

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Удосконалення технологічної лінії з підготовки
насіння кондитерського соняшнику
до переробки**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу,
групи ХТ-2-21 освітньо-професійної програми
«Харчові технології» зі спеціальності
181 «Харчові технології»

_____ Дмитро РУДНЄВ

Керівник: _____ Олександр ПІВОВАРОВ

Рецензент: _____

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«07» травня 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Рудневу Дмитру Олександровичу

1. Тема роботи: «Удосконалення технологічної лінії з підготовки насіння соняшнику кондитерського до переробки».

Керівник роботи: Півоваров Олександр Андрійович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом закладу вищої освіти від «07» травня 2025 року № 963.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 09 червня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія підготовки насіння соняшнику кондитерського до переробки. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Аналітичний огляд. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина. 4 Впровадження автоматизованого віброрешітного сепаратора. 5 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Постановка питання. 2 Мета і завдання досліджень. 3 Аналітичний огляд. 4 Технологічна частина. 5 Результати розрахунку технологічних показників. 6 Впровадження автоматизованого віброрешітного сепаратора. 7 Розрахунок економічних показників. 8 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Професор Олександр ПІВОВАРОВ	07.05.25	09.06.25

7. Дата видачі завдання 07 травня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	07.05-08.05.25	виконано
2	Аналітичний огляд	09.05-14.05.25	виконано
3	Удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику	15.05-16.05.25	виконано
4	Розрахунок технологічних показників	17.05-23.05.25	виконано
5	Впровадження автоматизованого віброрешітного сепаратора	24.05-31.05.25	виконано
6	Охорона праці та захист навколишнього середовища	01.06-02.06.25	виконано
7	Організаційно-економічна частина	02.06-03.06.25	виконано
8	Техніко-економічне обґрунтування	04.06-05.06.25	виконано
9	Підготовка демонстраційного матеріалу	06.06-09.06.25	виконано

Здобувач вищої освіти

_____ Дмитро РУДНЄВ
(підпис)

Керівник роботи

_____ Олександр ПІВОВАРОВ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Удосконалення технологічної лінії з підготовки насіння соняшнику кондитерського до переробки»

Кваліфікаційна робота: 63 сторінок, 15 рисунків, 8 таблиць, 0 додатків, 26 літературних джерел.

Об'єкт дослідження — технологія підготовки насіння соняшнику кондитерського до переробки.

Предмет дослідження — зв'язок показників якості насіння соняшнику та технологічних параметрів процесу її підготовки до переробки.

Метою роботи є вдосконалення технологічної лінії сепарації насіння кондитерського соняшнику з використанням новітніх агротехнологій та обладнання для підвищення якості продукції, зменшення витрат сировини, енергоспоживання та трудових ресурсів, а також для забезпечення економічної ефективності виробництва.

Україна утримує лідерство у виробництві кондитерського соняшнику, що зумовлює потребу в удосконаленні технологій очищення насіння. Сучасна лінія сепарації, що поєднує решітне, пневмосепараційне, трієрне та оптичне обладнання, забезпечує кращу якість очищення (до 95,8%) і зменшує втрати кондиційного насіння. Оптимальні параметри роботи віброрешітного сепаратора підвищують точність сортування. Високу ефективність показали решета, виготовлені лазерним різанням. Впровадження вдосконаленої лінії потребує більших інвестицій, проте забезпечує економічний ефект понад 776 тис. грн і окупність менш ніж за пів року.

КЛЮЧОВІ СЛОВА

Льон олійний, лляна олія, харчова промисловість, холодне пресування, гаряче пресування, екстракція, шнековий прес, масовий баланс, розміщення обладнання, техніко-економічне обґрунтування, рентабельність, макуха, агропромисловий комплекс.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	9
1.1 Аналіз виробництва кондитерського соняшника в Україні та світі	9
1.2 Перспективність використання точного очищення при підготовці насіння кондитерського соняшнику до переробки	12
1.3 Фізико-механічні властивості насіння кондитерського соняшника	14
Висновки за розділом.....	18
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	19
2.1 Способи очищення і розділення насіння.....	19
2.2 Удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику	24
Висновки за розділом.....	28
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	29
3.1 Розрахунок технологічних показників	29
Висновки за розділом.....	33
4 ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІБРОРЕШІТНОГО СЕПАРАТОРА	35
4.1 Експериментальні дослідження сепарації насіння соняшнику на віброрешітному сепараторі.....	35
4.2 Конструктивно-технологічна схема автоматизованого віброрешітного сепаратора.....	40
4.3 Виробнича перевірка автоматизованого віброрешітного сепаратора	43
Висновки за розділом.....	45
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	47
5.1 Охорона праці в цеху з підготовки насіння кондитерського соняшнику до переробки.....	47
5.2 Захист навколишнього середовища.....	50

Висновки за розділом.....	53
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	54
6.1 Розрахунок економічних показників удосконаленої технологічної лінії підготовки насіння кондитерського соняшнику до переробки	54
Висновки за розділом.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	59
Література.....	61

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу України важливим завданням є ефективне використання сільськогосподарської продукції, зокрема насіння соняшнику, яке має високу харчову та експортну цінність. Особливої уваги заслуговує кондитерський соняшник, що вирізняється великим розміром насіння, тонкою шкіркою, високими смаковими якостями та широко використовується у харчовій промисловості. Його застосовують для виробництва снекової продукції, халви, козинаків та інших харчових виробів.

Однак для забезпечення високої якості готової продукції важливе значення має належна підготовка насіння до переробки. Процес підготовки включає очищення, калібрування, сушіння та інші технологічні операції, які впливають на збереження фізико-хімічних властивостей насіння, його зовнішній вигляд, смакові характеристики та кінцеву собівартість продукції.

Традиційні технологічні лінії, що застосовуються нині на підприємствах, часто не відповідають сучасним вимогам до енергоефективності, продуктивності та якості обробки насіння. Це зумовлює необхідність удосконалення існуючих технологічних рішень, впровадження новітнього обладнання, оптимізації режимів обробки і адаптації процесів до особливостей кондитерських сортів соняшнику.

Таким чином, удосконалення технологічної лінії з підготовки насіння кондитерського соняшнику до переробки є актуальним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню якості готової продукції, зменшенню втрат сировини, зниженню енергетичних витрат та підвищенню конкурентоспроможності української продукції на внутрішньому і світовому ринках.

Метою є вдосконалення технологічної лінії сепарації насіння кондитерського соняшнику з використанням новітніх агротехнологій та обладнання для підвищення якості продукції, зменшення витрат сировини, енергоспоживання та трудових ресурсів, а також для забезпечення економічної ефективності виробництва.

Задачі:

- оцінити стан виробництва кондитерського соняшнику в Україні та перспективи його розвитку;
- проаналізувати фізико-механічні властивості насіння соняшнику, що впливають на ефективність процесу сепарації;
- розробити вдосконалену технологічну лінію сепарації насіння кондитерського соняшнику з урахуванням використання решітного, пневмосепараційного, трієрного та оптичного обладнання;
- визначити оптимальні параметри роботи віброрешітного сепаратора для досягнення максимальної ефективності сортування;
- оцінити вплив удосконаленої лінії на якість очищення насіння та економічні показники, включаючи витрати на енергію, сировину та робочу силу;
- вивчити заходи охорони праці та захисту навколишнього середовища в умовах функціонування цеху з підготовки насіння;
- оцінити економічну ефективність удосконаленої технологічної лінії, враховуючи капітальні та операційні витрати.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Аналіз виробництва кондитерського соняшника в Україні та світі

Соняшник є однією з найважливіших олійних та харчових культур у світі, а його насіння широко використовується як для виробництва олії, так і для безпосереднього споживання в їжу. Кондитерський соняшник становить окремий сегмент ринку, що характеризується особливими вимогами до якості насіння: великі розміри, тонка шкірка, високі смакові характеристики та привабливий зовнішній вигляд. На відміну від олійних сортів, кондитерські сорти вирощуються переважно для прямого споживання або для використання у харчовій промисловості у вигляді снекової продукції, халви, козинаків, а також як інгредієнт для різноманітних кулінарних виробів.

Виробництво кондитерського соняшнику у світі має стабільну тенденцію до зростання, що зумовлено підвищенням попиту на здорові харчові продукти. Основними країнами-виробниками насіння соняшнику загалом є Україна, Аргентина, Китай, Румунія, Болгарія та США. Проте, якщо розглядати виключно кондитерський сегмент, то найбільшими виробниками є Китай, США, Аргентина та Іспанія. Ці країни мають давні традиції вирощування спеціалізованих кондитерських сортів, спрямованих на задоволення попиту внутрішніх і зовнішніх ринків.

Україна посідає провідне місце у світі за загальними обсягами виробництва насіння соняшнику, зокрема завдяки сприятливим кліматичним умовам, родючим ґрунтам та значному досвіду у вирощуванні цієї культури. Протягом останніх років площі посівів соняшнику в Україні стабільно перевищують 6 мільйонів гектарів, що забезпечує річний валовий збір на рівні 14–17 мільйонів тонн. Водночас частка кондитерського соняшнику в загальній структурі виробництва є відносно невеликою й становить близько 5–7 %, що пояснюється вищими вимогами до агротехнологій та селекції даного сегмента продукції.

Таблиця 1.1 – Виробництво насіння соняшнику у світі та в Україні

Показник	2020	2021	2022	2023
Світове виробництво, млн. т	50,0	57,0	59,4	57,2
Виробництво в Україні, млн. т	14,1	17,5	11,1	12,5
Частка України у світовому виробництві, %	28,2	30,7	18,7	21,9
Обсяг кондитерського соняшнику в Україні, тис. т	~900	~1100	~750	~800
Частка кондитерського соняшнику в Україні, %	~6,4	~6,3	~6,8	~6,4

Аналіз даних таблиці 1.1 свідчить, що попри коливання загальних обсягів виробництва через геополітичні та кліматичні чинники, Україна зберігає високі позиції серед світових виробників насіння соняшнику. Частка України у світовому виробництві залишається на рівні близько 20–30%. Щодо кондитерського соняшнику, його обсяги в Україні є стабільними і становлять приблизно 6–7% від загального виробництва насіння. Це свідчить про сформований і стабільний сегмент ринку, який має перспективи для подальшого розвитку, особливо за умови модернізації технологічних процесів та виходу на нові експортні ринки.

Найбільші площі під кондитерським соняшником в Україні зосереджені в південних і центральних регіонах, зокрема в Дніпропетровській, Запорізькій, Миколаївській, Кіровоградській та Херсонській областях. Саме тут завдяки теплому клімату та тривалому періоду вегетації створюються оптимальні умови для формування крупного, вирівняного насіння високої якості. Крім того, на розвиток кондитерського напрямку істотно впливає наявність переробних підприємств, орієнтованих на очищення, калібрування, фасування та експорт готової продукції.

Експорт кондитерського соняшнику з України має стабільну позитивну динаміку. Основними напрямками експорту є Туреччина, Ірак, Єгипет, країни Європейського Союзу, а також Китай. Попит на український кондитерський соняшник зумовлений його високими споживчими властивостями, конкурентною ціною та стабільною якістю. За даними профільних асоціацій, щорічно Україна експортує понад 150–200 тис. т насіння кондитерських сортів, що забезпечує значні валютні надходження до економіки країни.

На світовому ринку продукція кондитерського соняшнику є цінним товаром, попит на який зростає разом із трендом на здорове харчування та споживання натуральних снеків. Зокрема, у США спостерігається збільшення споживання насіння соняшнику як здорової альтернативи традиційним снекам завдяки високому вмісту білка, клітковини, вітамінів та мінералів. Подібні тенденції характерні також для країн Європейського Союзу та Південно-Східної Азії, де зростає кількість споживачів, орієнтованих на органічні та функціональні продукти харчування.

Виробництво кондитерського соняшнику вимагає застосування спеціалізованих сортів, що забезпечують великі розміри насіння, привабливу забарвленість шкірки, однорідність за розміром і мінімальну кількість битих та пошкоджених зерен. Для цього селекційні компанії розробляють нові гібриди, що поєднують високий потенціал урожайності з покращеними товарними якостями. Одним із важливих напрямів удосконалення технології вирощування є впровадження інтегрованого захисту рослин, оптимізація норм висіву та режимів зрошення, що дозволяє отримувати продукцію стабільно високої якості.

Окремо варто відзначити, що ефективність виробництва кондитерського соняшнику значною мірою залежить не лише від агротехнічних заходів, а й від рівня розвитку інфраструктури первинної переробки насіння. Очищення від домішок, калібрування за розміром, сушіння до оптимальної вологості та делікатне фасування є критичними етапами, які визначають ринкову вартість готової продукції. Відповідно, удосконалення технологічних ліній для обробки насіння набуває особливого значення у забезпеченні конкурентоспроможності як окремих виробників, так і галузі в цілому.

Таким чином, виробництво кондитерського соняшнику в Україні має значний потенціал для подальшого розвитку за рахунок розширення посівних площ, вдосконалення агротехнологій, модернізації інфраструктури переробки та активного виходу на нові експортні ринки. Світові тенденції свідчать про стійке зростання попиту на продукцію кондитерського сегмента, що створює сприятливі умови для інвестицій і підвищення ефективності виробництва в Україні.

1.2 Перспективність використання точного очищення при підготовці насіння кондитерського соняшнику до переробки

Підготовка насіння кондитерського соняшнику до переробки є надзвичайно важливим етапом, який значною мірою визначає якість кінцевої продукції, рівень втрат та економічну ефективність виробництва. Одним із ключових напрямів удосконалення технології підготовки є впровадження систем точного очищення насіння, які дозволяють суттєво підвищити якість обробки сировини, забезпечити її відповідність стандартам харчової промисловості та знизити втрати під час переробки.

Точне очищення передбачає високий ступінь видалення домішок різної природи – механічних (землі, пилу, стебел, листя), біологічних (насіння бур'янів, уламків інших культур), а також пошкоджених та некондиційних зерен соняшнику. Для кондитерського соняшнику, на відміну від олійного, вимоги до чистоти насіння є набагато вищими: допустима кількість сторонніх домішок не повинна перевищувати 1–2 %, а відсоток битого або пошкодженого зерна має бути мінімальним, аби зберегти зовнішній вигляд продукції.

Традиційні системи очищення (рис. 1.1), які часто використовуються на агропідприємствах, не завжди дозволяють досягти такої високої якості обробки. Застосування стандартних решітчастих або повітряних сепараторів забезпечує базовий рівень очищення, проте не дає змоги ефективно видаляти важковіддільні домішки та калібрувати насіння за тонкими ознаками. Водночас точне очищення базується на використанні більш прогресивного обладнання – фотосепараторів, триєрів, калібраторів та систем комбінованого очищення, що дозволяють розділяти матеріал за щільністю, розміром, кольором і навіть поверхневою структурою.

