

## АНОТАЦІЯ

Макушенко Олександр Вікторович «Дослідження інтенсифікації процесу сепарації зернового матеріалу й обґрунтування параметрів конструкції в стаціонарних зерноочисних машинах».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра з агроінженерії за освітньою програмою «Системи точного землеробства» зі спеціальності 208. Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено теоретичні основи процесів сепарації зернового матеріалу в стаціонарних зерноочисних машинах та практичні аспекти удосконалення конструкції й режимних параметрів з метою підвищення ефективності очищення. Проаналізовано сучасний стан технологічних процесів післязбиральної доробки зерна, нормативно-правову базу, тенденції й закономірності розвитку обладнання, а також основні проблеми, пов'язані з пошкодженням насінневого матеріалу при очищенні.

Випробування показали, що модернізована система очищення зерна ЗАВ-40 дозволяє досягти значень 2,14 кг/м·с при обробці пшениці решіткою з вічками «В» Ø2,2 мм і «Г» Ø5,0 мм, і такий самий показник 2,14 кг/м·с при обробці ячменю з розмірами вічка «В» Ø2,0 мм і «Г». Ø4,5 мм. Обробку можна покращити шляхом збільшення товщини шару до тих пір, поки частка невіддільних домішок не буде істотно змінена (не більше двох змішаних шарів).

У роботі розроблено математичну модель процесу сепарації на повітряно-просівній машині, що дозволяє визначати оптимальні кінематичні режими роботи та прогнозувати рух частинок у повітряному й решітному каналах. Запропоновано застосування полімерних сит замість сталевих, що забезпечує зменшення мікропошкоджень зародка та ендосперму й сприяє підвищенню схожості насіння. Проведено експериментальні дослідження модернізованої системи очищення ЗАВ-40, у ході яких встановлено залежності ефективності процесу від подачі зернової маси, конфігурації решіт, розміру комірок та використання двоярусного решітного стану. Наведено результати оцінки пошкоджень насінневого матеріалу, аналіз мікроефектів ячменю, а також показники економічної ефективності запропонованої модернізації.

Економічні розрахунки підтвердили доцільність упровадження удосконаленої схеми очищення. Застосування сучасної зерноочисної системи ЗАВ-40 забезпечує зниження експлуатаційних витрат на 593,5 тис. грн., з додатковими інвестиціями 320 тис. грн., очікуваний економічний ефект 3,6 млн. грн. Дисконтований термін окупності інвестиційного проекту становить 0,6 року.

Ключові слова: сепарація зерна, зерноочисні машини, інтенсифікація очищення, полімерні сита, модернізація ЗАВ, пошкодження зернового матеріалу, економічна ефективність, охорона праці, технологічні процеси.

## ABSTRACT

Makushenko Oleksandr «Research on the Intensification of Grain Material Separation and Substantiation of Design Parameters in Stationary Grain-Cleaning Machines».

Qualification work for the degree of Master in Agricultural engineering under the educational program “Precision Agriculture Systems” in the specialty 208. Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The qualification work investigates the theoretical foundations of grain separation processes in stationary grain-cleaning machines and the practical aspects of improving their design and operating parameters to enhance cleaning efficiency. The current state of post-harvest grain processing technologies, the regulatory framework, development trends, and key issues related to seed damage during separation were analyzed.

Tests have shown that the modernized ZAV-40 grain cleaning system allows achieving values of 2.14 kg/m·s when processing wheat with a grid with mesh sizes "B" Ø2.2 mm and "G" Ø5.0 mm, and the same indicator of 2.14 kg/m·s when processing barley with mesh sizes "B" Ø2.0 mm and "G". Ø4.5 mm. Processing can be improved by increasing the layer thickness until the proportion of non-separable impurities is not significantly changed (no more than two mixed layers).

A mathematical model of the separation process in an air-screen machine was developed, allowing determination of optimal kinematic modes and prediction of particle movement in air and sieve channels. The use of polymer sieves instead of steel ones was proposed, resulting in reduced micro-damage to the embryo and endosperm and improved seed germination. Experimental studies of the modernized ZAV-40 cleaning system were performed, identifying dependencies of cleaning efficiency on material feed rate, sieve configuration, cell size, and the application of a two-tier sieve system. The results include the assessment of seed damage, analysis of micro-defects in barley, and economic efficiency indicators of the proposed modernization.

Economic calculations confirmed the feasibility of implementing the improved cleaning scheme, ensuring reduced operating costs, increased yield of marketable grain, and enhanced overall efficiency of production processes. The use of a modern grain cleaning system ZAV-40 ensures a reduction in operating costs by 593.5 thousand UAH, with additional investments of 320 thousand UAH, the expected economic effect is 3.6 million UAH. The discounted payback period of the investment project is 0.6 years.

Keywords: grain separation, grain-cleaning machines, process intensification, polymer sieves, ZAV modernization, grain damage, economic efficiency, occupational safety, technological processes.

## **ЗМІСТ**

<b>ВСТУП</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ</b>	<b>7</b>
1.1 Особливості процесу зберігання зерна	7
1.2 Особливості процесу очистки зерна на агрегатах типу ЗАВ	12
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	<b>20</b>
2.1 Дослідження технологічних схем очистки структурно-параметричним способом	20
2.2 Створення математичної моделі	25
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>28</b>
3.1 Програма і методика досліджень	28
3.2 Методика дослідження пошкоджень зернового матеріалу при використанні пластикових сит	30
3.3 Аналіз показників роботи агрегату, оснащеного решетами з високомолекулярного поліестеру	34
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	<b>47</b>
<b>РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>51</b>
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>54</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>55</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	<b>58</b>

## ВСТУП

Сільське господарство посідає провідне місце в економіці України, адже воно гарантує продовольчу безпеку країни, забезпечує суттєву частку валютних надходжень та впливає на соціально-економічний розвиток сільських регіонів. Одним із найважливіших напрямів підвищення ефективності аграрного виробництва є вдосконалення технологій післязбиральної обробки зернового матеріалу, зокрема його очищення та сортування. Якість зерна безпосередньо впливає на його ринкову вартість, можливість тривалого зберігання та використання у харчовій, кормовій і переробній промисловості.

Сепарація зернового матеріалу є основним етапом технологічного процесу післязбиральної обробки, оскільки вона забезпечує відокремлення зерна від домішок різного походження, розділення його за розмірними та аеродинамічними характеристиками. В умовах сучасного виробництва виникає потреба в інтенсифікації цього процесу, що дозволить підвищити продуктивність обладнання, зменшити енерговитрати та забезпечити високу якість кінцевого продукту.

Стаціонарні зерноочисні машини займають важливе місце в аграрному виробництві завдяки своїй універсальності, надійності та здатності працювати з великими обсягами матеріалу. Проте існуючі конструкції потребують вдосконалення з точки зору оптимізації режимних параметрів, покращення якісних показників очищення та зниження експлуатаційних витрат. Дослідження процесів сепарації та обґрунтування конструктивних параметрів таких машин дозволить сформувати науково-технічні основи для створення нових високоефективних рішень.

Таким чином, обрана тема є надзвичайно актуальною в сучасних умовах, адже її результати сприятимуть підвищенню ефективності зернового виробництва, покращенню якості зерна, зміцненню позицій України на світових ринках та забезпеченню продовольчої безпеки країни.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ

#### 1.1 Особливості процесу зберігання зерна

Вибір технічних засобів і технології післязбиральної обробки зерна визначається насамперед такими показниками, як вологість та засміченість зернової маси.

У господарствах, що займаються переробкою зерна, використовують дві основні технологічні схеми післязбиральної обробки — мобільну та стаціонарну [1]. Під час переробки продовольчого зерна застосовують мобільну техніку, зокрема зерноочисні комплекси типу ЗАВ та зерносушильні комплекси типу КЗС (рис. 1.1). Однак зазначене обладнання було знято з виробництва ще у 1991 році, а більшість установок, що залишилися у господарствах, перебувають у незадовільному технічному стані та потребують негайної модернізації.

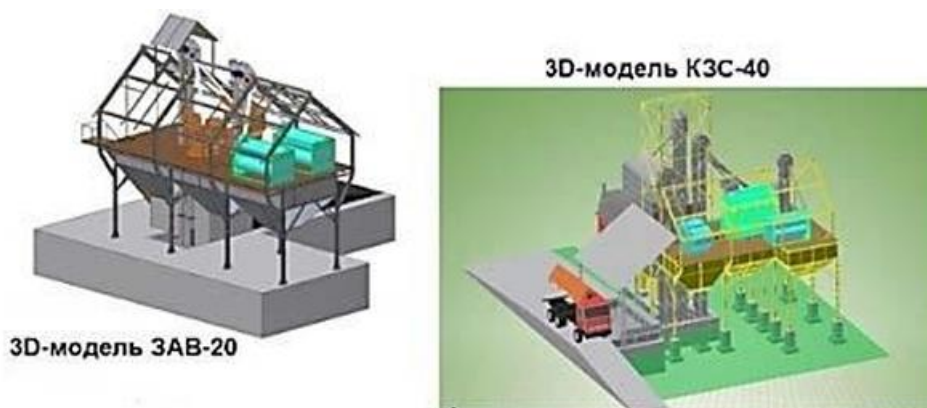


Рисунок 1.1 – 3D моделі агрегату для очистки зерна ЗАВ і комплексу КЗС

Обладнання та комплекси на більшості ферм є застарілими та не відповідають вимогам стандарту ГОСТ-33735-2016 на зерноочисне обладнання. Зерноочисний апарат типу ЗАВ можна використовувати не тільки для очищення зерна, а й для підготовки насіння. Однак багаторазове проходження зерна через зерноочисний пристрій призведе до збільшення шкоди та зниження ефективності посіву.

У деяких господарствах використовується конвеєрна робота з використанням пневматичних сортувальників і зерноочисників німецької фірми Petkus (рис. 1.2) [2].



Рисунок 1.2 – Апарат для очистки зерна K527A «Петкус»

У багатьох господарствах використовується двоетапний процес, який включає початкову обробку зернового стосу на етапі обробки та післязбиральну чистку зерна. Багато дослідників [3] визначають сортування як відокремлення в процесі очищення найбільш продуктивного насіння, відсортованого за розміром і з мінімальними пошкодженнями. Труднощі в переробці зерна часто посилюються високою вологістю і сильними засміченнями. В даний час однією з головних проблем виробництва зерна в моїй країні є повсюдна відсутність сучасного технологічного забезпечення, що заважає зерну своєчасно зберігатися, досягати оптимального збереження та необхідних комерційних умов, а також продавати його в найбільш сприятливий час. Виходячи з вищевикладеного, основні чинники, які зумовлюють неадекватність наявного обладнання, можна підсумувати наступним чином: - сховища господарств по всій країні не можуть вмістити навіть половини виробництва зерна (з розрахунку не менше 80 млн тонн), а існуючі сховища за своїм станом, технічною оснащенням та санітарними вимогами часто не забезпечують належного збереження зерна в необхідному

стані; - Основні технічні засоби - зерноочисні агрегати (ЗАВ) і зерноочисно-сушильні комплекси (КЗС) - призначені для реалізації «перевалочної» технології переробки (від транспорту до транспорту), тобто прийому сировини від транспорту і доставки переробленої сировини до транспорту. Ці об'єкти зазвичай будують далеко від складів, що також збільшує витрати та ускладнює їх використання в нових умовах [4];

Технологія, з якою ми знайомі сьогодні, також має деякі недоліки. Вітчизняні технології і методи розраховані на роботу на молотарях — відкритих або критих полях, покритих асфальтом, бетоном або просто утрамбованим ґрунтом. Зернозбиральні комбайни обмолочують колоски, а чисте (з чистою поверхнею зерна) зерно транспортується на молотарню, вивантажується на місці, а потім обробляється пересувними навантажувачами, де піддається забрудненню та пошкодженню дощем, гризунами, птахами та робочими органами машини.

Важливо відзначити, що така технологія ще не використовується в розвинених країнах. Транспортування зерна з поля на зернопереробний цех і зсипання в складські приміщення здійснюється через установки попереднього очищення або, за необхідності, сушильні установки [5] (рисунки 1.3-1.6).



Рисунок 1.3 – Китайська лінія для очищення і сепарації зерна ТФКН-1500



Рисунок 1.4 – Зернопереробний завод в Австрії



Рисунок 1.5 – Зерноочисно-сушильний комплекс в Німеччині



Рисунок 1.6 – Китайська лінія для очищення та сепарації зерна ТФКН - 2500

Зерноочисні агрегати та зерноочисні комплекси призначені для реалізації технології післязбиральної обробки зерна, але в реальності вони також застосовують один і той же процес, реалізуючи технологію: зерно вивантажується з зернозбирального комбайна на вантажівку, транспортується з вантажівки на майданчик, потім завантажується навантажувачем у вагон, а потім висипається з вагона в приймальний пристрій агрегату (комплексу), де здійснюється оброблений матеріал знову вивантажується на майданчик [6]. Порушує вимоги щодо навколишнього середовища не лише перенесення або оптимізована технологія переробки зерна (рис. 1.7), оскільки оброблене зерно є більш брудним, ніж до переробки, але й ці машини використовують систему пневматичної сепарації замкнутого [7] циклу та відкриту систему всмоктування.

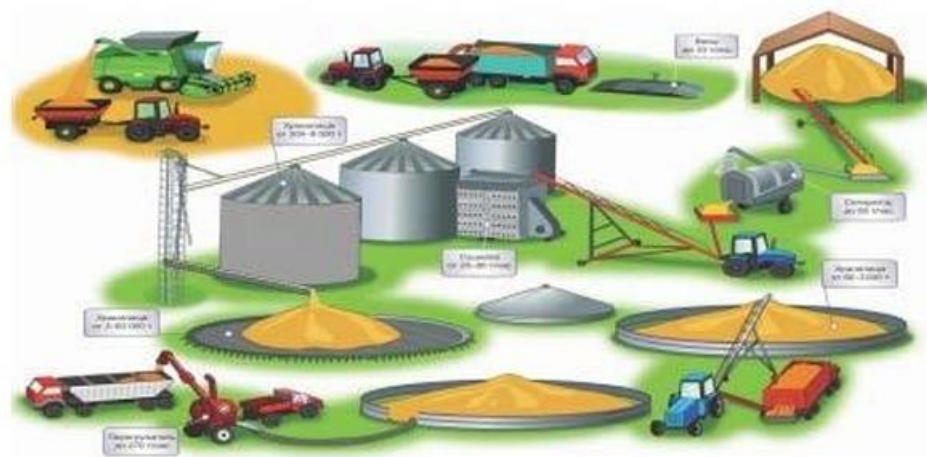


Рисунок 1.7 – Перевалочна технологія обробки зерна

Нині рівень технічної оснащеності зернопереробних господарств післязбиральної обробки та зберігання зерна та насіння є вкрай низьким і продовжує знижуватися.

Тому причиною тривалого зниження постачання техніки для післязбиральної обробки в господарства є те, що кількість вилученої техніки значно перевищує кількість новопрдбанної.

