

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

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

**Обґрунтування технологічного процесу очистки
насіння сої від нетреби звичайної на
фрикційному сепараторі барабанного типу**

Виконав: здобувач вищої освіти 2 курсу,
групи МГХТз-1-22
освітньо-професійної програми «Харчові
технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Петро ГОЛОТА

Керівник: _____ Олег ТЕРТИШНИЙ

Рецензент: _____ Олексій МАРЧЕНКО

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Магістр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«26» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Голоті Петру Петровичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування технологічного процесу очистки насіння сої від нетреби звичайної на фрикційному сепараторі барабанного типу».

Керівник роботи: Тертишний Олег Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» грудня 2023 року № 4085.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 12 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: 1 Літературні джерела та періодичні видання. 2 Наукові джерела та останні дослідження в галузі первинної обробки зерна, зокрема його очистки від сторонніх домішок. 3 Нормативно-технологічна документація. 4 Патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Стан питання очищення сої, мета і завдання дослідження. 2 Теоретичні дослідження процесу очищення сої від нетреби звичайної фрикційним сепаратором барабанного типу. 3 Методика експериментальних досліджень. 4 Результати експериментальних досліджень. 5 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Стан питання. 2 Матеріал та задачі дослідження. 3 Теоретичні дослідження.
4 Методика експериментальних досліджень. 5 Результати експериментальних досліджень та їх аналіз. 6 Кошторис витрат на проведення досліджень.
7 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, прізвище та ім'я консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 – 4	доцент ТЕРТИШНИЙ Олег	26.12.2023	12.02.2024
5	доцент ТЕРТИШНИЙ Олег	26.12.2023	12.02.2024
6	доцент ТЕРТИШНИЙ Олег	26.12.2023	12.02.2024

7. Дата видачі завдання 26 грудня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	27.12-31.12.23	виконано
2	Стан питання очищення сої, мета і завдання дослідження	01.01-08.01.24	виконано
3	Теоретичні дослідження процесу очищення сої від нетреби звичайної фрикційним сепаратором барабанного типу	09.01-15.01.24	виконано
4	Методика експериментальних досліджень	16.01-22.01.24	виконано
5	Результати експериментальних досліджень	23.01-29.01.24	виконано
6	Охорона праці та захист навколишнього середовища	30.01-01.02.24	виконано
7	Організаційно-економічна частина	02.02-06.02.24	виконано
8	Загальні висновки та бібліографія	07.02-08.02.24	виконано
9	Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу	09.12.2024	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Петро ГОЛОТА
(підпис)

Керівник роботи _____ Олег ТЕРТИШНИЙ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської роботи містить: 89 сторінок друкованого тексту, 18 рисунків та ілюстрацій, 10 таблиць та використано 50 літературних джерел посилань.

Метою роботи є вивчення впливу гідротермічної обробки зерна пшениці зі зниженими показниками якості в процесі підготовки до помелу та оцінка впливу техногенних факторів на санітарно-гігієнічні ознаки якості зерна, а також на їх зміну в технологічному процесі борошномельного заводу.

Об'єкт дослідження – процес водно-теплової обробки зерна пшениці з низьким вмістом клейковини, зв'язок з технологічними параметрами зерна пшениці та параметрами процесу.

Предмет дослідження – закономірності та взаємозв'язок технологічного процесу водно-теплової обробки зерна пшениці вплив його на ефективність.

Відомо, що якість клейковини один з основних критеріїв, що визначають хлібопекарські властивості зерна пшениці. Борошно з зерна зі слабкою клейковиною погіршує можливості хлібопечення, а одержуваний хліб володіє низьким об'ємним виходом і має незадовільний зовнішній вигляд та стан м'якушки. Поліпшення хлібопекарських властивостей зерна зі слабкою клейковиною можливо на стадії підготовки до помелу. Для цього використовують гідротермічну обробку при підвищених температурах процесу. У сучасній технології – це гарячий або швидкісний способи. Таким чином, робота присвячена вирішенню актуальних питань сучасної технології борошна, таких як гідротермічна обробка зерна зі слабкою клейковиною, розробка методу прямої оцінки ефективності гідротермічної обробки зерна.

