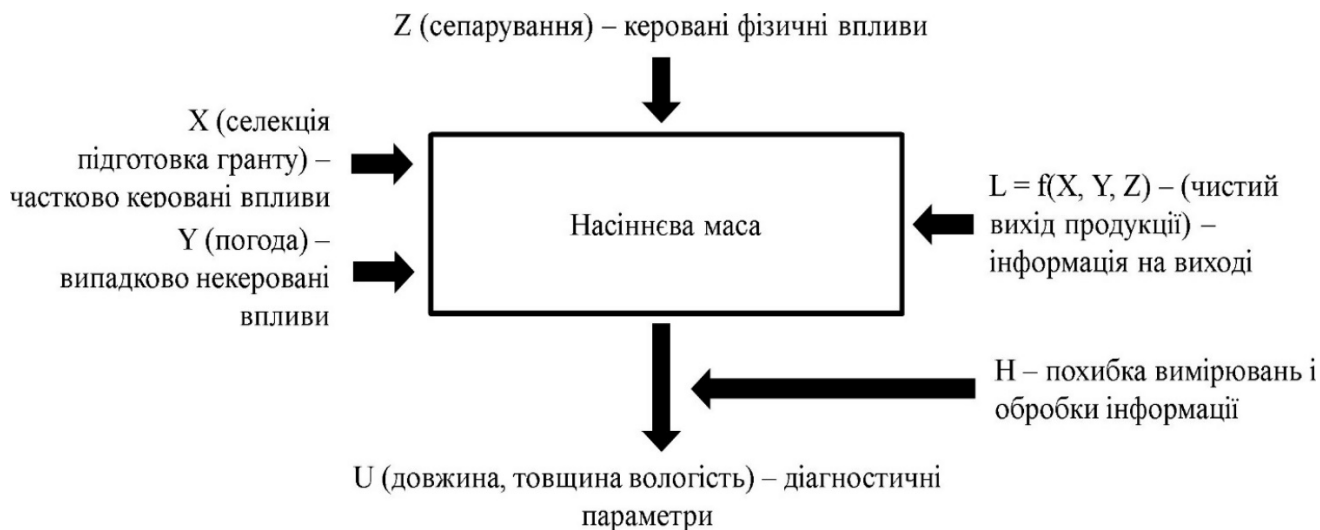


Рисунок 1.4 – Модель впливів на об'єкт дослідження (насіннєву масу)

«Ці параметри поділяються на п'ять груп: ботаніко-фізіологічні, органолептичні, фізичні, хімічні та технологічні» [12]:

- «Ботаніко-фізіологічні параметри включають такі показники якості зерна, як вид культури, форма (озима або яра), сорт, морфолого-анатомічні особливості, колір, схожість та енергія проростання. Деякі з них можна визначити шляхом огляду (колір, іноді вид), інші вимагають лабораторного аналізу для характеристики анатомічної будови, схожості та енергії проростання» [12].

- Органолептичні параметри включають такі показники якості насіння, як колір, запах та смак, які визначаються за допомогою органів почуття. Вони вказують на свіжість насіння та наявність корисних речовин.

- «Фізичні властивості насіння мають велике значення для зберігання та переробки. До фізичних властивостей відносять форму, розміри, обсяг, виповненість, масу 1000 насінин, скловидність, щільність, плівчастість, лущинність, об'ємну масу, механічні пошкодження, тріщинуватість, механічні

властивості, аеродинамічні властивості, зараженість шкідниками та засміченість» [12].

- Хімічні показники якості насіння включають вологість, зольність, кількість білкових речовин, кислотність та зміст та якість клейковини.
- «При технологічній оцінці якості зерна необхідно враховувати вимоги, що пред'являються до насіння та продуктів його переробки в різних галузях промисловості, таких як борошномельна, хлібопекарська, круп'яна, макаронна, кондитерська, пивоварна, крахмало-патокова, спиртова та олійно-жирова, а також при виробництві солоду» [25].

Усього в цій сумі міститься 32 параметри, з яких тільки один, а саме забарвленість, визначається існуючими фотосепараторами в рухомому потоці (це однокритеріальне сортування). Решта параметрів визначаються в лабораторних умовах в статичному режимі і мають характер констатуючих вимірювань.

Існуючі фотосепаратори вже здатні моделювати цю систему, яка зображена на рисунку 1.5.

В рамках розглянутої моделі, якщо збільшити кількість параметрів, які діагностуються, і провести швидку оцінку цих параметрів для виділення некондиційного насіння з рухомого потоку, це призведе до переходу від однокритеріального сортування до багатокритеріального.

Фотосепаратори, які застосовують принцип відбракування за кількома параметрами (показниками якості), можна назвати багатокритеріальними.

Вчені вже провели спроби створення прототипів фотосепаратора нового покоління, які визначають фізичні параметри діагностованих насін за допомогою зображувальних пристроїв.

У [26] проводили аналіз зображень зерен різних видів злаків, використовуючи систему лазерного далекоміра та відеокамери для визначення контурів. Цей підхід значно покращив точність розпізнавання і дозволив порівняти його з результатами візуального огляду. Для отримання тривимірних зображень зерен використовувалася відеокамера типу Sony XC-39 зі спеціальним далекомірним пристроєм, який використовував He-Ne лазер потужністю 10 мВт

як світловий джерело. В якості дефлектора променя лазера використовувалася розгортка, що базувалася на обертається багатогранній дзеркальній призмі та 256-елементній матриці типу SC-10D. Ця система працювала спільно з двома персональними комп'ютерами. Відеокамера використовувалася для виділення контурів зображень.

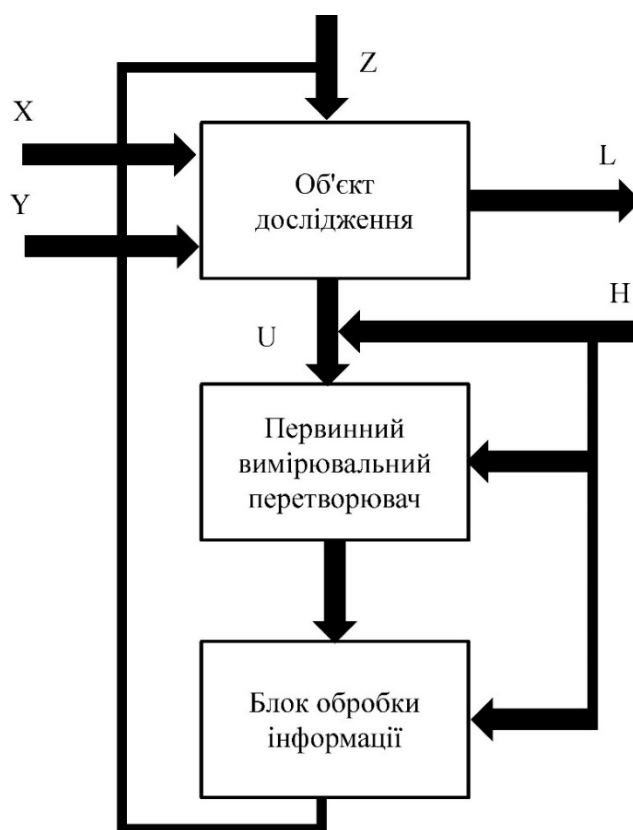


Рисунок 1.5 – Модель замкнутої системи фотосепаратора

Розпізнавання зображень відбувалося на основі 7 параметрів, які отримувалися з контурів відеокамери і відображали площинну конфігурацію, а також 8 параметрів, які отримувалися з далекомірною пристроєм і відображали просторову конфігурацію, включаючи просторові пропорції, особливості рельєфу і шорсткість зерен. В експериментах використовувалися зерна різних сортів пшениці, жита, вівса, ячменю та інших (усього 15 видів зерна). Точність розпізнавання пшениці і її сортів становила 99,5%, найнижча точність (90%) була зафіксована при розпізнаванні між м'якою і твердою пшеницею. Важливо

відзначити, що точність розпізнавання між зерном пшениці, вівса, сої, сорго та інших була близькою до 100%.

Застосування такої моделі для ідентифікації зерен дозволяє працювати з високою точністю, але вона не придатна для масового використання як фотосепаратор через обмежену продуктивність (для кожного зерна потрібен аналіз форми поверхні за допомогою лазерного далекоміра) і наявність оптичних деталей, які потребують точної настройки. Однак подібні стенди можуть бути використані як еталонні при налаштуванні серійних промислових сепараторів.

В [27] була розроблена керована лазерна скануюча система для аналізу зображень. Розпізнавання різниці між зерном пшениці сортів Daws (м'яка білозерна озима) і ТуII (парникові) проводилося як окремо, так і у суміші. У процесі сортування та ідентифікації було успішно класифіковано від 92% до 94% зерен. Також надійно вдалося ідентифікувати пророслі зерна - 89% пророслих і 83% непророслих зерен були ідентифіковані. Проте, невелика якість сортування може свідчити про те, що критерії ідентифікації (класифікації), ймовірно, були обрані не досить успішно.

У [28] розглядаються сучасні засоби контролю якості зерна, які пропонуються на ринку фірмою "Rolling Number AV" (Швеція).

В роботі [29] описано створення аналітичного комплексу для вимірювання геометричних розмірів і форми зернівки в складі зернової маси.

Проте, установки, які були описані в роботах [26-29], є окремими і, на відміну від фотосепараторів, не призначені для масового сортування сипучих зернових продуктів. Однак як еталонні пристрої для оцінки якості зерна, вони можуть бути корисними.

Можливе подальше практичне розширення застосування фотосепараторів включає такі напрямки:

- Використання в фотосепараторах нового типу фотоприймачів з твердотілими багатоелементними сенсорами.
- Застосування фотосепараторів з багатоелементними фотоприймачами в галузях сільського господарства, де раніше не могли бути використані існуючі

фотосепаратори через обмежені можливості їх дискретних фотоприймачів, які розпізнавали зернові тільки за кольором.

- Одночасне використання дискретних і багатоелементних фотоприймачів в фотосепараторах для сортування зернової маси за кольором і геометричними параметрами (багатокритеріальне сортування).

Традиційно, перетворювачі зображення застосовуються для вирішення подібних завдань, таких як зміна геометричних параметрів в області приладобудування, машинобудування і інших сферах. Зокрема, твердотільні матричні фотоприймачі є найефективнішими серед них. Ці фотоприймачі мають важливі переваги, такі як висока швидкодія (до 1000 кадрів в секунду), низьке енергоспоживання, компактні розміри, висока роздільна здатність і довговічність. Завдяки їх великій потужності для зберігання інформації (1000-2000 пікселів), обробка зображень може проводитися в реальному часі. Ці фотоприймачі дозволяють вимірювати геометричні параметри, такі як довжина, ширина і форма окремих об'єктів, без необхідності використання дорогих оптичних приладів. При виділенні контурів об'єктів з багатоелементними матричними фотоприймачами точність становить близько половини кроку матриці фотоприймача (100-250 мкм). В реальних умовах експлуатації розмір зображення на матриці не повинен перевищувати половини площі активної частини фотоприймача (16-32 елементи). З урахуванням точності визначення контуру об'єкта в половину кроку матриці на один об'єкт, необхідно виміряти 32-64 помітних координати, і, відповідно, точність визначення розмірів об'єкта становить 1,5-3%, а похибка визначення площі об'єкта може досягати 3-6%.

Згідно з літературою, вимірювання геометричних розмірів та оцінка форми зернівки важливі на всіх етапах виробництва та обробки зернової маси, а також в сфері насінництва та селекції. Зазвичай ці вимірювання проводяться вручну або за допомогою мікроскопа при лабораторному аналізі зернівок у дослідницьких партіях. Процес цей є тривалим і малопродуктивним.

Встановлення невеликих матричних фотоприймачів у фотосепараторі дозволяє проводити вимірювання цих параметрів в режимі реального часу і

динаміки. Іншими словами, це дає нам можливість миттєво визначити, чи відповідає тестувана зернівка вимогам [30], і в разі невідповідності видати команду на її видалення.

Проте існує ймовірність, що деякі частки зернівки, які частково пошкоджені, можуть потрапити в готовий продукт.

Для уникнення такої можливості необхідно використовувати одиночні і матричні фотоприймачі послідовно один за одним у фотосепараторах. Перші з них будуть відсікати зернівки, які відрізняються від еталону за кольором, а другі надавати команду на видалення з загального потоку зернівок, які не відповідають стандартним розмірам і формі.

При цьому кількість оцінюваних критеріїв (показників) якості зернової маси зростає від 1 до 5, оскільки, крім кольору, форми і лінійних розмірів зернівок, можна досить легко визначити обсяг і масу 1000 зернин випробуваної культури.

Таким чином, потенційні області використання фотосепараторів можуть варіюватися в залежності від елементної бази, яку вони використовують, і методів обробки та виділення ключових ознак для сортування.

1.4 Мета і задачі дослідження

Мета досліджень полягає у підвищенні ефективності технологічного процесу фотосепарації насіння шляхом обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів блока подачі насіння фотосепаратора .

Для досягнення поставленої мети програмою досліджень передбачалось виконання наступних *завдань*:

- провести аналіз впливу способів сепарації насінневої суміші на її якість та провести аналіз техніко-технологічного забезпечення фотосепарації;
- провести чисельне моделювання процесу фотосепарації насінневої суміші;
- провести експериментальні дослідження технологічного процесу фотосепарації насінневої суміші;

– надати інформацію щодо охорони праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в насіннесочисних підприємствах;

– провести техніко-економічну оцінку результатів досліджень.