## 1.2 Особливості процесу очистки зерна на агрегатах типу ЗАВ

Зерноочисні комплекси типу ЗАВ (рис. 1.8) призначені для післязбиральної обробки зернових та олійних культур. Вони формують єдину технологічну лінію, що включає повний набір машин та обладнання і складається з двох основних відділень. Перше відділення забезпечує попереднє очищення зерна від великих і дрібних домішок, при цьому зерно тимчасово зберігається у вентилязованих приміщеннях. До складу цього відділення входять авторозвантажувач, завантажувальна яма, проміжний конвеєр, два елеватори та секція для зберігання зерна. У цей відсік також входить очищувач попереднього очищення. Другий відсік використовується для остаточного очищення зерна, розподілу дробленого зерна в різні силоси та подальшого вивантаження[8] в транспортні засоби. До складу цього відділу входять очищувач повітряного сіта, тестовий блок і лінія зерна.

Принцип роботи зерноочисної системи ЗАВ полягає в наступному: зерно спочатку потрапляє в завантажувальну яму, а потім транспортується на конвеєр, який потім відправляє його на елеватор.



Рисунок 1.8 – Агрегат для очистки зернового матеріалу ЗАВ-40

Далі зерно проходить попереднє очищення в машині. Далі зерно надходить на сортувальний конвеєр для відділення більших домішок, а потім проходить

через повітряне сито для видалення легких домішок. Після видалення домішок його відправляють у силос для відходів. Основне зерно через елеватор відправляється в силос тимчасового зберігання. Із силосу тимчасового зберігання зерно по конвеєру та елеватору направляється на зерноочисник для остаточного очищення. За допомогою потоку повітря та сит зерно розділяється на три частини: чисте зерно, середня частина та відходи. Середня частина направляється на зерноочисник [9]. Якщо зерно не сильно закупорене, його поділяють на чисте зерно та відходи для корму. Якщо насіння обробляється, все зерно потрапляє в силос для зберігання.

Перед початком використання системи очищення зерна ЗАВ необхідно розробити робочий план, щоб переконатися, що обладнання може працювати безперервно та автономно, а також врахувати тип культури, вологість та передбачуване використання кінцевого продукту. Для очищення зернових і зернових культур використовується техніка ЗАВ, розроблена в 1970-х роках і широко використовувана в усіх країнах пострадянського простору з різним ступенем ефективності [10].

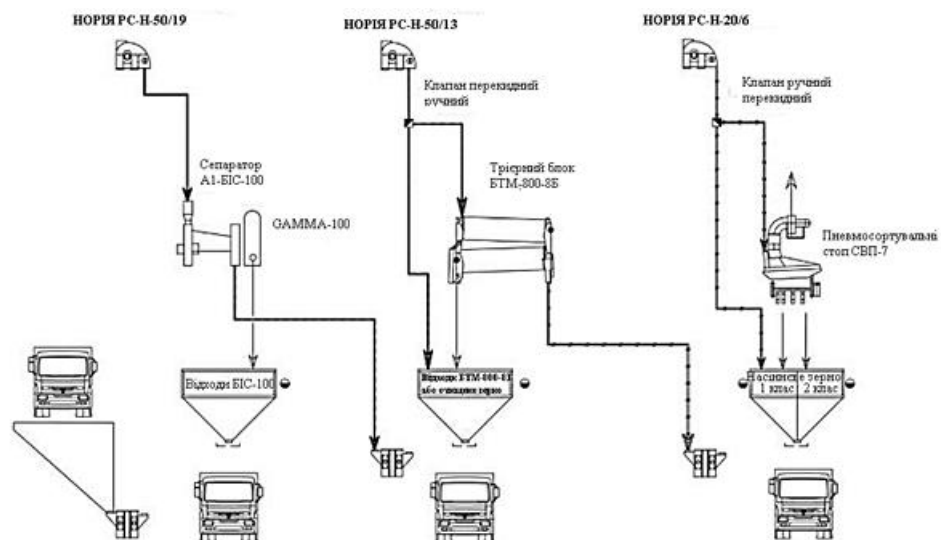


Рисунок 1.9 – Технологічні схеми реалізації ЗАО типу ЗАВ

Зерноочисна установка ЗАВ-20 складається з двох паралельних (регульованих на дві технологічні схеми) технологічних ліній (рисунок 1.10).



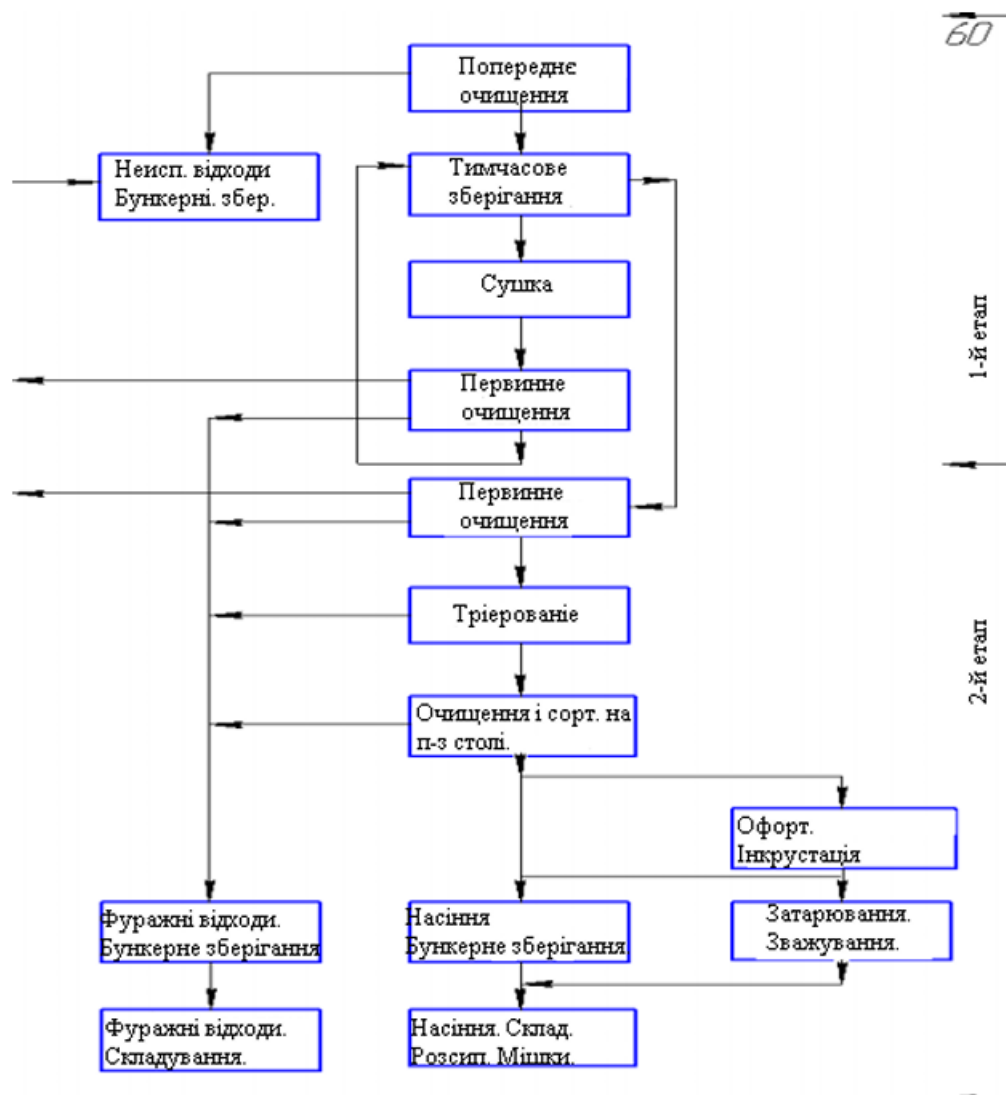


Рисунок 1.11 – Структурна схема двох етапної підготовки зернового та насіннєвого матеріалів

Під час первинного очищення вієло відокремлює легкі, великі та дрібні частинки від зернового матеріалу з повнотою не менше 0,6%. Номінальна продуктивність машини 20 (40, 50) тонн/год. Машина розділяє оброблений матеріал на три частини: насіння, кормові відходи та невикористані відходи.

При використанні двоступеневої технології очищення використовується машина первинного очищення має певні особливості. У цьому випадку частина очисної функції вторинного очисника передається первинному [11] і, відповідно, попередньому очиснику. Застосування технології двоступеневої очистки

дозволяє збільшити розмір вічка сортувальної решітки та збільшити швидкість вітру у віялці. При цьому видаляє з основного врожаю неякісні, биті та порожнисті ядра.

Фрагменти насіння відправляють у камери тимчасового зберігання для післязбирального зберігання. У активно вентиляваних сховищах або контейнерах насіння обдувають зовнішнім або нагрітим повітрям. У період дозрівання насіння регулярно піддається лабораторному аналізу для перевірки його схожості, схожості, чистоти та пошкодження. Зріле насіння з максимальною схожістю та потенціалом проростання направляють на другий етап обробки. Одночасно проводиться сортування насіння для підвищення якості посіву, а сортувальний механізм – для видалення нерівних або дефектних ядер з фрагментів насіння.

Двоступенева технологія дозволяє вирішити проблему підвищення якості посіву насіння при мінімізації втрат [12]. Двоступенева технологія підготовки насіння дозволяє змінити організацію виробничого процесу: замість створення великих насінневих господарств вигідніше будувати комплексні насінневі заводи. Невеликим виробникам достатньо мати обладнання для виконання першого етапу обробки. Попередньо очищений та висушений насінневий матеріал зберігають на господарських посадках або на кооперативних пунктах первинної обробки, де він проходить стадію післязбирального дозрівання. Вторинне очищення, сортування та обробку насіння здійснюють на спеціалізованих насіннепідготовчих пунктах [13].

Очікується, що така схема обробки насінневого матеріалу підвищить його якість і зменшить собівартість виробництва. Слід зауважити, що у двостадійній технології підготовки зерна та насіння особливо важливу роль відіграє передочищувач, оскільки від його ефективності залежить якість усієї технологічної лінії зерноочисного комплексу типу ЗАВ [14]. Хоча стандартна комплектація очисників типу ЗАВ давно знята з виробництва, більшість

господарств, які спеціалізуються на вирощуванні зернових культур, успішно відновили та модернізували це обладнання для обробки зібраного врожаю.

Слід також зазначити, що відсоток пошкодження насіння постійно зростає в процесі проходження зернового матеріалу через усі очисники в зерноочисному апараті типу ЗАВ. Щоб зменшити пошкодження зерна в нижній частині елеватора, встановлені напрямні пластини [15], які запобігають потраплянню насіння між роликком і ковшовою стрічкою та зменшують швидкість руху елеватора. Крім того, замість металевих матеріалів використовуються композитні матеріали, в тому числі різні пластмаси (зокрема, надвисокомолекулярний поліетилен). За стабільністю цей поліетилен у багато разів перевершує поліамід літій, поліамід фторопласт, поліпропілен тощо [16]. (Малюнок 1.12).

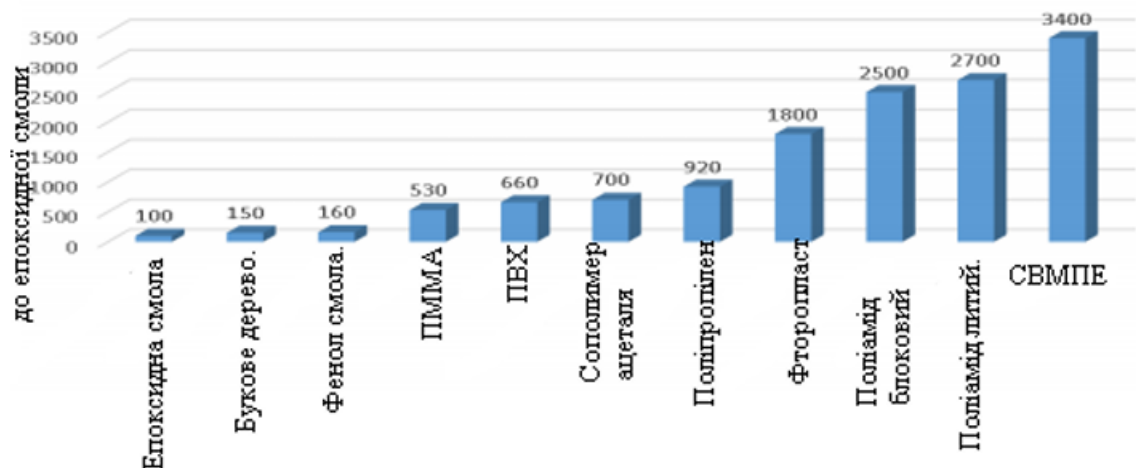


Рисунок 1.12 – Показники міцності композитних матеріалів, що застосовуються у сільському господарстві

Основні властивості «Поліпропілену високої молекулярної маси» наступні: Міцність на розрив: 25-35 МПа; Подовження при розриві: 200-350%; Пластична температура переходу: 138-142°C; Діапазон робочих температур: від -200°C до +100°C.

Коефіцієнт тертя зі сталлю:

- Сухе тертя: 0,1-0,2;

- 0,05-0,1 у водних середовищах;
- 0,01-0,08 в масляних середовищах;

Стійкість до більшості корозійних середовищ, нульове водопоглинання, низька адгезія, стійкість до ґрунту та сипучих матеріалів, висока ударостійкість, відсутність холодної течії, дуже низький знос [17].

Матеріали ВМПП в основному використовуються у вигляді пластин для виготовлення різноманітних промислових і сільськогосподарських виробів, а також для покриття поверхонь, схильних до зносу, адгезії та замерзання великих абразивів.

Застосування матеріалів ВМПП: облицювання поверхонь, схильних до зносу, адгезії та замерзання великих абразивів; облицювання поверхонь, схильних до адгезії та замерзання великих абразивів; виробництво компонентів, які працюють у великих абразивних середовищах;

Матеріали ВМПП мають такі чудові властивості: висока зносостійкість; високий коефіцієнт ковзання; висока ударна міцність; низький коефіцієнт тертя; низька адгезія до поверхні; висока хімічна стійкість; висока стійкість до розтріскування; відсутність холодного потоку; щільність 0,94-1,02 г/см<sup>3</sup>.

Коефіцієнт тертя сталі (СТ 35), яка використовується для виготовлення решіток зерноочисних машин із зерном, становить 0,445, а коефіцієнт тертя матеріалу ВМПП із зерном – 0,267, що на 37 % менше.

У літературі [18] зазначено, що під час збирання та подальшої обробки зерно зазнає серйозних пошкоджень від повторюваних сил, повторних ударів, стиснення, тертя тощо різних машин і механізмів. На жаль, ураження зерна неможливо повністю уникнути, а можна лише частково зменшити. Пошкоджуваність насіння кукурудзи 85-90%, жита 80-85%, твердої пшениці 75-80%, м'якої пшениці 40-45%.