Ключові слова: ПШЕНИЦЯ, КЛЕЙКОВИНА, ГІДРОТЕРМІЧНА, ОБРОБКА, БОРОШНО, РОБОТА, ХЛІБОПЕЧІННЯ, ТЕХНОЛОГІЇ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТ, ВИПРОБУВАННЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ПИТАННЯ ОЧИЩЕННЯ СОЇ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Аналіз існуючих способів сепарації насіння сої й пропозиції з удосконалення існуючих засобів очищення	10
1.1.1 Аналіз конструкцій машин для поділу насіння по шорсткості формі	11
1.1.2 Аналіз існуючих конструкцій фрикційних сепараторів барабанного типу для поділу насіння по шорсткості	13
Висновки до розділу і завдання дослідження	26
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СОЇ ВІД НЕТРЕБИ ЗВИЧАЙНОЇ ФРИКЦІЙНИМ СЕПАРАТОРОМ БАРАБАННОГО ТИПУ	27
2.1 Розрахунки руху насіння сої в технологічному зазорі фрикційного сепаратора	27
2.2 Розрахунки питомої продуктивності сепаратора по очищеній фракції	33
2.3 Умови, що визначають ефективність вилучення суплідь нетреби звичайної	35
Висновки до розділу	36
3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	38
3.1 Загальна програма експериментальних досліджень	38
3.2 Прилади й устаткування для експериментального дослідження	39
3.3 Опис експериментальної установки	39
3.4 Методика визначення еквівалентного діаметра бобу сої	43
3.5 Методика визначення коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях	43
3.6 Методика дослідження залежності величини коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях від питомого навантаження на боби	45
3.7 Методика визначення сили, необхідної для відриву нетреби звичайної від фрикційної поверхні при різних кутах її прикладення й	

умовах зчеплення	47
3.8 Методика визначення впливу навантаження, зазору, кутової швидкості обертання барабана й типу матеріалу робочої поверхні на ступінь добування нетреби звичайної, питому продуктивність, втрати сої й висоту клиноподібного шару, що формується в зазорі, суміші	49
3.9 Технологічна схема й методика проведення виробничих випробувань лінії очищення сої	51
Висновки до розділу	52
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	54
4.1 Результати випробувань макетного зразка фрикційного сепаратора барабанного типу	54
4.2 Результати досліджень по визначенню еквівалентного діаметра бобу сої	61
4.3 Результати досліджень по визначенню коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях	61
4.4 Результати досліджень залежності величини коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях від питомого навантаження на боби	62
4.5 Результати досліджень по визначенню впливу навантаження, зазору, кутової швидкості обертання барабана й типу матеріалу робочої поверхні на ступінь добування нетреби звичайної, вихід очищеної фракції, втрати сої й висоту клиноподібного шару, що формується в зазорі, суміші	64
4.9 Результати виробничих випробувань фрикційного сепаратора барабанного типу в лінії очищення сої	71
Висновки до розділу	73
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	74
5.1 Розробка організаційно-технологічної карти	74
5.2 Утилізація відходів на елеваторі ТОВ «Далекс»	75
Висновки до розділу	76
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	77
6.1 Організація досліджень	77

6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження	79
6.3 Розрахунок ціни дослідження	81
Висновки до розділу	82
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	83
БІБЛІОГРАФІЯ	84

ВСТУП

Світове виробництво насіння сої росте. Технологія переробки сої постійно удосконалюється, відкриваючи нові можливості використання даної культури. Перспективи розвитку й області застосування сої широкі: соєве масло застосовують при виробництві ряду харчових і промислових продуктів (молока, маргарину, борошна, морозива й кондитерських виробів, мила, мийних засобів, фарб, пластмас і ін.), шрот (продукт екстрагування масла) найбільш ефективно використовується для годівлі тварин і птахів.

Україна продовжує освоювати виробництво сої, але нарощуванню темпів заважає відсутність високотехнологічного вітчизняного встаткування. На основі накопиченого іншими країнами досвіду й власних наукових досліджень ми повинні створити прості й надійне встаткування, відповідне до світових стандартів і придатне для умов України, попутно вирішуючи всі виникаючі питання, пов'язані з технологією оброблення й переробки.

У той же час дослідження роботи існуючого устаткування виявили ряд недоліків, найбільш істотними з яких є:

- очищення сої на лінії повітряно-ситових і трієрних машин не забезпечила повного добування домішки нетреби звичайної;
- існуючі фрикційні сепаратори для очищення й сортування насіння по властивостях поверхні не мають необхідну для лінії продуктивності або не відповідають необхідній за технологією якості очищення.