Предмет дослідження – встановлення закономірностей впливу сепарації насінневої суміші на її показники якості.

Об'єкт дослідження – процес сепарації насінневої суміші.

1.5 Висновки з розділу

1. Після проведення патентно-інформаційного аналізу було виявлено, що наявні механічні сепаратори мають обмеження, що ускладнюють покращення якості сортування насінневого матеріалу. Ці обмеження включають:

- обмеженість механічних сепараторів в залежності від їх конструкції, оскільки вони можуть сортувати зернівки тільки за однією ознакою, тобто вони не є універсальними;

- обмеженість у підвищенні потужності механічних сепараторів через виникнення інтенсивного пилу під час сортування, що призводить до підвищеної пожежної та вибухової небезпеки в приміщеннях виробництва, і ця небезпека ще більше зростає при збільшенні розмірів обладнання.

2. Було встановлено, що фотосепаратори мають вагомі переваги над механічними сепараторами у відношенні якості сортування зернової маси, надійності, економічної ефективності, відповідності санітарним нормам, а також в питаннях пожежної та вибухової безпеки. Однак сфера застосування цих сепараторів обмежена тим, що вони можуть сортувати зернівки лише за однією ознакою – кольором.

3. Була розглянута модель системи фотосепаратора насіння, яка включає в себе більше фізичних параметрів, які вимірюються фотоприймальним пристроєм сепаратора (на додачу до кольору, також визначається форма, геометричні розміри, обсяг та маса 1000 насінин). Це розширило область застосування фотосепараторів. Основні напрямки розширення сфери застосування

фотосепараторів включають використання твердотільних матричних фотоприймачів.

4. За запропонованою класифікацією оптичних фотосепараторів видно, що вони мають нахиленими лотками з рівною поверхнею, на яких розташовані CCD камери на початку та в кінці процесу сортування насіння за кольором. При цьому подача матеріалу проводиться одношаровим потоком в канал, здійснюючи первинне та вторинне сортування. Ця класифікація дозволяє систематизувати оптичні фотосепаратори за комплексними характеристиками.

2 ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ФОТОСЕПАРАЦІЇ НАСІННЕВОЇ СУМІШІ

2.1 Методика чисельного моделювання

Для визначення оптимальних робочих параметрів вузла подачі насіння фотосепаратора використано фізичну модель програмного комплексу STAR-CCM+. Для чисельного моделювання використано k-ε модель турбулентності сепарованого потоку, гравітаційне поле, Ван-дер-Ваальсову модель реального газу, дискретно-елементну модель та модель взаємодії багатофазних потоків. Метод дискретних елементів було використано для моделювання поведінки насіння в багатофазному середовищі. Проте для побудови фізико-математичної моделі було прийнято припущення, що насіння має форму еліпсоїду з визначеною щільністю та ефективним діаметром.

Були визначені фізико-механічні властивості насіння, такі як коефіцієнт Пуассона, модуль Юнга, щільність, ефективний діаметр, коефіцієнт тертя спокою, нормальний та дотичний коефіцієнти відновлення та коефіцієнт опору кочення. Для моделювання було використано повітря як середовище з відповідними фізичними властивостями, такими як динамічна в'язкість, турбулентне число Прандтля, прискорення вільного падіння, температура та тиск. Розмір комірки сітки моделювання складав 0,001 м.

Отже, використання фізичних моделей та чисельного моделювання дозволило встановити оптимальні режимні параметри роботи блока подачі насіння фотосепаратора, що сприятиме забезпеченню ефективної та якісної роботи пристрою.

З метою спрощення математичних і часових операцій для вузла подачі насіння фотосепаратора прийняті наступні конструктивно-технічні параметри: ширина коливань вібрлотка (відповідно до розміру каналу вібрлотка) – 0,008 м, зовнішній радіус барабана – 0,07 м, кількість лопатей – 38 і довжина лопатей – 0,01 м. Кількість лопатей – 38, довжина лопатей – 0,01 м. З метою чисельного

моделювання складено схему для розрахунку руху насіння під дією приводу вузла подачі насіння фотосепаратора (див. рисунок 2.1). Технічними параметрами для чисельного моделювання були швидкість подачі насіння Q , частота коливань вібротка ψ і частота обертання барабана n (межі варіювання наведені в таблиці 2.1). Було проведено повне факторне дослідження з 33 експериментами. Критеріями оцінки процесу були продуктивність q дозатора насіння фотосепаратора та середній час t падіння насіння. Важливо зазначити, що вібраційний диск складається з 10 однакових вертикальних каналів, по яких рухається насіння, а час експозиції становить 100 секунд.

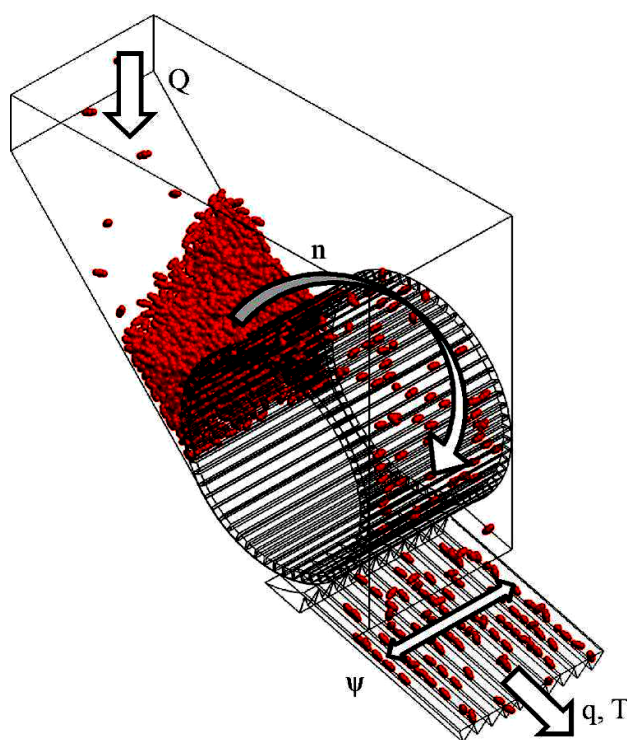


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема робочого органу блока подачі насіння

Таблиця 2.1 – Рівні та інтервали варіацій факторами

Рівні	Фактори		
	Q , кг/год (x_1)	ψ , s^{-1} (x_2)	n , об/хв. (x_3)
(+)	140	12	20
(0)	90	7	15
(-)	20	2	10
Інтервал	70	5	5

Отже, на основі чисельного моделювання було встановлено оптимальні

параметри блока подачі насіння фотосепаратора, що дозволяють досягти найвищої продуктивності технологічного процесу. Це може бути корисним для виробництва високоефективних технологічних пристроїв для сільського господарства та інших галузей промисловості.

2.2 Результати чисельного моделювання

Після моделювання отримано ілюстрацію процесу технічного перенесення насіння за допомогою робочого органу вузла подачі насіння фотосепаратора (рисунки 2.2–2.4). За допомогою програмного пакету Mathematica отримані дані апроксимуються і продуктивність q вузла подачі насіння фотосепаратора може бути визначена в кодовому вигляді за рівняннями, які залежать від вищевказаних чинників:

$$\begin{aligned}
 q = & 44,324 + 15,234 x_1 - 13,456 x_1^2 + 19,23445 x_2 + \\
 & + 10,57969 x_1 x_2 + 6,1234 x_2^2 + 1,56959 x_3 - 1,34324 x_1 x_3 + \\
 & + 1,3432 x_2 x_3 - 1,3416 x_3^2.
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

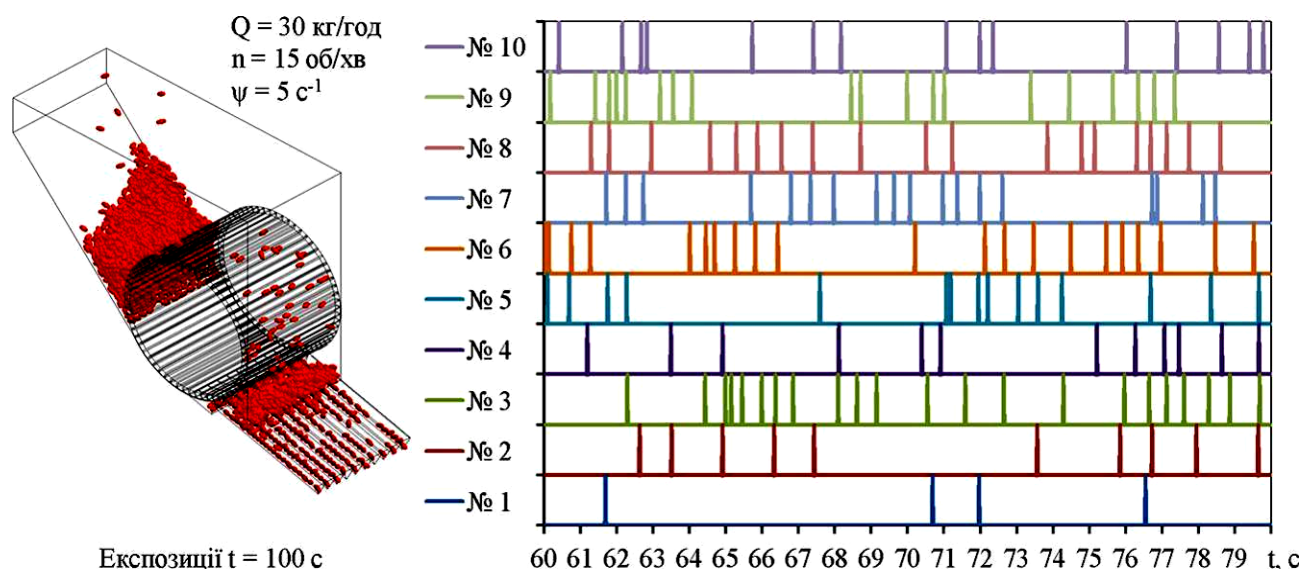


Рисунок 2.2 – Інтервали тривалості сходу насіння з вібролотка

Отриманий коефіцієнт кореляції ($R = 0,89$) та $t(0,05, 27) = 2,12$ Стьюдента

підтверджують статистичну значущість на рівні довіри вище 95% для таких членів рівнянь, як x_1 , x_2 , x_1x_2 , x_1^2 та x_2^2 .

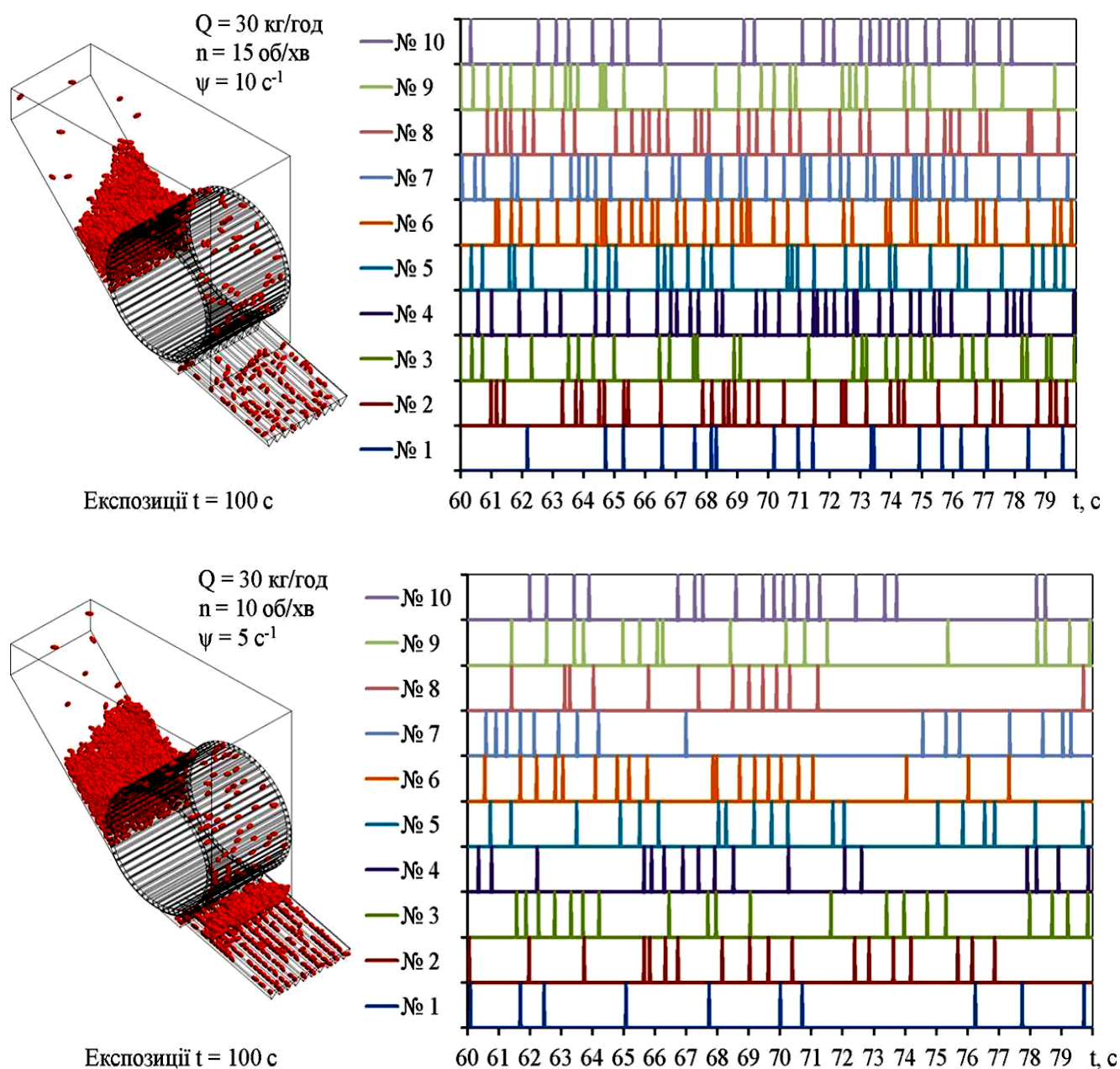


Рисунок 2.3 – Інтервали тривалості сходу насіння з вібрлотка блока подачі насіння фотосепаратора при $Q = 100$ кг/год