Фотосепаратори стали одним із найбільш перспективних технологічних рішень для точного очищення насіння кондитерського соняшнику. Вони працюють за принципом оптичного аналізу кожної насінини, виявляючи та видаляючи дефектні, знебарвлені, пошкоджені зерна, а також сторонні домішки. Сучасні моделі фотосепараторів здатні забезпечувати ступінь очищення до 99,9 %, що є

критично важливим для виробників продукції преміум-класу. Застосування таких систем дозволяє мінімізувати ризики потрапляння у партії товарного насіння дефектних елементів, що, у свою чергу, підвищує конкурентоспроможність продукції на зовнішніх ринках.

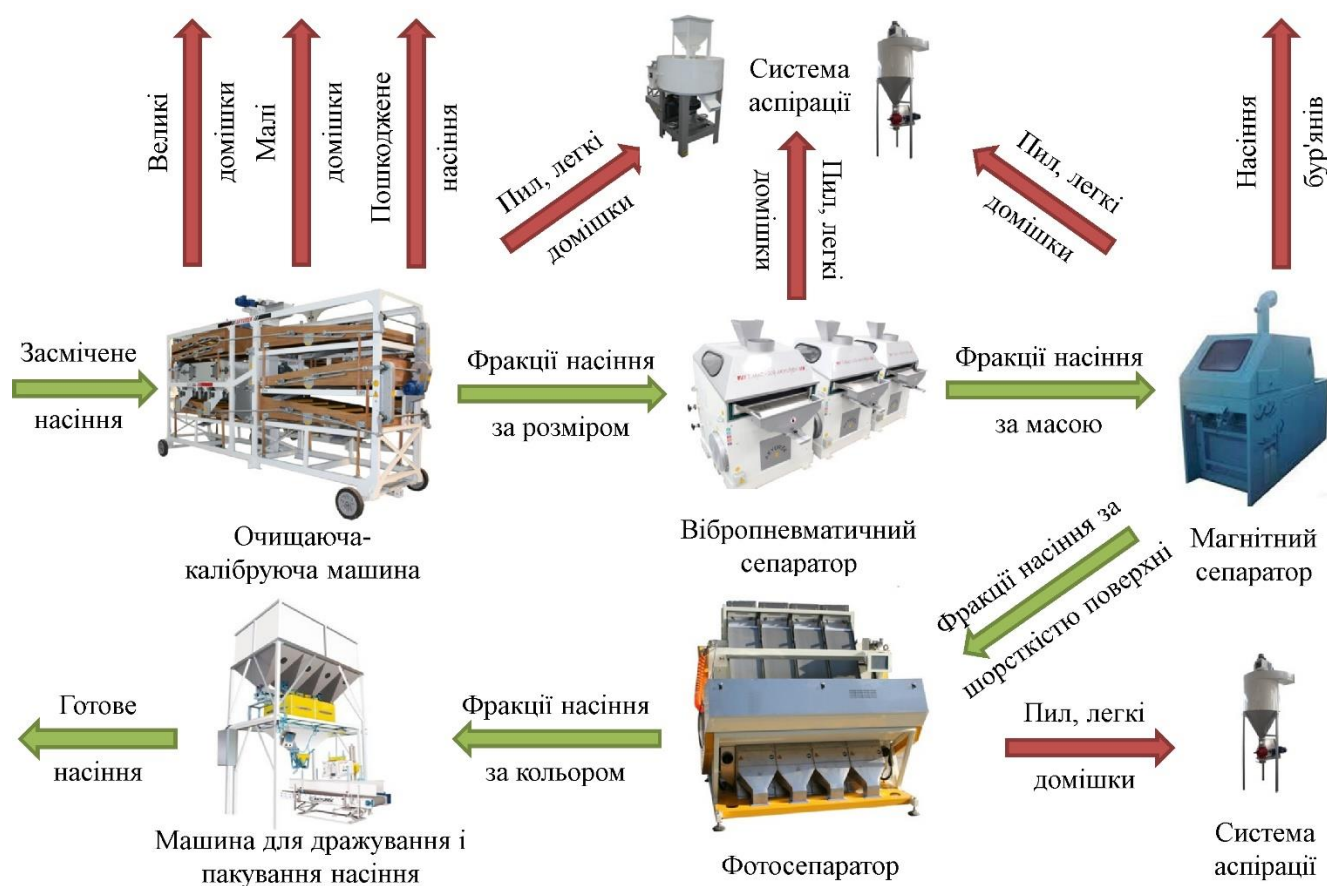


Рисунок 1.1 – Традиційна система очищення насіння соняшника

Не менш важливим є використання високоточних триєрів для видалення коротких та битих зерен. Враховуючи, що при підготовці кондитерського соняшнику необхідно зберігати насіння цілим, застосування триєрів дозволяє ефективно вилучати дрібні частини без пошкодження основної маси. Також особливе місце займає застосування калібраторів, які здійснюють розподіл насіння за розмірними групами, що особливо актуально при підготовці продукції для фасування у споживчу тару або для експорту.

Перспективним напрямом є також інтеграція процесів точного очищення у комплексні технологічні лінії, що дозволяє здійснювати багатоступеневу обробку насіння в автоматичному режимі. Сучасні системи автоматизації забезпечують безперервний моніторинг якості очищення, оперативну корекцію режимів роботи обладнання та мінімізацію впливу людського фактора. Використання таких технологічних рішень дозволяє не лише підвищити якість обробки, а й зменшити енергоспоживання, підвищити продуктивність лінії та скоротити витрати на обслуговування.

Впровадження технологій точного очищення є також важливим з точки зору відповідності сучасним міжнародним стандартам безпечності харчових продуктів, таким як ISO 22000, HACCP та іншим. Наявність сертифікованих процесів очищення істотно підвищує довіру з боку імпортерів і споживачів, що відкриває нові можливості для українських виробників на зовнішніх ринках.

Таким чином, використання систем точного очищення при підготовці насіння кондитерського соняшнику є важливою складовою підвищення ефективності виробництва. Це дозволяє не лише покращити товарні характеристики насіння, а й забезпечити стабільну якість продукції, відповідність вимогам внутрішнього та зовнішнього ринків, підвищити конкурентоспроможність підприємств та сприяти сталому розвитку кондитерського напрямку у структурі аграрної галузі України.

1.3 Фізико-механічні властивості насіння кондитерського соняшника

Фізико-механічні властивості насіння кондитерського соняшнику є важливими характеристиками, які впливають на ефективність його переробки, а також на якість кінцевої продукції. Розуміння цих властивостей є необхідним для розробки та вдосконалення технологічних процесів обробки насіння, а також для забезпечення високої якості продукції, що відповідає вимогам ринку.

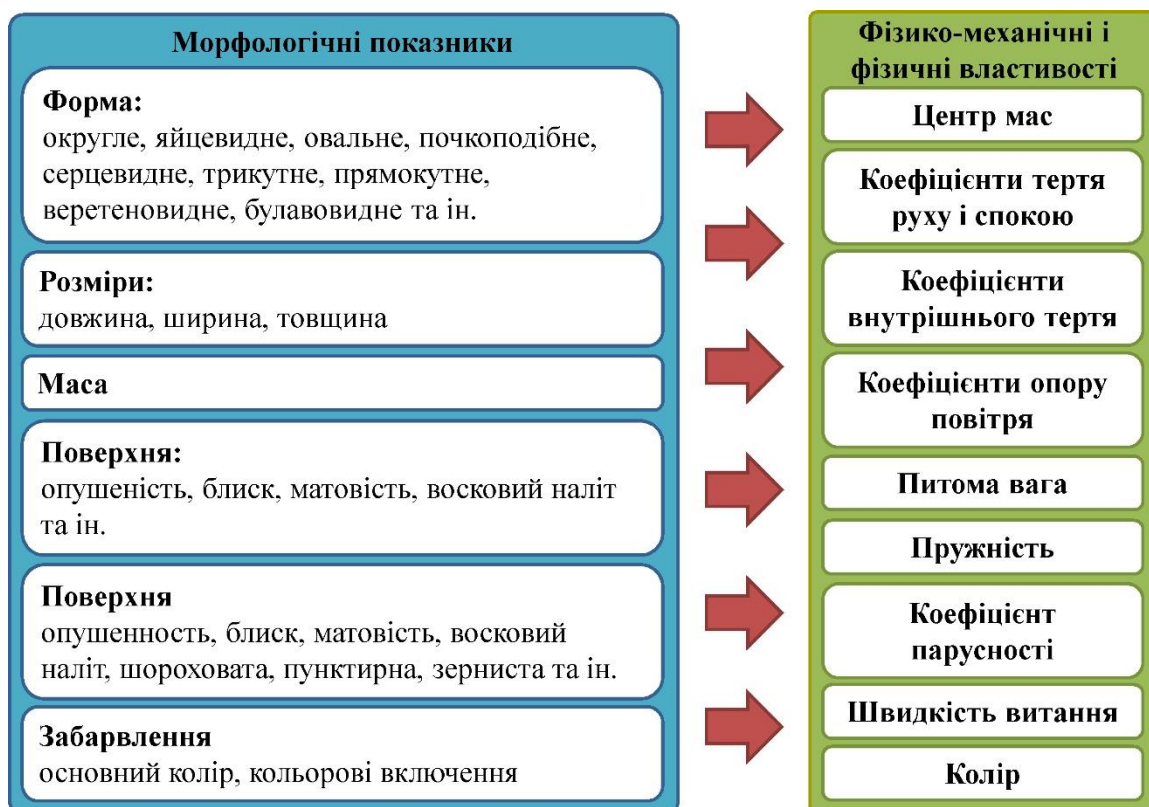


Рисунок 1.2 – Фізико-механічні властивості насіння кондитерського соняшника

Маса насінини та розмір. Масу та розмір насінини можна вважати одними з основних фізичних властивостей насіння кондитерського соняшнику. Це важливо для розподілу насіння за класами при калібруванні, а також для забезпечення рівномірного очищення і фасування. Середня маса насінини кондитерського соняшнику зазвичай коливається від 0,03 до 0,06 г, залежно від сорту. Більшість сортів характеризуються досить великими розмірами, що робить їх зручними для споживання в якості снекової продукції.

Розмір насінин безпосередньо впливає на їх здатність проходити через технологічне обладнання, зокрема калібратори та сепаратори. Великі насінини кондитерського соняшнику мають перевагу, оскільки вони забезпечують більший вихід готової продукції з мінімальними втратами. Однак їх вирівняність за розміром є критичним фактором для досягнення високої якості кінцевої продукції.

Щільність насіння соняшнику визначається як маса одиниці об'єму і є важливим параметром, що впливає на процеси очищення та сортування насіння.

Для кондитерського соняшнику щільність насінини зазвичай становить близько 1,15–1,25 г/см³. Цей показник впливає на здатність насіння утримуватися в повітряному потоці під час процесів пневматичного очищення, що є одним із етапів точного очищення. Вища щільність забезпечує кращі результати при сепарації насіння від домішок.

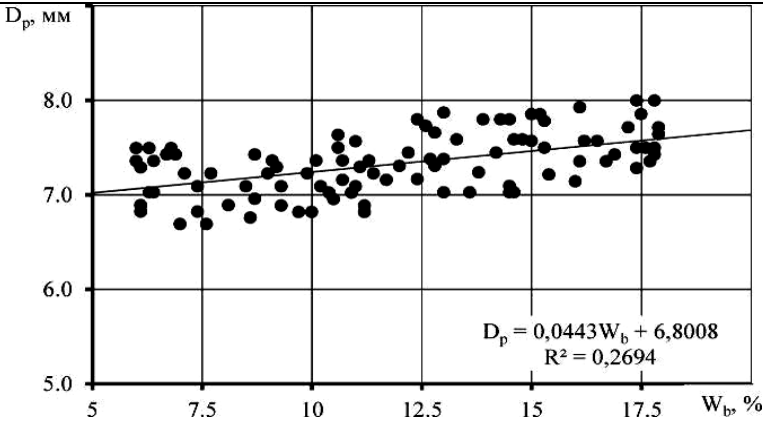
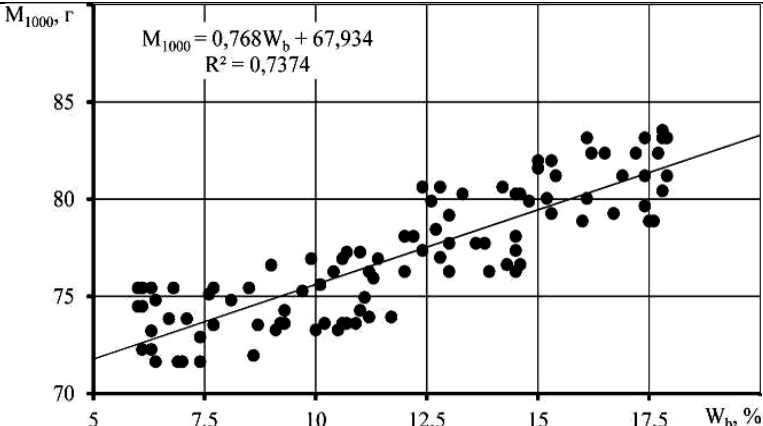
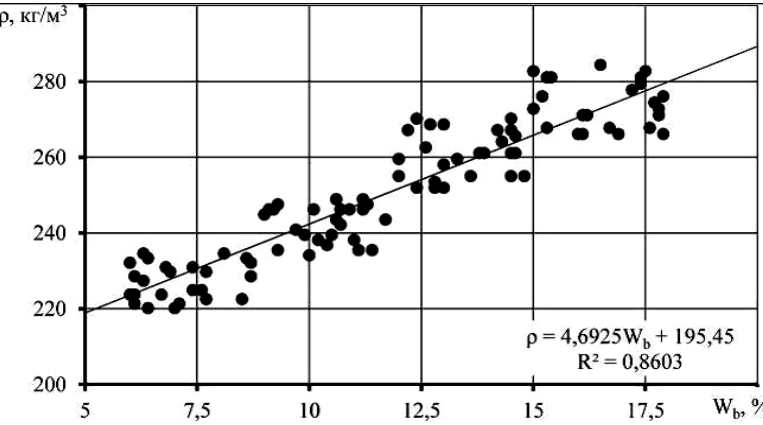
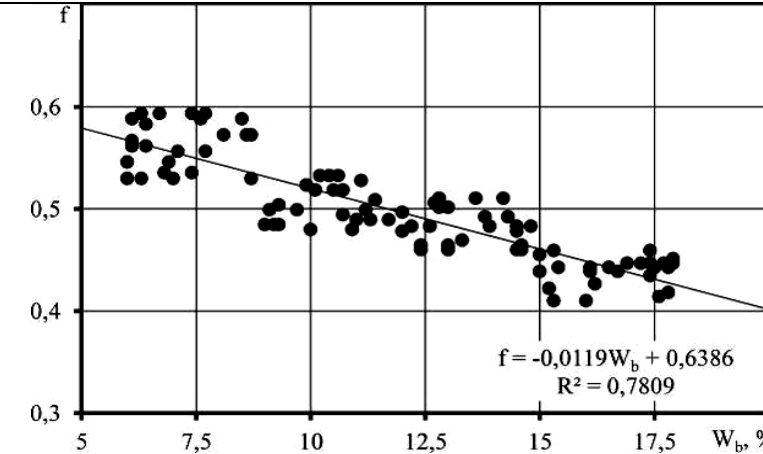
Твердість і міцність насіння кондитерського соняшнику є важливими фізико-механічними властивостями, які визначають його здатність витримувати механічні впливи під час обробки. Від цих властивостей залежить, чи будуть насінини пошкоджені під час обробки, чи збережуть свою цілісність при переробці, зокрема під час очищення, сушіння та калібрування. Твердість насіння соняшнику є різною для різних сортів і зазвичай вимірюється за допомогою методів, які оцінюють здатність насінини до деформації під навантаженням. У більшості сортів кондитерського соняшнику твердість насіння є досить високою, що дозволяє зберігати його цілісність під час технологічних процесів.