Для нормальної роботи екструдера необхідно повне добування суплідь нетреби звичайної, тому що потрапляння часток даної домішки призводить до забивання робочих отворів і до вимушеної зупинки машини, у результаті чого простоює встаткування й знижується продуктивність лінії. При цьому додатковою вимогою до очищення є мінімальні втрати бобів сої, як цілих, так і травмованих, включаючи половинки й четвертинки. Наявність нетреби звичайної у фракції, призначеної для здрібнювання на дробарках з решетами, приводить до забивання отворів і зниженню продуктивності. До насінного матеріалу сої також

пред'являються високі вимоги до відсоткового вмісту нетреби звичайної як злісного карантинного бур'яну.

З метою усунення відзначених недоліків було висунуте припущення про те, що найбільш ефективним способом очищення сої від нетреби звичайної є фрикційна сепарація.

Дана робота присвячена дослідженню процесу роботи й обґрунтуванню основних конструктивно-технологічних параметрів фрикційного сепаратора барабанного типу, що дозволяють збільшити питому продуктивність сепаратора без зниження ступеня вилучення домішки й зменшити енерго- і металоємність процесу.

Метою роботи є підвищення ефективності очищення насіння сої від нетреби звичайної на фрикційному сепараторі барабанного типу.

Завдання роботи:

- визначити раціональний спосіб очищення сої від нетреби звичайної;
- розробити розрахункову схему й математичну модель руху матеріалу в технологічному зазорі між скатною дошкою й фрикційною поверхнею барабана;
- встановити вплив конструктивно-кінематичних параметрів сепаратора й фізико-механічних властивостей фрикційної поверхні на продуктивність по очищеній фракції й ступінь вилучення нетреби звичайної;
- обґрунтувати технологічну схему процесу очищення сої фрикційним сепаратором;
- розробити рекомендації з використання фрикційного сепаратора в технологічній схемі лінії очищення сої й визначити економічний ефект його застосування.

Об'єкт дослідження – процес очищення насіння сої фрикційним сепаратором барабанного типу.

Предмет дослідження – закономірності впливу основних конструктивно-кінематичних параметрів фрикційного сепаратора на процес очищення зернобобового матеріалу.

1 СТАН ПИТАННЯ ОЧИЩЕННЯ СОЇ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз існуючих способів сепарації насіння сої й пропозиції з удосконалення існуючих засобів очищення

Збирання сої проводиться зерновими комбайнами. Насіння, що надходить від комбайна, включає в основному цілі боби (68,90 – 93,88 %), а крім того – боби, дроблені вздовж (0,22 – 10,80 %), впоперек (0,60 – 5,64 %), що загнили й морозобійне (1,08 – 2,20 %), дрібне (0,35 – 4,18 %), насіння бур'янів і земля (1,30 – 15,39 %).

У цей час вітчизняна й закордонна промисловість випускає різні типи машин для очищення й калібрування насіння сільськогосподарських культур. Ці машини встановлюються в технологічних лініях, що постійно удосконалюються, і здійснюють сепарацію, використовуючи відмінності фізичних властивостей насіння і їх домішок. Деякі властивості насіння і засоби для їхньої сепарації наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Властивості насіння сої і засоби сепарації

Властивості насіння і домішок	Засоби сепарації
За товщиною	На ситах з продовгуватими отворами
За шириною	На ситах з круглими отворами
За довжиною	На трієрних поверхнях
За аеродинамічними властивостями	На пневмосортувальних столах
За коефіцієнтом тертя	На фрикційних поверхнях
За формою	На ситах з різними формами отворів

На більшості підприємств України після обмолоту соя очищається роздільним способом на повітряно-ситових і трієрних машинах [24]. На попередньому очищенні застосовуються зерноочисні машини типу ЗД-100000; ДО-523; ДО-527А; ОВП 20- А, на первинному очищенні – ЗАВ 10.30.100; ЗВС-20;

ДО-523; ДО-527, на вторинній – насіннеочищувальні машини типу СВУ-5; ДО-547А; ДО-548А; Петкус-Гігант; ОС-4,5; ОС-4,5А; СМ-4; ДО-531/1. При необхідності застосовують поперечну гірку, пневмосортувальні столи (ПСС-2,5А; ОСП-1,5; ПСС-2; ПСС-2,5), відцентрове спіральне сортування ССП-0,05 («Змійка») і арахісоочищувальну машину ОВА-1. Найважче всього витягти з насіння биті впоперек, гnilі, запліснявілі й морозобійні боби, горох, а також грудочки землі й бур'янисте насіння (особливо супліддя нетреби звичайної), розміри й аеродинамічні властивості яких близькі до цілих бобів сої.