Після перекладу скорочена модель (2.1) має такий вигляд

$$q = 37,3244 + 0,34234 Q - 0,0034496 Q^2 - 13,4342 \psi + 0,0455645 Q \psi + 1,23435 \psi^2. \quad (2.2)$$

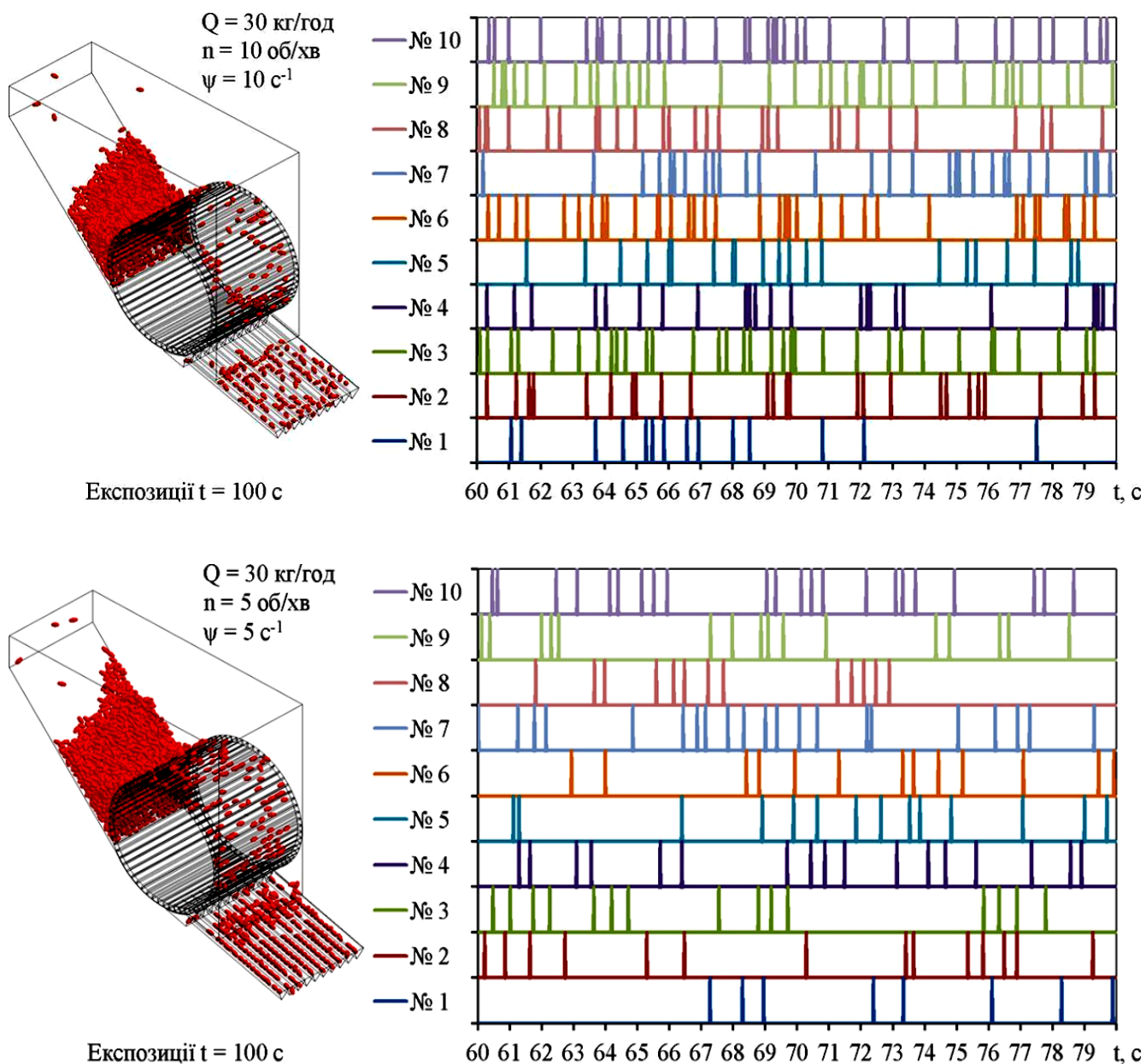


Рисунок 2.4 – Інтервали тривалості сходу насіння з вібралотка блока подачі насіння фотосепаратора $Q = 31 \text{ кг/год}$.

Графічна інтерпретація залежності (2.2) показана на рисунку 2.6.

З аналізу рисунка 2.6 можна зробити висновок, що продуктивність q вузла подачі насіння фотосепаратора зростає зі збільшенням частоти ψ коливань вібралотка, в той час як частота обертання барабана n в досліджуваному діапазоні практично не впливає на цей критерій.

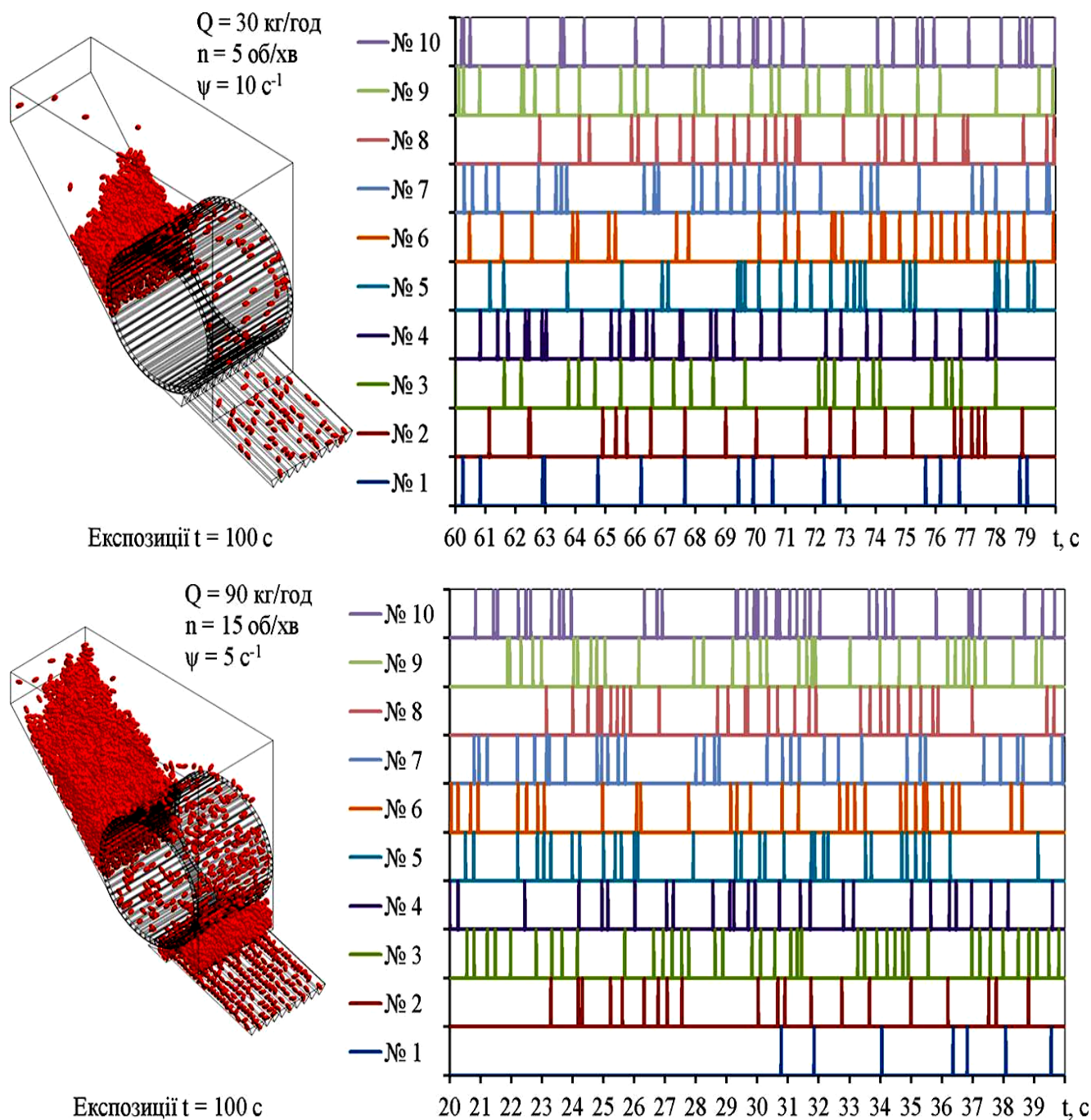


Рисунок 2.5 – Розподіл часових інтервалів між проростанням насіння з вібраційного диска живильника насіння з фотосепаратором з $Q = 71 \text{ кг/год}$.

Зокрема, існує оптимальне значення норми висіву q , а саме $Q = 15,5 \text{ кг/год}$, при якому спостерігається максимальна продуктивність висівного апарату фотосепаратора. Також отримано рівняння залежності коефіцієнта пошуку від

середнього інтервалу часу t падіння насіння:

$$t = 0,034454 - 0,013454 x_1 + 0,0268545 x_1^2 - 0,0434534 x_2 + 0,007544 x_1 x_2 + 0,019685 x_2^2 + 0,003434 x_3 + 0,00232455 x_1 x_3 - 0,0034563 x_2 x_3 - 0,002345 x_3^2. \quad (2.3)$$

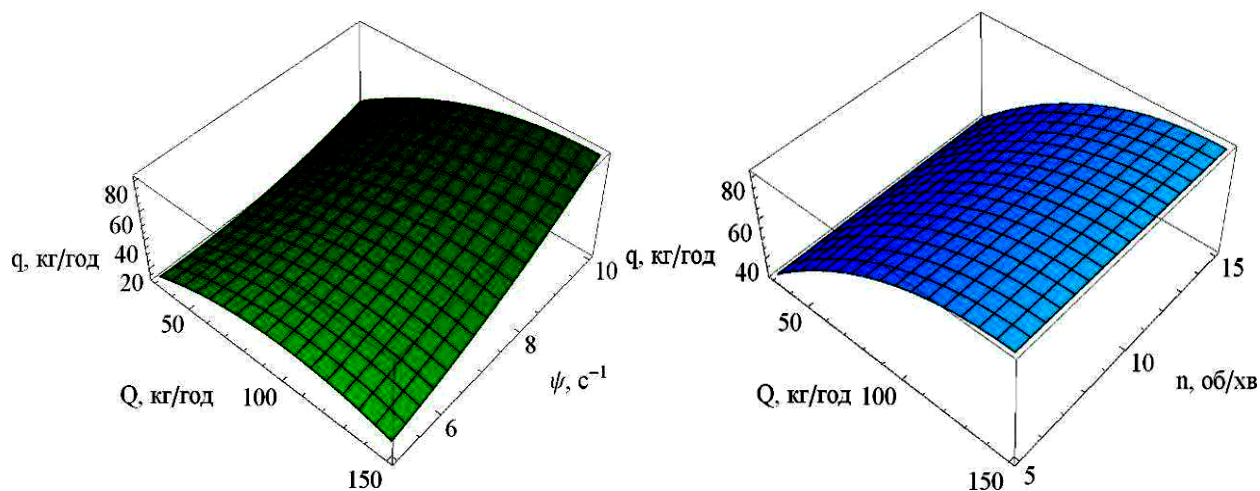


Рисунок 2.6 – Залежність продуктивності секції подачі насіння q фотосепаратора при $\psi = 10 \text{ с}^{-1}$ від швидкості подачі насіння Q , частоти ψ вібраційного диска і частоти обертання барабана n

Виходячи з розрахованого значення коефіцієнта кореляції ($R = 0,92$), $t(0,05, 27) = 2,15$, коефіцієнти для наступних членів рівняння є значущими з довірчою ймовірністю вище 96%: $x_1, x_2, x_3, x_1 x_2, x_1^2, x_2^2$.

У перекладеному вигляді скорочена модель (3.3) має такий вигляд

$$t = 0,3434 + 0,00023423 n - 0,001234 Q + 7,03454 \cdot 10^{-7} Q^2 - 0,05345445 \psi + 0,000013432 Q \psi + 0,0023423 \psi^2. \quad (2.4)$$

Залежність (2.4) інтерпретується графічно, як показано на рисунку 2.7.

З рисунку 2.7 видно, що при низьких значеннях частоти обертання вібродиска ψ , частоти обертання барабана n та оптимальній витраті насіння $Q = 112,1 \text{ кг/год}$ спостерігається мінімальне значення середнього інтервалу часу t між падінням насіння.

