

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність **208 Агроінженерія**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

агроінжинірингу

_____ Шуляк М.Л.

“10” вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Піскун Станіслав Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення використання техніки при вирощуванні соняшника застосуванням модернізованої конструкції аеродинамічного сепаратора

керівник роботи: ст. викладач Сировицький К.Г.,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “23” 12 2024 року № 4221/ос

2. Строк подання здобувачем роботи: “01” “06” 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Нормативно-технічна документація по розробці механізованих технологічних процесів у рослинництві. 2. Науково-технічна література. 3. Літературні джерела інформації та Інтернет ресурси. 4. Методичні рекомендації до виконання проекту (роботи)

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ. 1. Аналіз удосконалення технологічних процесів вирощування соняшника 2. Операційна технологія післязбирального очищення культури 3. Обґрунтування модернізованої конструкції аеродинамічного сепаратора. 4. Охорона праці. 5. Економічна частина. Загальні висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1. Операційна карта (A1). 2. Технологічна карта (A1). 3. Загальний вид сепаратора (A1). 4. Вентилятор (A1). 5. Пилоочисник (A2). 6. Деталювання (A2)

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Економічна частина			

7. Дата видачі завдання: “ ___ ” _____ 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Обрання теми	04.09.2024-10.09.2024	
2.	Збір інформації про діяльність господарства	11.09.2024-30.09.2024	
3.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	02.10.2024-02.12.2024	
4.	Складання плану роботи	04.12.2024-09.12.2024	
5.	Написання вступу	11.12.2024-18.12.2024	
6.	Підготовка розділу «Аналіз удосконалення технологічних процесів вирощування соняшника»	19.12.2024-09.01.2025	
7.	Підготовка розділів «Операційна технологія післязбирального очищення культури»	10.01.2025-21.02.2025	
8.	Підготовка розділу «Обґрунтування модернізованої конструкції аеродинамічного сепаратора»	22.02.2025-10.04.2025	
9.	Підготовка розділу «Охорона праці»	11.04.2025-17.04.2025	
10.	Підготовка розділу «Економічна частина»	18.04.2025-30.04.2025	
11.	Написання загальних висновків	01.05.2025-09.05.2025	
12.	Подання роботи на перевірку унікальності	до 10.05.2025	
13.	Подання роботи до експертної ради факультету	до 13.05.2025	
14.	Подання роботи на рецензування	до 20.05.2025	
15.	Подання до попереднього захисту	до 27.05.2025	

Здобувач вищої освіти _____ Піскун С.Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Сировицький К.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Піскун С.Р. Удосконалення використання техніки при вирощуванні соняшника застосуванням модернізованої конструкції аеродинамічного сепаратора. Кваліфікаційна (бакалаврська) робота на здобуття ступеня бакалавра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – СНАУ. - Суми.- 2025, 46 с.

Кваліфікаційна (бакалаврська) робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 27 найменування та додатків. Загальний обсяг роботи становить 46 сторінок, на яких представлено 2 таблиць, 17 рисунків, 2 додатки та 5 аркушів графічної частини формату А1.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності вирощування соняшника шляхом удосконалення технічного забезпечення післязбирального обробітку насіння. Основну увагу зосереджено на модернізації конструкції аеродинамічного сепаратора, який є ключовим елементом у процесі очищення та підготовки насіннєвого матеріалу. Актуальність теми обумовлена необхідністю зниження втрат насіння, підвищення якості очищення та зменшення енерговитрат у процесі підготовки насіння соняшника до зберігання або сівби.

У роботі виконано аналіз сучасних агротехнологій вирощування соняшника, особливу увагу приділено післязбиральним операціям та засобам їх механізації. Проведено детальне дослідження існуючих конструкцій аеродинамічних сепараторів, виявлено основні недоліки, такі як нерівномірне подання зернового матеріалу, недостатня ефективність аспіраційної системи та високі втрати тиску в повітропроводах.

Запропоновано технічне вдосконалення — розробка нової конструкції жалюзійного пилоочисника, оптимізація аеродинамічної системи повітряного потоку та розрахунок вентилятора з покращеними характеристиками. Проведено енергетичні та економічні розрахунки, які підтвердили доцільність запропонованої модернізації: очікується зниження втрат насіння до 0,2%, скорочення тривалості обробки на 20% і зменшення енергоспоживання на 10%.

У результаті впровадження вдосконаленого сепаратора забезпечується покращення якості посівного матеріалу, зростання врожайності культури та зменшення витрат аграрного підприємства. Технічні рішення, запропоновані в роботі, мають практичне значення і можуть бути впроваджені в серійне виробництво або використані для модернізації існуючого обладнання.

Ключові слова: соняшник, насіння, очищення, сепаратор, пилоочисник, модернізація, енергоефективність

ABSTRACT

Piskun S.R. **Improving the Use of Machinery in Sunflower Cultivation by Applying a Modernized Design of an Aerodynamic Separator.** Bachelor's Qualification Thesis for the Degree of Bachelor in Specialty 208 "Agroengineering". – SNAU. – Sumy. – 2025, 46 pages.

The bachelor's qualification thesis consists of an introduction, five chapters, general conclusions, a list of references with 27 sources, and appendices. The total volume of the work is 46 pages, including 2 tables, 17 figures, 2 appendices, and 5 sheets of graphical materials in A1 format.

The qualification work addresses the issue of improving sunflower cultivation efficiency by upgrading the technical equipment used for post-harvest seed processing. The focus is on the modernization of the aerodynamic separator design, which plays a vital role in cleaning and preparing seed material. The relevance of the topic lies in the need to reduce seed loss, enhance cleaning quality, and lower energy consumption in the sunflower seed processing chain.

The study provides an overview of current agronomic technologies for sunflower cultivation, with particular emphasis on post-harvest operations and their mechanization. A comprehensive analysis of existing aerodynamic separator designs was conducted, revealing key drawbacks such as uneven seed flow, insufficient air purification, and significant pressure losses within the pneumatic system.

To address these issues, a series of technical improvements are proposed, including the development of a new louver-type dust collector, optimization of the air

flow system, and design of a fan with enhanced aerodynamic characteristics. Energetic and economic calculations demonstrated the feasibility of the proposed modernization: expected outcomes include reducing seed losses to 0.2%, shortening processing time by 20%, and lowering energy consumption by 10%.

The implementation of the upgraded separator ensures improved quality of planting material, increased crop yields, and reduced operational costs for agricultural enterprises. The proposed technical solutions have practical value and can be applied either in mass production of new equipment or in the modernization of existing machines.

Keywords: sunflower, seed, cleaning, separator, dust collector, modernization, energy efficiency.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Аналіз і удосконалення технологічних процесів вирощування соняшника.....	8
1.1 Сучасні технології для вирощування соняшника	8
1.2 Вимоги до посівного матеріалу.....	14
1.3 Машини та обладнання по догляду за посівами та очищення насіння.....	15
1.4 Проблеми і недоліки існуючих конструкцій.....	18
2 Операційна технологія післязбирального очищення культури.....	19
2.1 Мета післязбирального очищення соняшника	19
2.2 Планування післязбирального обробітку та обґрунтування вибору зерноочисної машини	19
2.3 Технологічні розрахунки післязбирального обробітку насіння соняшника	22
3 Обґрунтування модернізованої конструкції аеродинамічного сепаратора.....	28
3.1 Принцип дії аеродинамічного сепаратора.....	28
3.2 Розрахунок аспіраційної системи.....	29
3.3 Визначення параметрів пилоочисника.....	30
3.4 Енергетичні системи сепарації.....	32
3.5 Визначення параметрів вентилятора.....	34
4 Охорона праці.....	37
4.1 Особливості умов праці при вирощуванні соняшнику.....	37
4.2 Вимоги до техніки безпеки при експлуатації	38
5 Економічна частина.....	39
Загальні висновки.....	41
Список використаних джерел.....	43
Додатки	

ВСТУП

Соняшник є однією з найважливіших олійних культур, яка займає значне місце в аграрному секторі України. Висока продуктивність цієї культури, її стійкість до посухи та здатність адаптуватися до різних ґрунтово-кліматичних умов сприяють її широкому поширенню. Водночас, для отримання стабільно високих урожаїв та покращення якості продукції необхідне застосування сучасних технологій та ефективної сільськогосподарської техніки. Одним із ключових аспектів вирощування соняшника є правильна підготовка насіння, яка значною мірою впливає на схожість, стійкість рослин до несприятливих факторів та рівень врожайності.

Одним із напрямів удосконалення технології вирощування соняшника є модернізація технічних засобів для очищення та калібрування насіння. Зокрема, застосування аеродинамічного сепаратора дозволяє підвищити якість посівного матеріалу за рахунок ефективного розподілу насіння за фракціями, видалення домішок та відбору найбільш продуктивних зерен. Модернізація конструкції цього пристрою сприятиме підвищенню його продуктивності, зменшенню енергоспоживання та покращенню якості обробки насіння.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю впровадження новітніх технологічних рішень у сільськогосподарське виробництво, що сприятиме підвищенню ефективності вирощування соняшника та зменшенню витрат на підготовку насіння. Удосконалення конструкції аеродинамічного сепаратора дозволить оптимізувати процес очистки насіння, покращити його якісні показники та, як наслідок, підвищити врожайність культури.

Мета даної роботи – розробити та дослідити вдосконалену конструкцію аеродинамічного сепаратора, оцінити її ефективність та визначити можливі шляхи впровадження в аграрне виробництво. Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- аналіз існуючих методів очищення та калібрування насіння соняшника;

- вивчення конструктивних особливостей аеродинамічних сепараторів;
- розробка вдосконаленої конструкції сепаратора;
- експериментальна перевірка його роботи та оцінка ефективності;
- розробка рекомендацій щодо впровадження модернізованого пристрою у виробництво.

Об'єктом дослідження є технологічний процес очищення та калібрування насіння соняшника, а предметом – конструктивні особливості та робочі параметри модернізованого аеродинамічного сепаратора.

Практична значущість роботи полягає у можливості застосування отриманих результатів у сільськогосподарському виробництві для підвищення ефективності підготовки посівного матеріалу та збільшення врожайності соняшника. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані при модернізації існуючих очисних машин або розробці нових агрегатів для сільського господарства.

1 АНАЛІЗ І УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКА

1.1 Сучасні технології для вирощування соняшника

Залежно від технологічного призначення, соняшник поділяється на три основні групи: олійний, лузальний і межеумок. Вони відрізняються між собою за розміром кошиків і стебла, виповненістю насіння та рівнем його олійності. Кожен із цих типів має свої особливості вирощування та впливає на вибір технологічних прийомів обробітку.