З огляду на вищевикладене та враховуючи характеристики ВМПП, використання даного виду матеріалу в конструкції технологічного обладнання зерноочисних установок типу ЗАВ матиме великі перспективи.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ

#### 2.1 Дослідження технологічних схем очистки структурно-параметричним способом

Післязбиральна обробка зерна є одним із найважливіших процесів отримання зерна та насінневого матеріалу. Його реалізація залежить від фізико-механічних властивостей і якісних характеристик зерна та параметрів зерноочисного обладнання.

У деяких роботах [19] проведено глибокі дискусії щодо модернізації технологій і технічних засобів післязбиральної обробки зерна. У цих роботах визначено можливі способи очищення зерна просіюванням і продемонстровано технічну дію системи та засобів очищення зернових культур.

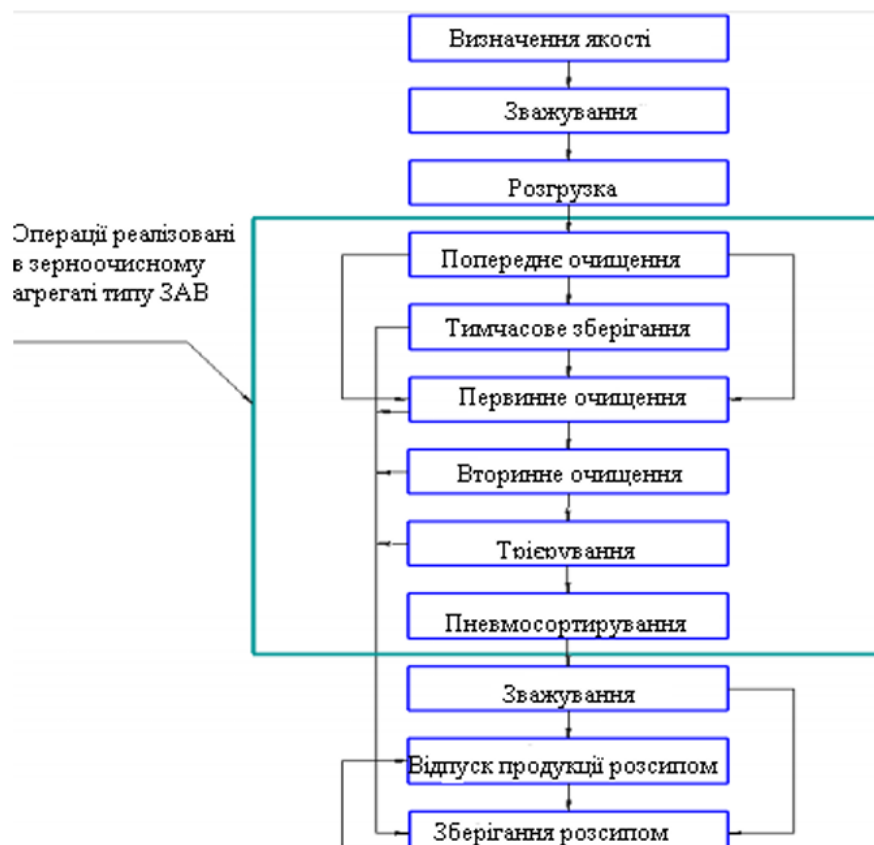


Рисунок 2.1 – Комплекс операцій техпроцесу очистки зерна та насіння

Основними факторами післязбиральної обробки є: фізико-механічні властивості зернових матеріалів; технічний рівень техніки і технології. У господарствах, як правило, використовується універсальна технологія очищення зернового матеріалу, яка реалізується зерноочисним пристроєм типу ЗАВ (рисунок 2.1). При цьому технології періодичного очищення використовуються і на відкритих майданчиках. Наприклад, мобільні очисні пристрої типу ЗАВ і очисні пристрої типу КЗС.

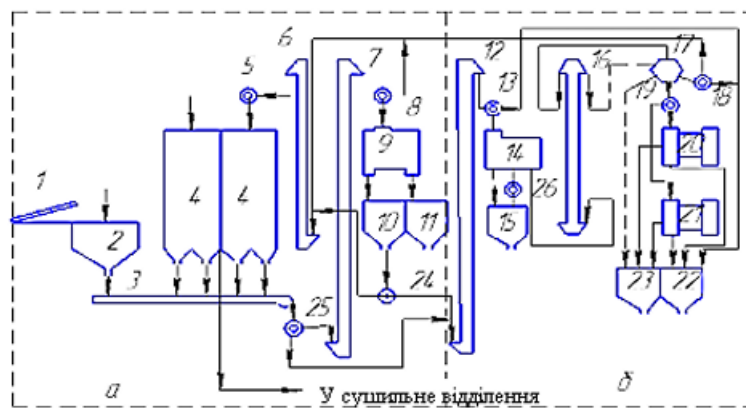


Рисунок 2.2 – Технологічна схема агрегату ЗАВ - 20

Стационарний зерноочисний пристрій типу ЗАВ являє собою комплекс машин і устаткування, що включає: приймальний силос і майданчик для приймання зерна з автотранспорту. На рисунку 2.2 наведена технологічна схема ЗАТ «ЗАВ-20», яка включає цех прийому та зберігання зерна (рисунок 2.2 а) і цех очищення (рисунок 2.2 б). Машини та обладнання з'єднані через конвеєрний процес. Виходячи із загального принципу побудови технологічного потоку, ефективність технологічного процесу залежить від ефективності кожної зерноочисної машини.

Так, у типовому технологічному сценарії для розглянутої установки ЗАВ-20 продуктивність попереднього очищувача зросла вдвічі. Це пов'язано з тим, що під час фактичної роботи купа зерна, що надходить до очисної установки, сильно заблокована, і фактична продуктивність встановленого попереднього очищувача (табл. 2.1, пункт б) може бути значно нижчою за очікувану.

Таблиця 2.1 – Номенклатура обладнання ЗАВ-20

Позиція	Марка	Найменування	Кількість
1	-	Комплект арматури металевої	1
2	ЗАВ-40.13.000	Бункер приймальний	1
3	ОП-50.02.000	Живильний дозатор	1
4	-	Транспортер завантажувальний	1
5	-	Норія, 50 т / год	1
6	МПР-50 або МВР-7	Машина попереднього очищення	1
7	-	Норія, 25 т / год	1
8	МВР-6 (ОЗС-50)	Машина зерноочисні повітряно-решітні	1
9	ЗАВ-40.05.000	Аспіраційна система	1
10	-	Норія, 25 т / год	1
11	БТЦ - 700	Блок трієрний	1
12	ТЧЗ - 700	Транспортер завантажувальний	1
13	-	Норія, 10 т / год	1
14	МОС-9Н	Стіл пневмосортувальний	1
15	-	Комплект зернопроводів	1
16	-	Пульт керування	1
17	Бункер проміжний і транспортують елементи для прив'язки сушарки		
18	Комплект обладнання для протруювання		

Отже, у стаціонарній зерноочисній установці типу ЗАВ операція попереднього очищення виступає найслабшою ланкою у технологічному ланцюзі обробки зерна. Схожий висновок можна зробити й для інших базових технологічних схем зерноочисних комплексів ЗАВ-40 та ЗАВ-50.

У загальному вигляді модель структурних параметрів очищення зерна та насіння в стаціонарній установці типу ЗАВ представлено на рисунку 2.3.

Розглянемо роботу зерноочисника у режимі потокового очищення зерна та насіння з використанням агрегату типу ЗАВ. Основними показниками ефективності роботи будь-якого зерноочисника є продуктивність та якість очищення. Вони безпосередньо залежать від продуктивності подачі зернового матеріалу ( $Q_i$ ) та від рівня забрудненості зерна ( $K_i$ ) на вході до установки.

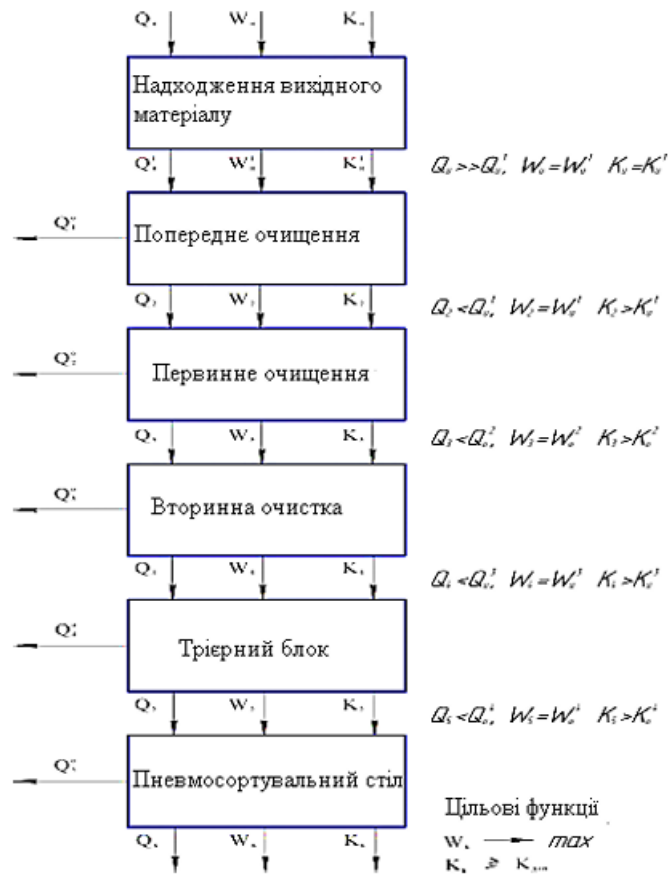


Рисунок 2.3 – Структурно-параметрична модель очистки зернового матеріалу з використанням СЗА типу ЗАВ

Отже, у загальному випадку для будь-якого  $i$ -го зерноочисника в технологічному ланцюзі типу ЗАВ залежність між його продуктивністю  $Q_i$  та показником якості очищення  $K_i$ .

Отже, продуктивність  $Q_i$  зерноочисника та показник якості очищення  $K_i$  є взаємопов'язаними параметрами.

– нормальна продуктивність зерноочисника при  $i \cong$ , де – допустимий показник якості вихідної сировини.

Тобто, якщо показник якості зернового матеріалу, що надходить на зерноочисник, перевищує нормативи, передбачені розробником, то можна вважати, що продуктивність зерноочисника може бути підвищена.

При цьому показник якості також повинен відповідати технічним характеристикам зерноочисника. Наприклад, якщо ми порівнюємо показники

якості повітряного фільтра з показником фільтра, вони не можуть бути абсолютно однаковими. У повітропросіювальних машинах легкі, великі та інші домішки відокремлюють по їх ширині (товщині); У просіювальних машинах сміття відокремлюється залежно від їх довжини.

Однією з ключових вимог до роботи зерноочисної установки є узгоджена продуктивність різних машин в установці.

Для досягнення максимальної ефективності та безперервної роботи агрегату на технологічній лінії необхідно забезпечити збереження продуктивності машин на попередніх стадіях. Ефективність операції дорівнює або менше продуктивності машини на наступній операції плюс один зерноочисний агрегат.

Якщо ця умова не виконується, максимальна продуктивність всієї потокової лінії буде дорівнювати продуктивності найменш продуктивної машини в лінії, що негативно позначиться на роботі потокової лінії. Основною робочою частиною зерноочисної машини є решето, яке є універсальною машиною, здатною обробляти насіння різних культур. Наведено результати визначення оптимального режиму роботи решета при відокремленні різних культур та визначено подачу на 100 мм його ширини (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Рекомендована подача на 100мм ширини решета у кг/год

Вид матеріалу	Попереднє очищення	Основна очищення і сортування
Пшениця	600	200
Жито	500	150
Ячмінь	500	150
Овес	400	120
Просо	200	60
Гречка	300	100
Рис	400	120
Кукурудза	500	150
Горох	600	200
Чечевиця	400	125
Фасоль	600	200

Для фактично використовуваних висівно-сортувальних решіток при використанні нормального режиму руху, близького до оптимального, процес просіювання здійснюється при ширині робочого органу, що дорівнює 1.

Розглянуті положення можна пояснити на основі математичної моделі сепарації зернового матеріалу на повітряній решітці.

## 2.2 Створення математичної моделі

Зі збільшенням навантаження на робочий орган зерноочисної машини збільшується також товщина шару зерна, а отже, маса зернового матеріалу також збільшується, а також зростає сила тертя зерна об поверхню робочого органу, тобто

$$F_{\text{тр}}^z = K_p N, \quad (2.1)$$

У зв'язку зі збільшенням маси шару зерна на решітці збільшується також сила тертя, що призведе до збільшення мікропошкоджень на решітці.

Крім того, підвищення чистоти зернового матеріалу, що подається на сито, тобто зменшення вмісту домішок соломи та лушпиння, призведе до збільшення коефіцієнта тертя, що призведе до збільшення тертя та збільшення мікропошкоджень зерна та насіння. Для зменшення мікропошкоджень можна використовувати екран з неметалічного полімерного матеріалу з низьким коефіцієнтом тертя, наприклад, ВМРЕ (високомолекулярний поліетилен).

Під час очищення в машинах повітряного просіювання зерно разом із соломною та іншими домішками піддається різноманітним фізичним і механічним впливам, зокрема ударам та тертю об поверхню робочого органу. На рисунках 2.4 та 2.5 представлено принципову схему взаємодії зернового матеріалу з робочим органом повітряно-просівної зерноочисної машини.

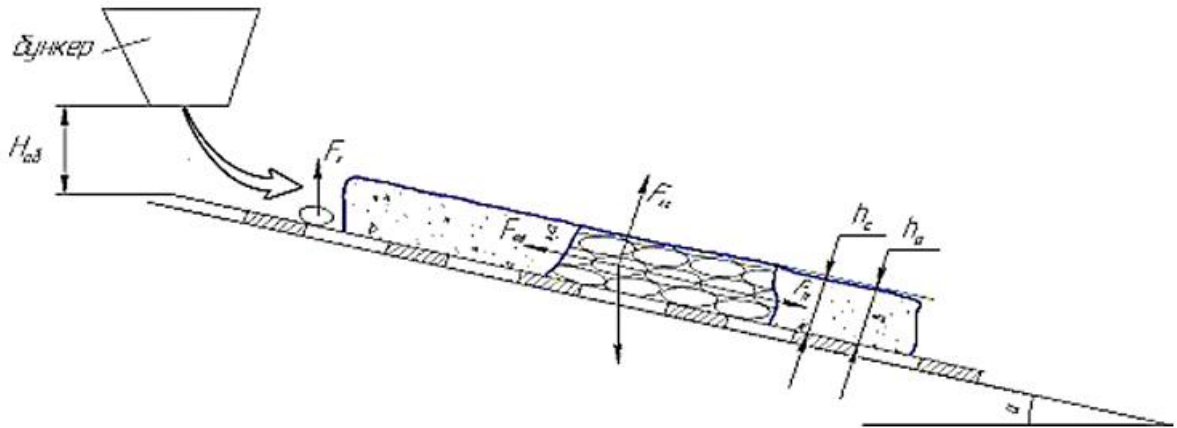


Рисунок 2.4 – Схема сил, що діють на зерно на решеті повітряно-решітної ЗМ у потоці:  $H_{об}$  – відстань між вікном бункера та решетом,  $H_c$  – висота шару,  $h_a$  – амплітуда шару,  $F_{оп}$  – сила опору шару,  $F_{тр}$  – сила тертя,  $F_n$  – сила потоку,  $m_g$  – сила тяжіння.