Міцність лушпиння насіння також має значення для переробки. Насіння з товстим лушпинням зазвичай важче піддається пошкодженню, що зменшує втрати при очищенні, але водночас ускладнює процес лушчення при виробництві олії.

Вологість насіння кондитерського соняшнику є важливим параметром для оцінки його придатності до зберігання та переробки. Зазвичай вміст вологи в свіжозібраному насінні соняшнику становить близько 8–10 %. Висока вологість може призвести до розвитку мікроорганізмів, що негативно впливає на зберігання насіння і його якість. Тому важливо підтримувати оптимальний рівень вологості, особливо на етапах сушіння та зберігання. Для насіння кондитерського соняшнику максимальний вміст вологи не повинен перевищувати 12 %, оскільки це може вплинути на його товарні властивості та тривалість зберігання.

Гігроскопічність насіння соняшнику визначається його здатністю вбирати вологу з навколишнього середовища. Ця властивість є важливою для процесів сушіння та зберігання насіння. Кондитерський соняшник має високий рівень гігроскопічності, що вимагає спеціальних умов зберігання і транспортування для запобігання погіршенню якості насіння через надмірну вологу.

Таблиця 1.2 – Закономірності деяких фізико-механічних властивостей
насіння соняшнику від вологості

Ефективний діаметр	 $D_p = 0,0443W_b + 6,8008$ $R^2 = 0,2694$
Маса 1000 насінин	 $M_{1000} = 0,768W_b + 67,934$ $R^2 = 0,7374$
Об'ємна маса	 $\rho = 4,6925W_b + 195,45$ $R^2 = 0,8603$
Коефіцієнт тертя	 $f = -0,0119W_b + 0,6386$ $R^2 = 0,7809$

Сила зчеплення та ковзання насіння кондитерського соняшнику важлива для розуміння, як насіння поводитиметься під час транспортування та обробки в механічних системах. Насіння з високою силою зчеплення буде мати більше шансів утримуватись один від одного під час транспортування або в процесі обробки. Це може бути корисно при певних технологічних операціях, але також може призвести до утруднення при процесах розподілу насіння у машині для калібрування.

Фізико-механічні властивості насіння кондитерського соняшнику суттєво впливають на вибір технологій для його обробки та переробки, а також на якість готової продукції. Урахування цих характеристик є важливим для забезпечення високої ефективності переробки, зниження витрат і покращення конкурентоспроможності продукції на ринку.

Висновки за розділом

Аналіз виробництва кондитерського соняшнику в Україні та світі свідчить про стабільне місце України серед провідних виробників цієї культури. Попри невеликі коливання в обсягах, частка кондитерського соняшнику в загальному виробництві залишається стабільною, що вказує на сформований і перспективний ринок. Перспективи розвитку галузі полягають у вдосконаленні агротехнологій, розширенні площ посівів та модернізації інфраструктури переробки. Водночас точне очищення насіння є ключовим фактором підвищення якості продукції та її конкурентоспроможності на міжнародних ринках. Впровадження сучасних технологій очищення, таких як фотосепаратори та калібратори, дозволяє забезпечити високі стандарти якості і відповідність вимогам харчової промисловості, що створює умови для подальшого зростання експорту та ефективності виробництва.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Способи очищення і розділення насіння

Сепарація насіння здійснюється з урахуванням фізико-механічних властивостей насіння, серед яких:

- аеродинамічні властивості – використовуються у пневматичних колонках і повітряних каналах;
- розміри (довжина, ширина, товщина) – реалізуються за допомогою решіт та трієрів;
- густина та об'ємна маса – застосовуються у пневмостолах і вібросепараторах;
- форма і поверхня – враховуються у фрикційних сепараторах і на похилих площинах;
- пружність – визначальна для сортувальних столів;
- електрофізичні властивості – використовуються у діелектричних та коронних сепараторах;
- колір – основа роботи фотосепараторів.

Для досягнення високої якості очищення важливо оптимально поєднати кількість і типи технологічних операцій, що не завжди забезпечується при поточній обробці насіння.

Сепарація насіння за аеродинамічними характеристиками. Розділення насіннєвого матеріалу в повітряному потоці ґрунтується на різниці у його аеродинамічних властивостях, які визначаються формою, розмірами, масою частинок і їх поверхнею. Чим більший опір повітрю чинить частинка, тим повільніше вона рухається й раніше осідає.

Для поділу насіннєвої суміші використовують повітряні потоки різної орієнтації – горизонтальні, похилі або вертикальні, які створюються вентиляторами. У горизонтальному чи похилому потоці важкі фракції осідають раніше, а легкі частинки та домішки відносяться далі. У вертикальному висхідному

потоці, налаштування швидкості повітря дозволяє утримувати насіння, тоді як легкі домішки виносяться в осадову камеру. Розділення можливе лише за умови різниці критичних (вitalьних) швидкостей у насіння та домішок.

Такий принцип роботи реалізовано у пневмосепараторах і аспіраційних системах зерноочисних машин (рис. 2.1). Вони забезпечують видалення полови, пилу та легких домішок на початковому етапі очищення зерна.



Рисунок 2.1 – Пневмосепаратори і аспіраційні системи зерноочисних машин

Пневмосепаратори бувають трьох типів: пневмогравітаційні, пневмоімпульсні та пневмовідцентрові. У пневмогравітаційних пристроях із вертикальним чи похилим потоком матеріал розділяється під дією сили тяжіння та аеродинамічного опору. Насіння, маючи більшу масу, залишається в нижніх шарах, а легкі домішки відхиляються й виносяться повітрям.

Пневмоімпульсні сепаратори працюють за рахунок імпульсної подачі суміші в повітряний потік. Завдяки початковій швидкості, частинки набувають імпульсу, який дозволяє краще долати опір повітря. Це дає змогу інтенсифікувати процес, проте потребує збільшення об'єму сепараційної камери.

Сепарація насіння за геометричними розмірами. Насіння різних культур відрізняється за довжиною, шириною та товщиною, що дозволяє поділяти його на фракції та очищати від домішок. Розмірні параметри використовують як основу для механічного поділу.

Для розділення за товщиною та шириною застосовують плоскі або циліндричні решета. Насіння, яке проходить крізь отвори решета, називають проходом, те, що залишається – сходом. Поділ за товщиною здійснюють за допомогою решіт з видовженими отворами, а за шириною – із круглими або квадратними (дротяними) отворами. Розміри решіт стандартизовані та маркуються відповідно до ширини або діаметра отворів.

Існують різні схеми розташування решіт у сепарувальних станах: одноярусні (три решета), двоярусні (чотири або шість), триярусні (шість-сім). У першому випадку послідовно встановлюють підсівне, сортувальне та колосове решета. У двоярусних схемах верхній ярус виконує поділ суміші на великі й дрібні компоненти, а нижній – доочищення. У триярусних системах решета розташовують по функціональних рівнях і використовують, зокрема, для сортування соняшникового насіння (рис. 2.2).



BCX-100



A1-BMC-6



ОКМФ

Рисунок 2.2 – Решітні сортувальні машини

Сепарацію за довжиною виконують у трієрних циліндрах (рис. 2.3) із внутрішньою комірчастою поверхнею. Під час обертання коротке насіння швидше

випадає з комірок, довге переміщується до виходу з циліндра. Розмір комірок визначає призначення трієра: для вилучення коротких або довгих домішок. Частота обертання має бути оптимальною — надмірна швидкість знижує ефективність поділу через утримання насіння відцентровою силою. Трієри використовують у зерноочисних машинах і комплексах.



ТРБ-800



Петкус К-236



БТХМ

Рисунок 2.3 – Трієрні сепаратори

Поділ насіння за щільністю та питомою масою. Одним із поширених методів розділення насіння за щільністю чи питомою масою є використання псевдозрідженого шару. Такий спосіб реалізується кількома технологічними підходами: вібраційним — коли на насіннєву масу впливають лише вібрації опорної площини; пневматичним — розділення здійснюється за допомогою постійного або імпульсного повітряного потоку; вібропневматичним — одночасний вплив вібрацій і повітряного потоку; пневмовідцентровим — поєднання відцентрових сил і повітряного потоку, що діють на насіннєвий шар.

Найбільш результативним методом для насіння соняшнику вважається вібропневматичний поділ, що здійснюється за допомогою спеціального обладнання — вібропневмосепараторів або пневмосортувальних столів (рис. 2.4). Під час процесу суміш надходить на перфоровану вібруючу деку, крізь яку проходить повітря. Внаслідок цього створюється ефект розшарування, при якому частинки з подібними фізичними характеристиками формують окремі шари.

Подальший поділ здійснюється з урахуванням положення цих часток у вертикальному напрямку. Змінюючи параметри коливань і нахилу деки, можна керувати траєкторією руху часток різної щільності, забезпечуючи їх виведення в окремі зони.



Рисунок 2.4 – Вібросепаратори

Такий тип сепарації дозволяє ефективно відокремити найбільш життєздатне насіння від решти, а також усунути складні для виділення домішки. Результативність розділення за щільністю значно підвищується, якщо попередньо виконати сортування насіннєвого матеріалу за розмірами.

Фотосепаратори. Першим у світі кольорове сортування сипучих матеріалів реалізувала англійська компанія «Sortex», що випустила відповідні фотосепаратори. Їх принцип дії лишився незмінним: кожна частинка аналізується оптичним сенсором, і за відхиленням кольору від еталону подається сигнал на викид повітряним імпульсом. Розміщення сопла враховує час реакції системи. Сучасні моделі оснащені мікропроцесорним керуванням та охоплюють широкий спектр продукції, включаючи заморожені овочі та фрукти.

Різні країни запропонували власні варіанти конструкцій (рис. 2.5): багатоканальні системи («Gimsoifs Sortex Ltd», Велика Британія), проєкційні моделі (США), комбіновані рішення за формою, розміром і кольором зерна (Японія, «Satake»). Застосовуються також системи з відеоаналізом у ближньому ІЧ-діапазоні, фотолінійками, монохроматичними схемами.



Sortex



ТАІНО



VISION V200

Рисунок 2.5 – Фотосепаратори

Переваги фотосепараторів: вища якість очищення завдяки поштучному аналізу; менше рухомих частин – вища надійність; економічність завдяки високій продуктивності, низьким витратам, простоті обслуговування; відповідність сучасним вимогам безпеки й ергономіки.

2.2 Удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику

Удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику (рис. 2.6) є результатом інтеграції передових технологій і високоточних методів калібрування, що забезпечують високу ефективність та якість кінцевого продукту. Весь процес сепарації насіння включає кілька основних етапів, кожен з яких вимагає ретельного контролю і налаштувань, щоб досягти оптимальних результатів.

Первинне очищення та механічна обробка насіння. На першому етапі насіння проходить через механізм первинної обробки, що включає решітково-барабанні очисники. Цей етап є необхідним для видалення грубих домішок, таких як залишки кошиків, стебел, землі та інших великих часток. Для цього застосовуються спеціальні сита з різними розмірами отворів, що дозволяють ефективно відсіяти все, що не належить до насіння. Після цього насіння потрапляє на систему аспірації,

де з допомогою повітряного потоку відокремлюються легші частки, включаючи пил, пелюстки квіток, частини лушпиння та інші дрібні домішки.