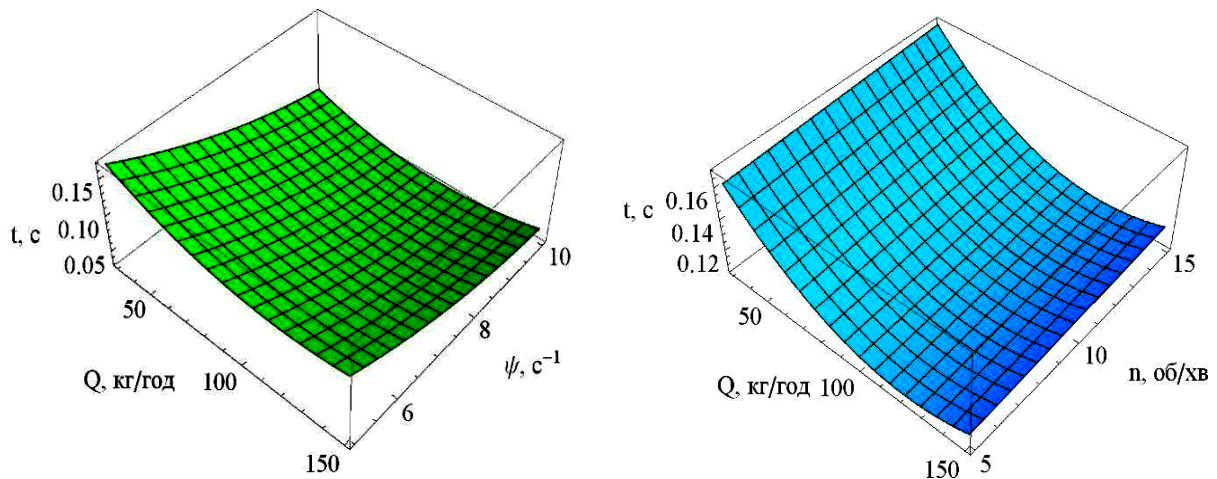


Рисунок 2.7 – Залежність середнього інтервалу падіння насіння t від витрати насіння Q , частоти ψ вібраційного диска і частоти обертання барабана n .

2.3 Оптимізація результатів чисельного моделювання

Аналіз представлених залежностей показує необхідність вирішення наступної компромісної задачі: для забезпечення ефективної роботи вузла подачі насіння фотосепаратора його продуктивність q повинна бути максимальною і дорівнювати величині подачі насіння Q , в той час як середній інтервал часу t між падіннями насіння повинен бути максимальним:

$$\begin{cases} q(Q, \psi, n) = Q, \\ t(Q, \psi, n) \rightarrow \max, \\ Q \rightarrow \max. \end{cases} \quad (2.5)$$

або

$$\begin{cases} q(Q, \psi, n) = Q, \\ Q \times t(Q, \psi, n) \rightarrow \max. \end{cases} \quad (2.6)$$

Використовуючи програмний пакет Mathematica, розв'язок одночасного рівняння (2.6) має наступний вигляд

$$\begin{cases} Q = q = 46,2 \text{ кг / год,} \\ \psi = 12 \text{ с}^{-1}, \\ n = 11 \text{ об / хв,} \\ t = 0,054 \text{ с.} \end{cases} \quad (2.7)$$

Чисельне моделювання процесу руху насіння під дією привода насіннепроводу фотосепаратора дозволило розробити фізико-математичну модель, яка пов'язує продуктивність q насіннепроводу фотосепаратора з середнім інтервалом падіння насіння t насіннепроводу Q , частотою ψ коливань вібраційного диска та частотою обертання барабана n . Розроблено модель. Після розв'язання компромісної задачі, яка полягає в тому, що для забезпечення ефективної роботи вузла подачі насіння фотосепаратора його продуктивність q повинна бути максимальною і дорівнювати швидкості подачі насіння Q , а середній інтервал падіння насіння t повинен бути максимальним, визначено раціональні параметри: $Q = q = 46,2$ кг/год, $\psi = 12$ с⁻¹, $n = 11$ об/хв, $t = 0,054$ с.

2.4 Висновки з розділу

1. Чисельне моделювання процесу руху насіння під дією привода насіннепроводу фотосепаратора дозволило розробити фізичну та математичну моделі, які пов'язують продуктивність q насіннепроводу фотосепаратора з середнім інтервалом часу t падіння насіння з насіннепроводу Q , частотою коливань ψ вібраційного диска та частотою обертання барабана n .

2. Вирішуючи компромісну задачу, тобто для забезпечення ефективної роботи насіннепроводу фотосепаратора його продуктивність q повинна бути максимальною і дорівнювати величині подачі насіння Q , а середній часовий інтервал падіння насіння t повинен бути максимальним, визначено раціональні параметри: $Q = q = 46,2$ кг/год, $\psi = 12$ с⁻¹, $n = 11$ об/хв, $t = 0,054$ с.

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Опис експериментальної установки

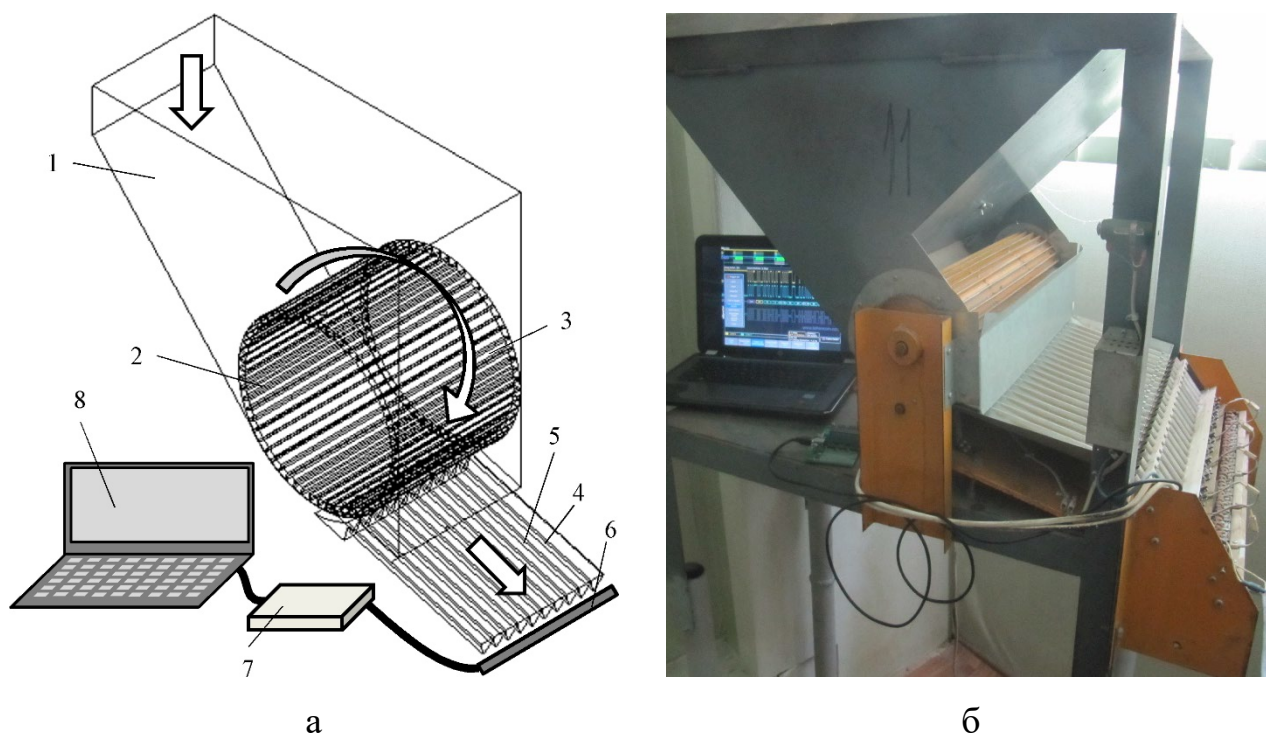
Експерименти проводили на спеціальній установці, що складається з лабораторного зразка живильників для насіння, лабораторного джерела живлення з регулюванням напруги та контрольно-вимірювальних приладів, таких як фотоконтролер, під'єднаний до аналого-цифрового перетворювача.

Зовнішній вигляд та конструктивно-технологічна схема експериментального зразка блока подачі насіння фотосепаратора можна побачити на рисунку 3.1. Для точного регулювання подачі насіння використовувалася калібрована заслінка, яка обмежувала вхідну продуктивність.

Частоту та амплітуду вібрації вібрототка можна було регулювати, змінюючи напругу на лабораторному блоку живлення, який був підключений до вітродвигуна.

Слід зазначити, що вібрототок складався з 20 однакових каналів, розташованих вздовжно, по яких переміщувалися насіння.

Контрольно-вимірювальний пристрій працював так: насіння, що падає з поздовжнього каналу, потрапляє між випромінювачем і приймачем фотоінтеррутора, і з'являється сигнал. Цей сигнал подавався на аналого-цифровий перетворювач, який перетворював його у цифровий формат і передавав інформацію на персональний комп'ютер. На комп'ютері відбувалася обробка даних, зокрема вимірювався і реєструвався час між падаючими насіннями.



«1 – бункер; 2 – барабан; 3 – лопаті; 4 – віброток; 5 – повздовжні канали; 6 – фотопреривачі; 7 – аналого-цифровий перетворювач; 8 – персональний комп'ютер» [34]

Рисунок 3.1 – Конструктивно-технологічна схема (а) та загальний вигляд (б) експериментального зразка блока подачі насіння фотосепаратора

3.2 Методика експериментальних досліджень дослідження блока подачі

В експериментальних дослідженнях експериментального зразка блока подачі насіння фотосепаратора використовувалися насіння олійного льону сорту Водограй, які були попередньо відкалібровані до розміру 2,5 мм.

Для підготовки до експерименту було обрано три ключові фактори, які мають найбільший вплив на робочий процес. Були встановлені їх природні значення на нульовому рівні і рівні змінності. Параметри та рівні варіювання цих факторів під час дослідження наведено в таблиці 3.1, на підставі результатів теоретичних досліджень.

Як ознаки, що підлягають оптимізації, були враховані наступні параметри:

- продуктивність блоку подачі насіння (q) в кілограмах на годину;
- енергоспоживана потужність (P) в кіловатах;
- середній інтервал часу між падаючими насіннями (t) у секундах.

Таблиця 3.1 – Інтервали та рівні варіювання факторами при експериментальних дослідженнях процесу роботи блоку подачі насіння

Рівні	Фактори		
	Q, кг/год	ψ , с ⁻¹	n, об/хв
(+)	15	10	15
(0)	9	7,5	10
(-)	3	5	5
Δ	6	2,5	5

Продуктивність (q) визначалася шляхом вимірювання маси насіння (M), яке пройшло через цей блок подачі фотосепаратора, та відповідного часу (τ). Обчислення проводилися за такою формулою:

$$q = \frac{M}{\tau}. \quad (3.1)$$

Потужність, яку споживав блок подачі насіння, вимірювалася за допомогою повіреного електролічильника і розраховувалася за наступною формулою:

$$P = \frac{\Delta E}{\tau}, \quad (3.2)$$

де ΔE – показник електролічильника в Вт·год,
 τ – час проведення дослідів в годинах.

Середній інтервал часу між падаючими насіннями визначався за допомогою фотопреривачів, підключених до аналого-цифрового перетворювача, який був підключений до персонального комп'ютера. Інтервал розраховувався за такою формулою:

$$t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (3.3)$$

де N – кількість насінин,

t_i – інтервал часу між двома падаючими насіннями в секундах.

Один із дослідів проводився при пропусканні через експериментальний зразок блоку подачі 10 кг насіння.

Дослідження виконувалися за допомогою D-оптимального плану Бокса-Бенкіна другого порядку для трьох факторів у трьохразовій повторності.

Результати математичного дослідження факторіального дизайну були оброблені за допомогою комп'ютерної програми Wolfram Cloud. Для кожного критерію оптимізації було визначено математичну модель, а коефіцієнти регресії математичної моделі було розраховано за відповідною формулою для D-оптимального експериментального дизайну.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Експериментальні математичні моделі

Дослідження роботи вузла подачі насіння фотосепаратора проводили з використанням методу математичного проектування багатофакторних експериментів, який дає змогу створити математичну модель процесу у вигляді рівнянь регресії. Відповідно до поставленого завдання було обрано D-оптимальну конструкцію Бокса-Бенкіна другого порядку для трьох факторів.

Отримана математична модель, що описує вплив досліджуваних чинників на середній інтервал часу падіння насіння, має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 t = & 0,07454 - 0,0171533 x_1 + 0,025322 x_1^2 - 0,0436143 x_2 + \\
 & + 0,0084324 x_1 x_2 + 0,0121335 x_2^2 + 0,00350231 x_3 + \\
 & + 0,00197924 x_1 x_3 - 0,00239233 x_2 x_3 - 0,0011523328 x_3^2.
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Для цього рівняння, на рівні довірчої ймовірності 95 %, дисперсії є однорідними, оскільки значення критерію Кохрена (G) дорівнює 0,13234, що менше за критичне значення $G_{0,05}(2, 15) = 0,3234$.

«Дисперсія адекватності математичної моделі» [32] ($S_{ад}^2$) дорівнює $3,76 \cdot 10^{-6}$, дисперсія похибки дослідів (S_y^2) дорівнює $1,7443 \cdot 10^{-6}$, і значення критерію Фішера (F) дорівнює 2,43, що менше за критичне значення $F_{0,05}(5, 30) = 2,44$.

«За обчисленими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стьюдента ($t_{0,05}(30) = 2,04$), всі коефіцієнти є статистично значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95 %» [32].