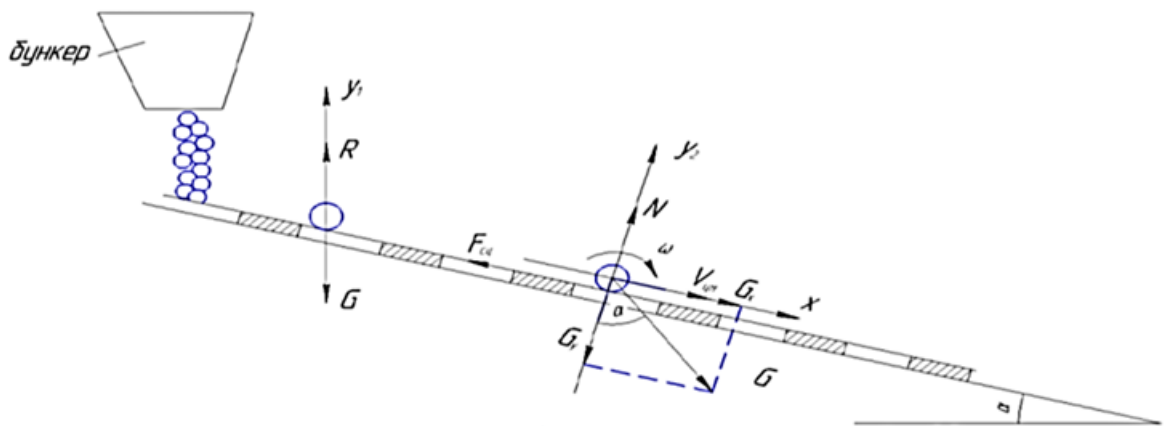


Рисунок 2.5 – Схема сил, що діють на зернину на решеті повітряно-решітної ЗМ:  $G$  – сила тяжіння;  $R$  – сила опору;  $N$  – нормальна реакція площини;  $F_{оп}$  – сила зчеплення (сила тертя);  $V_{цм}$  – швидкість центру мас

Інтенсифікувати процес сепарації на ситі можна за рахунок збільшення товщини шару зерна та збільшення його швидкості на ситі.

Процес розглядається в інтервалі часу  $t_{пн}$ , протягом якого зерно перебуває на ситі (рисунок 2.6).

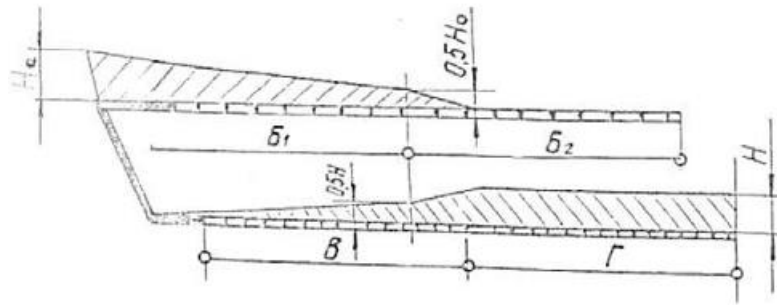


Рисунок 2.6 – Розподіл зерна в двоярусному решітному блоці

Цей проміжок часу складається з двох проміжків часу: перший проміжок часу  $t_{рн}$  – час просіювання шару зерна  $h_{(M)}$ , а другий проміжок часу – проміжок часу просіювання дрібних домішок. Функція розподілу часу  $f(t)$  залежить від цих двох періодів часу.

В інтервалі  $t < t_{рн}$  функція  $f(t)$  виражається наступним чином:

$$ff(t) = (1 - \frac{\mu_{рн}^{(M)}}{\mu_{ср}^{(M)}}) \mu_{ср}^{(M)} e^{-\mu_{ср}^{(M)}(t-t_{рн})}, \quad (2.2)$$

Аналіз формули свідчить, що збільшення товщини шару на ситі сприяє підвищенню інтенсивності процесу очищення. У межах, коли подальше зростання  $W$  вже не робить значного впливу, збільшення висоти шару  $H_c$  у блоці очищення зерна призводить до зростання сили тертя  $F_{tr}$ , ударної сили  $F_{ud}$  та загального спектру сил, що діють на зерновий матеріал, що, у свою чергу, підвищує ймовірність пошкодження зерна.

Для зменшення пошкоджень необхідно знизити силу тертя (коефіцієнт тертя), при цьому зберігаючи постійну амплітуду руху. Досягти цього можна за допомогою пружних матеріалів, які пом'якшують силу  $F_k$ , що виникає під час падіння зерна з висоти на робочий орган зерноочисного агрегату, обумовлену амплітудною складовою висхідного руху зерна.

У цьому контексті унікальні властивості поліетилену з високою молекулярною масою (ВМПЕ), якщо він використовується в конструкції сит, можуть зменшити модуль сили  $F_k$  зерна, що падає на сито зерноочисної

установки. Таким чином, сита з ВМПЕ зменшать як макроскопічні, так і макро пошкодження зерна та насіннєвого матеріалу.

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Програма і методика досліджень

Метою цього етапу дослідження було визначення кінематичних та конструктивних параметрів універсального зерноочисного пристрою, а також оцінка доцільності застосування математичної моделі для опису процесу розділення зернових сумішей у ситовому блоці.

Експериментальні дослідження проводились на установці (рис. 3.1).

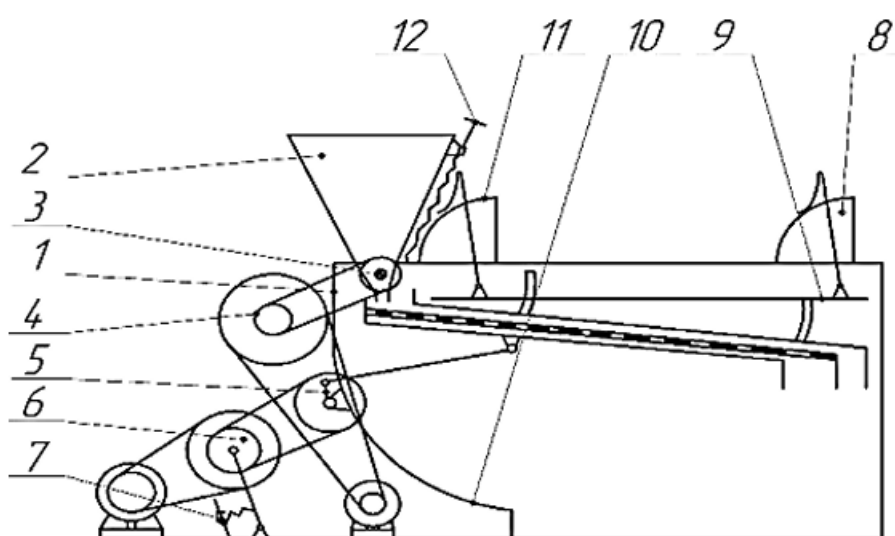


Рисунок 3.1 – Схема лабораторної установки: 1 – корпус; 2 – бункер для зерна; 3 – вал; 4 – похиле решето; 5, 6, 7 – механізми управління блоком сепарації; 8, 9, 10, 11 – сектори; 12 – регулятор подачі зернового матеріалу

Пристрій дозволяє регулювати кінематичні параметри роботи сита в незалежній системі «подача-нахил-амплітуда-частота вібрації»: кут нахилу сита до горизонтальної площини  $5,87^\circ$ , амплітуда  $7,63$  мм, частота вібрації  $473$  рази/хв (рис. 3.2).

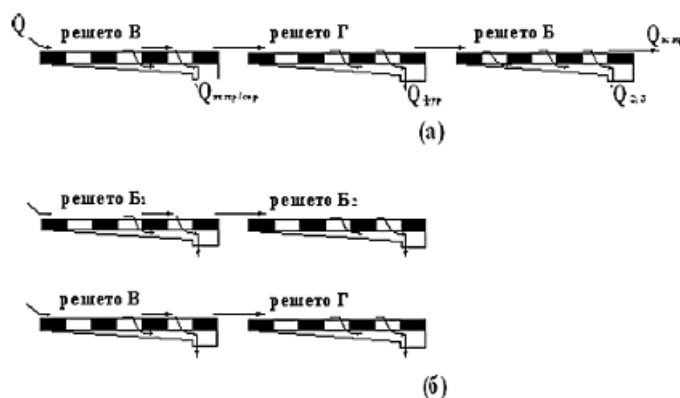


Рисунок 3.2 – Положення решіток під час проведення експериментів: а - одноярусний блок; б – двох-ярусний блок

Для дослідів був обраний сорт пшениці озимої «Антонівка» сезону 2023-2024 рр. Основні параметри ядра:  $b = 2,38$  мм,  $\sigma_b = 0,65$  мм,  $h = 2,73$  мм;  $\sigma_n = 0,35$  мм;  $l = 5,8$  мм,  $\sigma = 0,76$  мм, маса 1000 ядер = 45,9-0,55 г. Ячмінь: сорт «Селена Стар», урожай 2023-2024 р. Параметри зерна ячменю:  $P = 659,7-4,6$  г/л, маса 1000 зерен = 43,78-0,77 г.

Експеримент проводився в такому порядку:

1. Вибір варіанту а, потім б, як показано на малюнку 3.2, для почергового проведення досліджень.

2. Вибір кінематичних параметрів (кут нахилу сита  $5,87^\circ$  до горизонталі, амплітуда 7,63 мм, частота вібрацій 473 коливань/хв). На основі встановленої кінематичної моделі визначити швидкість руху матеріалу на ситі. Для цього вимірюють час перебування окремого насіння на ситі.

3. Відрегулюйте швидкість подачі. Для цього закріпіть мішок на розвантажувальній пластині бункера та зафіксуйте час, потрібний для вивантаження матеріалу з бункера, коли заслінка 12 досягає певного значення відкриття (рисунок 3.1). Якщо швидкість подачі задовільна, запишіть значення відкриття на шкалі; якщо ні, повторіть експеримент і відрегулюйте відкриття заслінки. Після регулювання швидкості подачі повторно завантажте вивантажене зерно в бункер.

4. Далі запустіть двигун і рукояткою 9 установіть потрібну частоту коливань за показаннями тахометра. За допомогою рукоятки відрегулюйте відстань між двигуном і шківом 8, щоб установити потрібне передавальне число.

5. Закрийте кришку пробовідбірника.

6. Відкрийте клапан I до шкали на вагах подачі.

7. Через 5-10 секунд після відкриття клапана відкрийте кришку пробовідбірника та зафіксуйте час.

8. Через обмежену місткість пробовідбірника пробовідбірник заповнюється через 20-120 секунд, залежно від швидкості подачі. Якщо заповнено хоча б один пробовідбірник, одночасно закрийте кришку та зупиніть секундомір.

9. Після того, як весь матеріал пройде через сито, вимкніть привід сита.

10. Зважте матеріал у кожному пробовідбірнику.

11. Повторіть експеримент, використовуючи ту саму експериментальну установку. Результати розраховуються як середнє арифметичне. Дані обробляються згідно з ГОСТ 8.736-2011.

Якщо маса матеріалу в пробовідбірнику не перевищує 1 кг, його повністю ділять на кілька частин. У разі більшої кількості матеріал розділяють на три рівні частини за масою за допомогою зернового насінневого сепаратора ДЗК-2. Тоді було розібрано лише один компонент.

Експериментальна межа похибки становила 5%, з ймовірністю помилки 0,95. На основі результатів двох вимірювань (загалом щодо цілісності екранування компонентів) було розраховано середнє відхилення та випадкову похибку результатів.

### **3.2 Методика дослідження пошкоджень зернового матеріалу при використанні пластикових сит**

Теоретичні дослідження показали, що основним фактором, який впливає на якість роботи та продуктивність цих машин, є наявність соломоподібних домішок

різної довжини частинок у зерновому матеріалі, який надходить на стадію очищення. Крім того, дрібні пилові домішки, не видалені під час первинного очищення, можуть значно вплинути на роботу зерноочисної машини. Отже, для підвищення ефективності зерноочисної роботи стаціонарного зерноочисного пристрою типу ЗАВ необхідно:

- Підвищення якості первинного очищення за рахунок зменшення вмісту соломоподібних домішок;

- Поліпшення продуктивності очищення шляхом врахування очікуваного збільшення товщини шару зернового матеріалу на наступній машині для повітряного просіювання.

Таким чином, основними критеріями вибору нової машини первинного очищення для модернізації зерноочисного обладнання є:

- Поліпшення якості очищення від легких соломоподібних забруднень;
- Вища за номінальну продуктивність і можливість плавного регулювання для досягнення оптимальної роботи всієї технологічної системи. Серед інших критеріїв відбору:

- Знижена матеріало- та енергоємність;
- технічну інтеграцію обладнання в технологічний ланцюг зерноочисної установки зерноочисного обладнання з урахуванням існуючих конструктивних та технічних обмежень;

- Не потрібна додаткова система аспірації.

- На основі порівняльного аналізу машин первинного очищення зроблено висновок, що найбільш прийнятним варіантом модернізації зерноочисної установки ЗАВ-40 є Р1-БДЗ-50 продуктивністю 50 т/год. Це на 20% більше потужності порівняно зі стандартними очисними машинами (МПП50, МВР-7, МЗП-50), встановленими на зерноочисній установці ЗАВ.

Принципова схема машини первинного очищення Р1-БДЗ-50 наведена на рисунку 3.3, а зерноочисної установки – на рисунку 3.4.

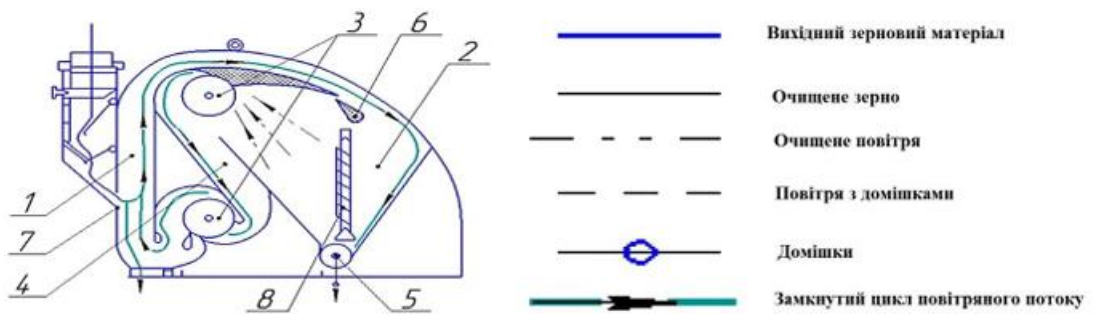


Рисунок 3.3 – Принципова схема апарату первинної очистки Р1БДЗ - 50: 1 – пневматично сепараційний канал; 2 – камера осадження; 3 – діаметральний вентилятор; 4 – канал рециркуляції; 5 – шнек; 6 – поворотний клапан; 7 – напрямна пластина; 8 – жалюзі.