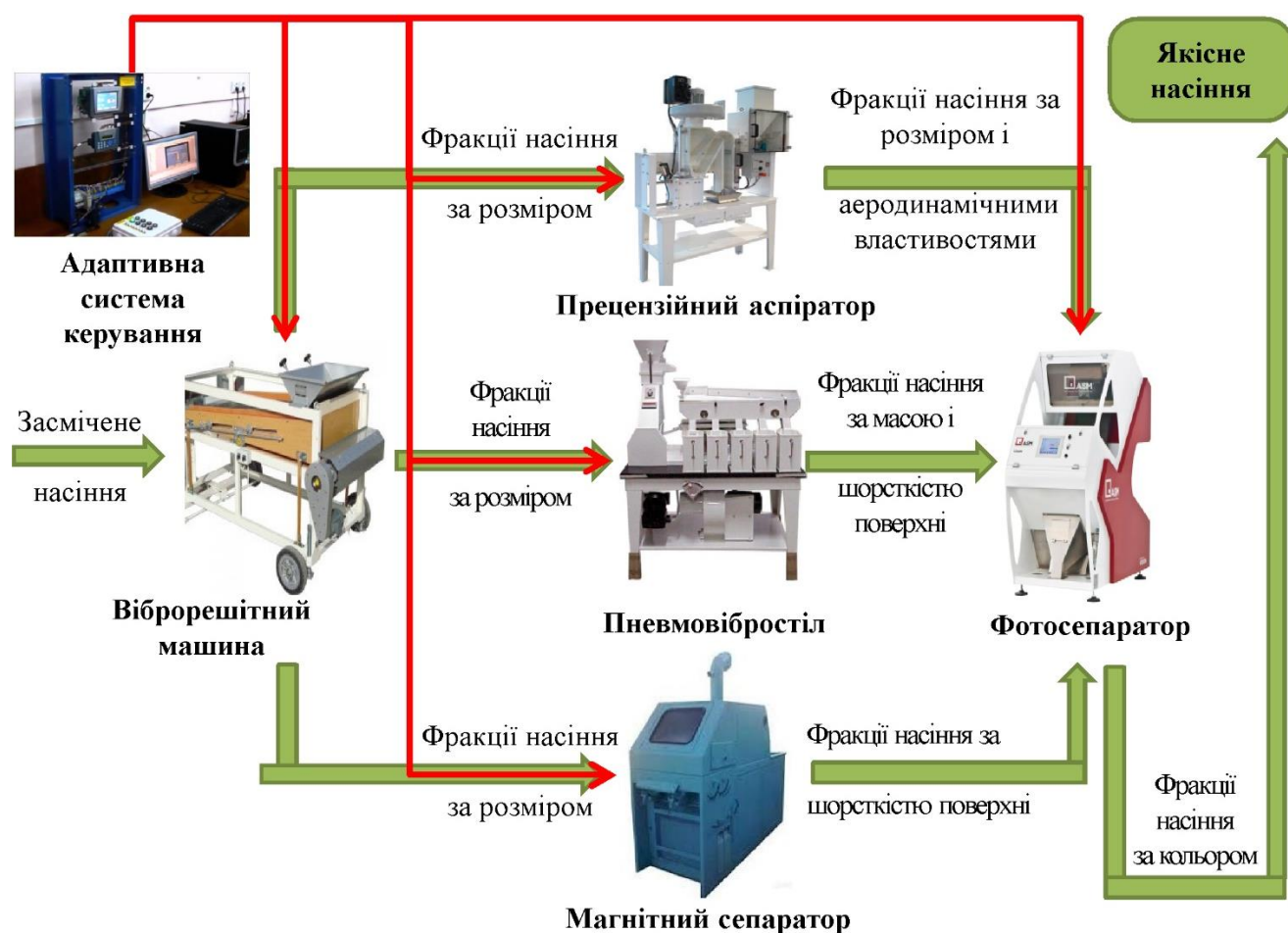


Рисунок 2.6 – Удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику

Поділ за фізичними характеристиками. Після первинного очищення насіння надходить на етап калібрування, який здійснюється за допомогою серії сит з різними розмірами отворів, а також роликів і вібростолів. Ці пристрої дозволяють розділяти насіння за різними фізичними характеристиками, такими як довжина, товщина та ширина. На цьому етапі насіння з однаковими розмірами та формою групується разом, що допомагає забезпечити рівномірне сортування для подальшої обробки. Важливою частиною цього етапу є використання спеціальних вібростолів і роликів сепараторів, які дозволяють здійснити додаткове

калібрування за формою і масою. Це дозволяє не тільки підвищити точність сортування, але й зменшити втрати сировини.

Оптичне сортування насіння за кольором та іншими маркерними ознаками. На наступному етапі використовуються високотехнологічні фотоелектронні та оптичні сенсорні системи, що здійснюють сортування насіння за кольором, текстурою та іншими маркерними ознаками. Це дозволяє здійснювати більш точне розділення насіння на основі його якості та відповідності стандартам. Для цього насіння подається в спеціальні камери, де кожна зернина аналізується за допомогою світлових датчиків і фотосенсорів. Порівняння сигналів дозволяє визначити, чи є зернина доброякісною чи пошкодженою.

При цьому система може точно оцінити не тільки колір, а й текстуру насіння, що дозволяє здійснювати сортування за такими параметрами, як ступінь стиглості або наявність пошкоджень від хвороб або механічних ушкоджень. Як тільки система виявляє зернину, що не відповідає встановленим вимогам, вона подає сигнал на відбракування, і за допомогою короткочасного повітряного імпульсу зерно відводиться в окрему ємність для недоброякісного продукту.

Адаптивне управління та інтеграція з іншими технологічними процесами. Основною перевагою цієї технологічної лінії є використання адаптивної системи керування, що дозволяє налаштовувати параметри роботи всіх етапів обробки насіння в реальному часі. Це забезпечує високу ефективність процесу та дозволяє адаптувати систему під різні типи насіння, враховуючи зміни в його фізичних властивостях. Адаптивна система регулює параметри, такі як швидкість обертання сит, інтенсивність повітряного потоку, кут нахилу та амплітуду коливань на вібростолах, а також налаштовує чутливість оптичних датчиків.

Такий підхід дозволяє зберігати високий рівень точності сортування незалежно від зміни характеристик насіння, що є важливим при роботі з великими партіями насіння різного розміру, форми та якості.

Завершення процесу та пакування. Після завершення процесу сепарації та калібрування насіння сортується за відповідними класами якості і підлягає подальшій упаковці. Насіння, яке пройшло всі етапи обробки, підлягає фінішному

очищенню і упаковці в герметичні пакети або контейнера. Всі етапи процесу контролюються за допомогою сучасних автоматизованих систем, що дозволяють забезпечити високий рівень якості на виході.

Переваги удосконаленої технологічної лінії. Завдяки впровадженню цієї технологічної лінії, виробництво насіння кондитерського соняшнику отримує низку значних переваг. Однією з головних є підвищення якості кінцевого продукту, оскільки кожен етап обробки здійснюється з високою точністю. Механізоване первинне очищення, точне калібрування та відбраковка дефектного насіння дозволяють забезпечити високу сортність продукції. Крім того, адаптивне управління системою дозволяє оптимізувати робочі параметри в залежності від характеристик насіння, що підвищує ефективність і знижує витрати на енергію та робочу силу.

Іншою перевагою є значне зменшення механічних втрат, оскільки більшість операцій виконуються автоматично з високою точністю. Це дозволяє значно збільшити вихід якісного насіння, що в свою чергу сприяє підвищенню економічної ефективності виробництва.

Також варто відзначити, що технологія забезпечує більш високу екологічність виробництва. Зменшення витрат на сировину і енергію, а також зниження кількості відходів і домішок, сприяє зниженню екологічного навантаження на навколишнє середовище.

Перспективи розвитку та інновації. Подальші вдосконалення технологічної лінії можуть включати інтеграцію новітніх досягнень в області штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації параметрів обробки в реальному часі. Використання великих даних для аналізу характеристик насіння та автоматичного налаштування процесу може значно підвищити продуктивність і точність сортування.

Іншою перспективною областю є розробка нових оптичних сенсорів та датчиків, що дозволять здійснювати ще більш точне калібрування насіння за додатковими ознаками, такими як наявність мікротріщин або інші дефекти, які можуть бути важливими для підвищення якості кінцевого продукту.

Таким чином, удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику є важливим елементом для забезпечення високої якості продукції, підвищення ефективності виробничих процесів та забезпечення економічної вигоди.

Висновки за розділом

1. Сепарація насіння базується на використанні його фізико-механічних властивостей – аеродинамічних, геометричних, щільності, форми, кольору та інших. Для очищення насіння застосовуються різноманітні технічні засоби: пневмосепаратори, решітні сортувальні машини, трієри, вібропневмосепаратори, фотосепаратори. Кожен тип обладнання забезпечує розділення за певною ознакою, а їх раціональне поєднання дозволяє досягти високої якості очищення. Найефективнішим є комплексний підхід із попереднім сортуванням і точним налаштуванням технологічних режимів.

2. Запропонована удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику забезпечує підвищення ефективності очищення, зменшення втрат кондиційного матеріалу та покращення якості кінцевого продукту. Вона включає поетапне видалення домішок за розмірами, формою, щільністю, а також кольором, що досягається завдяки поєднанню решітного, пневмосепараційного, трієрного та оптичного обладнання. Такий підхід дозволяє адаптувати процес до змін властивостей сировини та забезпечити стабільність технології очищення для подальшого використання насіння у харчовій промисловості.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок технологічних показників

Традиційні технологічні лінії, які використовуються для очищення та калібрування насіння, забезпечують базовий рівень якості, але характеризуються значними втратами ліквідного насіння, високим енергоспоживанням та недостатньою селективністю. Це зумовлює необхідність упровадження інноваційних рішень, які б дозволили підвищити якість очищення, знизити витрати енергії та зменшити масу втрат цінної продукції.

У роботі розглянуто удосконалену технологічну лінію сепарації насіння кондитерського соняшнику, що базується на використанні адаптивних аеродинамічних, віброрешітних, вібропневматичних та фотоелектронних сепараторів. Порівняння здійснюється з типовою (традиційною) технологічною схемою, яка широко застосовується на вітчизняних переробних підприємствах.

Метою роботи є проведення технологічного розрахунку та порівняльного аналізу обох ліній за показниками: якості очищення; маси втрат ліквідного насіння; енергоспоживання; тривалості обробки; кількості обслуговуючого персоналу; ефективності обладнання за продуктивністю.

Результати аналізу можуть бути використані для техніко-економічного обґрунтування модернізації існуючих виробничих потужностей.

Традиційна лінія сепарації складається з чотирьох основних етапів: аеродинамічного очищення, віброрешітного сортування, вібропневматичної очистки та заключного фотоелектронного сепарування. Застосовуються класичні моделі сепараторів, які забезпечують середній рівень якості та продуктивності.

Удосконалена лінія побудована на основі модернізованого адаптивного обладнання, що здатне автоматично змінювати режим роботи залежно від параметрів потоку насіння. Це дозволяє досягати високої точності очищення, мінімізуючи втрати та енергоспоживання.

Результати розрахунку наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку технологічних показників

Удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику									
Процес	Машини/технічний засіб	Маса матеріалу, т	Продуктивність, т/год.	Споживаєма потужність, кВт	Очищена насінєва суміш, %	Втрата ліквідного насіння, %	Маса втраченого ліквідного насіння, т	Тривалість роботи, год.	Персонал, люд.
Калібрування	Автоматизований аеродинамічний сепаратор	1000,000	0,114	1,63	95,8	1,2	12,000	8771,9	1
	Автоматизований віброрешітний сепаратор	958,000	0,189	1,34	94,9	2,1	19,742	5068,8	1
	Автоматизований вібропневматичний сепаратор	909,518	0,131	3,13	95,4	1,6	14,552	6942,9	1
	Удосконалений фотоселектронний сепаратор	867,680	0,038	1,20	95,7	1,3	10,991	22833,7	1
Традиційна технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику									
Процес	Машини/технічний засіб	Маса матеріалу, т	Продуктивність, т/год.	Споживаєма потужність, кВт	Очищена насінєва суміш, %	Втрата ліквідного насіння, %	Маса втраченого ліквідного насіння, т	Тривалість роботи, год.	Персонал, люд.
Калібрування	Аеродинамічний сепаратор	1000,000	0,102	2,63	93,8	3,2	32,000	9803,9	1
	Віброрешітний сепаратор	938,000	0,385	1,26	93,1	3,9	36,582	2436,4	1
	Вібропневматичний сепаратор	873,278	0,154	2,98	93,5	3,5	30,565	5670,6	1
	Фотоелектронний сепаратор	816,515	0,033	1,28	93,2	3,8	31,028	24742,9	1

Розрахунок сумарної маси втрат ліквідного насіння

$$\Delta m_{\text{втрат}} = m_{\text{поч}} \cdot W_{\text{втрат}} / 100,$$

де $m_{\text{поч}}$ – маса обробленого матеріалу, т; $W_{\text{втрат}}$ – відсоток втрати ліквідного насіння, %.

Приклад (для 1-го етапу): $\Delta m = 1000 \cdot 1,2 / 100 = 12$ т.

Аналогічно обчислюємо для інших машин.

Загальні втрати за лінією

$$\Delta m_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n \Delta m_i$$

$$\Delta m_{\text{заг}} = 12,000 + 19,742 + 14,552 + 10,991 = 57,285 \text{ т.}$$

Загальне енергоспоживання

$$E_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i,$$

де P_i – споживана потужність, кВт; t_i – тривалість роботи, год.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку

№	Потужність P_i , кВт	Час t_i , год	$E_i = P_i \cdot t_i$, кВт·год
1	1,63	8771,9	14296,2
2	1,34	5068,8	6792,2
3	3,13	6942,9	21727,3
4	1,20	22833,7	27400,4
Разом			70216,1

Загальний час роботи

$$T_{\text{заг}} = \sum t_i$$

$$T_{\text{заг}} = 8771,9 + 5068,8 + 6942,9 + 22833,7 = 43517,3 \text{ год}$$

Середня продуктивність лінії. Оскільки лінія працює послідовно, середню продуктивність визначає найменша з машин:

$$Q_{\text{серед}} = \min\{0,114; 0,189; 0,131; 0,038\} = 0,038 \text{ т/год}$$

Енергетична ефективність (на 1 т очищеної суміші). Спочатку визначимо вихід очищеного насіння на кожному етапі:

$$m_{\text{оч}} = m_{\text{вихід}} \cdot \frac{W_{\text{оч}}}{100}$$

Приклад:

$$m_{\text{оч}}^{(1)} = 1000 \cdot 95,8 / 100 = 958 \text{ т.}$$

Повторимо для кожного етапу та отримаємо вихід кінцевого очищеного продукту (можна у формі ланцюгових розрахунків).

Загальні втрати ліквідного насіння (традиційна лінія)

$$\Delta m_{\text{заг}} = 32,000 + 36,582 + 30,565 + 31,028 = 130,175 \text{ т}$$

Енергоспоживання (традиційна лінія)

$$E_{\text{заг}} = \sum P_i \cdot t_i = \begin{cases} 2,63 \cdot 9803,9 = 25701,3 \\ 1,26 \cdot 2436,4 = 3070,3 \\ 2,98 \cdot 5670,6 = 16896,4 \\ 1,28 \cdot 24742,9 = 31670,9 \end{cases} \Rightarrow \boxed{77238,9 \text{ кВт}}$$

Загальний час роботи

$$T_{\text{заг}} = 9803,9 + 2436,4 + 5670,6 + 24742,9 = 42653,8 \text{ год}$$

Мінімальна продуктивність

$$Q_{\text{серед}} = \min\{0,102; 0,385; 0,154; 0,033\} = 0,033 \text{ т/год}$$

Удосконалена лінія дозволяє досягти:

- зменшення втрат насіння на 56%, що забезпечує додатковий прибуток від збереження ліквідного продукту;
- енергозбереження на рівні 9%;
- покращення якісних показників очищення, що підвищує товарну цінність продукції;
- хоча загальний час роботи дещо більший, його компенсує підвищена ефективність.

Удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику демонструє суттєві переваги порівняно з традиційною як за якісними, так і за кількісними показниками. Зокрема, рівень очищення насіннєвої суміші в

удосконаленій лінії становить від 94,9% до 95,8%, що перевищує відповідні показники традиційної лінії, де якість очищення коливається в межах 93,1–93,8%.