Модель у розкодованому вигляді (4.1) має наступний вигляд:

$$\begin{aligned}
 t = & 0,4154335 - 0,0000464331 n^2 + 0,0007023243 Q^2 + 0,00243328 n + \\
 & + 0,00006534422 Q n - 0,0001913347 \psi n - 0,02034401 Q + \\
 & + 0,000225 \psi Q - 0,04984546 \psi + 0,0019549 \psi^2.
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

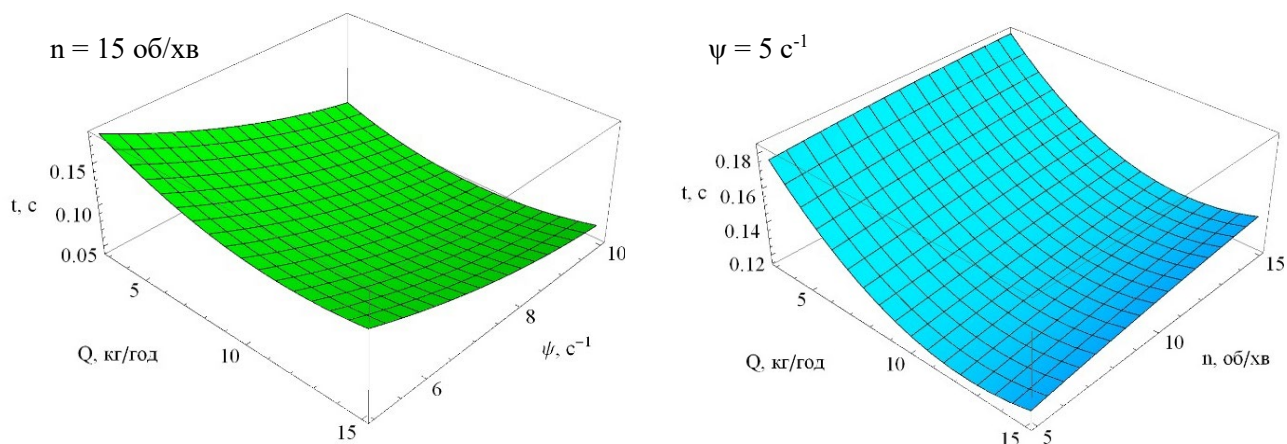


Рисунок 4.1 – Графік залежності (4.5)

На рисунку 4.1 показано, як середній інтервал часу між падінням насіння (t) залежить від подачі насіння (Q), частоти вібраційного лотка (ψ) і швидкості обертання барабана (n).

Аналізуючи рисунок 4.1, можна зробити висновок, що всі ці фактори впливають на середній час між падіннями насіння. Зі збільшенням частоти вібрації та швидкості обертання барабана вібралотка середній інтервал часу також збільшується. Водночас зі збільшенням подачі насіння середній інтервал часу зменшується.

У результаті математична модель впливу досліджуваних факторів на продуктивність живильника насіння має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 P = & 222,654457 + 48,54455 x_1 + 0,6454 x_1^2 + 17,433 x_2 - 4,22 x_1 x_2 - \\
 & - 2,293234 x_2^2 + 40,20543 x_3 + 0,0833355 x_1 x_3 - \\
 & - 7,66433 x_2 x_3 + 6,793444 x_3^2.
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Для цього рівняння, на рівні довірчої ймовірності 95 %, дисперсії є однорідними, оскільки значення критерію Кохрена (G) дорівнює 0,12343, що менше за критичне значення $G_{0,05}(2, 15) = 0,33343$.

«Дисперсія адекватності математичної моделі» [32] ($S_{ад}^2$) дорівнює 0,23343, дисперсія похибки дослідів (S_{y^2}) дорівнює 0,1170, і значення критерію Фішера (F) дорівнює 1,348, що менше за критичне значення $F_{0,05}(6, 30) = 2,34$.

«За розрахованими значеннями коефіцієнтів кореляції та критерію Стьюдента ($t_{0,05}(30) = 2,32$), всі коефіцієнти є статистично значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95%» [32].

Модель у розкдованому вигляді (4.3) має наступний вигляд:

$$P = -2,020432 + 0,271245 n^2 + 8,1337 Q + 7,23453 n - 0,613555 \psi n + 13,14432 \psi. \quad (4.4)$$

Графічна інтерпретація цієї залежності наведена на рисунку 4.2.

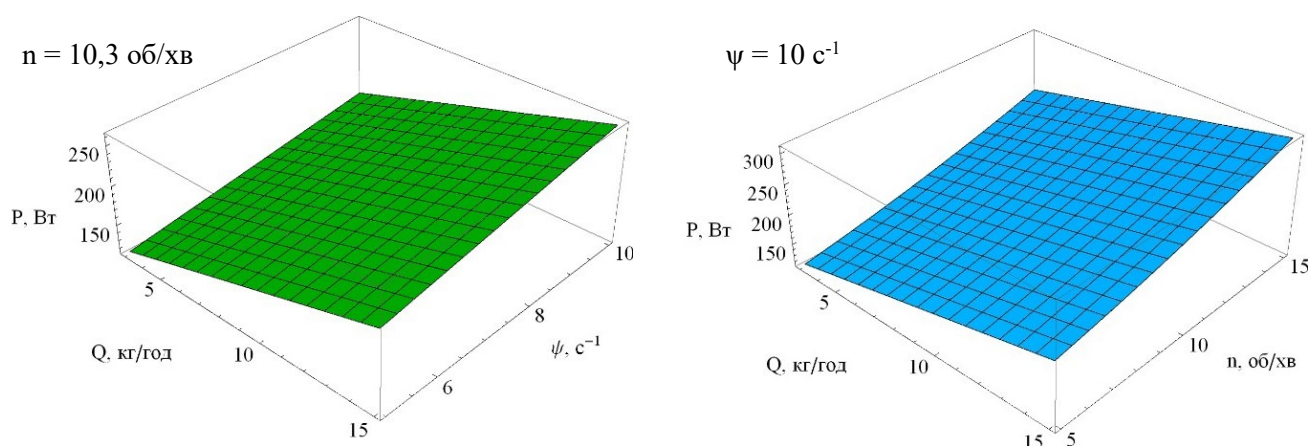


Рисунок 4.2 – Графік залежності (4.4)

На рисунку 4.2 відображена залежність потужності (P), яку споживає блок подачі насіння, від таких факторів, як частота коливань вібролотка (ψ) подача насіння (Q), частота обертання барабана (n).

При аналізі рисунку 4.2 можна зазначити, що всі зазначені фактори впливають на потужність, яку споживає блок подачі насіння. Зі збільшенням значень цих факторів потужність також збільшується.

Основне завдання під час розв'язання проблеми компромісу полягало в тому, щоб максимізувати середній інтервал часу між падіннями насіння і мінімізувати споживання енергії пристроєм подавання насіння за максимальної продуктивності. Ця продуктивність порівнювалася з нормою подачі насіння і виражалася в такому рівнянні:

$$\begin{cases} t(Q, \psi, n) \rightarrow \max, \\ P(Q, \psi, n) \rightarrow \min \\ q(Q, \psi, n) = Q \rightarrow \max. \end{cases} \quad (4.5)$$

Систему рівнянь (4.5) було перетворено у наступний вигляд:

$$\begin{cases} \frac{q(Q, \psi, n) \times t(Q, \psi, n)}{P(Q, \psi, n)} \rightarrow \max, \\ q(Q, \psi, n) = Q. \end{cases} \quad (4.6)$$

Розв'язання задачі (4.6) за допомогою програмного пакета Wolfram Cloud приводить до оптимальних параметрів і режиму роботи вузла подачі насіння оптичного сепаратора у вигляді такого рівняння:

$$\begin{cases} Q = q = 15 \text{ кг / год}, \\ \psi = 9,9 \text{ с}^{-1}, \\ n = 6,6 \text{ об / хв}, \\ t = 0,058 \text{ с}, \\ P = 269 \text{ Вт}. \end{cases} \quad (4.7)$$

Порівняння теоретичних і експериментальних даних для функцій продуктивності блоку подачі насіння в межах дослідженого діапазону варіювання представлено на рисунку 4.3.

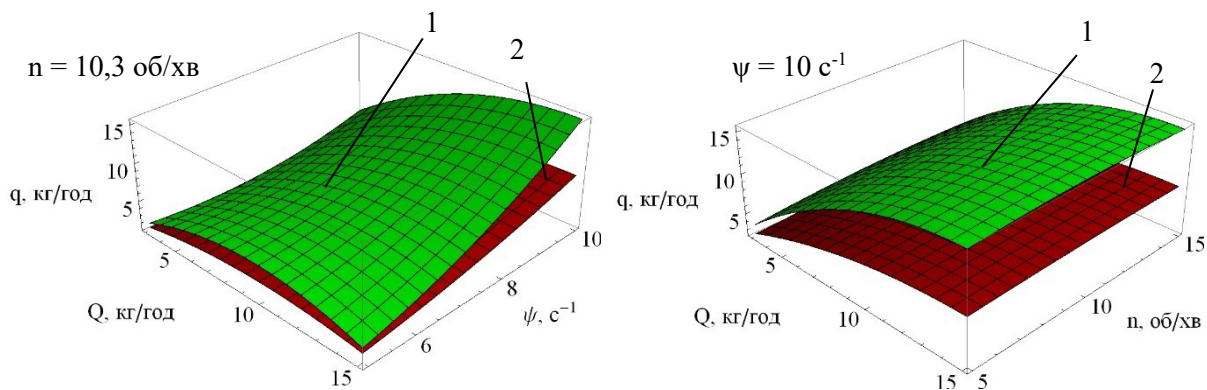


Рисунок 4.3 – Порівняння експериментальних (2) і теоретичних (1) досліджень

Варто врахувати, що теоретичні дослідження проводились на блоку подачі насіння з 10 каналами, тоді як експерименти включали 20 каналів. Тому очевидно,

що продуктивність буде відрізняться вдвічі. Статистичний аналіз показав, що коефіцієнт кореляції між теоретичними і експериментальними даними при зміні значень факторів становить 0,92.

На рисунку 4.4 представлено порівняння між експериментальними (позначені як 1) та теоретичними (позначені як 2) залежностями продуктивності блоку подачі насіння (q).

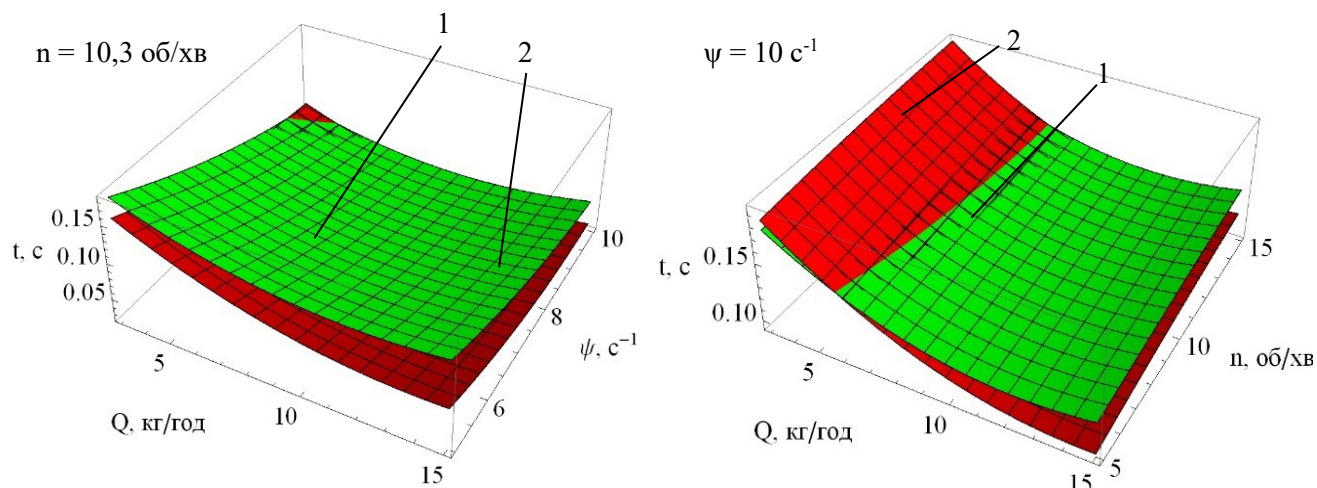


Рисунок 4.4 – Порівняння експериментальних (2) і теоретичних (1) досліджень

Співставлення результатів експериментів і теоретичних розрахунків для функцій середнього інтервалу часу між падаючим насінням у вивченому діапазоні зміни параметрів представлено на рисунку 4.4. Після статистичного аналізу було виявлено, що коефіцієнт кореляції між теоретичними і експериментальними даними при зміні значень факторів становить 0,94.

Оскільки при проведенні експериментальних досліджень оптимальні параметри визначалися на основі більш розширеної компромісної задачі (з включеною функцією залежності потужності), то вважається, що реальні конструктивно-технологічні параметри блоку подачі насіння визначаються саме значеннями, які представлені у рівнянні (4.7).

4.2 Застосування фотосепаратора для очищення вороху льону

Зазвичай, насіння після другого проходу фотосепаратором (очищене насіння) має менші характеристики маси 1000 насінин та лабораторної якості, що означає, що зернові з чистого насіння мають гірші показники для посіву, порівняно з насінням, яке було відсіяно під час першої сепарації. Тому нецільно об'єднувати очищене насіння з насінням, оскільки це призведе до погіршення якості отриманих насінин.