Розглянемо технологічний процес машини первинного очищення Р1-БДЗ-50. Зерновий матеріал потрапляє в приймальну камеру і розподіляється по всій її довжині перед тим, як потрапити в пневматичний сепараційний канал і обдувається повітряним потоком вентилятора діаметра. При цьому легкі домішки, захоплені потоком повітря, потрапляють у відстійну камеру. Чисте зерно виводиться з машини через трубу, а дрібне сміття в камері відстійника видаляється спіральним розвантажувальним пристроєм. Далі можна спостерігати принцип роботи замкнутої системи: повітря очищається через систему вентиляції та рециркуляції перед тим, як потрапити в пневматичний сепараційний канал (рисунок 3.5).

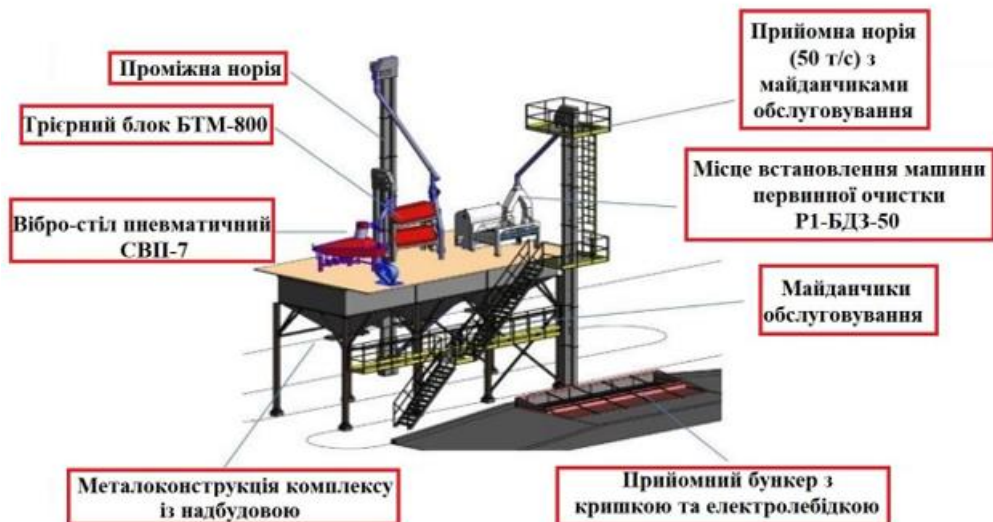


Рисунок 3.4 – Схема агрегату для очистки зерна ЗАВ - 40 з машиною Р1 – БДЗ - 50

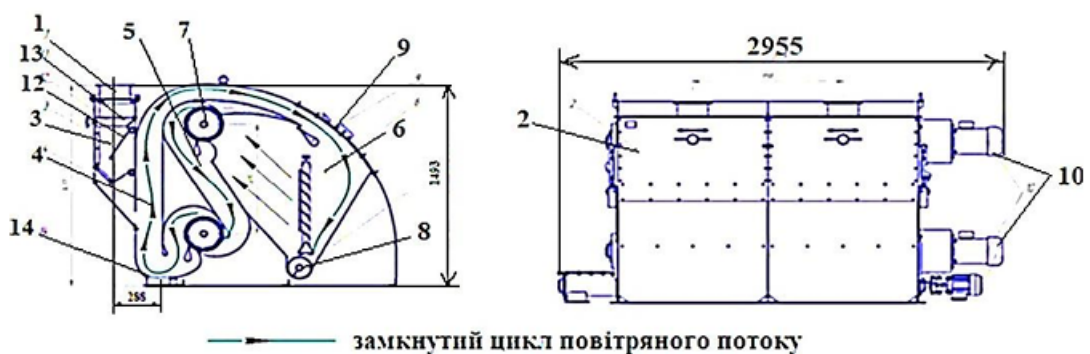


Рисунок 3.5 – Модернізований агрегат для первинного очищення Р1-БДЗ-50:  
 1 – приймальний патрубков; 2 – корпус (3 – камера; 4 – пневматичний канал сепарації; 5 – канал рециркуляції; 6 – камера осадження); 7 – діаметральний вентилятор; 8 – шнек; 9 – поворотний клапан; 10 – привод; 11 – двохклапанний механізм; 13 – розподільник; 14 – випускний патрубков.

За конструктивним виконанням сучасний первинний очисник П1-БДЗ-50 відрізняється від свого попередника тим, що за рахунок вбудованого другого (додаткового) очисного пристрою здатний видувати більш щільний шар зерна. Вентилятор (ротор) має діаметр 7 мм. Це призводить до більш щільного шару зерна на вході корму, а покращена вентиляція дозволяє майже повністю видалити солону.

Встановлено два фланцеві двигуни, по одному для кожного ротора, і мотор-редуктор для розвантажувального шнека. Розташування приводу «точка-точка» усуває потребу в пасових передачах і регулювальних шківках. Швидкість вентилятора регулюється вбудованим частотним перетворювачем. Панель управління розташована безпосередньо на корпусі машини, дозволяючи при необхідності відключити один із вентиляторів. Завдяки збільшеному потоку повітря пневматичний сепараційний канал 4 також був розширений.

Унікальні особливості первинного очищувача П1-БДЗ-50:

- Зміна форми аспіратора дозволяє використовувати його в сепараторі, рівномірно розподіляючи зерновий матеріал по всій ширині.

- Матеріал подається в аспіратор через механізм 12 з двома протилежними клапанами і розподільником 13 для перенаправлення потоку матеріалу.

- Для оптимізації осідання легких домішок у відстійній камері встановлені жалюзі 16.

- Розширений розвантажувальний шнек забезпечує оптимальне розрідження відходів у силосі. На основі аналітичних та теоретичних досліджень встановлено, що зміна режиму роботи попереднього очищувача впливає на загальну ефективність роботи зерноочисної установки. Для підтвердження цих висновків було проведено ряд експериментальних досліджень на типових та сучасних зерноочисних агрегатах.

### **3.3 Аналіз показників роботи агрегату, оснащеного решетами з високо-молекулярного поліестеру**

Метою цих досліджень було оцінити ключові параметри процесу для розділення насіння пшениці та ячменю на ситі, виготовленому зі стандартного матеріалу ВМПЕ.

Вихідними характеристиками зернової сировини був високий ступінь первинної очистки (залишкових домішок менше 2%). Це означає, що вхідні

параметри зернової сировини, що надходить на калібрувальну машину, збігалися з параметрами нового попереднього очищувача.

Параметри розміру сита змінювалися від  $\varnothing 2,0$  до  $\varnothing 4,5 - \varnothing 5,0$ , а об'ємна частка завантаження насіння –  $Q = 0,56; 1,01; 1,11; 1,44; 2,14$  кг/м·с. Після багаторазових експериментів та обробки даних отримано параметри процесу ( $Q = 0,5; 0,81; 1,12; 1,43; 1,75$  кг/м·с. Оцінка отриманих даних показує, що основний показник посівного матеріалу (аполіпроптеїнова чистота, Р) (МЗ) має тенденцію до зниження зі збільшенням норми подачі.

Встановлено, що зі збільшенням швидкості подачі сита  $Q$  склад якісного посівного матеріалу відповідає агротехнічним вимогам:

Домішки відходів  $bc < 1\%$ , але вміст зернових домішок перевищує норматив ( $bpz < 2\%$ ).

На рисунку 3.6 наведено графік, який наочно демонструє зниження відсотка отриманого якісного посівного матеріалу при збільшенні швидкості подачі при використанні сита з отвором  $\varnothing 4,5$  мм.

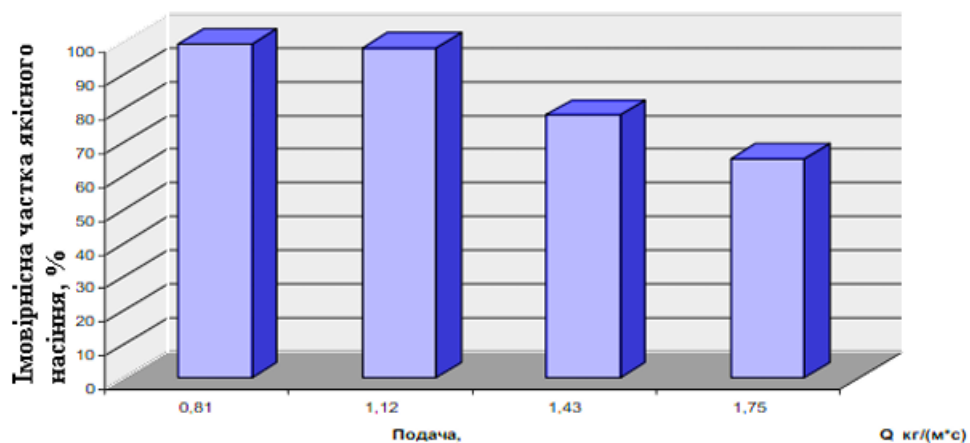


Рисунок 3.6 – Схема прогресії падіння частки якісного насіннєвого матеріалу при збільшенні подачі

За результатами експерименту досліджено технічну можливість використання сит з високомолекулярного поліетилену для розділення зерна на наступні фракції (кормова, кормова та посівна) у триблочному циклі очищення.

Результати показали, що при швидкості подачі  $Q$  0,9-1,15 кг/м<sup>2</sup> на цикл очищення можна досягти вмісту насіння 91-93% на вивантаженні. У цьому дослідженні використовувався сорт ячменю «Селена Стар», зібраний у 2023-2024 роках.

Визначено технологічні та розмірні характеристики зернового матеріалу. Рівні домішок становили: зернові домішки = 4,2%; сміттєві домішки = 2,39%; і крупнодисперсні домішки = 2,3%.

Чистота зерна (аз) знижувалася зі збільшенням норми подачі зерна. За даними лабораторних дослідів визначили необхідну норму подачі зерна та розмір сита фракціонера (рисунок 3.7).

Виходячи з кількісних даних, наведених на малюнку, можна визначити оптимальні параметри:

- Розмір отвору сита: Ø2.0, Ø5.0 і Ø4.0. При  $Q = 1,08$  кг/м·с фракція кормового зерна становить 10,5 %, а чиста фракція зерна — 82,2 %;
- Розмір отвору сита: Ø2.0, Ø5.0 і Ø4.0. При  $Q = 1,11$  кг/м·с фракція кормового зерна становить 11,2%, а чиста фракція зерна – 82,35%;
- Розмір отвору сита: Ø2.0, Ø5.0 і Ø4.0. При  $Q = 2,14$  кг/м·с фракція кормового зерна становить 13,9%, а чиста фракція зерна – 79,9%.

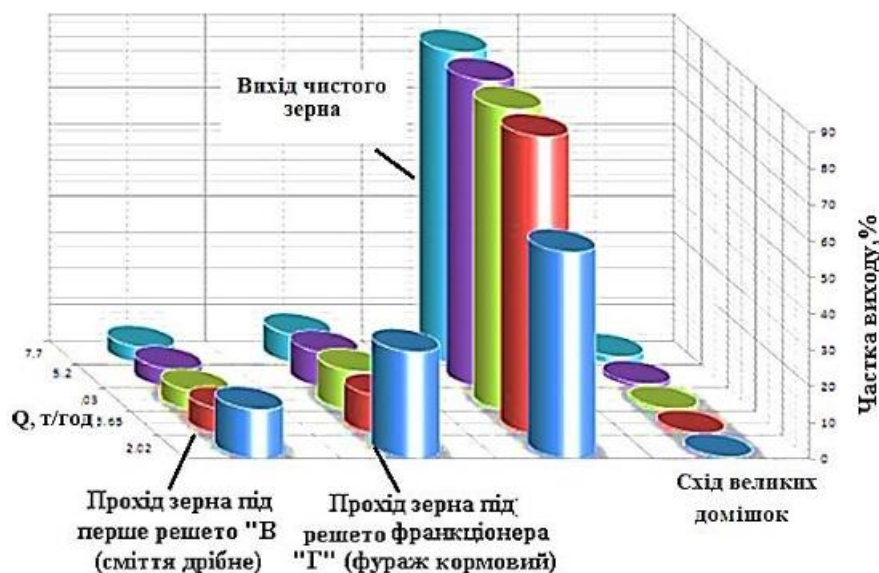


Рисунок 3.7 – Оцінка продуктивності решітного стану за різних режимів подачі та розмірах решітних отворів виконаних з ВМПЕ

Експеримент показав, що сита з отворами  $\varnothing 2,0$ ,  $\varnothing 5,0$  і  $\varnothing 4,0$  досягли найвищої ефективності просіювання з  $Q$  2,14 кг/м·с і виходом кормової фракції 12,7%.

Очисні властивості та процес сепарації зерна на сітках із високомолекулярного поліетилену відповідають встановленим стандартам якості та придатні для використання в якості сортувального обладнання на зерноочисних комплексах. Наступним етапом експерименту стала оцінка фракційного розподілу різних домішок у комбікормі при зміні серій комбікорму та розмірів осередків сіток на трисітовому млині (рис. 3.8–3.11).

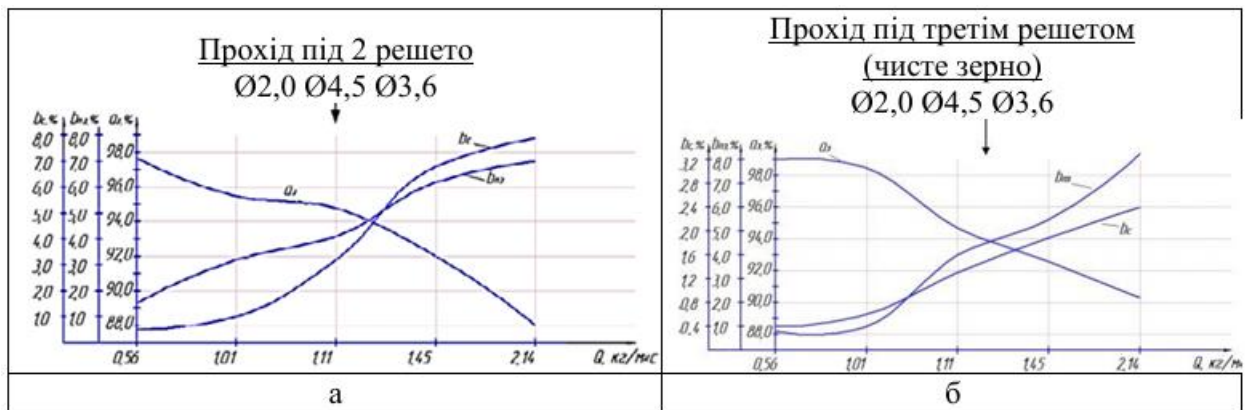


Рисунок 3.8 – Аналіз складу різних видів домішок ( $b_{ПЗ}$ -зернові,  $b_{с}$ -сміттєві,  $a_3$ -якісний матеріал), у фуражі, залежно від подачі  $Q$ , при проході: а) у друге решето «Г»; б) у третє решето «Б», розміри отворів:  $\varnothing 2,0 \varnothing 4,5 \varnothing 3,6$ .