Крім того, втрати ліквідного насіння в удосконаленій лінії знижені майже вдвічі — від 1,2% до 2,1% проти 3,2–3,9% у традиційній, що забезпечує значну економію матеріалу: загальна маса втрат у традиційній лінії складає близько 130,17 т, тоді як в удосконаленій – лише 57,29 т, тобто економія становить приблизно 72,9 т на 1000 т обробленої сировини.

Щодо енергоспоживання, удосконалені машини здебільшого споживають менше електроенергії або мають співставні показники зі своїми традиційними аналогами, що свідчить про вищу енергоефективність удосконаленої технології. Хоча продуктивність деяких машин удосконаленої лінії є нижчою, загальна ефективність процесу, з урахуванням мінімізації втрат і підвищення якості продукції, є вищою.

Тривалість роботи обладнання також є меншою або аналогічною традиційній лінії, за винятком фотоелектронного сепаратора, де спостерігається найвища тривалість обробки у традиційній схемі. Кількість обслуговуючого персоналу на обох лініях є сталою — по одній людині на кожен етап процесу.

Таким чином, удосконалена технологічна лінія забезпечує вищу якість продукції, менші втрати ліквідного насіння, кращу енергоефективність та загальну економічну доцільність, що свідчить про її ефективність та доцільність впровадження у виробництво.

Висновки за розділом

Аналіз показав, що удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику має суттєві переваги над традиційною. Якість очищення в удосконаленій лінії становить 94,9–95,8%, що перевищує показники традиційної (93,1–93,8%). Втрати ліквідного насіння зменшено майже вдвічі – з 3,2–3,9% до 1,2–2,1%, що у масовому вираженні становить 57,29 т проти 130,17 т, тобто економія складає 72,88 т на 1000 т вхідної сировини. Енергоспоживання

обладнання також є вигіднішим: наприклад, автоматизований аеродинамічний сепаратор споживає 1,63 кВт проти 2,63 кВт у традиційному варіанті. Продуктивність деяких машин у традиційній схемі може бути вищою (наприклад, віброрешітний сепаратор – 0,385 т/год проти 0,189 т/год), однак це не компенсує зростання втрат і зниження якості очищення. Загалом, удосконалена технологія дозволяє скоротити тривалість обробки (від 5068,8 до 22833,7 год проти 5670,6 до 24742,9 год у традиційній), зберігаючи кількість обслуговуючого персоналу на рівні 1 особи на машину. Отже, впровадження удосконаленої технології є економічно доцільним рішенням, що дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва, якість продукції та зменшити ресурсоємність процесу.

4 ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІБРОРЕШІТНОГО СЕПАРАТОРА

4.1 Експериментальні дослідження сепарації насіння соняшнику на віброрешітному сепараторі

Дослідження проводилися з використанням насіння соняшнику сорту Запорізький кондитерський (селекція ІОК НААН). Експериментальна перевірка розроблених теоретичних моделей здійснювалась на спеціалізованому стенді, змонтованому на базі сепаратора Cimbria Unigrain (рисунок 4.1). Для калібрування застосовувалися решета з отворами $3,6 \times 20$ мм трьох типів: пробивні, пруткові та високоточно виготовлені методом лазерного різання. Відхилення у розмірах отворів становили відповідно 0,08 мм, 0,04 мм і 0,002 мм, а корисна площа решіт сягала 0,43 для пробивних та 0,57 для двох інших типів.



Рисунок 4.1 – Зовнішній вигляд експериментального зразка адаптивного віброрешітного сепаратора

У якості змінних досліду були визначені основні технологічні параметри: витрата насіння (Q), кут нахилу решета (α) та частота його коливань (ψ). Згідно з попередніми дослідженнями, амплітуда коливань решета A мала незначний вплив на загальну продуктивність q (внесок фактора – 8,2 %). Тривалість одного експерименту становила 30 хв. Подачу насіння регулювали за допомогою каліброваної заслінки, змонтованої на бункері. Зміна кута нахилу решета здійснювалась шляхом коригування положення важелів, а контроль за кутом проводився за допомогою електронного інклінометра. Частота коливань решета узгоджувалась із частотою вібродвигуна і регулювалась за допомогою частотного перетворювача Danfoss.

Під час кожного досліду визначався фракційний склад насіння на вході, проході та виході з використанням набору решіт (3,0 мм – 4,0 мм з інтервалом 0,2 мм), лабораторного розсіву РЛУ-3 та ваг ТВЕ-0,6 (рисунок 4.2), відповідно до чинної методики.



а



б

Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд вагів ТВЕ-0,6 (а) і лабораторного розсіву РЛУ-3 (б)

Для проведення дослідів використовували насіннєву суміш соняшнику з вологістю 7,6–8,1 % та наступним розподілом за фракціями: 3,0–3,2 мм – 19,2 %, 3,2–3,4 мм – 22,4 %, 3,4–3,6 мм – 20,2 %, 3,6–3,8 мм – 17,9 %, 3,8–4,0 мм – 20,2 %. Неоднорідність цієї суміші за фракційним складом становила 2,7 %. Кожен експеримент включав обробку 200 кг насіннєвої маси на калібрувальній установці.

У процесі досліджень здійснювалось визначення концентрації кожної зернової фракції, що залишалась на решеті після сортування (схід, θ_c), а також тієї, що проходила крізь його отвори (прохід, θ_n). Оскільки використовували решето з отворами розміром $3,6 \times 20$ мм, ефективне розділення насіннєвої суміші передбачало мінімальну присутність фракцій розміром 3,0 мм, 3,2 мм, 3,4 мм і 3,6 мм у складі сходу (θ_{c1} , θ_{c2} , θ_{c3} , θ_{c4} відповідно).

На підставі результатів експерименту було побудовано графіки, що відображають залежність сумарної концентрації насіння та загальної продуктивності від змін досліджуваних параметрів. Для перевірки узгодженості експериментальних даних із теоретичними розрахунками застосовували коефіцієнт кореляції. Також за допомогою частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive здійснювалось вимірювання змін у споживанні потужності калібрувальною машиною залежно від варіацій вхідних факторів.

У процесі сортування насіннєвого матеріалу було виділено дві головні фракції: одна проходила крізь отвори решета (прохід 3,6), інша — залишалась на його поверхні (схід 3,6), що відображено на рисунку 4.3.



прохід 3,6



схід 3,6

Рисунок 4.3 – Складові фракції насіння соняшнику

У таблиці 4.1 подано результати експериментів з сепарації насіння соняшнику за геометричними розмірами.

Таблиця 4.1 – Результати експериментів з сепарації насіння соняшнику за геометричними розмірами

№	Q, кг/год	α , °	ψ , Гц	«Пробивні» решета			«Пруткові» решета			«Точні» решета		
				q, кг/год	θ , %	P, кВт	q, кг/год	θ , %	P, кВт	q, кг/год	θ , %	P, кВт
1	2100	7	5	1614	14,65	0,29	1988	14,01	0,35	1699	13,21	0,35
2	2100	1	5	1575	17,92	0,3	1926	16	0,35	1870	14,68	0,35
3	1100	7	5	1091	14,78	0,23	1295	13,77	0,28	1085	13,31	0,28
4	1100	1	5	1123	17,96	0,24	1288	16,03	0,28	1257	14,92	0,28
5	1600	4	5	1325	16,89	0,26	1519	14,81	0,31	1496	13,79	0,31
6	2100	4	6	1655	12,07	0,33	2077	10,72	0,37	1876	10,19	0,37
7	2100	4	4	1242	26,4	0,27	1475	24,46	0,33	1258	22,6	0,33
8	1100	4	6	1017	13,8	0,27	1214	12,16	0,3	1071	12,16	0,3
9	1100	4	4	745	24,66	0,21	843	22,52	0,26	719	20,1	0,26
10	1600	4	5	1384	16,87	0,26	1587	15,22	0,31	1437	13,66	0,31
11	1600	7	6	1256	12,32	0,3	1485	11,67	0,33	1356	11,65	0,33
12	1600	7	4	1099	22,51	0,24	1211	20,76	0,3	1112	19,49	0,3
13	1600	1	6	1470	12,74	0,3	1674	11,41	0,33	1670	10,77	0,33
14	1600	1	4	886	28,13	0,23	987	25,2	0,3	950	23,23	0,3
15	1600	4	5	1342	16,55	0,26	1596	15,31	0,31	1543	14,08	0,31

Оцінка результатів експериментальних досліджень процесу сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику за геометричними розмірами дозволила встановити характер впливу основних технологічних параметрів – продуктивності подачі матеріалу (Q), кута нахилу решета (α) та частоти коливань (ψ) – на ефективність сортування на трьох типах решіт: пробивних, пруткових та точних.

Аналіз отриманих даних показав, що зниження подачі насіннєвого матеріалу з 2100 до 1100 кг/год сприяє підвищенню точності сепарації при одночасному зменшенні споживаної потужності. Так, наприклад, у дослідях з Q = 1100 кг/год (досліди 3, 4, 8, 9) точність сортування θ сягала 24–25%, тоді як за подачі 2100 кг/год (досліди 1, 2, 6, 7) вона знижувалася до 10–17%. Водночас продуктивність сепараторів за зменшеної подачі є нижчою, що свідчить про наявність компромісу між продуктивністю та якістю розділення. З практичної точки зору, режим роботи

з середнім значенням подачі (1600 кг/год) є найбільш збалансованим.

Суттєвий вплив на ефективність сепарації має також кут нахилу решета. При зменшенні кута з 7° до 1° відбувається істотне підвищення точності сортування. Найкращі результати зафіксовано при $\alpha = 1^\circ$ – наприклад, у досліді 14 при $Q = 1600$ кг/год, $\psi = 4$ Гц, θ на пробивному решеті становила 28,13%, що є максимальним значенням серед усіх дослідів. Це пояснюється тим, що при малому куті нахилу збільшується час взаємодії частинок із поверхнею решета, що сприяє кращому фракційному розділенню. Водночас за надмірно малого кута зростає ймовірність перегрузки поверхні решета, що може призвести до зниження загальної продуктивності.

Частота коливань (ψ) віброрешета також істотно впливає на параметри сепарації. Встановлено, що зі збільшенням частоти з 4 до 6 Гц зростає продуктивність сепаратора, однак при цьому знижується точність розділення фракцій. Наприклад, у досліді 6 ($\psi = 6$ Гц, $Q = 2100$ кг/год) θ на точному решеті становила лише 10,19%, тоді як у досліді 7 ($\psi = 4$ Гц, за тих самих Q і α) – 22,6%. Це зумовлено зменшенням часу перебування частинок на решеті при високій частоті коливань, що ускладнює їх фракціонування.

Оцінка роботи трьох типів решіт дозволила виявити їх функціональні особливості. Пробивні решета забезпечили найвищу точність сепарації – до 28,13% при відносно низькому енергоспоживанні (0,21–0,3 кВт). Пруткові решета показали дещо вищу продуктивність при зниженій точності, натомість точні решета демонструють стабільний рівень продуктивності та якості розділення з незначно вищим енергоспоживанням.

Таким чином, за результатами досліджень можна зробити висновок, що оптимальний режим сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику досягається за наступних параметрів: подача матеріалу $Q = 1600$ кг/год, кут нахилу решета $\alpha = 1^\circ$, частота коливань $\psi = 4$ Гц. У таких умовах спостерігається максимальна точність сепарації при збереженні достатнього рівня продуктивності та помірного енергоспоживання. Результати можуть бути використані для налаштування технологічного режиму в адаптивних віброрешітних сепараторах з метою

підвищення якості фракціонування насіннєвого матеріалу в аграрному виробництві.

Оптимальні режимно-технологічні умови процесу калібрування насіння соняшнику за допомогою вібруючого решета подано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Оптимальні параметри режиму та технологічного процесу калібрування насіння соняшнику з використанням вібраційного решета

Вид решета	$Q = q$, кг/год	α , °	ψ , Гц	θ , %	P , кВт
«Пробивні»	1115	4,4	5,4	14,53	0,23
«Пруткові»	1517	6,1	5,4	12,44	0,29
«Точні»	1780	4,9	5,8	10,40	0,34

З аналізу таблиці 4.2 можна зробити висновок, що найбільш високі показники ефективності забезпечують точні решета, виготовлені із застосуванням лазерного різання. Вони характеризуються найкращим поєднанням продуктивності ($q = 1780$ кг/год), якості калібрування ($\theta = 10,4\%$) та споживаної потужності ($P = 0,34$ кВт). Найсприятливішими для їх роботи виявилися параметри: частота коливань $\psi = 5,8$ Гц і кут нахилу $\alpha = 4,9^\circ$.

4.2 Конструктивно-технологічна схема автоматизованого віброрешітного сепаратора

Автоматизований віброрешітний сепаратор (рис. 4.4) складається з станини 1, до якої прикріплений кузов 4 за допомогою передніх і задніх пневмоподушок 2 і 3. Кузов містить решітну рамку 5 з відповідними отворами для сортування матеріалу. В кінці рамки є область без отворів. На станині розташований приймальний пристрій 6, що складається з бункера 7 та заслінки 8, яка з'єднана з ротором крокового електродвигуна 9. Кузов має два вікна для вивантаження – для сходу 10 і для проходу 11. Бокові електровібратори 12 встановлені під певним кутом до рамки 5. Пневмоподушки з'єднані з електроклапанами високого і атмосферного тиску та електронними датчиками тиску, що дозволяє регулювати

тиск і кут нахилу решітної рамки. Кроковий електродвигун 9 та електровібратори 12 керуються через блоки, з'єднані з персональним комп'ютером 26, на якому запущено програмне забезпечення для автоматичного налаштування параметрів.