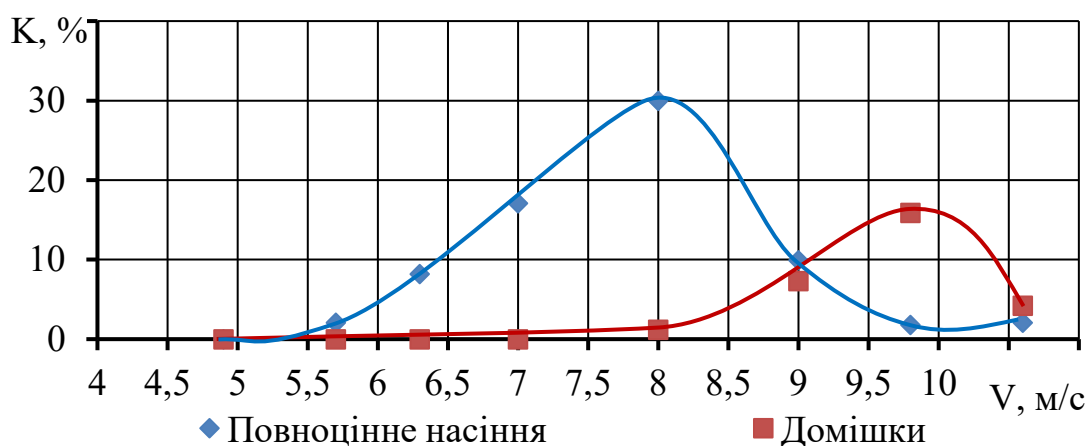
Для порівняльного аналізу якості очищення льону фотосепаратором та повітряно-решітною машиною в Інституті олійних культур було проведено відповідні дослідження.

Один із зразків очищеного насіння, отриманий під час першої обробки льону на фотосепараторі, був оброблений на вітрильному класифікаторі типу ВІМ. Змінюючи швидкість повітряного потоку на вітрильному класифікаторі, було отримано різні фракції, які відокремлюються повітряним потоком.

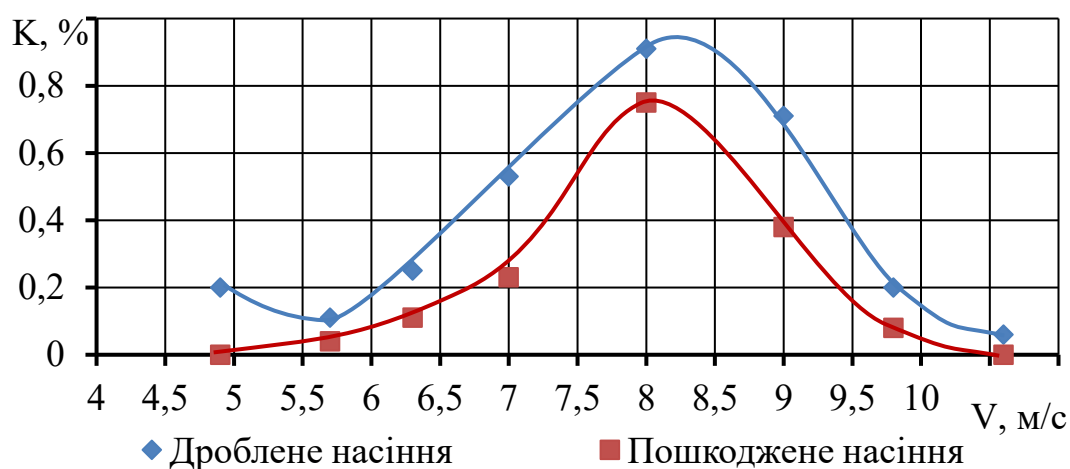
Розподіл компонентів зразків очищеного насіння за аеродинамічними властивостями представлено на рисунку 4.5, включаючи розподіл повноцінного насіння льону та домішок (рис. 4.5, а), а також розподіл пошкоджених і подрібнених насінин льону (рис. 4.5, б).

Отримані дані на рисунку 4.5 дозволяють зробити висновок, що основна маса подрібнених і пошкоджених насінин льону виділяється при швидкості повітряного потоку від 6,32 до 9,8 м/с. Значне виділення домішок починається при швидкості повітряного потоку більше 8 м/с. Повноцінні насіння, в свою чергу, виділяються в основному при швидкості повітряного потоку від 5,66 до 9,8 м/с.

Після аналізу отриманих залежностей, ми прийшли до висновку, що повне відділення будь-яких компонентів з першовідходу без втрат повноцінного зерна є неможливим.



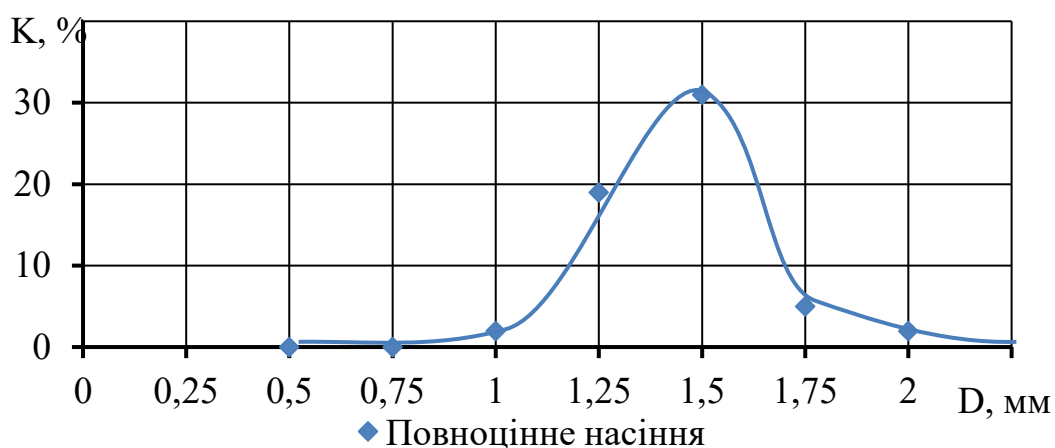
а



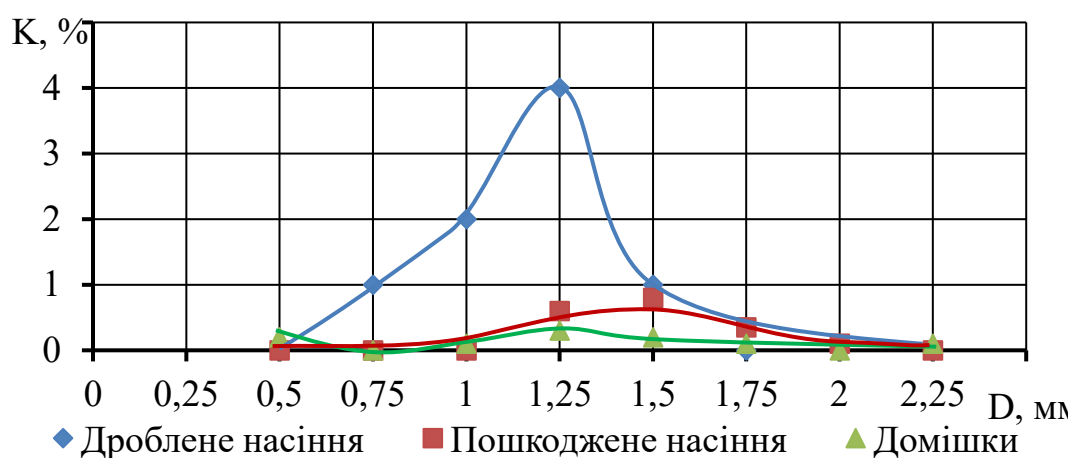
б

Рисунок 4.5 – Розподіл компонентів першовідходу по аеродинамічним властивостям: K – вміст виділеного компонента, %; V – швидкість повітряного потоку, м/с

Другий зразок першовідходу був підданий обробці на решітному класифікаторі – лабораторному розсівачу типу У1-ЕРЛ-2-1, який був оснащений набором решіток з отворами різного розміру, від 0,5 до 2,25 мм з кроком 0,25 мм. Під нижньою решіткою було встановлено глуху панель. З кожної решітки були зібрані отримані фракції, і їх відсоткове співвідношення було визначено. Розподіл компонентів в зразку першовідходу за розмірами представлений на рисунку 4.6.



а



б

Рисунок 4.6 – Розподіл компонентів першовідходу за розмірами: K – кількість компонентів, що залишилися на решеті, %; D – діаметр отвору решета, мм

З аналізу рисунку 4.6 видно, що значне виділення повноцінного насіння льону відбувається на решетах із розмірами отворів більше 1,0 мм. У той час на решетах із розмірами отворів до 1,0 мм відбувається виділення більшої частини подрібнених і пошкоджених насінин льону, а також має місце незначне виділення інших компонентів.

Після аналізу даних, поданих на рисунку 4.6, можна зробити висновок, що повне виділення всіх компонентів з першовідходу за допомогою решіт не є можливим без втрат повноцінного зерна, це можна пояснити тим, що компоненти мають схожі фізико-механічні властивості.

Враховуючи відмінності компонентів за кольором, можна зробити висновок, що застосування фотосепаратора може дати кращі результати в очищенні цього першовідходу.

Для оцінки якості фотосепарування третій зразок даного першовідходу був підданий очищенню за допомогою фотосепаратора "Sortex". Результати подані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати фотосепарування першовідходу

Найменування фракцій	Повноцінне насіння	Домішки	Дроблене насіння	Пошкоджене насіння	Маса 1000 насінин M_{1000} , г
Першовідход	82,92	1,12	7,51	8,45	8,01
Очищений першовідход	96,32	0,45	0,85	2,38	9,6

З таблиці 4.1 видно, що за допомогою фотосепаратора вдалося зменшити загальну кількість домішок майже в 3 рази. Вміст подрібнених і пошкоджених насінин льону значно зменшився, більш ніж в 8 і 3,5 рази відповідно. Маса 1000 насінин в очищеному першовідході стала більше, ніж у першовідході, і склала 9,60 г. Це свідчить про те, що з першовідходу були виділені недолікисні зернівки.

Аналіз результатів проведених досліджень показує, що подрібнені і пошкоджені насінини льону майже неможливо виділити аспірацією без втрат цінного насіння.

На решетах можна виділити трохи більше половини подрібнених і пошкоджених насінин, при цьому мінімізуючи втрати повноцінного насіння. Використання фотосепаратора дозволяє ще ефективніше зменшити вміст подрібнених і пошкоджених насінин, а також ефективно виділяти домішки.

З усього вищезазначеного стає очевидним, що для повторного очищення вороху льону (першовідходу) доцільніше використовувати фотосепаратор.

Фотосепаратор дозволяє виділити більшу частину домішок, і він не має робочих органів, що можуть пошкодити оброблюваний матеріал.

4.3 Висновки з розділу

1. Під час досліджень блока подачі насіння фотосепаратора була створена фізико-математична модель, яка пов'язала продуктивність цього блоку (q), середній інтервал часу між падаючим насінням (t) і споживану потужність (P) з подачею насіння (Q), частотою коливань вібрлотка (ψ) і частотою обертання барабана (n).

2. Під час експериментів була вирішена компромісна задача, яка передбачала максимізацію середнього інтервалу часу між падаючим насінням (t) і одночасну мінімізацію споживаної потужності (P) блоку подачі насіння, з урахуванням максимальної продуктивності (q), що порівнюється зі значенням подачі насіння (Q).

3. Оскільки при експериментальних дослідженнях оптимальні параметри визначалися на основі більш розширеної компромісної задачі (де враховувалася також функція, залежна від потужності), то фактичні раціональні конструктивно-технологічні параметри блоку подачі насіння наступні: $Q = q = 15,1$ кг/год, $\psi = 9,8$ с⁻¹, $n = 6,7$ об/хв, $t = 0,056$ с.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Основні положення

Охорона праці є надзвичайно важливим аспектом будь-якого виробництва, включаючи насінеочисне виробництво. Особливо це стосується галузі сільськогосподарського виробництва, де здоров'я та безпека працівників мають критичне значення для забезпечення високої продуктивності та якості продукції. У цьому есе ми розглянемо організацію та аналіз стану охорони праці на насінеочисних підприємствах та визначимо ключові аспекти, які потребують уваги та вдосконалення.

1. Основні аспекти організації охорони праці

Організація охорони праці на насінеочисних виробництвах має включати в себе ряд ключових етапів та заходів. До основних аспектів організації охорони праці можна віднести:

1.1. Оцінку ризиків: Першим кроком в організації охорони праці є оцінка ризиків для працівників. Це включає в себе ідентифікацію потенційно небезпечних процесів та обладнання, а також оцінку можливих наслідків для здоров'я та безпеки працівників.

1.2. Розробка та впровадження процедур та інструкцій: На основі оцінки ризиків необхідно розробити внутрішні процедури та інструкції щодо безпеки праці, які б дотримувалися всі працівники. Ці документи повинні включати в себе правила використання обладнання, вимоги до особистого захисту, та інші аспекти охорони праці.

1.3. Підготовка та навчання персоналу: Важливим етапом є навчання працівників щодо правил та процедур охорони праці. Це включає в себе навчання нових працівників при прийомі на роботу, а також регулярну перепідготовку і підтримку знань і вмінь старших працівників.

1.4. Аудит та контроль: Організація повинна проводити регулярні аудити та перевірки дотримання правил охорони праці. Це допомагає виявляти проблеми та недоліки і вчасно виправляти їх.