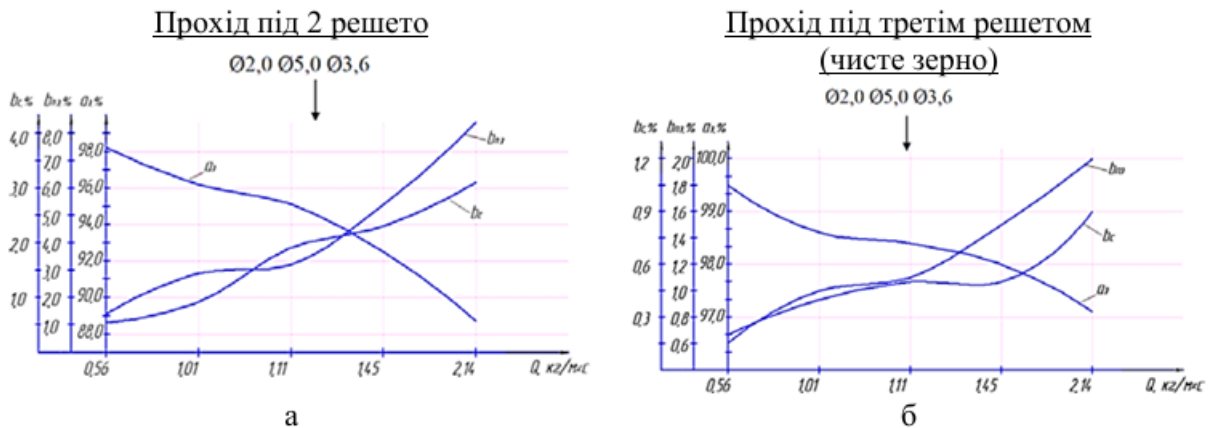


Рисунок 3.9 – Аналіз складу різних видів домішок ( $b_{ПЗ}$ -зернові,  $b_c$ -сміттєві,  $a_3$  - якісний матеріал), у фуражі, залежно від подачі  $Q$ , при проході: а) у друге решето «Г»; б) у третє решето «Б», розміри отворів:  $\varnothing 2,0 \varnothing 5 \varnothing 3,6$ .

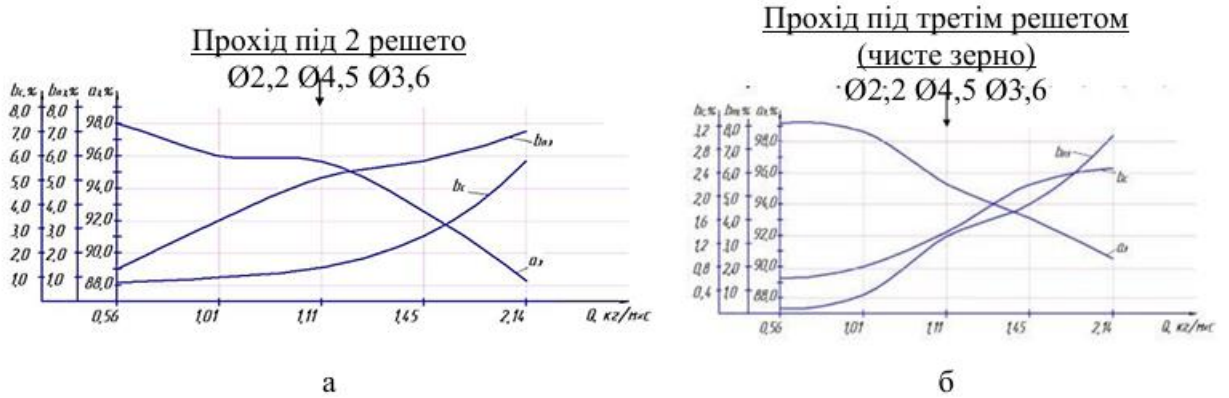


Рисунок 3.10 – Аналіз складу різних видів домішок ( $b_{ПЗ}$ -зернові,  $b_c$ -сміттєві,  $a_3$  - якісний матеріал), у фуражі, залежно від подачі  $Q$ , при проході: а) у друге решето «Г»; б) у третє решето «Б», розміри отворів:  $\varnothing 2,2 \varnothing 4,5 \varnothing 3,6$

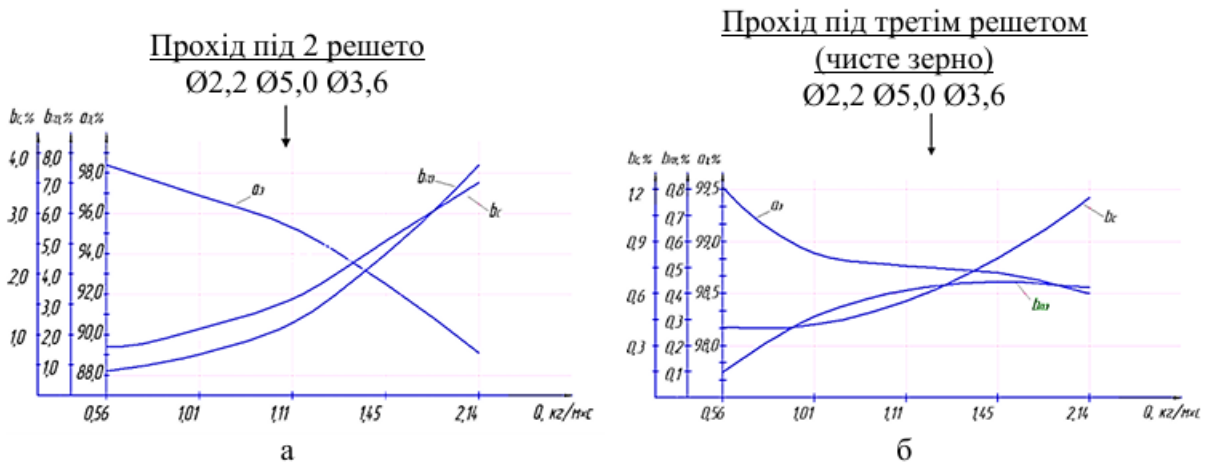


Рисунок 3.11 – Аналіз складу різних видів домішок ( $b_{ПЗ}$ -зернові,  $b_c$ -сміттєві,  $a_3$  - якісний матеріал), у фуражі, залежно від подачі  $Q$ , при проході: а) у друге решето «Г»; б) у третє решето «Б», розміри отворів:  $\varnothing 2,2 \varnothing 5 \varnothing 3,6$ .

Для розмірів сита  $\varnothing 2,0$ ,  $\varnothing 4,5$  і  $\varnothing 3,6$  чистота зерна обернено пропорційна швидкості подачі матеріалу. Отже, при швидкості подачі  $Q = 0,56$  кг/м<sup>3</sup>·с чистота зерна  $a_3 = 99,1\%$ ; при швидкості подачі  $Q = 2,14$  кг/м<sup>3</sup>·с чистота зерна  $a_3 = 90,2\%$ .

Для розмірів решіт Ø2,2, Ø4,5 та Ø3,6 при швидкості подачі  $Q = 0,56$  кг/(м·с) чистота зерна аз = 99,3%; при швидкості подачі  $Q = 2,14$  кг/м\*с чистота зерна аз = 90,6%.

Така ж тенденція спостерігалася при аналізі чистоти фуражного зерна на ситах з отворами Ø2,0, Ø4,5 та Ø3,6. При швидкості подачі  $Q = 0,56$  кг/м с чистота зерна аз(корм.) становила 97,5%, а при швидкості подачі  $Q = 2,14$  кг/м с чистота зерна аз(корм) становила 79,7%. На ситах з отворами Ø2,2, Ø4,5 і Ø3,6 при швидкості живлення  $Q = 0,56$  кг/м·с чистота кормового зерна аз(кор.) становила 97,7 %, а при швидкості живлення  $Q = 2,14$  кг/м·с чистота кормового зерна аз(кор.) становила 87,9 %.

Ця закономірність також спостерігалася для сит з отворами Ø2,0, Ø5 і Ø3,6. При швидкості подачі  $Q = 0,56$  кг/м·с чистота зерна аз = 99,4%; при швидкості подачі  $Q = 2,14$  кг/м·с чистота зерна аз = 97,1%.

Для сит з вічками Ø2,2, Ø5,0 і Ø3,6 при швидкості подачі  $Q = 0,56$  кг/м·с чистота зерна аз = 99,5 %; при швидкості подачі  $Q = 2,14$  кг/м·с чистота зерна аз = 98,4%.

Для фуражного зерна на ситах з вічками Ø2,0, Ø5,0 і Ø3,6 при швидкості подачі  $Q = 0,56$  кг/м·с аз(корм) = 98,0%, а при  $Q = 2,14$  кг/м·с аз(км) = 88,3%. Для фуражного зерна на ситах з подачею  $Q = 0,56$  кг/м·с аз(корм) = 98,2%, а при  $Q = 2,14$  кг/м·с аз(корм) = 88,5%.

Аналізуючи кореляцію (рис. 3.8), ми оцінили частку виходу кормової фракції ячменю на ситах з отворами Ø2,0, Ø4,5 та Ø3,6 мм, виходячи з швидкості подачі  $Q$  та розміру отворів. Отже, при розмірі першого сита Ø2,0 мм, а другого – Ø4,5 мм, вихід насінневої фракції зростає з 56,8% до 85%, а кормової фракції – з 29,3% до 7,6%, оскільки швидкість подачі  $Q$  збільшується з 0,56 кг/м·с до 2,14 кг/м·с. При зміні першого розміру сита на Ø2,2 мм вихід насінневої фракції збільшується з 48,1% до 86,3%, а кормової фракції зменшується з 36,5% до 7,4%.

Коли другий розмір сита змінюється на  $\varnothing 5,0$  мм, а розмір першого сита змінюється на  $\varnothing 2,0$  мм, вихід фракції насіння збільшується з 20,2% до 79,8%, а фракції живлення зменшується з 67,4% до 13,8%. При розмірі першого сита  $\varnothing 2,2$  вихід насінневої фракції збільшується з 27,6% до 81,0%, а вихід кормової фракції зменшується з 58,2% до 12,6%.

Робочий розмір решіт і швидкість подачі зерна одношарового трирешетового млина визначають за показниками якості очищеного матеріалу (блокові домішки <1% цільного зерна, цільнозернові домішки <2% цільного зерна). Результати показали, що при розмірі сита  $\varnothing 2,0$ ,  $\varnothing 4,5$  і  $\varnothing 3,6$  оптимальна швидкість подачі становила 1,08 кг/м · с, в результаті чого вихід компонента корму становив 10,4% і вихід чистого зерна 82,1%. При швидкості подачі 1,11 кг/м·с вихід компонента корму становив 11,1 %, а чистого зерна – 82,3 %.

При розмірі сита  $\varnothing 2,0$ ,  $\varnothing 5,0$  і  $\varnothing 3,6$  оптимальна швидкість подачі становила 2,14 кг/м · с, при цьому вихід корму становив 13,8 % і вихід чистого зерна 79,8 %.

При розмірі сита  $\varnothing 2,2$ ,  $\varnothing 5,0$  і  $\varnothing 3,6$  оптимальна швидкість подачі становила 2,14 кг/м · с, при цьому вихід комбікорму становив 12,6 % і вихід чистого зерна 81,0 %. При розмірі вічка  $\varnothing 2,2$ ,  $\varnothing 5,0$  і  $\varnothing 3,6$  швидкість подачі 2,14 кг/м·с досягає найвищої продуктивності з виходом корму 12,6%.

При розмірі вічка  $\varnothing 2,2$ ,  $\varnothing 4,5$  і  $\varnothing 3,6$  швидкість подачі 1,11 кг/м·с забезпечує найвищий вихід чистого зерна. При швидкості подачі  $Q = 1,11$  кг / м · с, швидкість сепарації вихідної фракції збільшується з 11,1% до 19,5% при збільшенні розміру вічка фракціонатора з  $\varnothing 4,0$  мм до  $\varnothing 5,0$  мм.

При розмірі сита першого ступеня  $\varnothing 2,2$  мм вихід насіння зростає з 45,7% до 84,8%, а вихід корму знижується з 33,9% до 6,3%.

Коли розмір сита першого ступеня становить  $\varnothing 2,0$  мм, а розмір сита другого ступеня –  $\varnothing 4,5$  мм, вихід насіння зростає з 19,0% до 78,4%, а вихід корму знижується з 65,3% до 11,8%.

При розмірі сита першого ступеня  $\varnothing 2,2$  мм вихід насіння зростає з 26,1% до 77,9%, а вихід корму знижується з 57,0% до 10,8%.

Розмір робочого сита та швидкість подачі зерна двоярусного просіювального млина визначали за показниками якості очищеного матеріалу (блокувальні домішки <1% від загальної маси, ВЗП дрібні домішки <2%).

Коли розмір вічка «В» становить  $\varnothing 2,0$  мм, розмір вічка «Г» становить  $\varnothing 4,5$  мм, а швидкість подачі становить 1,08 кг/м·с, вихід кормової фракції становить 9,8%, а чистий вихід зерна становить 80,0%.

При розмірі вічка «В»  $\varnothing 2,2$  мм, розмірі вічка «Г»  $\varnothing 4,5$  мм і швидкості подачі 1,11 кг/м·с, вихід фракції корму становить 9,7%, а чистий вихід зерна 79,8%.