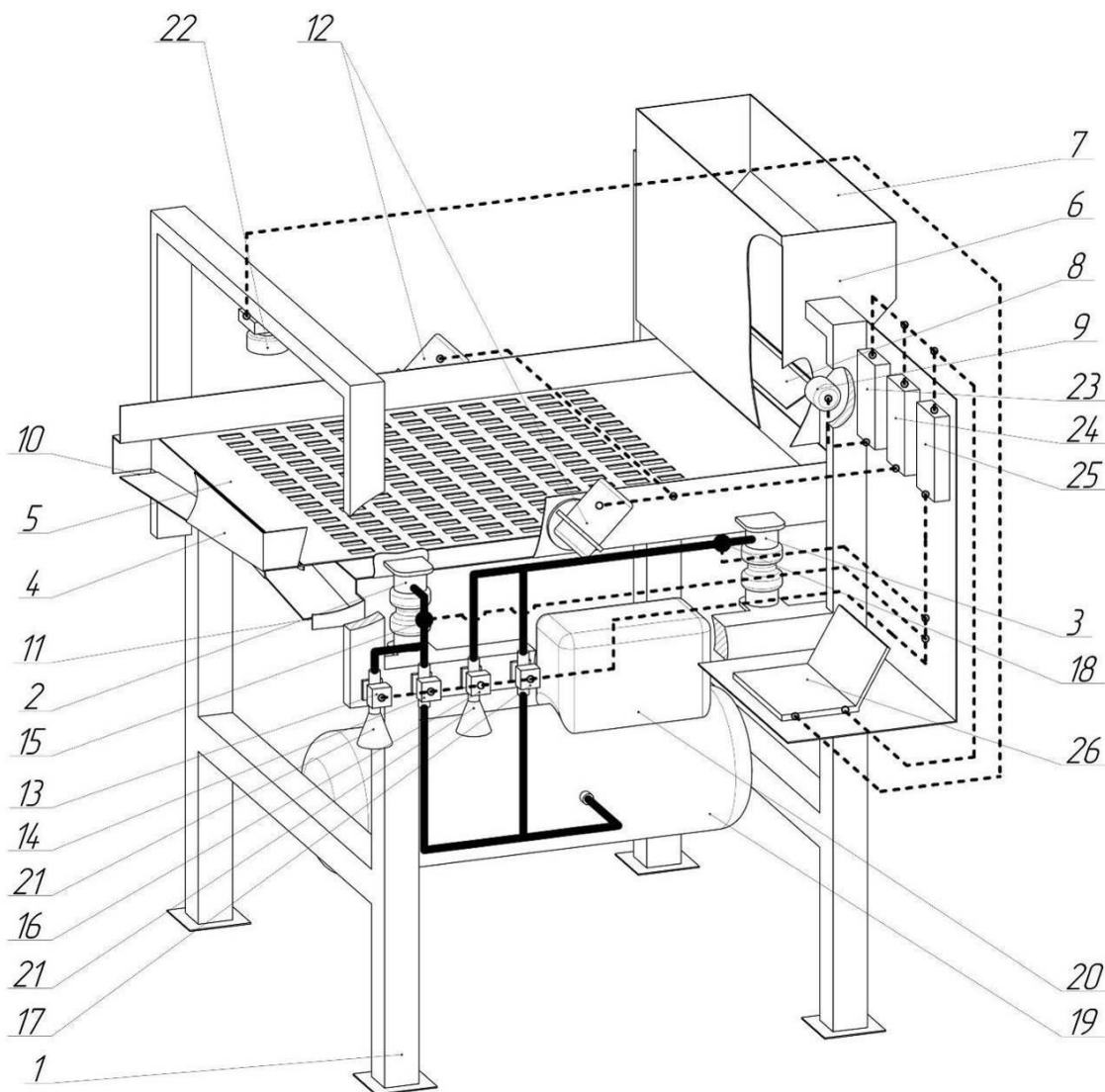


Рисунок 4.4 – Конструктивно-технологічна схема автоматизованого віброрешітного сепаратора

Процес сепарації починається з подачі матеріалу в бункер 7, де запуск алгоритму ініціює максимальну подачу матеріалу та найбільший кут нахилу решітної рамки. Зміна параметрів, таких як подача матеріалу, частота вібрації та кут нахилу, регулюється через блоки керування. Зерно проходить через решітну

рамку, де розділяється на дві фракції: "прохід" і "схід". Фракція "схід" потрапляє під фотокамеру 22, що періодично робить знімки для аналізу.

Зображення передаються в персональний комп'ютер, де програмне забезпечення обробляє дані і коригує параметри сепаратора для досягнення бажаної концентрації насіння. Використання автоматизованого сепаратора дозволяє автоматично налаштовувати параметри для ефективного процесу сепарації завдяки інтеграції пневмоподушок, електродвигунів і датчиків тиску.

Визначення фракційного складу насіння соняшнику здійснюється шляхом отримання зображення насіннєвої суміші на поверхні та подальшої обробки за допомогою вдосконаленого методу аналізу зображень, який дозволяє скоротити час підготовки та зйомки. Контури насінин автоматично ідентифікуються, а такі параметри, як довжина (L), ширина (B), площа (S) і периметр (P), розраховуються на основі цифрових зображень.

Алгоритм включає такі етапи (рис. 4.5): вибір прямокутної області на зображенні фракції зерна, проведення морфологічних перетворень для усунення шуму та об'єднання розділених зон, а також автоматичне визначення контурів насіння з обчисленням геометричних параметрів.

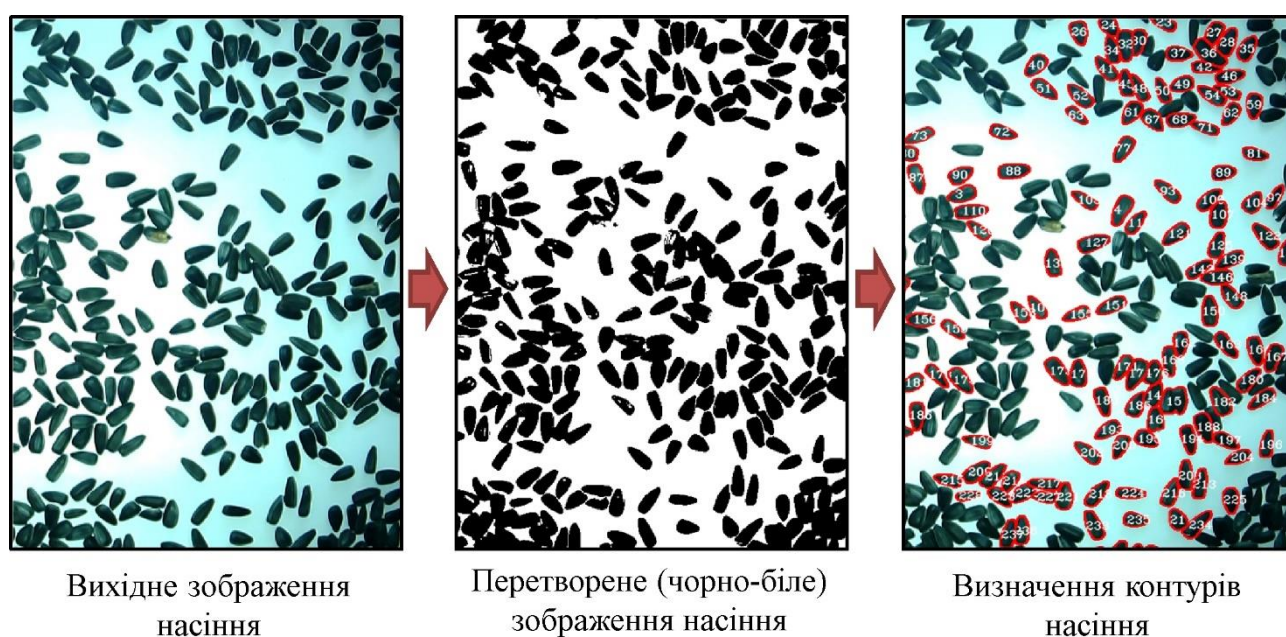


Рисунок 4.5 – Кроки обробки зображення

Обробка зображень виконується в три кроки: перше – перетворення зображення в чорно-біле, друге – видалення шумів за допомогою морфологічних операцій, третє – визначення контурів насіння через детектори границь і перетворення Хафа, що дозволяє отримати координати кожного насіння. Для обчислення площі та периметра застосовуються функції OpenCV, а для визначення довжини та ширини насіння – максимальні відстані між точками по периметру та перпендикулярні сегменти.

Далі за допомогою нормального розподілу виділяються складові інтегральної кривої розподілу щільності ймовірності для оцінки геометричних розмірів насінин. Це дозволяє визначити фракційний склад насіннєвої суміші, який відображається у відсотках.

4.3 Виробнича перевірка автоматизованого віброрешітного сепаратора

Для виробничої перевірки конструкції та технології автоматизованого віброрешітного сепаратора на калібрувальній машині Cimbria Unigrain була встановлена фотокамера та джерело освітлення. Зовнішній вигляд цього обладнання показаний на рисунку 4.1. Схема підключення елементів експериментального зразка автоматизованого віброрешітного сепаратора надана на рисунку 4.6.

Експеримент складався з двох етапів. На першому етапі були використані оптимальні параметри роботи сепаратора, згідно з таблицею 4.3. На другому етапі застосовувалася автоматизована система керування режимними параметрами сепаратора, що базується на алгоритмі, представленому на рисунку 4.7. Кожен етап був повторений десять разів на насіннєвих сумішах з різним фракційним складом сорту Запорізький кондитерський. Критерієм оцінки якості сепарації було значення сумарної концентрації насіння (θ) і продуктивності (q).

У таблиці 4.3 представлено результати експериментального дослідження роботи автоматизованого віброрешітного сепаратора. Застосування запропонованого алгоритму під час дворазової обробки насіннєвої суміші

забезпечує досягнення продуктивності на рівні $q = 188 \pm 12$ кг/год і загальної концентрації насіння $\theta = 3,3 \pm 1,2$ %.

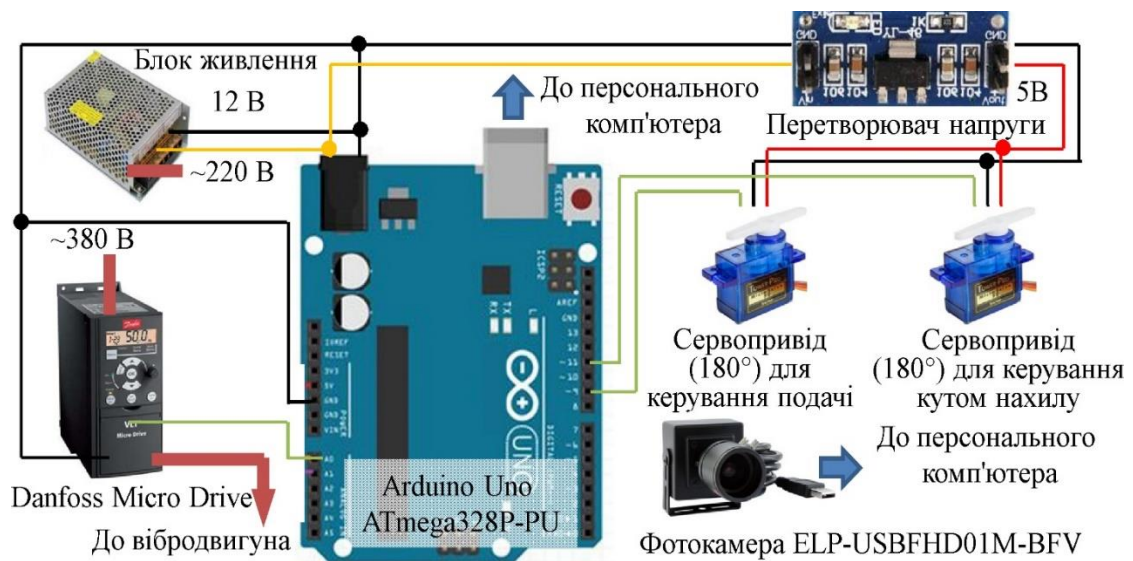
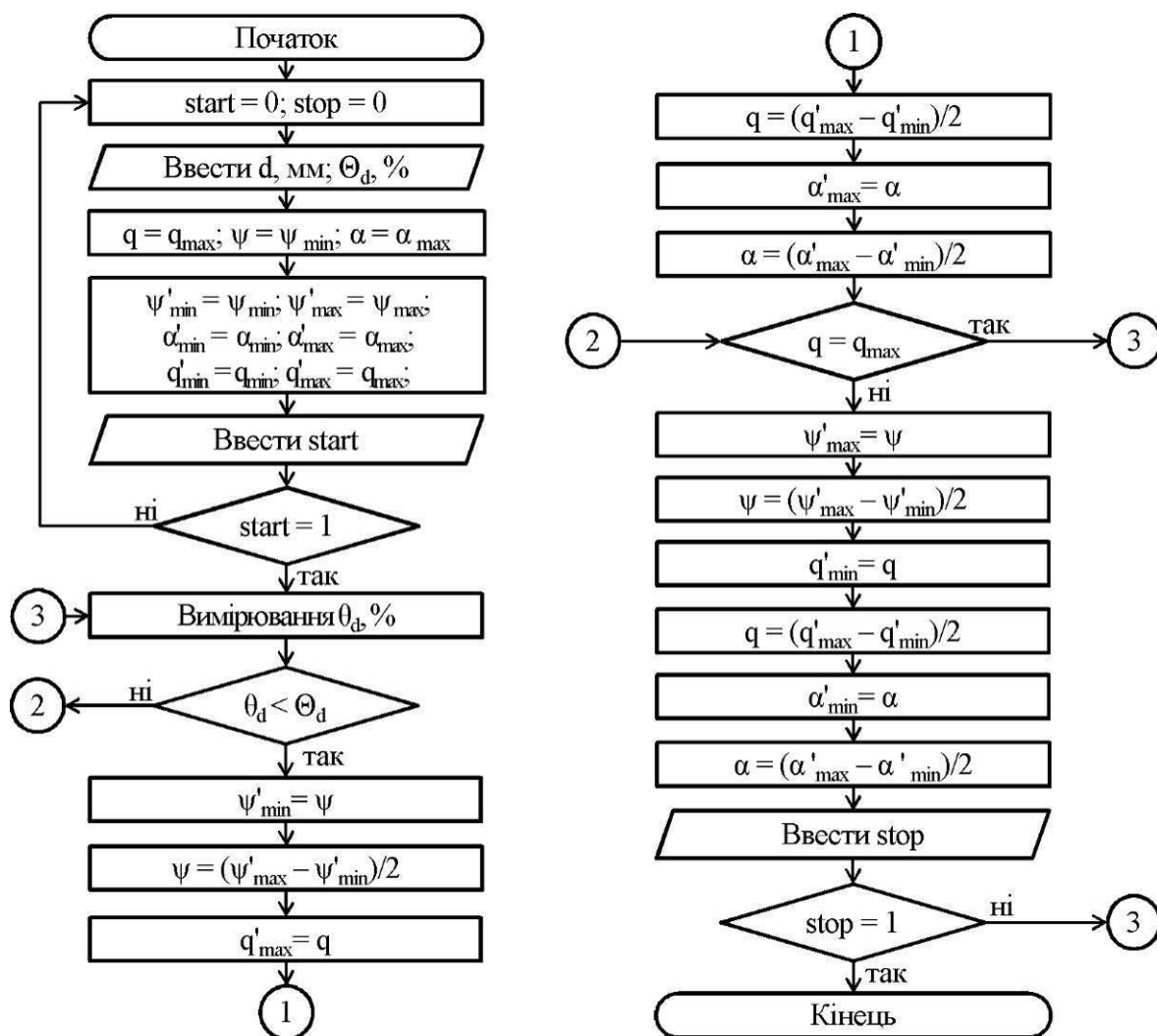