Сучасні екологічно безпечні, ресурсо- та енергозберігаючі технології вирощування соняшника базуються на застосуванні диференційованих агротехнічних заходів. Ці заходи спрямовані на створення оптимальних умов для росту і розвитку рослин протягом усього вегетаційного періоду. Важливим є дотримання агротехнічних строків та виконання всіх виробничих процесів із залученням механізованих засобів [7,15].

Першочерговим етапом технологічного процесу є планування та дотримання науково обґрунтованих сівозмін. Основна мета цього заходу – зменшення ризику поширення шкідників і хвороб, покращення водного балансу ґрунту та його родючості. Найкращими попередниками для соняшника є зернові колосові культури, проте придатними також вважаються кукурудза та картопля. Водночас використання в сівозміні багаторічних трав, суданської трави чи цукрових буряків потребує обережності, оскільки їх коренева система глибоко виснажує ґрунт, що може створити дефіцит вологи для соняшника під час критичних фаз його розвитку [2].

Оскільки соняшник має схильність до спільних захворювань із такими культурами, як ріпак і бобові, їх не рекомендується використовувати як попередники. Загалом соняшник є виснажливою культурою для ґрунту, тому його слід вирощувати на одному полі не частіше ніж раз на 7-8 років [2].

Наступним етапом є основний обробіток ґрунту після попередника, який необхідно підбирати відповідно до рівня засміченості бур'янами, типу ґрунту та прийнятої технології обробітку. Обробіток може варіюватися залежно від

традиційної, mini-till або no-till технологій. Його основне завдання – створення умов для розвитку кореневої системи рослин.

Традиційно після збирання попередника здійснюється лушення стерні на глибину 6-8 см, що сприяє знищенню падалиці та проростків бур'янів. При цьому енергоощадні технології передбачають виконання операції вздовж довгих сторін поля, а на схилах понад 5° – поперек.

Для виконання лушення застосовуються дискові луцильники, серед яких поширені моделі ЛДД-3000 (Деметра) (див. рис.1.1), ЛДП-6, ЛДВН, а також закордонні аналоги, зокрема Challenger 1435, SWIFTERDISC (BEDNAR), Horsch Joker 8 RT. [1,2,3]



Рисунок 1.1 – Луцильник дисковий ЛДД-3000 від компанії Деметра

Надалі рекомендовано проводити глибокий обробіток – оранку орними агрегатами (рис. 1.2, а), глибоке розпушення чизельними знаряддями (рис. 1.2, б), плоскорізний обробіток (рис. 1.3, б) чи культивування (рис. 1.3, а) залежно від стану ґрунту, умов місцевості та прийнятої технології.

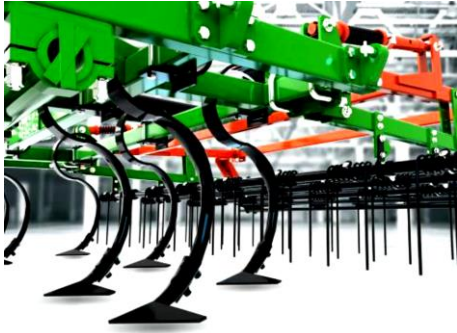


а)



б)

Рисунок 1.2 – Оборотний плуг KUHN MASTER (а) та чизель Clavus (б)



а)



б)

Рисунок 1.3 – Культиватор для суцільного обробітку КПА-5ПЦ -01 (а) та культиватор-плоскоріз КПШ-5 (б)

Після луцнення може проводитися глибока оранка (25-27 см), розпушення чизельними знаряддями або плоскорізний обробіток, залежно від місцевих умов і технології вирощування. Популярними агрегатами для цих операцій є оборотні плуги KUNN і LEMKEN, а також вітчизняні моделі серії ПЛН, ПШН, ПНЯ.

На ґрунтах, схильних до ерозії, доцільно застосовувати глибоке розпушення чизельними агрегатами, які забезпечують обробіток на глибину 35-45 см із мінімальним опором. У порівнянні з плоскорізами, чизелі не здійснюють підрізання кореневищ бур'янів, однак сприяють поліпшенню структури ґрунту.

При застосуванні мінімальної технології вирощування соняшника передбачено лише луцнення стерні восени на глибину 6-8 см, а навесні – поверхневий обробіток на глибину 12-14 см. Для цього використовують культиватори суцільного обробітку лапового або дискового типу, а також комбіновані агрегати, такі як КДЛ-4, АСТРОС RO (див. рис. 1.4), ZEUS HD, які дозволяють виконати кілька операцій за один прохід, зменшуючи тим самим витрати ресурсів і часу [11].



Рисунок 1.4 – Дисколаповий культиватор ACTROS RO від BEDNAR

Технологія no-till передбачає повну відмову від традиційного основного обробітку ґрунту, що потребує використання спеціалізованих посівних комплексів для здійснення прямого висіву на незораних полях.

Результати проведених досліджень [7,8] показують, що однозначно визначити переваги конкретної технології вирощування, зокрема методів обробітку ґрунту, неможливо – кожна методика має застосовуватися відповідно до специфічних умов господарства.

Як підтверджують наукові дані [2, 7], соняшник характеризується значним виснаженням ґрунту через активне споживання поживних речовин. Наприклад, для формування врожайності 20 ц/га ця культура поглинає приблизно N130P55K280. Це вимагає раціонального внесення добрив відповідно до фаз розвитку рослин. Зокрема, основну (стартову) дозу калійно-фосфорних добрив доцільно вносити під час основного обробітку, тоді як азотні добрива рекомендовано застосовувати перед або під час посіву [3, 7, 15]. Окрім цього, соняшник добре використовує післядію азотних добрив, тому ефективним є застосування комплексних мінеральних добрив.

Для внесення поживних речовин застосовують розкидачі добрив для мінеральних (див. рис. 1.5, б) і органічних (рис. 1.5, а) добрив. Припосівне внесення здійснюється за допомогою універсальних сівалок, обладнаних сошниковими групами, бункерами та дозувальними пристроями.



а)



б)

Рисунок 1.5 – Розкидачі добрив: а – органічних РОУ-6; б – мінеральних РУМ-4

Передпосівний обробіток спрямований на створення оптимальної структури ґрунту для рівномірного висіву насіння. У традиційній та мінімальній технологіях цей процес включає одну або кілька культивацій на глибину посіву із подальшим вирівнюванням поверхні ґрунту. Дослідження [9,15] рекомендують виконувати цю операцію безпосередньо перед посівом або одночасно з ним.

Основним завданням передпосівної культивації є створення рівномірного, дрібнокомкуватого шару ґрунту на глибину до 6 см, що сприяє рівномірному проростанню насіння. Для цієї мети широко використовують комбіновані культиватори, такі як КПФ 8000 APOLLO (див.рис. 1.6, а) компанії Фаворит, КСО-3Н (див.рис. 1.6, б) від Деметра, ATLAS від ARK GROUP та ін. Вони оснащені як основними робочими органами (культиваторні лапи), так і додатковими котками, що забезпечують якісну структуру ґрунту відповідно до його типу [7].



Рисунок 1.6 – Комбіновані культиватори суцільного обробітку: а – КПФ 8000 APOLLO; б – КСО-3Н

Однією з ключових агротехнічних операцій є висів соняшника. Основна мета посіву – рівномірне розміщення насіння в рядках із дотриманням заданої площі живлення. Важливими критеріями якісного посіву є формування оптимального насінневого ложа, забезпечення однакової глибини загортання

насіння та його ущільнення розпушеним вологим ґрунтом для покращеного контакту з навколишнім середовищем [1,2].

Важливим фактором успішного вирощування є дотримання термінів посіву. Рекомендовано [1,2] розпочинати посів при досягненні температури ґрунту на глибині загортання насіння в межах 9-11°C. Це сприяє дружному проростанню насіння протягом 9-12 днів після посіву.

Традиційний спосіб посіву соняшника – пунктирний із міжряддями 70 см, однак деякі дослідження вказують на ефективність посіву з міжряддями 30-45 см [3].

На ринку представлені різноманітні посівні комплекси як вітчизняного, так і іноземного виробництва. Вони забезпечують висів не лише соняшника, а й інших культур, мають можливість одночасного внесення добрив або сівби проміжних культур. Наприклад, пневмомеханічні сівалки VENZA-4 Pro від Фаворит можуть застосовуватися як для традиційного землеробства (рис. 1.7, а), так і для технології mini-till (рис. 1.7, б) [9].



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд сівалок VENZA-4 Pro: а – для традиційної технології; б – для mini-till технології

Також популярності набувають посівні системи з центральною розподільчою системою, наприклад DB37 (див. рис. 1.8) від John Deere. Ці агрегати оснащені секціями MaxEmerge 5 та можуть одночасно вносити рідкі добрива.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд сівалки DB37 від John Deere

Незалежно від конструкції та ширини захвату всі сучасні сівалки оснащені робочими органами для прикочування насіння після висіву. Тип прикочувальних елементів варіюється залежно від типу ґрунту та глибини загортання насіння, що забезпечує оптимальні умови для проростання культури.

1.2 Вимоги до посівного матеріалу [1, 2]

Сучасні методи вирощування соняшника тісно пов'язані з активним використанням гібридного насіння, яке характеризується різними параметрами, такими як терміни дозрівання, структура стеблостою, розміри кошика та призначення. Важливими критеріями вибору гібридів є їхня стійкість до гербіцидів певного типу, а також до типових захворювань культури.

Однією з найбільш значущих тенденцій у селекції є створення гібридів соняшника з підвищеною стійкістю до вовчка, що є серйозним фактором зниження врожайності. Такі гібриди, що також демонструють високу резистентність до гнилей, пропонуються як провідними міжнародними насінневими компаніями, такими як «Limagrain», «Pioneer®», «Monsanto», так і вітчизняними науково-дослідними установами, наприклад, ВНІС, Інститутом рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН тощо. Крім того, для підвищення захисту рослин від хвороб важливим є попереднє оброблення насіння фунгіцидними засобами, що забезпечує додатковий рівень захисту під час проростання.

Провідні виробники насіння розробляють детальні агрономічні рекомендації, що включають оптимальні норми висіву, вимоги до вологості та

живлення ґрунту, способи догляду за посівами, а також заходи боротьби з бур'янами (див. рис. 1.9). Це має особливе значення, оскільки соняшник є культурою з низькою конкурентоспроможністю до бур'янів.



Рисунок 1.9 – Рекомендована FMC технологія захисту для соняшника [15]

1.3 Машини та обладнання по догляду за посівами та очищення насіння [7, 8, 11]

Догляди за посівом передбачає міжрядний обробіток за допомогою спеціалізованих культиваторів, а також можливість внесення добрив у поєднанні з культивацією. Додатково передбачено застосування хімічних засобів захисту рослин у рекомендовані терміни та відповідних дозах. Для цього використовуються різні типи обприскувачів: самохідні широкозахватні агрегати (наприклад, Case IH Patriot (див.рис.1.10), Condor Clearance Plus, IBIS 3000-24), навісні моделі для тракторів, а також агродрони типу DJI AGRAS T30 і серії XAG V.