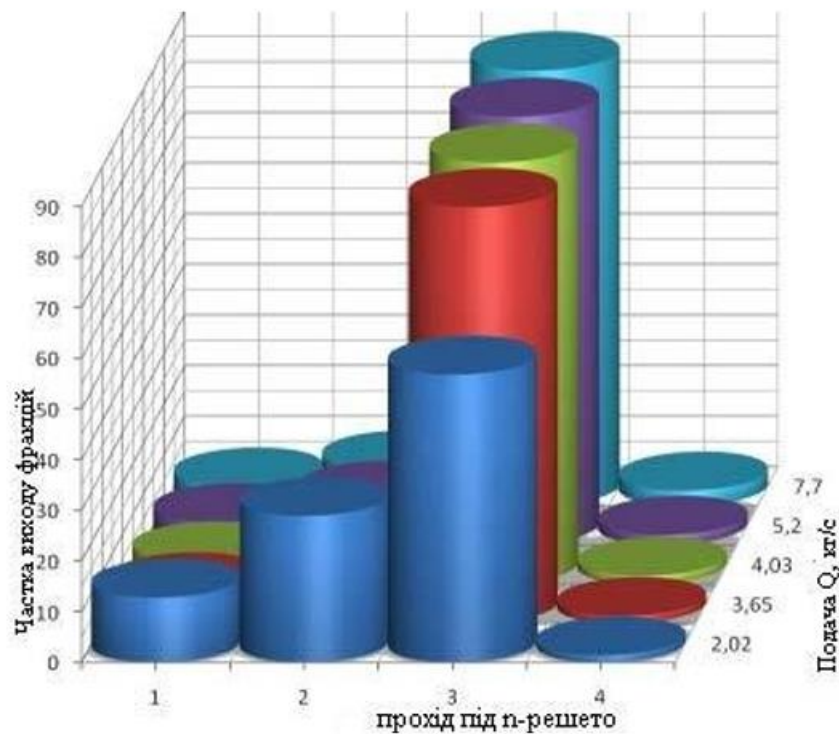


Рисунок 3.12 – Оцінка роботи досліджуваного сепаратора за різних розмірів решіт, в залежності від обсягу оброблюваного матеріалу та за використання двохярусного решітного стану.

1 – вихід дрібних домішок під решето «В»; 2 – вихід фуражу під решето фракціонера «Г»; 3 – вихід чистого зерна; 4 – вихід великих домішок з решета Б<sub>2</sub>

При розмірі вічка «В» Ø2,2 мм, розмірі вічка «Г» Ø5,0 мм, швидкості подачі 2,14 кг/м·с, вихід кормової фракції становить 11,5%, а чистий вихід зерна 78,6%.

При розмірі вічка «В» Ø2,2 мм, розмірі вічка «Г» Ø5,0 мм, швидкості подачі 2,14 кг/м·с досягається максимальна продуктивність з виходом кормової фракції 11,5%.

Максимальна продуктивність була досягнута при розмірі вічка «В» Ø2,2 мм, «Г» — Ø4,5 мм, швидкості подачі 1,11 кг/м·с із чистим виходом зерна 79,8%.

Розмір вічка «В» становив Ø2,2 мм, «Г» — Ø4,5 мм, а швидкість подачі становила 1,11 кг/м·с. Збільшення розміру вічка «Г» з Ø4,5 мм до Ø5,0 мм збільшило вихід кормової фракції з 9,7% до 11,8%.

Для покращення післязбиральної обробки зерна та насіння необхідно визначити ті машини, які завдають великого ураження насіння. Пошкодження насіння впливає на подальший ріст рослини, урожайність і загальну економічну вигоду виробництва зерна. Зерноочисні машини завдають від 60% до 70% загального пошкодження зерна.

Було показано, що від 35% до 40% насіння зерна не проростає через мікропошкодження. Насіння з рівнем мікропошкоджень 33,5 % мало на 39 % нижчу якість сходів, ніж непошкоджене насіння (табл. 3.1) [20].

Таблиця 3.1 – Показники схожості насіння в залежності від видів травм у лабораторних умовах

Види травм	Частина зернини	Лабораторна схожість, %
Пошкоджений (а):	Зародок	50,8
	Ендосперм	60,6
	Оболонка зародка	85,6
	Оболонка зародка і ендосперму	83,4
	Оболонка ендосперму	94,4
Без пошкоджень		99,0

Особливістю післязбиральної обробки зерна є те, що зерноочисні машини та транспортне обладнання мають значний вплив на зерновий матеріал у схемі

очищення. Коли зерновий матеріал переміщується всередині відсіків зерноочисного агрегату, він також взаємодіє з механізмами транспортування та направлення машини, що також може пошкодити зерновий матеріал.

Збільшення шляху зернового матеріалу вздовж лінії технологічного очищення збільшує можливість механічного впливу працівників і проміжні (транспортні) об'єкти, що спричиняє пошкодження зерна [16].

Аналіз даних таблиці 3.2 показує, що ступінь пошкодження зерна після очищення повітряними просіювальними машинами є вищим і становить 2,84-5,4%, тоді як рівень пошкодження зерна пневматичних сортувальних машин становить 0,17-0,51%. Коли зерновий матеріал переміщується всередині відсіків зерноочисного агрегату, він також взаємодіє з механізмами транспортування та направлення машини, що також може пошкодити зерновий матеріал.

Таблиця 3.2 – Обсяги пошкоджень зернового матеріалу основних культур на зерноочисних машинах [13], %

Зерноочисні та сушильні машини	Пшениця	Ячмінь
Машини попереднього очищення МПО-50	0,41	0,17
Віяльно-калібрувальні машини	5,40	2,84
Трієрний блок	0,32	2,33
Сушарка	6,30	6,51
Пневмосортувальні машини ПСМ	0,51	0,17

Виявлено ключові показники пошкодження насіння, які визначають фактичні параметри мікропошкодження насіння при взаємодії з поверхнею сита під час сепарації насіння.

Порівняльний аналіз макро- та мікропоказників пошкодження зерна з використанням полімерних сит порівняно зі стандартними ситами показав, що зерно, очищене за допомогою полімерних сит, зазнавало на 50% менше

пошкоджень зародків, на 24% менше пошкоджень ендосперму, на 8% менше пошкоджень зародкової оболонки, на 23% менше пошкодження зародкової оболонки та ендосперму та на 7% менше пошкодження ендосперму, що призвело до 93% зменшення макроушкоджень.

Порівняно з зерном, очищеним металевими ситами, загальна кількість неушкодженого насіння, очищеного полімерними ситами, зросла на 43 % (рис. 3.13 та 3.14).

Ці показники свідчать про те, що ключові макро- та мікропоказники ураження насіння суттєво знижуються при використанні сит із полімерного матеріалу СВМПЕ порівняно з металевими листовими ситами.

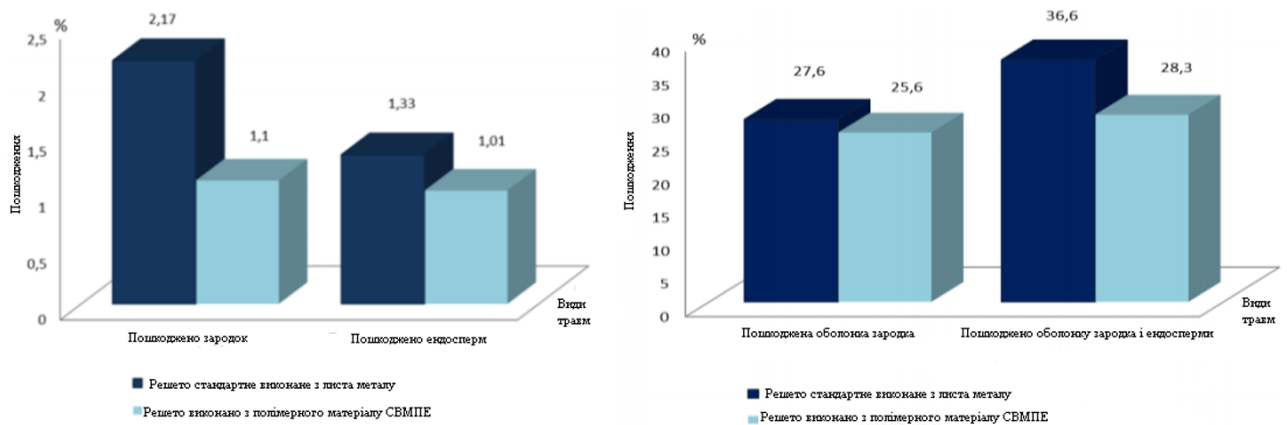


Рисунок 3.13 – Порівняльний аналіз пошкоджень зародка та ендосперму (а) й оболонки зародка та ендосперму (б) насіннєвого матеріалу

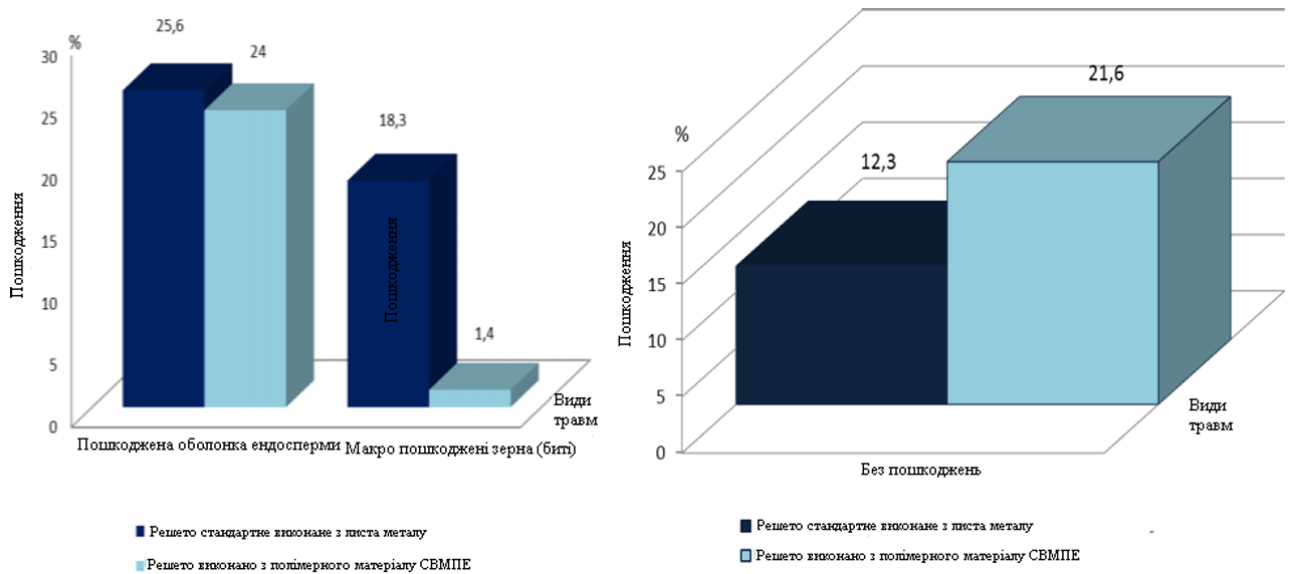


Рисунок 3.14 – Порівняльний аналіз пошкоджень оболонки зародка та оболонки зародка й ендосперму (а), та без сумарних пошкоджень насіннєвого матеріалу (б) при очищенні решітними сепараторами

Досліджували зернову сировину сорту ячменю «Селена Стар», зібраного в сезоні 2023-2024 років. Результати показали, що мікроскопічні пошкодження зернової сировини змінилися.

Таблиця 3.3 – Результати дослідження мікро пошкоджень ячменю після проходження комбайна

Види травм	Результати випробувань, %
Пошкоджений зародок	1%
Пошкоджений ендосперм	0%
Пошкоджена оболонка зародка	28%
Пошкоджена оболонка зародка і ендосперма	26%
Пошкоджена оболонка ендосперма	23%
Без пошкоджень	22%
Макропошкоджені зерна	Биті 1,8%

Таблиця 3.4 – Результати дослідження мікро пошкоджень ячменю після проходження по металу

Види травм		Результати випробувань,%
Пошкоджений зародок		2%
Пошкоджений ендосперм		1%
Пошкоджена оболонка зародка		27%
Пошкоджена оболонка зародка і ендосперма		37%
Пошкоджена оболонка ендосперма		26%
Без пошкоджень		12%
Макропошкоджені зерна	Биті	1,8%

Таблиця 3.5 – Результати дослідження мікро пошкоджень ячменю після проходження по ВМПЕ

Види травм		Результати випробувань,%
Пошкоджений зародок		1%
Пошкоджений ендосперм		1%
Пошкоджена оболонка зародка		27%
Пошкоджена оболонка зародка і ендосперма		29%
Пошкоджена оболонка ендосперма		28%
Без пошкоджень		14%
Макропошкоджені зерна	Биті	1,8%

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Питання охорони праці при роботі з зерноочисними машинами є надзвичайно важливим елементом усього процесу післязбиральної обробки зернових культур. У сучасних умовах аграрного виробництва від працівників вимагається висока продуктивність, точність виконання операцій та безперебійне функціонування обладнання. Однак сама специфіка роботи із зерном та його очищенням передбачає наявність численних факторів, які потенційно можуть становити небезпеку для здоров'я та життя людей. Саме тому розробка і впровадження комплексу заходів з охорони праці, спрямованих на запобігання аварійним ситуаціям, зниження ризику травматизму та покращення умов праці персоналу, має першочергове значення.

Одним із головних ризиків при експлуатації стаціонарних зерноочисних машин є механічна небезпека. Робочі органи обладнання, до яких належать приводи, вали, шнеки, вентилятори, решета та інші рухомі частини, під час роботи перебувають у динамічному стані. При потрапленні у зону їх дії сторонніх предметів, одягу чи частин тіла працівника існує висока ймовірність отримання тяжких травм, пов'язаних із затягуванням, ударами або розчавленням. Щоб мінімізувати цей ризик, усі небезпечні ділянки машин повинні бути обладнані захисними кожухами та огороженнями, які унеможливають доступ до рухомих частин під час роботи обладнання. Категорично забороняється знімати захисні пристрої під час експлуатації, оскільки саме вони є основним бар'єром між людиною і потенційним джерелом травмування.

Не менш серйозною загрозою є утворення зернового пилу. При очищенні зернових мас у повітрі з'являється велика кількість дрібнодисперсних частинок, які утворюють запилене середовище. Такий пил чинить подвійний негативний вплив. По-перше, він є шкідливим для здоров'я людини, особливо для органів дихання, оскільки регулярне його вдихання може призвести до виникнення

алергічних реакцій, бронхіту, астми та інших захворювань. По-друге, зерновий пил належить до вибухонебезпечних речовин, і в умовах високої концентрації та наявності джерела займання він може стати причиною сильних вибухів та пожеж. З метою запобігання цим небезпекам зерноочисні машини повинні бути обладнані системами аспірації та вентиляції, які видаляють пил із робочої зони і забезпечують його фільтрацію. Крім того, приміщення, у яких проводиться сепарація зерна, мають регулярно прибиратися, щоб уникнути накопичення пилових відкладень на поверхнях та у важкодоступних місцях. Працівники, які обслуговують обладнання, повинні обов'язково використовувати засоби індивідуального захисту органів дихання, зокрема респіратори, а за потреби – й захисні окуляри, щоб убезпечити слизові оболонки від подразнення.

Важливим фактором безпеки є також електричний струм. Стаціонарні зерноочисні машини функціонують завдяки електроприводам, які вимагають високої потужності для забезпечення ефективної роботи. При пошкодженні ізоляції кабелів, неправильному підключенні, відсутності заземлення або експлуатації несправного обладнання виникає ризик ураження людини електричним струмом. Наслідки таких ситуацій можуть бути вкрай тяжкими – від опіків та втрати працездатності до летальних випадків. Тому всі електричні вузли мають регулярно перевірятися, а їх технічне обслуговування повинні проводити виключно кваліфіковані електротехнічні працівники. Важливим елементом системи безпеки є наявність аварійних вимикачів, що дозволяють оперативно відключити живлення у разі виникнення позаштатної ситуації. Усі машини мають бути надійно заземлені, а електричні щити і пульти керування повинні бути розташовані у доступних, але захищених від пилу і вологи місцях.