Рисунок 4.6 – Схема електричних з'єднань компонентів автоматизованого віброрешітного сепаратора

Таблиця 4.3 – Висновки з виробничого аналізу автоматизованого віброрешітного сепаратора

№	І етап очищення				ІІ етап очищення			
	Оптимальні параметри		Створений алгоритм		Оптимальні параметри и		Створений алгоритм	
	Q, кг/ГОД	ε, %	Q, кг/ГОД	ε, %	Q, кг/ГОД	ε, %	Q, кг/ГОД	ε, %
1	331	9,2	376	7,4	179	8,1	181	3
2	341	9,6	376	7,4	178	8	185	3
3	349	10	365	6,8	184	7,3	186	2,4
4	333	9,2	369	7	183	7,6	181	2,6
5	392	12,1	423	9,6	157	10,2	210	5,2
6	379	11,5	428	9,9	153	10,4	201	5,5
7	327	8,9	376	7,4	179	8,1	179	3
8	332	9,2	373	7,2	181	7,8	181	2,8
9	396	12,3	417	9,4	160	10	212	5
10	335	9,3	361	6,6	188	7,1	181	2,2
Сер.	352	10,1	386	7,9	174	8,5	190	3,5
Відх.	28	1,4	27	1,4	14	1,4	14	1,4



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

Рисунок 4.7 – Програмний алгоритм автоматизованого віброрешітного сепаратора

Висновки за розділом

Експериментальні дослідження процесу сепарації насіння соняшнику на віброрешітному сепараторі показали, що основні технологічні параметри – продуктивність подачі матеріалу (Q), кут нахилу решета (α) та частота коливань (ψ) – значно впливають на ефективність сортування. Оптимальним режимом сепарації є значення параметрів: $Q = 1600$ кг/год, $\alpha = 1^\circ$, $\psi = 4$ Гц. За таких умов досягається

максимальна точність сепарації (28,13% для пробивних решіт) при збереженні достатнього рівня продуктивності та помірного енергоспоживання.

Пробивні решета продемонстрували найкращу точність сортування, але знижена продуктивність порівняно з іншими типами решіт. Пруткові решета забезпечили більш високу продуктивність, але знижена точність. Точні решета, виготовлені методом лазерного різання, продемонстрували стабільно високі показники якості сортування та енергоспоживання, що робить їх найбільш ефективними для процесу калібрування насіння.

Результати експерименту можуть бути використані для налаштування технологічного режиму у віброрешітних сепараторах з метою оптимізації процесу фракціонування насіннєвого матеріалу в аграрному виробництві.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Охорона праці в цеху з підготовки насіння кондитерського соняшнику до переробки

Загальні вимоги до охорони праці в цеху. Охорона праці в цеху з підготовки насіння кондитерського соняшнику є важливим аспектом для забезпечення безпеки працівників, зниження рівня виробничих травм і професійних захворювань. Основними вимогами до охорони праці є створення безпечних умов праці, своєчасне усунення виробничих ризиків, проведення навчань і інструктажів для персоналу, забезпечення працівників засобами індивідуального захисту та забезпечення контролю за дотриманням вимог нормативних актів.

Цех з підготовки насіння соняшнику включає кілька етапів виробничого процесу: очищення насіння, його сортування, попереднє кондиціювання та зберігання. Враховуючи механічні, фізичні та хімічні процеси, що відбуваються на кожному етапі, важливо забезпечити належні умови праці для усіх працівників.

Оцінка ризиків та небезпечні фактори. При здійсненні технологічних процесів на етапі підготовки насіння соняшнику можуть виникати різноманітні небезпечні фактори, які можуть впливати на здоров'я працівників та технічний стан обладнання.

1. *Механічні небезпеки.* Відбуваються через використання різноманітних машин і механізмів для очищення насіння (сито, сепаратори, дробарки, транспортуючі системи). Небезпеки виникають через можливість травмування працівників обертальними частинами, гострими краями машин, можливими ударами або заклиненням матеріалу.

2. *Шумове навантаження.* На деяких етапах обробки насіння, зокрема під час роботи з великими машинами, виникає підвищений рівень шуму. Тривала дія високих рівнів шуму може призвести до втрати слуху або нервових розладів у працівників.

3. *Пил та забруднення повітря.* При очищенні насіння та його сортуванні утворюється велика кількість пилу, який може мати шкідливий вплив на органи дихання. Постійний вплив пилу може призвести до розвитку захворювань дихальних шляхів, таких як бронхіти або алергічні реакції.

4. *Електричні небезпеки.* Встановлене обладнання та електричні системи можуть бути джерелом небезпеки через неправильне заземлення, порушення в ізоляції або несправності обладнання.

5. *Пожежна небезпека.* Насіння соняшнику є горючим матеріалом, тому на всіх етапах обробки насіння важливо дотримуватись норм пожежної безпеки. Небезпека виникнення пожежі може виникнути через електричні замикання, перегрівання обладнання або накопичення пилу.

Організація охорони праці в цеху. Для забезпечення охорони праці в цеху необхідно здійснити низку організаційних заходів:

1. *Розробка інструкцій і стандартів.* Для кожного працівника повинні бути розроблені інструкції з охорони праці, що містять чіткі вказівки щодо безпечного виконання роботи на кожному етапі технологічного процесу. Це включає правила поведінки з обладнанням, вимоги до використання засобів індивідуального захисту, а також порядок дій у разі виникнення аварійних ситуацій.

2. *Навчання та інструктажі.* Всі працівники, які працюють в цеху, повинні пройти навчання з охорони праці, що включає теоретичну частину та практичні заняття. Інструктажі повинні проводитись регулярно, особливо у разі змін у технологічному процесі чи при введенні нового обладнання.

3. *Керівництво цехом.* За безпеку праці на виробництві відповідають керівники цеху, які повинні забезпечувати контроль за виконанням вимог охорони праці. Вони також відповідають за регулярні перевірки технічного стану обладнання та здійснення профілактичних робіт.

4. *Контроль за станом здоров'я працівників.* Регулярні медичні огляди працівників є необхідною умовою для своєчасного виявлення професійних

захворювань. Окрім того, при необхідності працівникам надаються спеціальні засоби захисту (респіратори, засоби захисту від шуму).

Заходи безпеки при роботі з обладнанням.

1. *Очищення та сортування насіння.* Під час роботи з обладнанням для очищення насіння (сито, сепаратори, вібратори) необхідно забезпечити належне заземлення обладнання, встановити огороження для обертальних частин та провести регулярне технічне обслуговування. Під час роботи з вібраційними установками працівники повинні використовувати засоби захисту від шуму.

2. *Використання засобів індивідуального захисту.* Для захисту працівників від пилу та шуму необхідно забезпечити їх відповідними респіраторами та навушниками. У випадку роботи з електричними установками працівники повинні використовувати спеціальне ізоляційне обладнання та дотримуватись вимог безпеки при роботі з електрикою.

3. *Пожежна безпека.* Для попередження пожеж необхідно забезпечити правильне функціонування протипожежних систем (вогнегасники, спринклерні системи), регулярне очищення обладнання від пилу та забезпечення необхідних пожежних інструментів на кожному робочому місці.

Заходи щодо зниження впливу шкідливих факторів.

1. *Пиловий контроль.* Для зниження рівня пилу в цеху необхідно встановити сучасні вентиляційні системи з фільтрацією, а також регулярно проводити очищення робочих зон та технічного обладнання від пилу.

2. *Захист від шуму.* Всі ділянки з високим рівнем шуму повинні бути обладнані шумозахисними перегородками або спеціальними поглинаючими матеріалами. Працівники повинні мати засоби індивідуального захисту від шуму.

3. *Підвищення санітарно-гігієнічних умов.* Для зниження ризику захворювань через тривалу роботу в умовах підвищеного шуму та пилу, необхідно забезпечити працівникам перерви, правильну організацію вентиляції та комфортні умови для роботи.

5.2 Захист навколишнього середовища

Захист навколишнього середовища є важливим етапом у будь-якому виробничому процесі, оскільки сучасна промисловість, зокрема агропереробна, може мати значний вплив на екосистеми. У разі неправильного управління виробничими відходами, викидами та використанням природних ресурсів, можуть виникнути серйозні екологічні проблеми. З цієї причини захист навколишнього середовища в агропереробних цехах, зокрема в цеху з підготовки насіння кондитерського соняшнику до переробки, є важливим напрямом екологічної політики підприємства.

У цьому розділі буде розглянуто основні принципи захисту навколишнього середовища в цеху з підготовки насіння соняшнику до переробки, а також заходи, що допомагають знижувати негативний вплив на екологічні системи.

Основні джерела забруднення. Процес підготовки насіння соняшнику до переробки включає кілька технологічних етапів, під час яких можуть виникати різні види забруднень навколишнього середовища. Найбільші ризики для довкілля пов'язані з наступними факторами:

1. *Викиди пилу.* Під час очищення та сортування насіння, а також при його транспортуванні, утворюється пил, який може забруднювати атмосферу. Пил, у свою чергу, є шкідливим для здоров'я працівників, а також може сприяти погіршенню якості повітря в навколишніх населених пунктах.

2. *Шумове забруднення.* Використання великого механізованого обладнання, такого як сепаратори, дробарки та вібраційні установки, супроводжується високим рівнем шуму. Це може впливати на здоров'я працівників, а також спричиняти шумове забруднення навколишнього середовища.

3. *Викиди вуглекислого газу (CO_2).* В результаті використання енергетичних ресурсів, таких як газ та електрична енергія, на підприємстві відбуваються викиди парникових газів, зокрема CO_2 . Вони сприяють зміні клімату, глобальному потеплінню та іншим екологічним проблемам.

4. *Витрати води та забруднення водних ресурсів.* Для деяких етапів виробничого процесу необхідне використання води, наприклад, для кондиціонування насіння. Витрати води та можливе забруднення водних ресурсів хімічними речовинами, які використовуються при обробці насіння, є важливим аспектом, що потребує особливої уваги.

5. *Твердий та рідкий відхід.* Виробничі процеси можуть супроводжуватися утворенням відходів, таких як шроти, залишки насіння та хімічні засоби для обробки насіння. Неправильне зберігання та утилізація таких відходів можуть призвести до забруднення ґрунту та води.

Принципи екологічно безпечного виробництва. Для зниження впливу виробництва на навколишнє середовище важливо дотримуватись ряду принципів екологічно безпечного виробництва:

1. *Раціональне використання природних ресурсів.* Виробництво повинно забезпечувати ефективне використання природних ресурсів — води, енергії, сировини. Це досягається через впровадження енергозберігаючих технологій, переробку відходів і використання поновлюваних джерел енергії.

2. *Зниження рівня забруднень.* Використання технологій, які дозволяють мінімізувати викиди пилу та газів у атмосферу, а також запобігати забрудненню води і ґрунту. Це включає встановлення ефективних фільтраційних систем, очищення виробничих стоків та системи збору і переробки відходів.

3. *Інтеграція принципів сталого розвитку.* Використання принципів сталого розвитку, що передбачають поєднання економічної вигоди з мінімальним впливом на екологію. Це включає в себе впровадження програм з енергозбереження, повторного використання води, а також управління відходами через їх переробку або утилізацію.

4. *Управління екологічними ризиками.* Виявлення можливих екологічних ризиків і розробка системи моніторингу та запобіжних заходів. Це дозволяє своєчасно реагувати на будь-які порушення екологічних норм і запобігати їх негативному впливу.

Заходи щодо зниження впливу на атмосферу.

1. *Пиловий контроль.* Одним з основних джерел забруднення атмосфери на підприємстві є пил, що утворюється при обробці насіння. Для зменшення пилу встановлюються пиловловлюючі системи, а також автоматичні системи вентиляції з ефективними фільтрами, які очищають повітря від пилу і зменшують його концентрацію в цеху та викиди в атмосферу.

2. *Шумозахисні заходи.* Для зменшення шумового забруднення встановлюються звукоізоляційні матеріали на обладнанні, що генерує високий рівень шуму. Також використовуються захисні кожухи, шумопоглинаючі екрани та кабінки для операторів, що працюють з гучним обладнанням.

3. *Енергозбереження.* Зменшення енергоспоживання допомагає не лише знизити витрати на виробництво, а й зменшити викиди CO₂. Впровадження сучасних енергозберігаючих технологій, таких як використання LED-освітлення, енергоефективних двигунів та автоматичних систем управління енергоспоживанням, дозволяє значно зменшити навантаження на навколишнє середовище.

4. *Використання альтернативних джерел енергії.* Впровадження відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні панелі чи біогазові установки, дозволяє зменшити залежність від викопних видів палива та знижує рівень парникових газів, що викидаються в атмосферу.

Заходи щодо водних ресурсів.

1. *Зниження витрат води.* Важливим етапом є зменшення водоспоживання на кожному етапі виробничого процесу. Це досягається через використання замкнутих циклів водопостачання, ефективних систем водозабору і водовідведення, а також використання технологій, що дозволяють повторно використовувати воду в межах підприємства.

2. *Очищення стоків.* Для запобігання забрудненню водних ресурсів відходами виробництва встановлюються ефективні системи очищення стоків, які дозволяють мінімізувати викиди хімічних та біологічних забруднювачів у водоймища. Очищення включає механічні, хімічні та біологічні методи очищення води, що дають змогу відповідати екологічним стандартам.

3. *Використання дощової води.* Для зменшення навантаження на водні ресурси, а також для зниження витрат на водопостачання, на підприємстві може бути організована система збору та використання дощової води для технічних потреб (полив, очищення обладнання тощо).

Управління відходами.

1. *Переробка та утилізація відходів.* Всі відходи, що утворюються в процесі підготовки насіння соняшнику, повинні підлягати переробці або утилізації. Це включає відходи в вигляді шротів, насіннєвих залишків, а також упаковки та пластикових матеріалів. Відходи можна використовувати для виготовлення добрив або кормів для тварин, що дозволяє зменшити негативний вплив на довкілля.

2. *Компостування органічних відходів.* Для органічних відходів можуть бути застосовані методи компостування, що дозволяє знизити їх обсяги та отримати добрива для сільськогосподарських потреб.