а)



б)



в)

Рисунок 1.10 – Обприскувачі: а – самохідний штанговий Case IH Patriot 4430; б – тракторний навісний ОГН-200; в – комплект обладнання дрона-обприскувача XAG V40

Ознакою готовності соняшника до збирання є побуріння близько 80% кошиків та зниження вологості насіння до 12–14%. Запізнення зі збиранням сприяє осипанню насіння та поширенню хвороб. Для оптимізації строків збирання та зменшення втрат застосовують технологію висіву гібридів з різними термінами дозрівання, що дозволяє розтягнути період збирання.

У регіонах з ризиковим землеробством можливе виникнення несприятливих погодних умов, таких як холодна та волога погода під час дозрівання, що затримує строки збирання. Для прискорення цього процесу проводиться десикація – обробка посівів спеціальними препаратами, що прискорюють дозрівання. Ця операція виконується за допомогою обприскувачів.

Збирання врожаю найчастіше здійснюється зернозбиральними комбайнами, такими як Claas Dominator, Massey Ferguson 9000, John Deere S 700,

які оснащені спеціальними жатками для соняшника, наприклад, SUNSPEED 12-70 (від CLAAS) (див.рис. 1.11), CX-8.4 (Sunspeed Franko Fabril Maizco). ЖНС-7.4, тощо. Використання такої техніки дозволяє мінімізувати втрати врожаю, забезпечити якісний обмолот і ефективно очищення насіння.



Рисунок 1.11 – Загальний вигляд спецжатки для збирання соняшника
SUNSPEED 12-70 від CLAAS

Значну роль у виробництві насіння відіграє післязбиральна обробка врожаю. Цей процес передбачає очищення насіння від сторонніх домішок, таких як залишки інших культур, бур'янів, мінеральні та металеві включення, а також комах. Окрім очищення, насіння сортується за розмірами та об'ємною масою.

Для приведення насіння до нормативних показників вологості та чистоти використовуються зерноочисні й зерносушильні комплекси, наприклад, ЗАВ (див. рис. 1.12), КЗС (з шахтними або барабанними сушарками). Також затребуваними є окремі зерноочисні машини, такі як ОВС-25, БСХ та СОК-25, вітчизняного виробництва або закордонні моделі РЕТКУС, а також сушарки СЗШ-16 (шахтний тип), СЗСБ-8 (барабанний тип), СКМ-1 (карусельна) тощо.

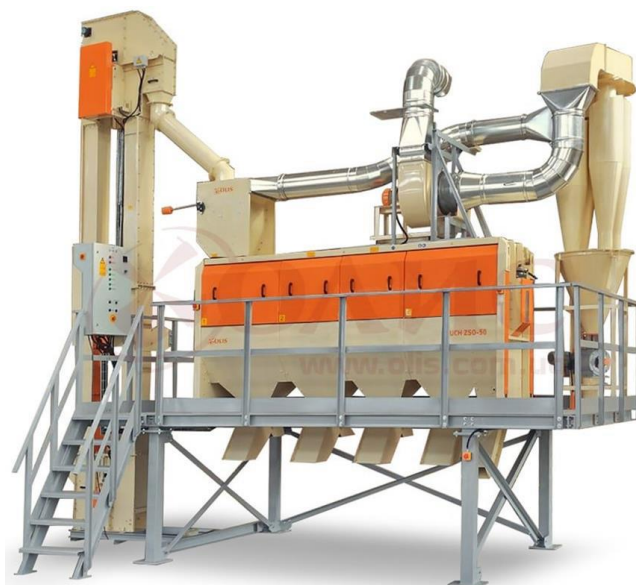


Рисунок 1.12 – Загальний вигляд мобільного зерноочисного комплексу
ЗАВ проекту фірми Оліс

1.4 Проблеми і недоліки існуючих конструкцій [5, 6, 17, 18]

Незважаючи на широке використання аеродинамічних сепараторів у сільському господарстві, існуючі конструкції мають низку недоліків, які знижують ефективність очищення насіння та ускладнюють їх експлуатацію. Серед основних проблем можна виділити такі:

- *Низька ефективність очищення при високій засміченості.* У багатьох моделях продуктивність різко падає при збільшенні кількості дрібних або вологих домішок. Це знижує загальний відсоток очищення та вимагає повторної обробки.
- *Високий рівень пиловиділення.* Через недостатньо ефективну систему аспірації в повітряному потоці залишається велика кількість пилу, що призводить до запиленості робочої зони, підвищує ризик захворювань органів дихання у працівників та створює вибухонебезпечні умови.
- *Недосконалість пилоочисної системи.* У більшості випадків пил виводиться через прості циклонні фільтри, які не забезпечують належного рівня очищення повітря. Це особливо критично при роботі з соняшником, оскільки його насіння містить дрібні ворсинки та шкірки, які легко потрапляють у повітря.

- *Нерівномірне подання зернового матеріалу.* Вібраційні або шнекові механізми подачі не завжди гарантують рівномірність потоку зерна в сепараційну зону, що впливає на якість розділення фракцій.

Проведений аналіз сучасних інтенсивних технологій вирощування соняшника та їх механізованого забезпечення показав необхідність впровадження енергоефективних рішень у процесі обробітку культури. З урахуванням практичних і наукових рекомендацій було сплановано технологічні операції з вирощування нового SU-гібриду соняшника «АЛЬМЕРА» від ВНІС відповідно до технології mini-till. Виконані організаційні та технологічні розрахунки щодо механізованого забезпечення процесів дали змогу скласти технологічну карту, що наведена у графічній частині.

2 ОПЕРАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ КУЛЬТУРИ

2.1 Мета післязбирального очищення соняшника [3, 6]

Основною метою післязбирального очищення соняшника є видалення небажаних домішок із насінневої маси. Кількість та характер етапів обробки визначаються початковим станом отриманого матеріалу. Якщо рівень забрудненості насіння становить 10-12%, необхідно негайно провести попереднє очищення. Це дозволяє усунути основну частину великих, дрібних та зволжених домішок, що забезпечує можливість подальшого зберігання без ризику псування. Попереднє очищення має знизити вміст сторонніх часток щонайменше на 50%, при цьому допустимі втрати якісного насіння не повинні перевищувати 0,2%.

Якщо рівень забрудненості після збирання не перевищує 5-6% або вже було проведено попереднє очищення, виконують первинне очищення. Його завданням є зменшення вмісту домішок щонайменше на 60%, що дозволяє зберігати насіння протягом тривалого часу та підготувати його до подальшої переробки. Аналогічно попередньому очищенню, втрати якісного насіння не повинні перевищувати 0,2%.

Фінальним етапом очищення є досягнення рівня чистоти насіння у 99%, що відповідає вимогам першого класу згідно з чинними стандартами. Цей результат досягається шляхом проведення вторинного очищення за допомогою спеціалізованих машин.

2.2 Планування післязбирального оборобітку та обґрунтування вибору зерноочисної машини [3, 6, 8]

При заданих потужностях виробництва, знаходимо обсяг соняшника лоя обробітку зерна

$$Q_{\Sigma} = S \cdot Y_{cp} = 328 \cdot 3,2 = 1049,6 \text{ т}, \quad (2.1)$$

де S – площа вирощування, га;

Y_{cp} – середній рівень врожайності, т/га.

При середньому рівні аологості -19%, засміченість- 8%.

Відповідно до технологічної карти, збирання соняшника здійснюється комбайном MF 7274, оснащеним жаткою SUNSPEED 12-70. За планової врожайності продуктивність агрегату становить приблизно 52 тони за зміну (тривалість зміни – 7 годин).

Знаходимо тривалість збирання

$$T_{\text{комб}} = S / (\sum Z_{ki} \cdot \text{Пр}_{\text{змі}}) \cdot n_{\text{зм}} = 328 / (1 \cdot 52) \cdot 2 = 3,15 \text{ доби}, \quad (2.2)$$

де Z_{ki} – число комбайнових агрегатів відповідного типу, що планується залучити до збирання, шт.;

$\text{Пр}_{\text{змі}}$ – змінна продуктивність комбайнового агрегату відповідного типу, га/зм;

$n_{\text{зм}}$ – кількість змін протягом доби, шт.

Отже, добовий обробіток становитиме

$$Q_{\text{ЗАВ}} = Z_{ki} \cdot \text{Пр}_{\text{змі}} \cdot Y_{\text{ср}} \cdot n_{\text{зм}} = 1 \cdot 52 \cdot 3,2 \cdot 2 = 332,8 \text{ т/зм}. \quad (2.3)$$

Оптимальним рішенням для післязбирального очищення є зерноочисний комплекс ЗАВ-25 (див. рис.2.1), який забезпечує продуктивність 25 т/год на стадії попереднього очищення. Змінна продуктивність зерноочисного пункту буде визначатись тривалістю кожного технологічного етапу з врахуванням змін у масових характеристиках зерноматеріалу після їх проходження.

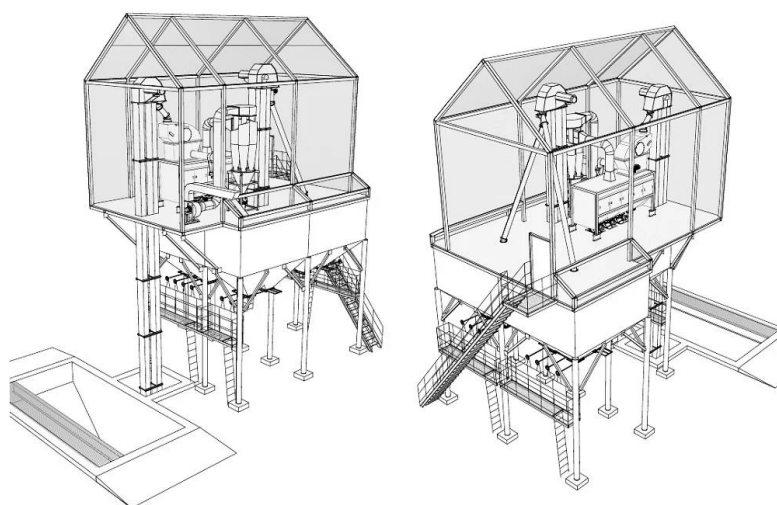


Рисунок 2.1 – Планувальна схема комплексу ЗАВ-25

Враховуючи технологічні параметри зерноматеріалу, який надходить на обробку, виникає необхідність планування виконання операції попереднього очищення. Зважаючи на характеристики зерноочисного обладнання [18, 19], найбільш доцільно для цієї операції задіяти ефективну зерноочисну машину БЦС-25, яка здатна забезпечити планову продуктивність при виконанні попереднього очищення на рівні 25 т/год.