Серйозною проблемою для зерноочисних підприємств є пожежна небезпека. Наявність органічних відходів і зернового пилу створює умови для легкого займання, особливо у випадках перегрівання окремих вузлів машин або виникнення іскріння. У приміщеннях, де працюють зерноочисні агрегати,

обов'язково мають бути встановлені первинні засоби пожежогасіння—вогнегасники порошкового та вуглекислотного типу. Працівники повинні бути навчені правильному користуванню ними. Також забороняється куріння, використання відкритого вогню та проведення зварювальних робіт без спеціальних дозволів і дотримання правил пожежної безпеки. Регулярний контроль температури вузлів, які піддаються інтенсивному тертю і нагріванню, є важливою умовою запобігання виникненню пожеж.

Окремо варто звернути увагу на вплив шуму та вібрацій. Робота зерноочисних машин супроводжується високим рівнем шумового навантаження, яке при тривалій дії негативно впливає на слух, нервову систему та загальний стан організму. Вібрація також чинить несприятливий вплив, викликаючи втому та перевантаження опорно-рухового апарату. Для зниження цих негативних факторів застосовуються конструктивні рішення, що зменшують рівень шуму та вібрації, а також засоби індивідуального захисту – спеціальні навушники чи беруші.

Додатковим ризиком є фізичне перевантаження працівників. У процесі обслуговування машин часто виникає потреба у підйомі та переміщенні важких деталей чи допоміжних матеріалів. Неправильне виконання таких робіт може призвести до травм опорно-рухової системи, зокрема спини та суглобів. Щоб уникнути цього, необхідно використовувати підйомно-транспортні засоби – талі, домкрати, навантажувачі, а також дотримуватися встановлених норм щодо допустимих вагових навантажень для одного працівника.

Важливим аспектом безпеки є організаційні заходи. Усі працівники, які мають відношення до експлуатації стаціонарних зерноочисних машин, повинні проходити обов'язкові інструктажі з охорони праці, які включають первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктаж. Вони мають бути ознайомлені з правилами безпечної роботи, діями у випадку аварійної ситуації та способами надання першої допомоги потерпілим. Крім того, обов'язковим є проведення

періодичних медичних оглядів працівників, особливо тих, хто працює у запиленому середовищі.

Не можна оминати увагою й засоби індивідуального захисту, які є обов'язковими при роботі на зерноочисних машинах. Спецодяг має бути з щільної тканини, що захищає від механічних пошкоджень і пилу, при цьому він повинен бути зручним і не заважати рухам. Захисні рукавиці запобігають ушкодженням шкіри рук, респіратори та окуляри зберігають здоров'я дихальної системи і очей, а протишумові навушники захищають слух. Використання ЗІЗ не є правом працівника, а його обов'язком, і контроль за їх застосуванням покладається на керівників виробничих підрозділів.

Таким чином, охорона праці при експлуатації стаціонарних зерноочисних машин охоплює широкий комплекс заходів, що включає технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та індивідуальні засоби захисту. Реалізація цих заходів дозволяє знизити рівень виробничих ризиків, запобігти травматизму, зменшити вплив шкідливих факторів на організм працівників та забезпечити стабільність і безпеку технологічного процесу. Безпечна експлуатація обладнання є запорукою не лише збереження життя і здоров'я персоналу, але й гарантією безперервності виробництва та підвищення його ефективності. У сучасних умовах, коли Україна прагне до підвищення конкурентоспроможності своєї аграрної продукції та інтеграції у світовий ринок, питання охорони праці набуває особливого значення, оскільки від дотримання її вимог залежить якість роботи, імідж підприємства та загальний рівень розвитку галузі.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

З метою визначення економічної вигоди від модернізації ЗАВ-40 було проведено два варіанти розрахунку на демонстраційній фермі. Перший був базовим варіантом до модернізації зерноочисного агрегату, а другий – новим варіантом, оснащеним модернізованим зерноочисним агрегатом ЗАВ-40.

Зерноочисна робота базової версії виконувалася серією зерноочисних агрегатів. У новій версії розрахунку деталізували експлуатаційні показники модернізованого ЗАВ-40.

Нормативний термін виконання цієї роботи в розрахунку становив 25 днів. Чиста тривалість зміни становила 10,3 години. За рахунок встановлення додаткового обладнання продуктивність ЗАВ-40 в новій розрахунковій схемі зросла на 21,5%, що позначилося на експлуатаційних витратах.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані та показники роботи агрегатів ЗАВ-40 та ЗАВ-50 в модельному господарстві

Найменування показників	Варіанти розрахунків					
	Базовий			новий		
	ЗАВ-40 штатний	ЗАВ-50	Разом	ЗАВ-40 модернізований	ЗАВ-50	Разом
Тривалість роботи, днів	25	25	-	25	25	-
Тривалість зміни, ч	10,3	10,3	-	10,3	10,3	-
Річне завантаження, ч	203	259	-	259	170	-
Продуктивність за зміну, т	311,5	389,5	-	378,5	389,5	-
Обсяг робіт, т	6122,4	9736,2	15858,6	9462,4	6396,2	15858
Розрахункова кількість, шт.	0,79	1,0	1,79	1,0	0,66	1,66
Балансова вартість, тис. грн.	6500	7000	13500	6820	7000	13820

Показники економічної ефективності запропонованої розрахункової схеми визначено шляхом порівняння експлуатаційних характеристик зерноочисної установки, отриманих після розрахунку оптимізації схеми на ПК. У таблиці 5.1 наведено техніко-економічні показники роботи зерноочисної установки за розрахунковою схемою на демонстраційній фермі.

Цей показник слугує елементом фінансової оцінки та визначає мінімальну загальну суму прямих експлуатаційних витрат на післязбиральну обробку зерна. Він корелює з максимальним рівнем чистого прибутку (ЧП) або чистого доходу (ЧД), який є ключовим критерієм оцінки ефективності в умовах ринкової економіки. Ефективність цих двох установок оцінювали відповідно до загальноприйнятих методик [11].

У таблиці 5.2 наведено результати технологічних діаграм для двох зернових культур, озимої пшениці та ярого ячменю, на операції «післязбиральної обробки». Експлуатаційні витрати на очищення зерна виражаються сумарно і в питомих величинах на тонну.

З таблиці 5.2 видно, що річні експлуатаційні витрати нової версії на 593 500 грн нижчі, ніж базової версії. Це пов'язано зі зменшенням відрахувань із заробітної плати на 7,2%, витрат на ремонт і обслуговування – на 5,7%. Модернізація обладнання ЗАВ-40 потребувала капітальних вкладень у розмірі 320 тис. грн на встановлення додаткового обладнання, що збільшило амортизаційні відрахування на нову версію на 2,37%. Додаткове обладнання в новій версії також збільшило енергоспоживання на 6,5 кіловат. Водночас зростання вартості електроенергії було незначним – лише на 0,04%.

Таблиця 5.2 – Показники економічної ефективності запропонованої схеми очищення зерна

Найменування показників	варіанти розрахунків						ефективність	
	базовий			новий			абсолютна	відносна, %
	ЗАВ-40 штатний	ЗАВ-50	Разом	ЗАВ-40 модерніз.	ЗАВ-50	Разом		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Витрати праці, люд. год	407,2	517,9	925,1	517,9	340,2	858,1	-66,97	-7,24
Питома витрата праці, люд. год/т	0,07	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05	0,01	-7,24
Експлуатаційні витрати, тис. грн.	19993,4	23862,2	43811,4	232943,1	19915,8	43227,5	-594,32	-1,26
Експлуатаційні витрати, грн. / т	3254	2448	2 732	2457	3132	2741	-37,39	-1,34
В тому числі:								
- оплата праці, тис. грн.	1241,3	1578,7	2820,0	1578,7	1037,1	2615,8	-204,15	-7,24
- оплата праці, грн. / т	203	162	178	167	162	165	-12,87	-7,24
- амортизаційні відрахування, тис. грн.	11607,3	12500,0	24107,3	12178,5	12499,8	24678,3	571,0	2,37
- амортизаційні відрахування, грн. / т	1896	1284	1520	1287	1954	+1556	36,00	2,37
-ремонтні відрахування, тис. грн.	7089,86	9710,62	16800,5	9460,87	6379,28	15840,1	-960,34	-5,72
-ремонтні відрахування, грн. / т	+1158	997	1 059	1000	997	999	-60,56	-5,72
Витрати на електроенергію, тис. грн.	54,92	69,85	124,77	78,93	45,89	124,82	0,05	0,04
Витрати на електроенергію, грн./т	9	7	8	8	7	8	0,00	0,04
Залучені капітальні інвестиції, тис.грн.							320	
Річна економія експлуатаційних витрат, тис. грн.							593,5	

Порівняно з базовим варіантом трудовитрати на новий варіант зменшилися на 67 людино-годин, або на 7,24%.

## ВИСНОВКИ

1. Основною технологією очищення зерна та насіння в сільськогосподарських підприємствах залишаються зерноочисні пристрої типу ЗАВ. Однак більшість із цих пристроїв застаріли за дизайном та конструкцією та потребують термінової модернізації. Одним з підходів є використання розділової поверхні з високомолекулярного поліетилену, щоб мінімізувати пошкодження готового продукту.

2. Розроблено математичну модель сепарації зернового матеріалу на повітряно-просівній машині. Модель описує залежність між інтенсивністю екранування  $\mu$  (t), параметром екранування L, ступенем закупорки матеріалу K, щільністю розподілу  $\rho = \varphi(\alpha)$  і висотою екрануючого шару  $h_c$ .

3. Випробування показали, що модернізована система очищення зерна ЗАВ-40 дозволяє досягти значень 2,14 кг/м·с при обробці пшениці решіткою з вічками «В» Ø2,2 мм і «Г» Ø5,0 мм, і такий самий показник 2,14 кг/м·с при обробці ячменю з розмірами вічка «В» Ø2,0 мм і «Г». Ø4,5 мм. Обробку можна покращити шляхом збільшення товщини шару до тих пір, поки частка невіддільних домішок не буде істотно змінена (не більше двох змішаних шарів).

4. Порівняльний аналіз макро- та мікропошкоджень у зерні, очищеному полімерними ситами, порівняно зі стандартними сталевими ситами СТ35, показав зменшення пошкодження зародків на 50%, пошкодження ендосперму на 24%, пошкодження оболонок зародків на 8% і пошкодження макрозерна на 93%. Сита ВМРЕ також дали 43% збільшення загальної кількості непошкодженого насіння порівняно з металевими ситами.

5. Застосування сучасної зерноочисної системи ЗАВ-40 забезпечує зниження експлуатаційних витрат на 593,5 тис. грн., з додатковими інвестиціями 320 тис. грн., очікуваний економічний ефект 3,6 млн. грн. Дисконтований термін окупності інвестиційного проекту становить 0,6 року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барабаш, Р. І. (2021). *Обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ* (Doctoral dissertation, Львівський національний аграрний університет).
2. Труханська, О. О. (2020). Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.-Вінниця, 2018.-№ 3 (102)-С. 52-61.*
3. Кобець, А. С., Теслюк, Г. В., Пугач, А. М., Золотовська, О. В., Лепеть, Є. І., & Бойко, В. Б. (2025). Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва.
4. Грицаєнко, Г. І., & Грицаєнко, І. М. (2020). РОЗВИТОК АГРАРНОГО ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТА РИНКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ УКРАЇНИ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 105.*
5. ПАТРАШКУ, О., & БРАЦЛАВЕЦЬ, Б. (2023). Підвищення ефективності функціонування машин та обладнання АПК за рахунок управління надійністю їх систем. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences, 323(4), 236-241.*
6. Устюянов, П. Д., Домуші, Д. П., Супрунюк, В. П., & Гуславський, А. В. (2022). ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОГО СТАНУ ТЕХНІКИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та, 309.*
7. Лесюк, В. С., & Калініченко, О. В. (2020). ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 274.*

8. Адамчук, В., Камінський, В., Булгаков, В., & Надикто, В. (2022). Теоретичне дослідження та розроблення нового показника інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт. *Вісник аграрної науки*, 100(4), 57-63.

9. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Троханяк, О., & Чорна, Т. (2023). Теоретичне дослідження стійкості руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату. *Вісник аграрної науки*, 101(5), 57-64.

10. Товстенко, В. (2021). Удосконалення технічного обслуговування та ремонту машинно-тракторного парку в майстерні фермерського господарства «Славутич» Веселівського району Запорізької області: пояснювальна записка до дипломної роботи здобувача СВО Бакалавр.

11. Домуці, Д. П., Яковенко, А. М., Осадчук, П. І., Ліпін, А. П., Житков, С. С., & Павлішин, П. М. (2020). РЕМОНТ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ: навч. посібн.: у 2-х кн.–Кн. 1.

12. Іванов, Б. О., & Тітова, Л. Л. (2022). СТАН СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ НАДІЙНІСТЬ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ. *Збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «HSEAgro–2022». 8-9 лютого 2022 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Науково-виробничий журнал «Промислова безпека», Державна служба України з питань праці. Київ. 2022. 186 с., 119.*

13. Бабій, А. В., Вовк, І. В., & Бабій, В. А. (2024). Обґрунтування параметрів вала багатофункціонального ротаційного робочого органу. Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем, 9.

14. Romanekas, K. (2022). Sustainable tillage and sowing technologies. *Agronomy*, 12(10), 2467. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102467>

15. Yang, W., He, J., Lu, C., Lin, H., Yang, H., & Li, H. (2023). Current situation and future development direction of soil covering and compacting technology under precision seeding conditions in China. *Applied Sciences*, 13(11), 6586. <https://doi.org/10.3390/app13116586>

16. Сіренко, Ю. В., & Сілюченко, В. М. (2022). ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-25 листопада 2022 р.)/ТДАТУ: ред. кол., СВ Кюрчев, ВМ Кюрчев, ВТ Надикто, ОГ Скляр [та ін.]– Запоріжжя: ТДАТУ, 2022.–239 с. У збірнику представлені матеріали міжнародної науково-практичної, 56.*

17. Różewicz, M. (2022). Review of current knowledge on strip-till cultivation and possibilities of its popularization in Poland. *Polish Journal of Agronomy*, 49, 20-30. <https://doi.org/10.26114/pja.iung.488.2022.49.03>

18. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Кюрчев, В., & Камінський, В. (2022). Дослідження впливу ширини захвату машинно-тракторного агрегату на його експлуатаційні показники. *Вісник аграрної науки*, 100(10), 29-36.

19. Dnes, V., Kudrynetskyi, R., & Skibchyk, V. (2020). Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research*, (24), 77-82.

20. Бакляк, І. В. (2021). ПЛАНОВО-ЗАПОБІЖНА СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*, 465.

## ДОДАТКИ

Додаток А