3. *Екологічно безпечне зберігання.* Усі хімічні речовини та матеріали, що використовуються у виробничих процесах, повинні зберігатись в умовах, що відповідають екологічним вимогам, щоб уникнути їх попадання в навколишнє середовище.

Висновки за розділом

1. Охорона праці в цеху з підготовки насіння кондитерського соняшнику має велике значення для забезпечення безпеки працівників та збереження здоров'я. Оцінка ризиків, організація навчань, застосування засобів індивідуального захисту та регулярний контроль за станом здоров'я працівників є основними кроками для досягнення безпеки на виробництві.

2. Захист навколишнього середовища є ключовим аспектом у діяльності кожного підприємства. В цеху з підготовки насіння кондитерського соняшнику до переробки повинні бути розроблені та впроваджені комплексні заходи для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Це включає в себе раціональне використання природних ресурсів, зниження викидів у атмосферу, очистку водних ресурсів та управління відходами.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

6.1 Розрахунок економічних показників удосконаленої технологічної лінії підготовки насіння кондитерського соняшнику до переробки

Порівняльний аналіз економічної ефективності впровадження удосконаленої технологічної лінії підготовки насіння кондитерського соняшнику базується на розрахунку таких показників: затрати на електроенергію; трудові витрати амортизаційні витрати; витрати на ремонт і технічне обслуговування (ТО); загальні експлуатаційні витрати; капітальні вкладення; термін окупності; рівень економії.

Порівнюються дві технологічні лінії: традиційна та удосконалена. У таблиці 6.1 наведені результати розрахунку по кожній одиниці обладнання.

Загальні втрати:

$$З_{\text{заг}} = З_{\text{ел}} + З_{\text{праця}} + З_{\text{амортиз}} + З_{\text{ремонт}}$$

Річна амортизація (пряма методика):

$$З_{\text{амортиз}} = \frac{В_{\text{машини}}}{Т_{\text{експл}}}$$

де $Т_{\text{експл}}$ – строк експлуатації (умовно приймемо 5 років для кожної машини).

Загальні капітальні вкладення:

$$КВ = \sum В_{\text{машини}}$$

Сума загальних втрат по лінії:

$$СЗВ = \sum З_{\text{заг}}$$

Річна економія внаслідок модернізації:

$$Е = СЗВ_{\text{традиц}} - СЗВ_{\text{удоск}}$$

Термін окупності:

$$Т_{\text{окуп}} = \frac{КВ_{\text{удоск}} - КВ_{\text{традиц}}}{Е}$$

Зведені результати по кожній лінії

Удосконалена технологічна лінія

Показник	Значення, грн
Вартість обладнання	1035000,00
Загальні втрати (експлуатаційні)	5712025,44

Традиційна технологічна лінія

Показник	Значення, грн
Вартість обладнання	690000,00
Загальні втрати (експлуатаційні)	4488235,28

Порівняльна економічна оцінка.

Капітальні вкладення

$$KB_{\text{удоск}} = 105000 + 180000 + 225000 + 525000 = 1035000 \text{ грн}$$

$$KB_{\text{традиц}} = 70000 + 120000 + 150000 + 350000 = 690000 \text{ грн}$$

Загальні витрати

$$CЗB_{\text{удоск}} = 609304,39 + 442872,76 + 720641,77 + 3955206,52 = 5712025,44 \text{ грн}$$

$$CЗB_{\text{традиц}} = 623536,27 + 175762,68 + 479805,02 + 3209131,31 = 4488235,28 \text{ грн}$$

Порівнюючи вартість обладнання, можна побачити, що всі автоматизовані машини значно дорожчі за їх традиційні аналоги. Зокрема, загальна вартість машин в удосконаленій лінії становить 1 035 000 грн, тоді як у традиційній — 690 000 грн, що на 345 000 грн більше.

Щодо енергоспоживання, удосконалена лінія виявилася економнішою — сумарне споживання електроенергії складає 70 222,0 кВт·год, що на 5 201,5 кВт·год (або 6,9%) менше порівняно з традиційною лінією. Це зумовлює також зменшення витрат на електроенергію: 202 942,81 грн проти 223 753,94 грн, що дає економію 20 811,13 грн (близько 9,3%).

Трудові витрати в удосконаленій лінії також нижчі — 43 617,3 люд.·год. порівняно з 47 653,8 люд.·год. у традиційній, що становить економію на 4 036,5 люд.·год. (приблизно 8,5%). Однак, витрати на оплату праці в удосконаленій системі вищі — 1 679 165,73 грн проти 1 641 171,23 грн. Це може бути пов'язано з

тим, що обслуговування автоматизованого обладнання потребує персоналу вищої кваліфікації з відповідно вищою оплатою праці.

Удосконалена лінія має істотно більші витрати на амортизацію та технічне обслуговування, що пов'язано з вищою вартістю обладнання. Загальні витрати на амортизацію та ремонт складають по 1 927 909,0 грн відповідно, тоді як у традиційній — по 1 391 154,04 грн, що на 536 754,96 грн більше за кожною статтею.

У підсумку, загальні втрати на удосконалену технологічну лінію становлять 5 728 025,44 грн, що на 1 233 790,16 грн (близько 27,5%) перевищує загальні втрати традиційної лінії (4 494 235,28 грн).

Таким чином, удосконалена лінія характеризується вищим рівнем автоматизації, меншою витратою електроенергії та трудових ресурсів, однак потребує значно більших капіталовкладень та супутніх витрат на обслуговування і амортизацію обладнання. Попри вищі початкові витрати, удосконалена лінія може забезпечити кращу якість продукції, стабільність процесу та потенційно вищу продуктивність, що робить її доцільною для підприємств із більшими виробничими обсягами або вимогами до високої якості сепарації.

Річна економія

$$E = 4488235,28 - 5712025,44 = -1223790,16 \text{ грн (збільшення витрат)}$$

Удосконалена лінія потребує більших поточних витрат, але має потенційно вищу якість сепарації та менші втрати продукту (можна врахувати окремо економію від підвищення виходу придатного насіння).

Оцінка окупності з урахуванням додаткового доходу. Нехай унаслідок поліпшення якості сепарації вдається підвищити вихід кондиційного насіння на 3%, що дає додатковий прибуток 2 000 000 грн на рік.

Тоді:

$$E' = 2\,000\,000 - 1\,223\,790,16 = 776\,209,84 \text{ грн}$$

$$T_{\text{окуп}} = 1035000 - 690000 / 776209,84 \approx 0,44 \text{ року} \approx 5,3 \text{ місяця}$$

Висновки за розділом

Удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику забезпечує зниження витрат електроенергії та трудових ресурсів завдяки автоматизації, однак потребує значно більших інвестицій в обладнання, амортизацію та обслуговування. Вона доцільна для підприємств, які прагнуть підвищити якість продукції та ефективність виробництва, попри вищі загальні витрати. Капітальні витрати на удосконалену лінію більші на 345 000 грн. Економічний ефект складає 776 209,84 грн. Операційні витрати також вищі, проте за рахунок підвищення продуктивності та якості технологія може окупитись менше ніж за 6 місяців.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Україна зберігає провідні позиції у виробництві кондитерського соняшнику, що свідчить про стабільність і перспективність ринку. Основними напрямками розвитку є вдосконалення агротехнологій, розширення посівних площ та оновлення переробного обладнання. Застосування сучасних технологій очищення забезпечує високу якість продукції й підвищує її конкурентоспроможність на світовому ринку.

2. Сепарація насіння ґрунтується на його фізико-механічних властивостях і здійснюється за допомогою різних типів обладнання, кожне з яких розділяє за певною ознакою. Комплексне поєднання решітного, пневмосепараційного, трієрного та оптичного обладнання у вдосконаленій лінії дозволяє ефективно видаляти домішки, зменшувати втрати кондиційного матеріалу та забезпечувати стабільну якість очищення для харчового використання.

3. Удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику забезпечує вищу якість очищення (94,9–95,8% проти 93,1–93,8%), майже вдвічі менші втрати кондиційного насіння (1,2–2,1% проти 3,2–3,9%) та нижче енергоспоживання. Незважаючи на меншу продуктивність окремих машин, загальна ефективність лінії зростає завдяки економії сировини, зменшенню тривалості обробки та стабільному рівню трудовитрат. Впровадження цієї технології є економічно доцільним і сприяє підвищенню якості продукції.

4. Експериментальні дослідження віброрешітного сепаратора показали, що ефективність сортування насіння соняшнику залежить від продуктивності подачі (Q), кута нахилу решета (α) та частоти коливань (ψ). Оптимальні параметри — $Q = 1600$ кг/год, $\alpha = 1^\circ$, $\psi = 4$ Гц — забезпечують найвищу точність сепарації (28,13%) при помірному енергоспоживанні. Найкращі результати дали точні решета, виготовлені лазерним різанням, що робить їх найефективнішими для калібрування насіння. Отримані дані можуть бути використані для оптимізації технологічного режиму фракціонування.

5. Охорона праці в цеху з підготовки насіння соняшнику є важливою для безпеки працівників та збереження здоров'я. Основними заходами є оцінка ризиків, навчання, використання засобів захисту та контроль за здоров'ям працівників. Охорона навколишнього середовища вимагає впровадження заходів для зменшення впливу на природу, зокрема раціонального використання ресурсів, зниження викидів та очищення води.

6. Удосконалена технологічна лінія сепарації насіння кондитерського соняшнику забезпечує зниження витрат електроенергії та трудових ресурсів завдяки автоматизації, однак потребує значно більших інвестицій в обладнання, амортизацію та обслуговування. Вона доцільна для підприємств, які прагнуть підвищити якість продукції та ефективність виробництва, попри вищі загальні витрати. Капітальні витрати на удосконалену лінію більші на 345 000 грн. Економічний ефект складає 776 209,84 грн. Операційні витрати також вищі, проте за рахунок підвищення продуктивності та якості технологія може окупитись менше ніж за 6 місяців.

Література

1. Алієв Е. Б. Автоматичне фенотипування насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Київ: Аграрна наука, 2022. 104 с.
2. Алієв Е. Б. Адаптивний віброрешітний сепаратор. Патент України на винахід 120235. Заявник: ІОК НААН, 2019. Заявл. 25.10.2019. Опубл. 25.10.2019, бюл. № 20.
4. Алієв Е. Б. Фізико-математичні моделі процесів прецизійної сепарації насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Запоріжжя: СТАТУС, 2019. 196 с.
5. Алієв Е. Б. Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва: підручник. Київ: Аграрна наука, 2023. 340 с.
6. Алієв Е. Б., Ведмедєва К. В. Кількісне фенотипування генотипів соняшнику: монографія. Дніпро: ЛІРА, 2024. 204 с.
7. Алієв Е. Б., Миколенко С. Ю., Сова Н. А. та ін. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми: колективна монографія / за заг. ред. Е. Б. Алієва. Дніпро: ЛІРА, 2022. 192 с.
8. Aliiev E., Lupko K. Prerequisites for the Creation of a Mechatronic System of Indented Cylinders for the Separation of Fine Seeds. *Scientific Horizons*. 2021. Vol. 24, no. 3. P. 75-86. DOI: 10.48077/scihor.24(3).2021.75-86.
9. Aliieva O., Polyakov A., Aliiev E. Features of photosynthetic activity and water consumption of safflower. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2022. Vol. 109, no. 2. P. 123–130. DOI: 10.13080/z-a.2022.109.016.
10. Адамчук В. В., Прилуцький А. Н., Заришняк А. С., Степаненко С. П. Концепція комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах України. В зб.: *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2014. Вип. 99. С. 40-56.
11. Бредихін В. В. Обґрунтування параметрів процесу вібропневмовідцентрового розділення насіннєвих сумішей за густиною насіння. Автореф. дис. канд. техн. наук. Харків, 2003. 20 с.

12. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Очистка і сортування насіння. Харків: Око, 2006. 407 с.
13. Заїка П. М., Бакум М. В., Михайлов А. Д., Козій О. Б. Сепарація насіння льону на вібраційних сепараторах. Вібрації в техніці та технологіях. 2012. № 3 (67). С. 106-111.
14. Кириченко В. В., Петренкова В. П., Кривошеєва О. В., Рябчун В. К., Маркова Т. К. Ідентифікація морфологічних ознак соняшнику (*Helianthus L.*): посібник. Харків: Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва УААН, 2007. 78 с.
15. Кириченко В. В. Основи управління продукційним процесом польових культур. Харків, 2016. 711 с.
16. Кирпа М. Я., Скотар С. О., Рослик О. О. Дослідження процесу та параметрів аеродинамічного сепарування однокомпонентних насіннєвих сумішей. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету. 2014. № 2 (34). С. 95-98.
17. Котов Б. І., Пастушенко М. Г., Степаненко С. П. Дослідження ефективності вібровідцентрової сепарації зерна на ступінчасто-конічному решеті методом планування експериментів. Конструювання, експлуатація та виробництво сільськогосподарських машин. Вип. 42. Частина 2. 2012. С. 70-75.
18. Kharchenko S. O. Intensification of grain sifting on flat sieves of vibration grain separators. Kharkiv: «Dica+», 2017. 220 с.
19. Михайлов А. Д. Машини, агрегати та комплекси для післязбиральної обробки зерна і насіння. Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2012. 78 с.
20. Ольшанський В. П., Бредихін В. В., Лук'яненко В. М., Півень М. В., Сліпченко М. В., Харченко С. О. Теорія сепарування зерна: монографія. Харків: ПланетаПрінт, 2017. 803 с.
21. Полякова Н. А., Ведмедєва Е. В. Inheritance of Anthocyanin Coloration Trait in Pericarp of Sunflower Seeds. HELIA. 2016. P. 81–90. DOI: 10.1515/helia-2016-0005.
22. Рудь А. В., Дуганець В. І., Павельчук Ю. Ф., Мошенко І. О., Мельник В. В. Результати дослідження технологічної доцільності використання аеродинамічних сепараторів. Збірник наукових праць. За редакцією доктора с.-г. наук, професора,

академіка АН ВО України, Заслуженого діяча науки і техніки України, ректора університету (голова) М. І. Бахмата. Кам'янець-Подільський, 2013. № 21. С. 372-377.

23. Тіщенко Л. М., Корнієнко С. І., Харченко С. О. та ін. Технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур: монографія; за ред. Л. М. Тіщенка. Харків: ХНТУСГ, 2015. 273 с.

24. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини. Київ: Каравела, 2008. 551 с.

25. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ: Держстандарт України, 2002. 173 с.

26. Gorohivets N. A., Vedmedeva E. V. Inheritance of epidermis pigmentation in sunflower achenes. Cytol Genet. 2016. Vol. 50, no. 2. P. 116-120. DOI: 10.3103/S0095452716020031.