2. *Основні виклики та проблеми*

Не дивлячись на існуючі правила та стандарти охорони праці, насінеочисні виробництва стикаються з рядом викликів та проблем, які вимагають спеціальної уваги.

2.1. Пил та алергени: У насінеочисному виробництві велика кількість пилу, який може бути небезпечним для здоров'я працівників, особливо тих, хто має алергічні реакції. Важливо розробити та впровадити ефективні системи вентиляції та засоби індивідуального захисту для запобігання впливу пилу та алергенів на здоров'я працівників.

2.2. Механічні та ергономічні навантаження: Робота з важким обладнанням та матеріалами може призводити до механічних травм та проблем з м'язами та суглобами. Організація повинна дотримуватися норм та стандартів щодо мінімізації механічних травм та забезпечення ергономічних умов праці.

2.3. Безпека обладнання: Відсутність правильного обслуговування та регулярних інспекцій обладнання може призвести до аварій та травм. Важливо впроваджувати системи планового обслуговування та контролю за станом обладнання.

2.4. Навчання та обізнаність працівників: Забезпечення належного навчання та підвищення обізнаності працівників щодо правил та процедур охорони праці є найважливішою частиною забезпечення безпеки на робочому місці.

3. *Засоби покращення стану охорони праці*

Для вдосконалення охорони праці на насінеочисних підприємствах можна розглянути ряд заходів та рекомендацій:

3.1. Впровадження сучасних систем вентиляції: Ефективні системи вентиляції допомагають зменшити рівень пилу та алергенів в робочому середовищі.

3.2. Застосування автоматизованого обладнання: Використання сучасних технологій та автоматизованого обладнання може зменшити фізичні навантаження на працівників та підвищити ефективність виробництва.

3.3. Навчання та підвищення обізнаності: Проведення регулярних навчальних курсів та тренінгів з питань охорони праці допоможе збільшити обізнаність працівників та знизити ризик нещасних випадків.

3.4. Регулярний аудит та контроль: Проведення регулярних аудитів та інспекцій стану охорони праці допоможе вчасно виявляти проблеми та недоліки та приймати необхідні заходи.

5.2 Розрахунок штучного освітлення виробничого приміщення

У виробничому приміщенні розміром 21 на 120 метрів, для забезпечення обслуговування обладнання і комфорту персоналу, необхідно досягти певного рівня освітленості, який повинен бути не менше визначеного значення. Крім того, для забезпечення надійності і якості освітлення, необхідно враховувати певний коефіцієнт запасу.

Для вибору світильника ми використовуємо показник економічності, який базується на висоті підвісу світильників, що встановлюються. Ми приймаємо певне значення висоти підвісу. Відповідно до цього показника економічності, ми обираємо світильник типу ЛСП-18 з лампою ЛБР-40.

$$\lg m = 1 - \sqrt[3]{\frac{1000}{E \cdot K_3 \cdot h^2}} = 1 - \sqrt[3]{\frac{1000}{150 \cdot 1,3 \cdot 2,5}} = 1,2; \quad (5.1)$$

де h – висота підвісу світильників. Приймаємо $h = 2,5$ м.

$$\lambda_{c.y.} = 1,57$$

Світильники встановлюються уздовж приміщення, і для забезпечення рівномірного освітлення ми визначаємо оптимальну відстань між світильниками. Цю відстань визначаємо за допомогою відповідної формули.

$$L_0 = \lambda_{c.y.} \cdot h = 1,57 \cdot 2,5 = 3,95 \text{ м} \quad (5.2)$$

$$h_a = \frac{a}{L_0} \quad (5.3)$$

Ми також визначаємо кількість світильників уздовж і по ширині приміщення, враховуючи робочу довжину і ширину приміщення, а також розраховуємо загальну кількість світильників.

$$h_a = \frac{120}{3,95} = 30,4, \text{ округляємо до } 31 \text{ шт.}$$

$$N = h_a \cdot h_b = 31 \cdot 6 = 186 \text{ шт.} \quad (5.5)$$

Далі, ми визначаємо відстань між центрами світильників як уздовж, так і поперек приміщення, за допомогою відповідних формул.

$$L_a = \frac{a}{h_a + 1} = \frac{120}{31 + 1} = 3,75 \text{ м} \quad (5.6)$$

$$L_b = \frac{b}{h_b + 1} = \frac{21}{6 + 1} = 3 \text{ м} \quad (5.7)$$

Таким чином, ми розглянули процес вибору і розміщення світильників у виробничому приміщенні для забезпечення необхідного рівня освітленості і комфорту.

5.3 Висновки з розділу

Охорона праці на насінєочисних підприємствах має велике значення для забезпечення безпеки та здоров'я працівників. Впровадження ефективних заходів та рекомендацій може покращити стан охорони праці та знизити ризики для працівників. Ретельна оцінка ризиків, навчання, контроль та використання сучасних технологій можуть сприяти створенню безпечного та продуктивного робочого середовища на насінєочисних підприємствах.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою встановлення ефективності впровадження удосконаленого фотосепаратора у складі прецизійної технічної лінії для сортування насінневого матеріалу льону олійного проведено його техніко-економічну оцінку.

Розрахунки проводилися відповідно до методики економічної оцінки обладнання на стадії випробувань, що є українським галузевим стандартом ДСТУ 4397-2005 [31] та ГОСТ 3-37-4-94 [32]. Економічна оцінка також проводилася за методиками [33, 34, 35]. Для економічної оцінки розділення насіння в процесі насінництва було відібрано сорт Водограй. Вихідними даними для розрахунків слугували ділянки елітного насінництва площею 5 га з яких можна отримати 10 т насіння.

Удосконалений фотосепаратор порівнювали з базовим малогабаритним фотосепаратором ФС-1 для насінневого матеріалу на основі результатів експериментальних та теоретичних досліджень.

Вихідні дані для економічних розрахунків подано в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані економічного розрахунку

Урожайність насінневого матеріалу льону олійного, т/га	2,0
Вартість насінневого матеріалу льону олійного, грн	100000
Ціна 1 кВт електроенергії, грн.	7,30
Тарифна ставка оператора сепаратора, грн.	52,0

Узагальнені дані техніко-економічного розрахунку наведені у таблиці 6.2.

Гістограма техніко-економічного розрахунку фотосепараторів насінневого матеріалу в процесі очищення льону олійного представлені на рисунку 6.1.

Таблиця 6.2 – Зведені дані техніко-економічного розрахунку

Показник	Удосконалений фотоелектронний сепаратор	Фотоелектронний сепаратор
Маса матеріалу льону олійного, т	10,000	10,000
Продуктивність обладнання, т/год.	0,033	0,035
Потужність, що споживаються обладнанням, кВт	1,25	1,20
Очищена насіннева суміш льону олійного, %	95,7	93,2
Втрата ліквідного насіння льону олійного, %	1,3	3,8
Маса втраченого ліквідного насіння льону олійного, т	0,130	0,380
Тривалість роботи обладнання, год.	303,0	285,7
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Вартість обладнання, грн.	275000,00	250000,00
Витрати електроенергії, кВт·год.	378,8	342,9
Трудові витрати, люд.·год.	303,0	285,7
Затрати на електроенергію, грн.	2765,15	2502,86
Затрати на оплату праці, грн.	15757,58	14857,14
Затрати на амортизацію обладнання, грн.	10416,67	8928,57
Затрати на ремонт і ТО обладнання, грн.	10416,67	8928,57
Загальні втрати, грн	39356,06	35217,14
Додатковий економічний ефект, грн	25000,00	–
Економічний ефект, грн	20861,08	–
Питомий економічний ефект, грн/т	2086,11	–
Строк окупності, років	1,20	–

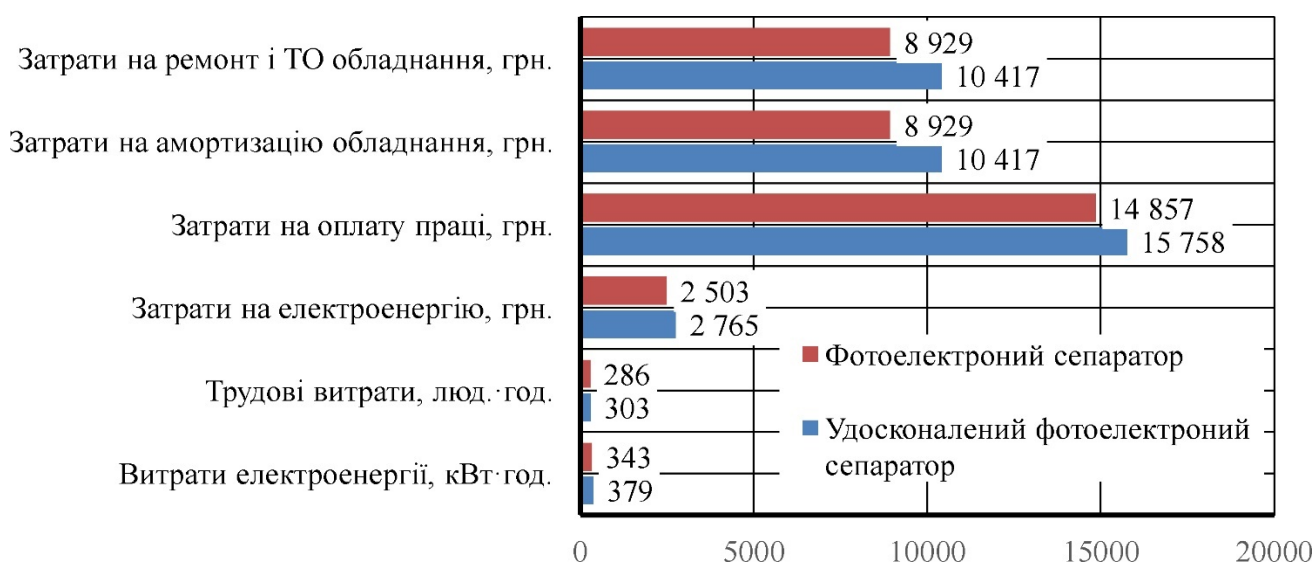


Рисунок 6.1 – Гістограма техніко-економічного розрахунку

Розрахунки показують, що пропонуване вдосконалене обладнання оптичної сепарації має вищі загальні інвестиції (11,0 %), відповідно вищі витрати на амортизацію, ремонт і обслуговування (16,6 %), витрати на електроенергію (10,4 %) і витрати на оплату праці (6,0 %). Однак пропонуване вдосконалене обладнання оптичної сепарації дає додатковий економічний ефект порівняно з базовим, що досягається за рахунок запобігання втратам рідкої лляної сировини в процесі сепарації. Питомий економічний ефект становить 2086,11 грн/т. При цьому термін окупності додаткового удосконалення оптичного сепаратора становить 1,20 року.

ВИСНОВКИ

1. Після проведення патентно-інформаційного аналізу було виявлено, що наявні механічні сепаратори мають обмеження, що ускладнюють покращення якості сортування насіннєвого матеріалу. Ці обмеження включають наступні. Обмеженість механічних сепараторів в залежності від їх конструкції, оскільки вони можуть сортувати зернівки тільки за однією ознакою, тобто вони не є універсальними. Обмеженість у підвищенні потужності механічних сепараторів через виникнення інтенсивного пилу під час сортування, що призводить до підвищеної пожежної та вибухової небезпеки в приміщеннях виробництва, і ця небезпека ще більше зростає при збільшенні розмірів обладнання.

2. Було встановлено, що фотосепаратори мають вагомі переваги над механічними сепараторами у відношенні якості сортування зернової маси, надійності, економічної ефективності, відповідності санітарним нормам, а також в питаннях пожежної та вибухової безпеки. Однак сфера застосування цих сепараторів обмежена тим, що вони можуть сортувати зернівки лише за однією ознакою - кольором. Була розроблена модель системи фотосепаратора насіння, яка включає в себе більше фізичних параметрів, які вимірюються фотоприймальним пристроєм сепаратора (на додачу до кольору, також визначається форма, геометричні розміри, обсяг та маса 1000 насінин). Це розширило область застосування фотосепараторів. Основні напрямки розширення сфери застосування фотосепараторів включають використання твердотільних матричних фотоприймачів. За запропонованою класифікацією оптичних фотосепараторів видно, що вони мають нахиленими лотками з рівною поверхнею, на яких розташовані ССД камери на початку та в кінці процесу сортування насіння за кольором. При цьому подача матеріалу проводиться одношаровим потоком в канал, здійснюючи первинне та вторинне сортування.

3. Чисельне моделювання процесу руху насіння під дією привода насіннепроводу фотосепаратора дозволило розробити фізичну та математичну моделі, які пов'язують продуктивність q насіннепроводу фотосепаратора з

середнім інтервалом часу t падіння насіння з насіннепроводу Q , частотою коливань ψ вібраційного диска та частотою обертання барабана n . Вирішуючи компромісну задачу, тобто для забезпечення ефективної роботи насіннепроводу фотосепаратора його продуктивність q повинна бути максимальною і дорівнювати величині подачі насіння Q , а середній часовий інтервал падіння насіння t повинен бути максимальним, визначено раціональні параметри: $Q = q = 46,2$ кг/год, $\psi = 12$ с⁻¹, $n = 11$ об/хв, $t = 0,054$ с.