Розрахуємо тривалість попередньої обробки всього обсягу зібраного врожаю соняшника обраною машиною [8].

$$T_{\text{БЦС}} = Q_{\Sigma} / \text{Пр}_{\text{е.БЦС}} \cdot K_{\text{Тр}}, \quad (2.4)$$

де $\text{Пр}_{\text{е.БЦС}}$ – величина експлуатаційної продуктивності БЦС, т/год.;

$K_{\text{Тр}}$ – коефіцієнт, який дозволяє врахувати продуктивність робочу, $K_{\text{Тр}} = 0,82$.

Величина експлуатаційної продуктивності БЦС матиме значення:

$$\text{Пр}_{\text{е.БЦС}} = \text{Пр}_{\text{п.БЦС}} \cdot K_{\text{к}} \cdot K_{1\text{в}} \cdot K_{2\text{з}} \quad (2.5)$$

де $\text{Пр}_{\text{п.БЦС}}$ – планова продуктивність обладнання, т/год.;

$K_{\text{к}}$ – коефіцієнт, що дозволяє врахувати фізико-технологічні параметри очищення соняшника, $K_{\text{к}} = 0,81$;

$K_{1\text{в}}$ і $K_{2\text{з}}$ – коефіцієнти, які дозволяють врахувати зміни планової продуктивності машини за відповідних значень вологості і засміченості зерноматеріалу, який надійшов на обробку, $K_{1\text{в}} = 0,85$, $K_{2\text{з}} = 0,94$.

$$\text{Пр}_{\text{е.БЦС}} = 25 \cdot 0,81 \cdot 0,85 \cdot 0,94 = 16,2 \text{ т/год.}, \quad (2.6)$$

Тоді

$$T_{\text{БЦС}} = 1049,6 / 16,2 \cdot 0,82 = 79 \text{ год.}$$

Кількість днів, протягом яких буде виконано попереднє очищення всього обсягу зерноматеріалу становитиме: при тривалості зміни $T_{\text{зм}} = 7 \text{ год}$

$$T_{\text{ноІ}} = T_{\text{БЦС}} / T' \cdot n' = 79 / 7 \cdot 2 = 5,6 \text{ доби}, \quad (2.7)$$

де $T' = 7 \text{ год}$ – нормативна тривалість зміни;

n' – кількість добових змін, прийнятих при попередньому очищенні, шт.

Таким чином, розрахунки дозволяють констатувати, що тривалість попереднього очищення вибраною машиною вкладається в агросроки на проведення операції.

2.3 Технологічні розрахунки післязбирального обробітку насіння соняшника [3]

Розрахуємо величину зменшення ваги зерноматеріалу після проведення попереднього очищення внаслідок усунення сторонніх домішок, а також щарахунок втрат повноцінного насіння у відходах. При цьому будемо керуватись зазначеними вище нормативними вимогами до даного типу очищення – ефект очищення не менше 50%, а втрати насіння до 0,2%. При цьому, зерноочисна машина БЦС забезпечує ефективність очищення на рівні $\%I_{\text{дом}} = 54\%$ для зерноматеріалу соняшника з вказаними вихідними параметрами та втрати $\%I_{\text{втр}} = 0,2\%$. При цьому, будемо вважати вологість смітєвих домішок за рахунок наявності стеблових часток бур'янів в середньому близько 38%.

Таким чином, маса зерноsumіші соняшника після проведеного попередньої обробки на машині БЦС-25 матиме значення [6].:

$$Q_{I.БЦС} = Q_{\Sigma} - Q_{\Sigma} \cdot (\%I_{I.БЦС}/100) \quad (2.8)$$

де $\%I_{I.БЦС}$ – загальні відносні втрати маси внаслідок видалення сміття і втрати насіння, $\%I_{I.БЦС} = 5,42$:

$$Q_{I.БЦС} = 1049,6 - 1049,6 \cdot (5,42/100) = 992,48 \text{ т.}$$

Відносні втрати внаслідок видалення сміття з підвищеною вологістю після попереднього обробітку становитимуть [6].

$$W_{I.БЦС} = W_{\Sigma} - (m_{\Sigma\text{дом}} \cdot W_{\Sigma\text{дом}}) / Q_{I.БЦС} \quad (2.9)$$

де W_{Σ} – початкові параметри вологості зерноматеріалу до обробітку на зерноочисному пункті, %;

$m_{\Sigma\text{дом}}$ – вміст смітєвих домішок в зерноматеріалі до обробітку, т:

$$m_{\Sigma\text{дом}} = Q_{\Sigma} \cdot (\% \Sigma_{\text{дом}} / 100) = 1049,6 \cdot (8/100) = 83,9 \text{ т,} \quad (2.10)$$

$\% \Sigma_{\text{дом}}$ – рівень засміченості до очищення, %;

$W_{\Sigma\text{дом}}$ – вологість домішок, %.

$$W_{I.БЦС} = 19 - (83,9 \cdot 38) / 992,48 = 15,8 \%$$

Відповідно до держстандартів [1], вологість першосортного соняшника повинна відповідати рівню 12-14 %, тому передбачаємо виконання сушіння зерноматеріалу після попередньої обробки. Найбільш відповідною для сушіння соняшника є модульна зерносушарка шахтного типу ЗСГ-4.5, планова продуктивність якої при сушінні даної культури за умов зниження вологості з 16% до 13% становитиме 3,8 т/год [14].

Встановимо час, який знадобиться на просушування сушаркою даного типу згідно залежності:

$$T_{ЗСГ} = Q_{пл} / P_{пл} \cdot K_{Тр} \quad (2.11)$$

де $Q_{пл}$ – планова маса зерноматеріалу, яку необхідно просушити, пл. т;

$$Q_{пл} = Q_{I.БЦС} \cdot K_{вол} / K_{Iсон} = 992,48 \cdot 1 \cdot 1,88 = 1865,86 \text{ т}, \quad (2.12)$$

$K_{вол}$ – коефіцієнт, який регламентує зміни продуктивності сушіння при збільшених значеннях вологості суміші відносно нормованої, $K_{вол} = 1,0$;

$K_{Iсон}$ – врахування особливостей культури при встановленні режиму сушіння, для соняшника $K_{Iсон} = 1,88$;

$P_{пл}$ – планова величина продуктивності зерносушарки, пл.т/год;

$K_{Тр} = 0,79$ – коефіцієнт, який дозволяє врахувати робочу продуктивність при сушінні соняшника;

$$T_{ЗСГ} = 1865,86 / 3,8 \cdot 0,79 = 621,5 \text{ год.},$$

тобто близько 26 діб на сушіння всього обсягу.

Як бачимо, терміни сушіння матеріалу перевершують нормативні показники, тому обсяг, який не буде просушений після попереднього очищення, необхідно закласти на тимчасове зберігання.

Розрахуємо величину експлуатаційної продуктивності сушарки:

$$P_{езСГ} = Q_{пл} / T_{ЗСГ} = 1865,86 / 621,5 = 3,0 \text{ т / год.} \quad (2.13)$$

З врахуванням величини експлуатаційної продуктивності сушарки, розрахуємо масу зерноматеріалу, який може бути просушеним протягом доби:

$$Q_{суш.д} = P_{езсг} \cdot T_{суш.д} = 3,0 \cdot 16 = 48 \text{ т/доб.} \quad (2.14)$$

де $T_{суш.д} = 16$ год – добова тривалість роботи сушарки.

Отже, маса насіння, яке необхідно закласти на тимчасове збереження буде становити:

$$Q_{т.зб} = Q_{I.д} - Q_{суш.д} = 583,8 - 48 = 535,8 \text{ т.} \quad (2.15)$$

де $Q_{I.д}$ – маса зерноматеріалу, який буде надходити після попередньої обробки протягом доби, т.

$$Q_{I.д} = Q_{I.БЦС} / T_{I.д} = 992,48 / 1,7 = 583,8 \text{ т.} \quad (2.16)$$

Розрахуємо кількість матеріалу соняшника, який одержимо після сушіння протягом доби:

$$Q_{суш} = Q_{суш.д} \cdot (100 - W_{I.БЦС} / 100 - W_{суш}) \quad (2.17)$$

де $W_{I.БЦС}$, $W_{суш}$ – відповідні значення вологості матеріалу до та після проведеного сушіння, %;

$$Q_{суш} = 48 \cdot (100 - 15,8 / 100 - 13) = 46,45 \text{ т.}$$

А величина загальних втрат ваги після сушіння всього обсягу насінневого матеріалу соняшника становитиме:

$$Q_{\Sigma суш} = Q_{I.БЦ} \cdot (100 - W_{I.БЦС} / 100 - W_{суш}), \quad (2.18)$$

$$Q_{\Sigma суш} = 992,48 \cdot (100 - 15,8 / 100 - 13) = 960,54 \text{ т.}$$

Після просушування матеріалу планують виконання його первинного очищення, і оскільки машина БЦС-25, хоча і дозволяє проводити й даний вид обробітку, але буде задіяна на виконанні попереднього очищення, то пропонується використати аеросепаратор САД-15, який забезпечує на первинній очистці продуктивність 15 т/год.

Вимогами до первинного очищення встановлено величину ефективності видалення домішок на рівні не менше 60% при втратах насіння не більше 0,2%. Згідно протоколів випробувань, зерноочисна машина САД-15 дозволяє отримати ефективність первинного очищення соняшника на рівні $\%II.дом = 67\%$, а чіткість сепарації – $\%Iвтр. = 0,2\%$.

Кількість годин, протягом яких буде виконано первинне очищення всього обсягу зерноматеріалу після сушіння становитиме

$$T_{САД} = (Q_{\Sigma суш} / Пре_{САД}) \cdot K_{Tr} \quad (2.19)$$

де $Пре_{САД}$ – величина експлуатаційної продуктивності аеросепаратора, т/год;

K_{Tr} – коефіцієнт, який дозволяє врахувати робочу продуктивність при первинному очищенні соняшника, $K_{Tr} = 0,72$.