Дослідження, виконані Волковим А.Т., Вороновим І.Г., Хотулевым М.І. показали, що існуючі зерноочисні машини не забезпечують необхідний ступінь вилучення перерахованих вище важковідокремлюваних домішок. Трієри при оптимальних умовах дозволяють вилучити не більш 80 % насіння нетреби звичайної й до 50 % морозобійних. Крім того, при обробці на цих машинах спостерігається дроблення й травмування бобів сої. Через велику масу зерен трієри складних зерноочисно-сортувальних машин виходять із експлуатації передчасно. Для зниження травмування сої на деяких підприємствах при очищенні машиною ОС-4,5А трієри відключають.

В цілому, слід зазначити, що для післязбиральної обробки сої підприємства не мають спеціалізованого високопродуктивного устаткування, процес здійснюється в основному роздільним способом на застарілих машинах з недостатнім ефектом очищення.

У зв'язку з вищевикладеним, розробка нових високопродуктивних машин для сепарації насіння сої, що враховують особливості фізичних властивостей цієї культури, представляє певний практичний і науковий інтерес. Рішення цього питання повинне бути спрямоване на підвищення якості насінневого й промислового матеріалу при вирощуванні й виробництві харчового й кормового рослинного білка.

1.1.1 Аналіз конструкцій машин для поділу насіння по шорсткості форми Насіння бур'янів, які по розмірах і аеродинамічним властивостям мало або

зовсім не відрізняються від насіння культурних рослин, як правило, не вилучається при очищенні в машинах з повітряно-ситовими й трієрними робочими органами. Але в той же час це насіння може мати різну шорсткість поверхні, а отже, і різні коефіцієнти тертя на будь-якому матеріалі або різну форму – більш округле й більш плоске насіння.

В основі способу сепарації важковідокремлюваних сумішей за властивостями поверхні й формі лежить відмінність рушійних сил і сил опору, що діють на компоненти при їхньому відносному русі по шорстких неперфорованих робочих органах. Рушійними силами можуть бути гравітаційні сили або сили інерції. У деяких сепараторах компоненти суміші переміщуються по робочих органах у результаті спільної дії як гравітаційних, так і інерційних сил і електричного поля.

Фрикційні сепаратори відрізняються більшою різноманітністю конструктивних форм (рис. 1.1): від простих з нерухливими робочими органами до складних відцентрових і вібраційних сепараторів.

Найбільш прості сепаратори – це нерухливі скатні дошки. Поділ насіння на фрикційній скатній дошці можливо за умови, якщо кут її нахилу буде більший кута тертя насіння. У цьому випадку насіння, що надходять на похилу поверхню, з однаковою початковою швидкістю буде переміщатися під дією гравітаційних сил наприкінці кожного відрізка з різною швидкістю, яка буде залежати тільки від відмінності коефіцієнтів тертя для шорсткуватого і гладкого насіння.

Для очищення насіння за коефіцієнтами тертя і формі призначене гвинтове сортування, на якому відокремлюють округлі насіння від плоского насіння, що має великий коефіцієнт тертя ковзання. Оброблюване насіння розподіляються по трьом внутрішнім жолобам і під дією гравітаційних сил рухається вниз, причому насіння округлої форми розвивають більш високу швидкість по гвинтовій поверхні, чим плоскі повздовжні. Під впливом відцентрової сили насіння круглої форми швидше віддаляються від осі сепаратора, що обумовлює можливість подолання ними обмежувальних бортів і виділення в жолоб більшого діаметра. Плоске й повздовжнє насіння, на яке

діє більший опір фрикційної поверхні, розвивають меншу швидкість і транспортуються по внутрішніх жолобах.