Під час експериментальних досліджень блоку подачі насіння фотосепаратора була створена фізико-математична модель, яка пов'язала продуктивність цього блоку (q), споживану потужність (P) і середній інтервал часу між падаючим насінням (t) з подачею насіння (Q), частотою коливань вібротка (ψ) і частотою обертання барабана (n). Під час експериментів була вирішена компромісна задача, яка передбачала максимізацію середнього інтервалу часу між падаючим насінням (t) і одночасну мінімізацію споживаної потужності (P) блоку подачі насіння, з урахуванням максимальної продуктивності (q), що порівнюється зі значенням подачі насіння (Q). Оскільки при експериментальних дослідженнях оптимальні параметри визначалися на основі більш розширеної компромісної задачі (де враховувалася також функція, залежна від потужності), то фактичні раціональні конструктивно-технологічні параметри блоку подачі насіння наступні: $Q = q = 15,1$ кг/год, $\psi = 9,8$ с⁻¹, $n = 6,7$ об/хв, $t = 0,056$ с.

4. Охорона праці на насінеочисних підприємствах має велике значення для забезпечення безпеки та здоров'я працівників. Впровадження ефективних заходів та рекомендацій може покращити стан охорони праці та знизити ризики для працівників. Ретельна оцінка ризиків, навчання, контроль та використання сучасних технологій можуть сприяти створенню безпечного та продуктивного робочого середовища на насінеочисних підприємствах.

5. В результаті техніко-економічної оцінки встановлено, що питомий економічний ефект від впровадження удосконаленого фотосепаратора складає 2086,11 грн/т. Строк окупності удосконалень в фотосепараторі складає 1,20 роки.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Головков А. Н. Новий спосіб сепарування зерна та насіння. 2014. 34 с.
2. Шафоростов В. Д. Універсальна контейнерна технологія післязбиральної обробки насіннєвого матеріалу. Наук.-техн. бюл. ВНДІ олійних культур. 2013. Вип. №2. С. 108-112..
3. Припор Є.В. Ефективне очищення насіння соняшнику / О.В. Припоров, В.Д. Шафоростов, І.Є. Припорів // Сільський механізатор. 2014. №1 (59). С. 15.
4. Єрмольєв Ю.І. Фракційне очищення зерна в зерноочисному агрегаті / Ю.І. Єрмольєв, М.Ю. Кочкін, Г.І. Лукінов // Стан та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування: зб. наук. тр. / ДДТУ. 2010. С. 89-93..
5. ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. Введ.: 07.01.94. К.: Держстандарт України, 1994. – 12 с.
6. Шафоростов В.Д. Якісні показники роботи фотосепаратора за фракційною технологією при розподілі насіння соняшнику / В.Д. Шафоростов, І.Є. Припор // Міжнародний науково-дослідний журнал. 2015. № 1-3 (32). С. 23-25.
7. Припоров І.Є. Сортування насіння соняшнику на фотосепараторі / І.Є. Припорів// Сільський механізатор. 2015. № 3. С. 12-13.
8. Тищенко О. І. Підвищення якості сипучих зернових продуктів на основі розробки та застосування багатокритеріальних фотоелектронних сепараторів / Тищенко Андрій Іванович: дис. ... докт. техн. наук. Барнаул, 2000. 304 с.
9. Шаззо А. А. Порівняльна оцінка способів сепарування рушанки соняшникового насіння та способів контролю якості ядра / О.О. Шаззо, А.П. Гюлушанян, Є.П. Корнена, Л.А. Мхітар'янц// Нові технології. 2011. №3. С. 75-79.
10. Фотоелектронні сепаратори / / Обладнання для борошно-круп'яної промисловості за кордоном. Мукольно-круп'яна промисловість. Експрес-інформація. М.: 1983, Вип. 16.

11. Sorting objects. Gulling Michael John, Blurray Benedict Mark. Gunson`s Sortex Ltd. Заявка Великобритани, кл. В 07 С 5/342, G 01 И 21/00. НКІ G 1 А, N2091415, заяви 19.01.81 N8101541, опубл. 28.07.82.

12. Sorting objecs. Galling Michael John, Deefholts Murray Benedict Mark. Gunson`s Sortex Ltd. Заявка Великобритани, кл. В 07 С 5/02, G 01 N 21/00, НКІ. G 1 А, заявл. 19.01.81, N 8101542, опубл. 28.07.82.

13. Univeisal sorting apparatus. Lockett James F. Патент США, кл. В 07 С. 5/342, НКІ 209/564, N4344539, заявл. 05.05.78, N 903050, опубл. 17.08.82.

14. Сатаке Восикико. (К.к. Сатаке сэйеакусе). Японская заявка, Кл. В 07 С 5/342, В 07 В 13/18, N55-86575, заявл. 2.12.78, N 53-162901, опубл. 30.06.80.

15. Сатаке Восикико. (К.к. Сатаке сэйеакусе). Японская заявка, кл. В 07 С 5/342 N56-15879, заяви 19.07.79 N 54-92258, опубл. 16.02.81.

16. Runmann K. Beaiigong durch elektronische Farb-sortierung / K. Runmann // Muhle+Mischfutter-fechn. 1990. – 127, №19. – p. 244-245.

17. Osbome D.Y. Image analysis and spectroscopic techniques / D.Y. Osbome, D. Berfrand // Rapp 9 Congr. Int. Cereals et pain, Paris, 1-5 juin 1992 – Ind. cereal. – 1992, – № 77. – p. 10-12.

18. Чиркова Л.В. Створення вітчизняного фотоелектронного сепаратора/Л.В. Чиркова, О.І. Ніколенко // Науково-теор. конференція «Наукові засади прогресивних технологій зберігання та переробки сільгосппродукції для створення продуктів харчування у людини, 1995. С. 387-388

19. Аверін А. Сепарування зернопродуктів за кольором / А. Аверін, В. Казешнов, Л. Чиркова // Хлібопродукти, 1992, № 6. с. 10.

20. Чиркова У. Класифікація фотоелектронних сепараторів / У. Чиркова // Хлібопродукти, 1993, № 2, С. 23.

21. Припоров І. Є. Класифікація фотоелектронних сепараторів для сортування насіннєвого матеріалу / І. Є. Припоров // Наукове забезпечення агропромислового комплексу, присвяченої 110-річчю П.Ф. Варухи: Матеріали 8-й

всерос. наук.-практ. конф. молодих вчених (26-28 листопада 2013 р. та 2–4 грудня 2014 р.). 2014. Т. 1. С. 535–536.

22. Акама Масару, Нагао Юдзі, Окура Йосіакі (Сінко денки к.к.), Японська заявка, кд. 07 С 5/10, 07 С 5/342, N57-10380, заявл. 23.06.80, N55-85401, опубл. 19.01.82.

23. Аверін А. Сепарування зернопродуктів за кольором / А. Аверін, В. Казешнов, Л. Чиркова // Хлібопродукти, 1992, № 6, с. 10.

24. Бутковський В.А. Технології зернопереробних виробництв/В.А. Бутковський, А.І. Мерко, В.М. Мельников// Підручник. Інгеграф сервгю, 1999. 472 с.: іл. ISBN 5-85052-094-5.

25. Козаков Є.Д. Зернодоведення з основами рослинництва/Є.Д. Козаков М.: «Колос», 1983.

26. Clien C. Image analysis and characterization of cereal grains with a laser range finder and camera contour extractor / C. Clien, Y.P. Chiang, Y. Pomeranz // Cereal Cliem. 1989. № 6. p. 466-470.

27. Thomson W.H. Classification of wheal kernels using three-dimensional image analysis / W.H. Thomson, Y. Pomerang // Cereal Chem. 1991. 68, № 34, p. 357-361.

28. Apparatus for evaloating the grade of rice grains. Pat.5245183, USA.

29. Шаззо А.Ю. Інтенсифікація круп'яного виробництва з урахуванням моделювання технологічних процесів / А.Ю Шаззо // Автореферат докторської дисертації. Краснодар, 1996. 51 с.

30. Правила організації та ведення технологічного процесу на круп'яних підприємствах (частина 1, частина 2). М.: ВППО «Зернопродукт, 1990.

31. ДСТУ 4397 (2005). Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. К. Держспоживстандарт України. 15 с.

32. ГСТУ 3-37-4-94 (1995). Трактори та машини сільськогосподарські. Методи економічної оцінки. К. Мінагрополітики України. 18 с.

33. Остапенко, М. М. (2017). Розвиток методики економічної оцінки сільськогосподарських машин. Економіка та організація інженерно-технічних систем в АПК. Вісник № 2. С. 49-53.

34. Сорокін, Н. Т., Табашніков, О. Т. (2015). Методика оцінювання економічної ефективності сільськогосподарської техніки. Сільськогосподарські машини та технології. Вип. 2. С. 41-44.

35. Данильченко, М. Г., Гладич, Б. Б., Гевко, Р. Б., Ткаченко, І. Г. (2001). Експертноаналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки: Навчально-методичний посібник для студентів економічних спеціальностей. Тернопіль: Економічна думка. 61 с.

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

37. Алієв Е. Б. (2022). Автоматичне фенотипування насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Київ: Аграрна наука. 104 с. ISBN 978-966-540-540-5.

38. Aliev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M., Yaropud, V. M., Trukhanska, O. O. (2018). Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 54, Nr. 1. P. 95-104 – ISSN 2068 – 4215.

39. Aliiev E., Gavrilchenko O. 2018. Method for estimating the state of the support and motor apparatus of cattle [Спосіб оцінки стану опорно-рухового апарату великої рогатої худоби]. Scientific Horizons, 12 (73): 3-7.

40. Aliiev, E., Gavrilchenko, A., Tesliuk, H., Tolstenko, A., Koshul'ko, V. (2019). Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. Acta Periodica Technologica, APTEFF, 50, P. 12-22.

41. Aliiev E. 2019. Justification of constructive-mode parameters of a photo-electron separator of sunflower seeds. [Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів фотоелектронного сепаратора насіння соняшника]. Scientific Horizons, 5 (78): 23-30. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-78-5-23-30

42. Aliiev E. 2019. Production testing of tape device for automatic phenotyping of sunflower seeds. [Виробнича перевірка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику]. Scientific Horizons, 12 (85): 75-83. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-85-12-75-83.

43. Aliiev E. 2019. Production testing of tape device for automatic phenotyping of sunflower seeds. [Виробнича перевірка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику]. Scientific Horizons, 12 (85): 75-83. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-85-12-75-83.

44. Алієв, Е. Б. (2018). Патент на корисну модель України 136828, МПК В07В 4/02 (2006.01). Адаптивний аеродинамічний сепаратор. Заявник: Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, № u201902090. Заявл. 01.03.2019. Опубл. 10.09.2019, бюл. № 17.

45. Алієв, Е. Б. (2018). Патент на корисну модель України 136829, МПК (2006) В07В 13/18, (2006.01) В07В 4/00. Фотоелектронний сепаратор. Заявник: Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, № u201902091. Заявл. 01.03.2019. Опубл. 10.09.2019, бюл. № 17.

46. Алієв, Е. Б. (2019). Патент України на винахід 120231, МПК (2006) А01С 1/00, G01В 11/00, G01В 11/02 (2006.01), G01N 21/25 (2006.01), G06Т 7/00. Спосіб автоматичного фенотипування насіння і пристрій для його здійснення. Заявник: Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, № a201808708. Заявл. 25.10.2019. Опубл. 25.10.2019, бюл. № 20.

47. Алієв, Е. Б. (2019). Патент України на винахід 120235, МПК (2006) В07В 1/00, В07В 1/40 (2006.01), В07В 1/42 (2006.01), G05В 13/00, G05В 15/00. Адаптивний віброрешітний сепаратор. Заявник: Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, № a201811084. Заявл. 25.10.2019. Опубл. 25.10.2019, бюл. № 20.

48. Алієв Е.Б. Результати чисельного моделювання процесу роботи блока подачі насіння фотоелектронного сепаратора / Е.Б. Алієв, В.М. Яропуд // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК»

/ Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2017. – №4 (99) – С. 18-23.

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

50. Алієв Е.Б. Модель системи фотоелектронного сепаратора насінневого матеріалу / Е.Б. Алієв // Вісник Степу. Науковий збірник. «Стан та перспективи розвитку агропромислового виробництва України». – Вип. 14. – Кіровоград, КОД, 2017. – С. 135-138. – ISBN 978-617-653-033-6.

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

52. Алієв Е.Б. Раціональна прецизійна технологічна лінія процесів сепарації насінневого матеріалу соняшника / Е.Б. Алієв, В.П. Чеботарьов // Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН – Запоріжжя, 2018. – Випуск 25. – С. 154-159. – ISSN 2078-7316.

53. Алієв Е.Б. Обґрунтування автоматизованої системи керування потоком повітря в аеродинамічному сепараторі насінневого матеріалу / Е.Б. Алієв, О.С. Гаврильченко // Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві: Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка – Харків, 2019. – Вип. 201. – С. 132-140.

54. Алієв Е.Б. Техніко-технологічне забезпечення прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшника / Е.Б. Алієв, В.М. Яропуд// Всеукраїнський науково-технічний журнал “Вібрації в техніці та технологіях” / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та інші. – Вінниця, 2019. – 1 (92) – С. 40-47.

55. Алієв, Е. Б. (2019). Економічна оцінка впровадження прецизійної технологічної лінії сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха. Вип. № 9 (108). С. 81-87.

56. Алієв, Е. Б. (2019). Фотоелектронні сепаратори насіння. Ефективність використання. Журнал «Пропозиція». № 10. ТОВ «Юнівест Медіа». Фастів. С. 166-170.

57. Алієв Е.Б., Лупко К.О. Застосування трієрних сепараторів для очищення насіння дрібнонасіннєвих культур. Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки». Харків: ХНТУСГ, 2020. С. 116.