Величина експлуатаційної продуктивності аеросепаратора САД при первинній обробці зерноматеріалу соняшника становить

$$Пре_{САД} = Прн.САД \cdot K_k \cdot K_{Iв} \cdot K_{2з} = 15 \cdot 0,78 \cdot 1 \cdot 0,94 = 11 \text{ т/год.}, \quad (2.20)$$

де $Прн.САД$ – планова продуктивність аеросепаратора, т/год.;

Тоді

$$T_{САД} = (960,54 / 11) \cdot 0,72 = 87,3 \text{ год.}$$

Таким чином, маса зерноsumіші соняшника після проведеного первинної обробки на машині САД-25 матиме значення:

$$Q_{II.САД} = Q_{\Sigma суш} - Q_{\Sigma суш} \cdot (\%II.САД / 100), \quad (2.21)$$

де $\%II.САД$ – загальні відносні втрати маси внаслідок видалення сміття і втрати насіння, $\%II.САД = 6,72$;

$$Q_{II.САД} = 960,54 - 960,54 \cdot (6,72 / 100) = 896 \text{ т.}$$

Розрахуємо величину загальних вагових змін зерноматеріалу соняшника та рівень засміченості, який залишився після I і II етапів очищення.

Для почату встановимо залишкову кількість домішок в матеріалі після виконання попереднього та первинного очищення:

$$m_{\text{дом. I-II}} = m_{\Sigma \text{дом}} \cdot ((100 - \%I_{\text{дом}}) / 100) \cdot ((100 - \%II_{\text{дом}}) / 100),$$

де $\%I_{\text{дом}}$, $\%II_{\text{дом}}$ – відповідно ефективність видалення домішок при попередній і первинній обробці

$$m_{\text{дом. I-II}} = 83,9 \cdot ((100 - 54) / 100) \cdot ((100 - 67) / 100) = 12,7 \text{ т}$$

Таким чином, відсоток засміченості після перших двох етапів очищення становитиме:

$$\%_{\text{дом. I-II}} = (m_{\text{дом. I-II}} / Q_{\text{II.САД}}) \cdot 100\% = (12,7 / 896) \cdot 100\% = 1,4 \%,$$

відповідно маємо чистоту матеріалу на рівні 98,6 %.

З метою отримання матеріалу соняшника з характерною для першого сорту чистотою на рівні 99 % потрібно запланувати проведення вторинного очищення, для чого пропонуємо використати той же аеросепаратор САД-15, продуктивність якого на цій операції становитиме 7 т/год.

Для отримання бажаної чистоти зерноматеріалу обладнання повинно видалити ще мінімум 0,4 % домішок, і враховуючи можливі втрати насіння у відходах, загальні відносні втрати маси матеріалу становитимуть $\%III_{\text{САД}} = 0,42\%$.

Відповідно вторинне очищення триватиме:

$$T_{\text{САД.вт}} = (Q_{\text{II.САД}} / \text{Пр}_{e\text{САД.вт}}) \cdot K_{\text{Тр}} \quad (2.22)$$

де $\text{Пр}_{e\text{САД.вт}}$ – величина експлуатаційної продуктивності САД-15 на вторинному очищенні, т/год;

$K_{\text{Тр}}$ – коефіцієнт, який дозволяє врахувати робочу продуктивність при первинному очищенні соняшника, $K_{\text{Тр}} = 0,70$.

Величина експлуатаційної продуктивності САД-15 на вторинному очищенні

$$\text{Пр}_{e\text{САД.вт}} = \text{Пр}_{n\text{.САД.вт}} \cdot K_{\text{к}} \cdot K_{1\text{в}} \cdot K_{2\text{з}} = 7,0 \cdot 0,99 \cdot 1 \cdot 0,99 = 6,86 \text{ т/год.} \quad (2.23)$$

Тоді

$$T_{\text{САД.вт}} = (896 / 6,86) \cdot 0,70 = 91,4 \text{ год.}$$

Вагові параметри зерноматеріалу після вторинної обробки:

$$Q_{III.САД} = Q_{II.САД} - Q_{II.САД} \cdot (\%III.САД / 100) \quad (2.24)$$
$$Q_{III.САД} = 896 - 896 \cdot (0,42 / 100) = 892,2 \text{ т.}$$

Отже, згідно з вихідними даними розробленої технологічної карти були проведені технологічні розрахунки післязбирального обробітку зерноматеріалу соняшника, який надходить після збирання на зерноочисний комплекс ЗАВ-25. Зокрема було підібрано високоефективне обладнання, розраховано тривалість всіх технологічних операцій по доведенню чистоти матеріалу до регламентованих показників по чистоті та вологості.

Загальна тривалість післязбирального очищення з підсушуванням всього обсягу збіжжя, яке поступає на обробіток складає 26 діб, причому лімітуючою операцією є операція сушіння та вторинного очищення. Тому рекомендовано збільшити продуктивність сушарки та удосконалити конструкцію аеродинамічного сепаратора САД з метою збільшення продуктивності післязбирального обробітку, відповідно і скорочення термінів його виконання..

3 ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЇ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА

3.1 Принцип дії аеродинамічного сепаратора [4]

Сепаратор аеродинамічний (див. рис. 3.1) функціонує на основі принципу поділу зернових матеріалів за допомогою повітряного потоку. Його робота відбувається наступним чином: зерноsumіш за допомогою пневмотранспорту надходить до бункера 2, після чого через вібрлоток 3 рівномірно подається в сепараційну камеру 6. У цій камері зерно піддається впливу спрямованого похило потоку повітря, який створюється вентилятором 4. Завдяки жалюзійному напрямнику 5, потік повітря додатково структурується, що покращує його взаємодію із зерноsumішшю. В результаті відмінностей в аеродинамічних характеристиках зерновий матеріал розділяється на кілька фракцій і спрямовується у відповідні приймальні відсіки 8.

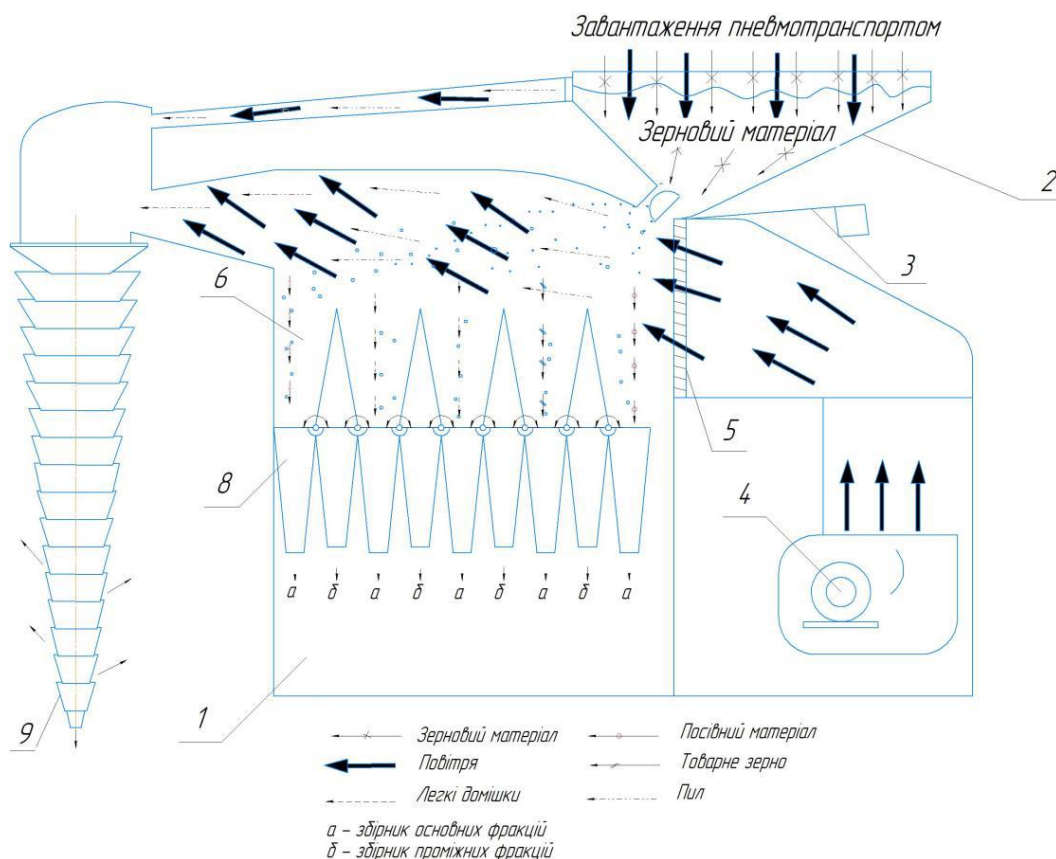


Рисунок 3.1 – Функціональна схема удосконаленого сепаратора:

1 – корпус; 2 – бункер; 3 – вібрлоток; 4 – вентилятор; 5 – жалюзійна решітка; 6 – сепараційна камера; 8 – приймальники фракцій; 9 – інерційний пилоочисник.

Для підвищення ефективності роботи сепаратора пропонується додати жалюзійний пилоочисник 9, який здатний очищати повітряний потік від пилових частинок з ефективністю до 99,8% за умови правильно розрахованих параметрів. Крім того, необхідно обґрунтувати вдосконалення системи аспірації, що дозволить значно покращити процес видалення небажаних домішок і підвищити загальну продуктивність обладнання.

3.2 Розрахунок аспіраційної системи [4, 12]

Аспіраційна система, що працює на принципі відхилення, характеризується траєкторіями руху фракцій, які залежать (див. рис. 3.2) від швидкості повітряного потоку V_{cp} і його напрямку β . Важливими параметрами також є початкова швидкість матеріалу V_0 і кут його входження в пневмосистему α_0 .

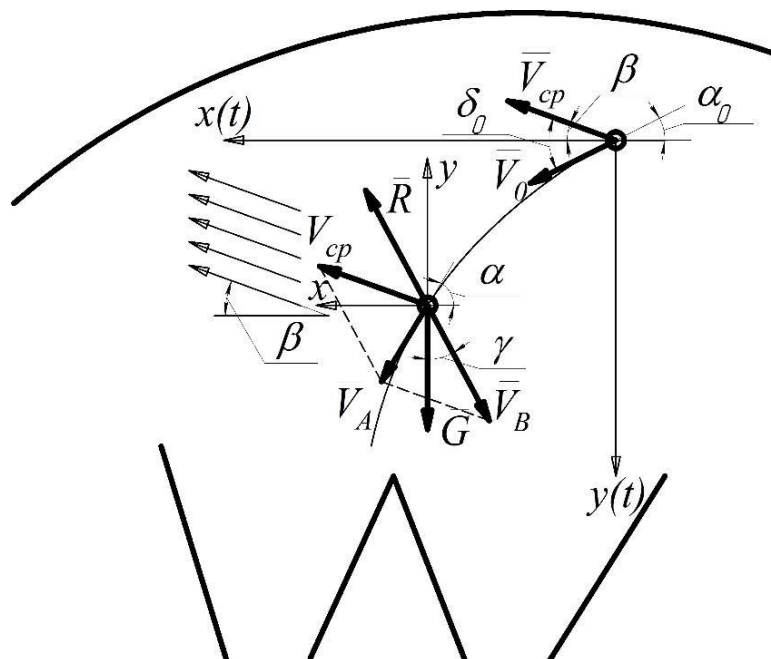


Рисунок 3.2 – Схема сил, що діють на компоненти зерноsumіші у повітряному каналі

Оптимальна швидкість повітряного потоку, що забезпечує максимальну ефективність відділення легких домішок від насіння, визначається за умовою:

$$V_{cp} = \sqrt{V_{кр}' \cdot V_{кр}''}, \quad (3.1)$$

де $V_{кр}'$ – найменше значення критичної швидкості легких домішок, м/с;

$V_{кр}''$ – найбільше значення швидкості витання насіння соняшника, м/с;

$$V_{cp} = \sqrt{2,5 \cdot 8} = 4,5 \text{ м/с.}$$

Робочу глибину аспіраційної системи C_1 розраховують на основі класичної залежності, що описує характеристики похилих пневмоканалів

$$C_1 = \frac{W \cdot B - 60 \cdot B^2 \cdot \sqrt{\pi \cdot W \cdot \sqrt{V_{кр}' \cdot V_{кр}''}}}{3600 \cdot \pi \cdot B^2 \cdot \sqrt{V_{кр}' \cdot V_{кр}''} - W} \quad (3.2)$$

де W – величина, яка регламентує витрати повітряного потоку у системі аспірації, м³/год.

$$C_1 = \frac{5583 \cdot 1,6 - 60 \cdot 1,6^2 \cdot \sqrt{3,14 \cdot 5583 \cdot \sqrt{2,5 \cdot 8}}}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1,6^2 \cdot \sqrt{2,5 \cdot 8} - 5583} = 0,274 \text{ м.}$$

У сепараційній системі втрачається повний тиск, знайдемо його

$$P_{n.m.} = (0,1 + 0,00013 \cdot q_{Fnm}) \cdot U^2, \quad (3.3)$$

де $q_{Fnm} = \frac{q'_{Bn}}{C} = \frac{2000}{27,4} = 72,99 \text{ кг/год} \cdot \text{дм}^2$, відповідно

$$P_{n.m.} = (0,10 + 0,0013 \cdot 72,99) \cdot 4,50^2 = 3,94 \text{ кг/м}^2$$

3.3 Визначення параметрів пилоочисника [4]

Як зазначалося раніше, для підвищення ефективності очищення робочого повітря, запропонували застосувати інерційний пилоочисник (жалюзійний тип) (див. рис. 3.3). Вичислимо його основні параметри.

Опір цього виду пилоочисника розраховується за такою формулою:

$$P_{in} = \xi \cdot \frac{\rho_n \cdot g_a^2}{2 \cdot g}, \quad (3.4)$$

де ξ – коефіцієнт, що характеризує опір пилоочисника, відповідно до [6], для даного типу $\xi = 2$; ρ_n – значення щільності повітря, 1,2 кг/м³;

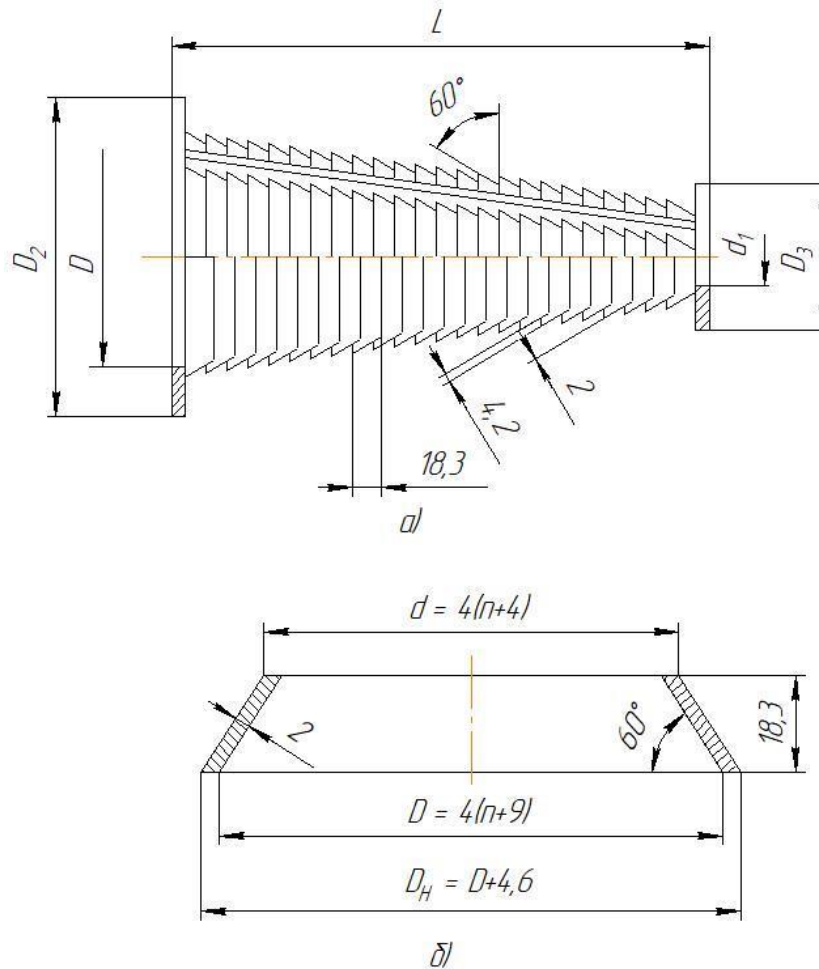


Рисунок 3.3 – Схема розрахунку інерційного пилоочисника:

а) загальний вигляд; б) кільце (n – номер кільця)

Тоді маємо

$$P_{in} = 2 \cdot \frac{1,2 \cdot 16^2}{2 \cdot 9,8} = 31,35 \text{ кгс/м}^2.$$

Обґрунтуємо діаметр отвору входу, який залежить від продуктивності, необхідної для процесу та від значення швидкості потоку повітря, яка зазначається

$$V = \frac{\pi \cdot D_{ml}^2}{4} \cdot g_a, \quad (3.5)$$

звідки

$$D_{ml} = 10^{-3} \cdot 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V}{g_a}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{0,27}{16}} = 0,147 \text{ м,}$$

Отже приймаємо (з стандартного ряду) діаметр вхідного отвору рівним 0,150м.

Відповідно до розрахованих значень згідно рекомендацій [6] обираємо інерційний пилоочисник ІІ- 2-150, що має наступні параметри:

діаметр отвору на виході $d_1 = 36$ мм;

кількість кілець – 28;

діаметр більшого фланця $D_2 = 186$ мм;

діаметр меншого фланця $D_3 = 85$ мм;

загальна довжина $L = 450$ мм;

номери кілець $n = 4 - 28$.

3.4 Енергетичні системи сепарації [4, 5]

Знайдемо тиск (сумарний), що втрачається у системі аеродинамічної машини зерноочистки САД,

$$\Delta N_{\Sigma} = N_{\zeta} + N_{\psi}, \quad (3.6)$$

де N_{ζ} – втрати тиску, які виникають при терті повітряного потоку об стінки пневмосистеми, крім того сюди входять і втрати на подолання місцевих опорів, які виникають при розширенні, звуженні та поворотах повітропроводів, Па;

N_{ψ} – робочі витрати тиску, які потрібні для переміщення повітряним потоком зерноsumіші, Па;

Витрати фрикційні разом із місцевизначеними опорами

$$N_{\zeta} = \left(\lambda \cdot \frac{L_c}{l_e} + \sum \zeta \right) \cdot \rho \cdot \frac{U^2}{2}, \quad (3.7)$$

де λ – коефіцієнт, який характеризує фрикційні опори по стінках пневмосистеми, значення якого прийнято визначати по формулі Блесса

$$\lambda = 0,0125 + \frac{0,0011}{l_e},$$

L_c – довжина системи, по якій відбувається переміщення повітряного потоку, $L_c = 2,8$ м;

ζ – коефіцієнт, що визначає характер місцевих опорів, відповідно до нашої системи $\zeta = 0,84$;

l_e – еквівалентна розмірна характеристика системи,

$$l_e = \sqrt[4]{C^2 + B^2 + C_1^2 + B_1^2} = \sqrt[4]{0,16872^2 + 1,59^2 + 0,275^2 + 1,59^2} = 1,50 \text{ м.}$$

Отже, фрикційні опори будуть

$$\lambda = 0,0125 + \frac{0,0011}{1,50} = 0,0132$$

Підставляємо отримані значення, маємо витрати (фрикційні)

$$N_{\zeta} = \left(0,0132 \cdot \frac{2,8}{1,50} + 0,84 \right) \cdot 1,25 \cdot \frac{8^2}{2} = 34,6 \text{ Па.}$$

Визначаємо витрати на повітряний потік для роботи із матеріалом

$$N_{\psi} = N_{\zeta} \cdot (1 + K_c \cdot \mu_k) = 34,6 \cdot (1 + 1,21 \cdot 0,92) = 73,1 \text{ Па.}$$

де K_c – коефіцієнт, який встановлює характер зерноsumіші, переміщення якої здійснює повітряний потік, її «щільність укладання» та швидкісний режим повітряного потоку відносно розмірних параметрів пневмосистеми;

μ_k – коефіцієнт, який визначає ступінь концентрації зерноматеріалу, тобто характеризує співвідношення маси зерноsumіші до маси повітряного потоку за одиницю часу.

Визначаємо витрати загальні

$$\Delta N_{\Sigma} = 34,6 + 73,1 = 107,7 \text{ Па.}$$

Отже, можна зробити висновок, згідно розрахунків, що один вентилятор забезпечить аеродинамічний сепаратор повітрям в достатній кількості.

3.5 Визначення параметрів вентилятора [4, 5]

Параметри вентилятора визначатимемо відповідно до рекомендацій [6] за допомогою номограми. Основними вихідними даними є витрати повітря та загальні втрати тиску, що виникають як у системі аеросепарації, так і в пилоочиснику.

Втрати (сумарні) розраховуються за формулою:

$$P_{\Sigma} = \Delta N_{\Sigma} + \Delta P_{\text{ін}} = 107,7 + 31,35 = 139,05 \text{ кг/м}^2. \quad (3.8)$$

На основі отриманих значень витрати повітря та повного тиску, відповідно до номограми [6], обрано вентилятор серії ВРН із такими характеристиками:

- Діаметр крильчатки: $D_{\text{кр}} = 578 \text{ мм}$
- Частота обертання: $n_{\text{кр}} = 1400 \text{ об/хв}$
- Об'ємний коефіцієнт корисної дії: $\eta \approx 66\%$

Оскільки серед стандартних вентиляторів відсутні моделі з діаметром крильчатки 580 мм, а найближчий варіант із номером 6 має розмір 600 мм, що призведе до збільшення габаритів і енергоспоживання, доцільно розробити

оригінальну конструкцію вентилятора для вдосконаленої машини. Проектні розрахунки вентилятора будуть виконані відповідно до рекомендацій [6] за схемою (див. рис. 3.4).

Знаходимо значення ширини та висоти горловини відповідно

$$B_{гор} = D_{кр} \cdot 0,70 = 578 \cdot 0,70 = 404 \text{ мм};$$

$$H_{гор} = D_{кр} \cdot 0,135 = 578 \cdot 0,135 = 78 \text{ мм};$$

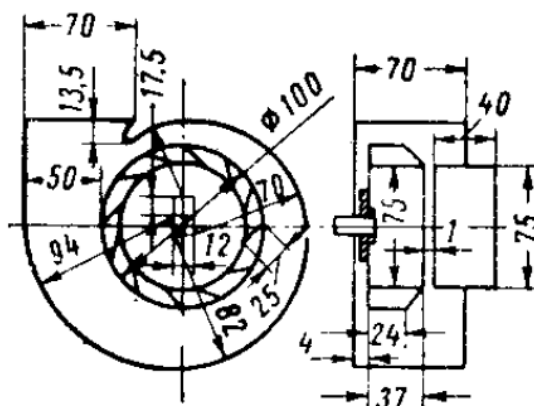


Рисунок 3.4 – Рекомендовані проектні параметри вентилятора у % відносно діаметра крильчатки

Кожух має бути шириною

$$B_{к} = D_{кр} \cdot 0,70 = 578 \cdot 0,70 = 404 \text{ мм};$$

Основа крильчатки діаметром

$$D_{осн.кр} = D_{кр} \cdot 0,75 = 578 \cdot 0,75 = 433,5 \text{ мм};$$

Вхідний фланець діаметром та довжиною, відповідно

$$D_{вх.фл} = D_{кр} \cdot 0,75 = 578 \cdot 0,75 = 433,5 \text{ мм};$$

$$B_{вх.фл} = D_{кр} \cdot 0,40 = 578 \cdot 0,40 = 231,2 \text{ мм};$$

Основа крильчатки шириною та загальною шириною, відповідно

$$B_{осн.кр} = D_{кр} \cdot 0,24 = 578 \cdot 0,24 = 138,7 \text{ мм};$$

$$B_{\Sigma кр} = D_{кр} \cdot 0,37 = 578 \cdot 0,37 = 213,8 \text{ мм};$$

Зазори між крильчаткою і кожухом, між лопатками і вікном, відповідно

$$\Delta_1 = D_{кр} \cdot 0,04 = 578 \cdot 0,04 = 23,1 \text{ мм};$$

$$\Delta_2 = D_{кр} \cdot 0,01 = 578 \cdot 0,01 = 5,8 \text{ мм};$$

Основа для побудови спіралі кожуха має такі параметри розмірів: сторони квадрата, радіуси спіралі та довжина лопатки, відповідно

$$B_{сп} = D_{кр} \cdot 0,12 = 578 \cdot 0,12 = 69,4 \text{ мм};$$

$$R_1 = D_{кр} \cdot 0,70 = 578 \cdot 0,70 = 404 \text{ мм};$$

$$R_2 = D_{кр} \cdot 0,82 = 578 \cdot 0,82 = 473,9 \text{ мм};$$

$$R_3 = D_{кр} \cdot 0,94 = 578 \cdot 0,94 = 543,3 \text{ мм};$$

$$L = D_{кр} \cdot 0,25 = 578 \cdot 0,25 = 144,5 \text{ мм};$$

Відстань від колеса до радіуса (кінцевого) спіралі

$$B_c = D_{кр} \cdot 0,50 = 578 \cdot 0,50 = 289 \text{ мм}.$$

У графічній частині роботи наведені креслення запроєктованого вентилятора.

Висновок

На основі проведених технологічних розрахунків зерноочисного комплексу, встановлено необхідність модернізації аеродинамічного сепаратора САД-15, який використовують при первинному та вторинному очищенні соняшника.

Інженерний аналіз конструкції сепаратора виявив потребу в удосконаленні системи очищення повітряного потоку від пилових часток. Для цього запропоновано застосування інерційного пилоочисника жалюзійного типу. Окрім цього, на основі теоретичних та емпіричних залежностей виконано розрахунок аспіраційної системи, зокрема визначено її оптимальну глибину, що сприятиме підвищенню ефективності очищення матеріалу від домішок.

У рамках запропонованих удосконалень проведено технологічні розрахунки параметрів і режимів роботи пилоочисника, спроектовано новий

вентилятор оригінальної конструкції та виконано енергетичний аналіз роботи пневмосистеми.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ [26]

4.1 Особливості умов праці при вирощуванні соняшнику

Процес вирощування соняшника, як і будь-якої іншої сільськогосподарської культури, супроводжується необхідністю обслуговування широкого спектра технічних засобів, що відрізняються за конструкцією, потужністю та технологічними особливостями. Крім того, велика кількість польових операцій створює змінні умови праці, що вимагає врахування всіх можливих ризиків і небезпек, зокрема тих, що виникають унаслідок експлуатації техніки та природних факторів.

Однією з основних причин нещасних випадків у сільському господарстві є використання несправних машин, відсутність або поломка захисних пристроїв, виконання ремонтних і регулювальних робіт під час роботи двигуна та механізмів, недостатній або неякісний інструктаж з охорони праці, а також нехтування засобами індивідуального захисту. Додаткові ризики виникають при роботі з хімічними препаратами, що використовуються для захисту рослин.

Порушення вимог безпеки під час роботи з ґрунтообробними машинами може спричинити травмування кінцівок, наприклад, пошкодження рук під час очищення робочих органів або ніг внаслідок наїзду приєднаного агрегату. При експлуатації посівних комплексів можливі травмування від сошникових дисків, приводів вентиляторів та інших механізмів. Внесення мінеральних добрив без належного захисту може викликати подразнення слизових оболонок очей, проблеми з диханням, хімічні опіки та навіть створення вибухонебезпечних середовищ.

Важливим аспектом є використання хімічних речовин для захисту рослин, які можуть мати токсичний вплив на організм людини. Це не лише подразнення шкіри та слизових оболонок, але й серйозні отруєння. Тому виконання таких робіт підлягає суворим вимогам безпеки, які навіть перевищують вимоги до експлуатації обприскувачів та іншого технологічного обладнання.

4.2 Вимоги до техніки безпеки при експлуатації

Окремі вимоги висуваються до машин і обладнання, що використовуються для післязбирального очищення врожаю. Основні небезпеки при їх експлуатації включають:

- ризик травмування через рухомі та обертові частини механізмів;
- підвищений рівень запиленості, що може спричинити захворювання органів дихання та зору, а також створює загрозу пожеж або вибухів;
- високий рівень шуму та вібрацій, що негативно впливає на здоров'я працівників;
- ризик ураження електричним струмом через наявність електроприводів у більшості машин;
- зниження концентрації уваги та погіршення зору через недостатнє освітлення робочих місць;
- токсичний вплив паливо-мастильних матеріалів під час технічного обслуговування, ремонту та експлуатації обладнання;
- можливість займання внаслідок пошкодження електромережі.

Дотримання вимог безпеки та охорони праці є ключовим фактором зменшення ризиків і запобігання нещасним випадкам під час вирощування соняшнику.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА [27]

Мета економічної частини полягає у визначенні доцільності впровадження модернізованого аеродинамічного сепаратора для очищення насіння соняшника на підприємстві. Аналіз включає розрахунок витрат, економії ресурсів, продуктивності та терміну окупності вкладень.

Вихідні дані для розрахунків

- Площа посіву соняшника: 100 га
- Урожайність: 20 ц/га
- Загальна маса зібраного врожаю: 200 т
- Засміченість насіння: 8%
- Вологість початкова: 19%, цільова: 13%
- Ринкова вартість очищеного насіння: 18 000 грн/т
- Тривалість робочої зміни: 7 годин

Таблиця 5.1 - Витрати на обробку насіння

Етап обробки	Обладнання	Продуктивність (т/год)	Тривалість (год)	Витрати (грн)
Попереднє очищення	БЦС-25	25	8	4 000
Сушіння	ЗСГ-4.5	3.8	53	15 000
Первинне очищення	САД-15	15	13.3	6 000
Вторинне очищення	САД-15	7	28.6	7 000
Разом	—	—	—	32 000

Ефективність впровадження модернізації

Впровадження вдосконаленого аеродинамічного сепаратора дозволяє досягти наступних результатів: підвищення ефективності очищення: +8%; зменшення втрат насіння: -0,2%; скорочення часу обробки: -20%; зменшення енерговитрат: -10%

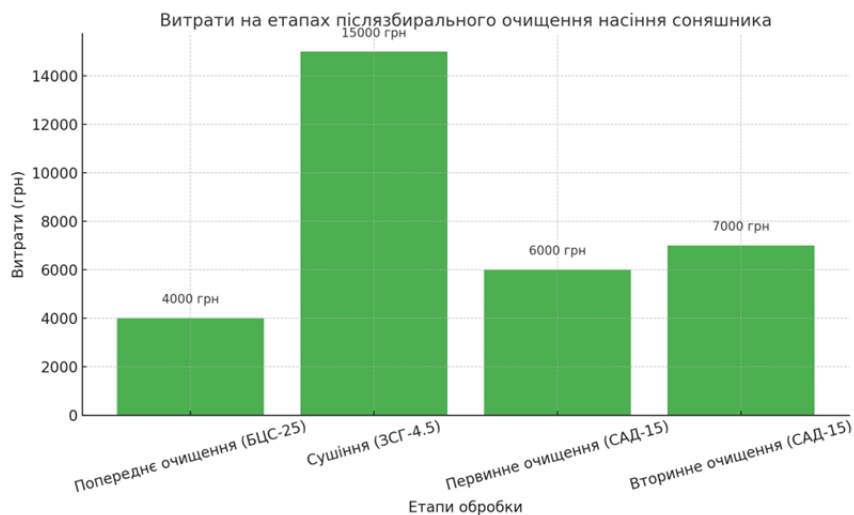


Рисунок 5.1- Розподіл витрат на етапах післязбирального очищення

Таблиця 5.2- Економія від удосконалення

Джерело економії	Обсяг	Сума, грн
Покращення якості (1 т насіння)	1 × 18 000 грн	18 000
Зниження втрат насіння (0,4 т)	0,4 × 18 000 грн	7 200
Економія енергоресурсів	приблизно	2 000
Загальна економія	—	27 200 грн

Термін окупності модернізації

Вартість модернізації: 40 000 грн; очікувана річна економія: 27 200 грн

Термін окупності = $40000 / 27200 \approx 1.47$ сезону

Економічний аналіз підтвердив доцільність впровадження вдосконаленої конструкції аеродинамічного сепаратора. Незважаючи на первинні інвестиції у 40 000 грн, окупність настає менш ніж за два сезони.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У ході виконання дослідження встановлено, що актуальною проблемою сучасного сільського господарства залишається розробка та впровадження інноваційних технологій вирощування соняшника, а також забезпечення цих процесів високоефективними технічними засобами.

З урахуванням цього було проведено аналіз сучасних інтенсивних технологічних систем вирощування соняшника, а також механізаційного забезпечення цих систем, що повинно відповідати вимогам енергоефективності та продуктивності. Спираючись на науково-практичні рекомендації, здійснено планування технологічних операцій з вирощування нового SU-гібриду соняшника «АЛЬМЕРА» від ВНІС за технологією mini-till. Проведено відповідні організаційні та технологічні розрахунки механізованого забезпечення операцій, що дозволило сформувати технологічну карту вирощування культури.

На основі розробленої технологічної карти, виконано технологічні розрахунки післязбиральної обробки насіння соняшника на зерноочисному комплексі ЗАВ-25. Зокрема, обрано високоефективне обладнання, визначено тривалість основних технологічних операцій, необхідних для доведення зерна до нормативних показників чистоти та вологості.

Результати аналізу показали доцільність підвищення продуктивності сушарки та вдосконалення конструкції аеродинамічного сепаратора САД, що дозволить збільшити ефективність післязбиральної обробки та скоротити його тривалість.

Обґрунтований аналіз конструкції сепаратора підтвердив необхідність покращення системи очищення робочого повітря від пилових часток. Для цього запропоновано використання інерційного жалюзійного пилоочисника. Крім того, на основі теоретичних і експериментальних залежностей виконано розрахунки аспіраційної системи, зокрема визначено її оптимальну глибину, що сприяє більш якісному очищенню матеріалу від домішок.

Для реалізації запропонованих удосконалень проведено технологічні розрахунки параметрів і режимів роботи пилоочисника, спроектовано новий

вентилятор із покращеними характеристиками, а також виконано енергетичне обґрунтування пневмосистеми. Внесені зміни дозволили знизити енергоємність і металоємність робочих органів та пневмосепаратора в цілому, що позитивно вплинуло на економічну ефективність їх експлуатації.

У розділі, присвяченому охороні праці, проведено аналіз умов роботи під час вирощування соняшника з урахуванням можливих ризиків і небезпек. Встановлено, що основні труднощі, як і при вирощуванні інших культур, пов'язані з необхідністю обслуговування значної кількості сільськогосподарської техніки, яка відрізняється за конструкцією, потужністю та технологією. Додаткові ризики створюють нестабільні умови польових робіт, які постійно змінюються та можуть супроводжуватися природними факторами.

Результати аналізу підкреслюють важливість дотримання заходів безпеки, вдосконалення технологічних процесів та застосування сучасних методів захисту працівників, що дозволить знизити рівень виробничих ризиків та покращити умови праці в аграрному секторі.

Економічний аналіз підтвердив доцільність впровадження вдосконаленої конструкції аеродинамічного сепаратора. Незважаючи на первинні інвестиції у 40 000 грн, окупність настає менш ніж за два сезони. Це дозволяє агропідприємству зменшити експлуатаційні витрати, підвищити ефективність очищення насіння та, як наслідок, отримати більший прибуток від реалізації високоякісного посівного матеріалу

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 7011:2009 «Соняшник. Технічні умови». Держспоживстандарт України. Київ. 2010. 8 с.
2. Соняшник. Каталог продукції Інституту сільського господарства степу НААН. URL: https://isgs-naan.com.ua/sunflower_seeds.
3. Технічні засоби післязбиральної обробки насіння соняшнику. Монографія / Є. В. Михайлов, С. В. Кюрчев, О. С. Колодій, Н. О. Задосна, В. О. Верхованцева, Л. М. Чернишова, Н. О. Паляничка. Мелітополь. Видавничо-поліграфічний центр ТОВ «Форвардпрес», 2019. 203 с.
4. Основи теорії та технології повітряної сепарації зернових матеріалів: монографія / Б. І. Котов, С. П. Степаненко. Київ : ЦП Компринт, 2023. 427 с.
5. Степаненко С. П. Механіко-технологічне обґрунтування процесів і обладнання безрешітного фракціонування зернових матеріалів: автореф. дис. ...докт. техн. наук: 05.05.11. Глеваха, 2020. 48 с.
6. Машина і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна / А.С. Кобець, Ю.О. Чурсінов, С.А. Черних, М.П. Сабадаш, Н.В. Грекова, В.П. Канунніков – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2013. – 766 с.
7. Петров П.В. Агротехнологія і технологічні карти вирощування сільськогосподарських культур : навч. посіб. / Петров П.В., Посполітак Т.Є., Юркевич Є.О. – К. : Аграрна освіта, 2009. – 268 с.
8. Машина, агрегати та комплекси для післязбиральної обробки і зберігання врожаю (за ред. Халіна С. В., Лебедева С. А.) / [Колектив авторів]; Міністерство аграрної політики та продовольства України; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2023. - 323 с.
9. Технологічна блочно-варіантна система машиновикористання в землеробстві України: монографія. Частина 2/ М. П. Артьомов, В. І. Мельник, В. В. Качанов, С. О. Харченко, [та ін.] – Х.: ТОВ «Планета-Прінт», 2022. - 192 с.
10. Харченко, С.О., Харченко, Ф.М., Панкова, О.В., Бакум, М.В., & Харченко, Д.О. (2022). Ідентифікація властивостей насінних сумішей при поділі їх на віброцентробіжні ситові сепаратори/Вісник Сумського національного

аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів, (2(48), 83-87. <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.12>

11. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навчальний посібник. – Університетська книга, 2020. – 543 с.

12. Харченко, С. О., Біловод, О. І., Абдуєв, М. М., Литвиненко, В. В., & Вольвач, Т. С. (2024). Дослідження рівномірності повітряного потоку в робочих зонах пневмосепарувальних каналів / Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів, (2 (56), 90-100. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.2.13>

13. Харченко С. О., Харченко Ф. М., Котляревський І. В., Панкова О. В. Аналіз систем очищення отворів перфорованих просіювальних поверхонь сепарувальних машин // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів», випуск 3 (57), 2024. - с. 43-50. <https://snaubulletin.com.ua/index.php/mapp/article/view/1191>. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.7>

14. Харченко С. О., Харченко Ф. М., Стельмах А. М., Погуляй В. М., Майоров О. В., Гузь О. І. Аналіз конструкцій перфорованих просіювальних поверхонь сепарувального обладнання, перспективи їх розвитку // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів», випуск 3 (57), 2024. - с. 51-58. <https://snaubulletin.com.ua/index.php/mapp/article/view/1192>. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.8>

15. Шакалій, С. М., Юрченко, С. О., Баган, А. В., Шевченко, В. В., & Зароза, А. О. (2022). Особливості росту та розвитку соняшника залежно від біопрепаратів. Вісник Полтавської державної аграрної академії, (3), 11-17. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.03.01>

16. V.Olshanskii, A. Olshanskii, S. Kharchenko, S.Kovalyshyn, F. Kharchenko, O.Pankova. About the dynamics of heterogeneous fine-grained mixture on a flat vibrosieve. ТЕКА. Quarterly journal of agri-food industry – 2022, Vol. 22, No. 1, 0-00.

17. Kharchenko S., Kovalyshyn S., Linov A, Abduev M., Kharchenko F., Sirovitskiy K. Identification of significant factors in the process of grain mixtures separation on cylindrical sieve. TEKA. Quarterly journal of agri-food industry – 2022, Vol. 22, No. 1, 0-00.
18. Ol'shanskii V., Kharchenko S., Kovalyshyn S., Kharchenko F., Kovalyshyn O., Tomporowski A. and Bałdowska-Witos P. Free oscillations of a dissipative oscillator with double quadratic nonlinearity. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1781 (1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1781/1/012019>.
19. Olshanskyi V., Kharchenko S., Kharchenko F., Kovalyshyn, S., Shchur T., Gabriel Y., Bałdowska-Witos P., Tomporowski A., Kasner R. About Calculation and Forecast of Temperature in the Layer Cell of Self-Heating of Raw Materials in a Silo. Sustainability 2022, 14, 14362. <https://doi.org/10.3390/su142114362>.
20. Kharchenko S., Samborski S., Kharchenko F., Pasnik J., Kovalyshyn S., Sirovitskiy K. Influence of Physical and Constructive Parameters on Durability of Sieves of Grain Cleaning Machines. Advances in Science and Technology Research Journal, 2022, 16(6), 156–165. <https://doi.org/10.12913/22998624/156128>
21. Kharchenko, S., Samborski, S., Kharchenko, F., Paśnik, J. Numerical Study of the Natural Oscillations of Perforated Vibrating Surfaces with Holes of Complex Geometry. Advances in Science and Technology Research Journal, 2023, 17(6), 73–87. <https://doi.org/10.12913/22998624/174062>.
22. Bakum M, Kharchenko S., Kovalyshyn S., Krekot M., Kharchenko F., Shvets O., Kielbasa P., Miernik A. Identification of parameters of the separation process of safflower seed material on sieves. Journal of Physics: Conference Series, 2022, 2408(1), 012013. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2408/1/012013>
23. Kharchenko S., Kovalyshyn S., Linov A, Abduev M., Kharchenko F., Sirovitskiy K. Identification of significant factors in the process of grain mixtures separation on cylindrical sieve. TEKA. Semi-Annual Journal of Agri-Food Industry, 2022, Vol. 22 (1), 5-8.

24. Kharchenko S., Samborski S., Kharchenko F., Mitura A., Paśnik J., Korzec I. Identification of the Natural Frequencies of Oscillations of Perforated Vibrosurfaces with Holes of Complex Geometry. *Materials* 2023, 16(17), 5735. <https://doi.org/10.3390/ma16175735>

25. Kharchenko S., Samborski S., Kharchenko F., Korzec-Strzałka I., Stelmakh A. Dynamics of loose materials and oscillations of cylindrical perforated sifting surfaces with volumetric riffles. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 2024, 18(8): 238-255. <https://doi.org/10.12913/22998624/194114>.

26. Войналович О. В. Охорона праці у сільському господарстві : навч. підруч. / Олександр Володимирович Войналович, Євгенія Іванівна Марчишина, Тамара Олександрівна Білько ; Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – Київ : Центр учбової літератури, 2018. – 690 с.

27. Економіка сільського господарства. Навч. посібник. 3-тє вид. Реком. МОНУ Збарський В.К., Мацибора В.І. 312 с. т. 2023 р.

ДОДАТКИ