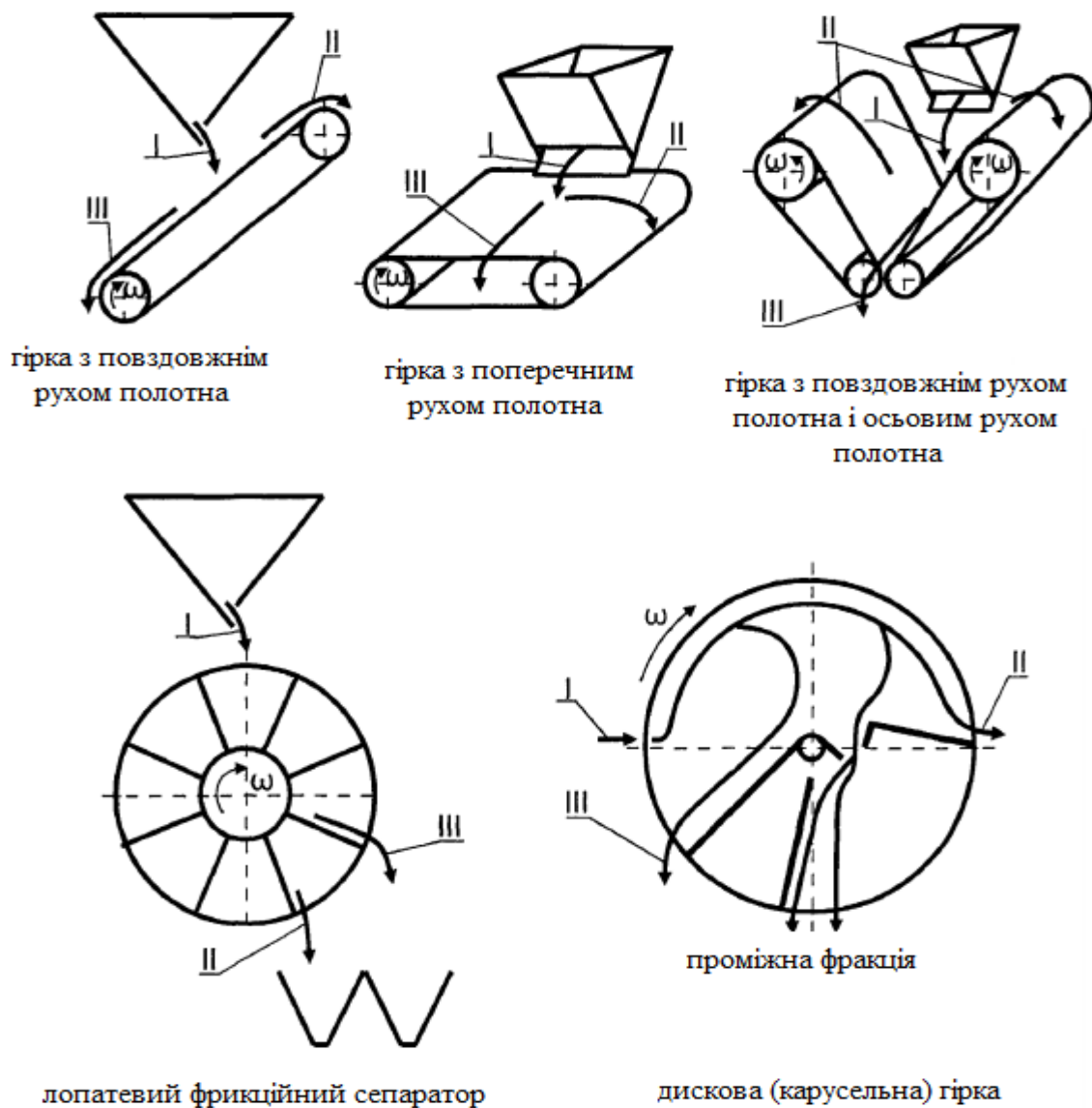


Рисунок 1.1 – Деякі види і типи фрикційних сепараторів

I – вихідна суміш; II – шорсткувата домішка; III – очищений (гладкий) матеріал

1.1.2 Аналіз існуючих конструкцій фрикційних сепараторів барабанного типу для поділу насіння по шорсткості

Існують різноманітні конструкції фрикційних сепараторів з аналогічними робочими органами, які називаються барабанами, вальцями або роликами

конічної або циліндричної форми, із внутрішньою або зовнішньою робочою поверхнею відповідні комбінації, що використовують для поділу, з п'яти основних сил: гравітації, інерції, тертя, зчеплення й відцентрової сили.

Доктором сільськогосподарських наук Ахламовим Ю.Д. розроблений вальцьовий фрикційний сепаратор СФ-10 для очищення насіння бобових трав. Робочі органи його виконано у вигляді двох однакових вальців конічної або циліндричної форми 4 відповідно до рисунка 1.2, покритих оксамитовим матеріалом, осі яких розташовані в одній площині під кутом. Зазор між ними по всій довжині або менше розмірів оброблюваного насіння або нульовий. Кут нахилу вальців до горизонталі й швидкість їх обертання можна регулювати. Над верхніми кінцями вальців перебуває бункер 1 з вібрлотком-живильником 2, що здійснює подачу насіння. Під вальцями встановлений розділовий кожух 5 (направляє насіння в ємності), а над ним відбивний кожух 3.

Принцип роботи сепаратора: суміш I, що підлягає очищенню, подається живильником у простір між верхніми кінцями вальців і переміщається вниз по утвореному ними похилому жолобу. Насіння із шорсткуватою оболонкою, пошкоджене і те, що має гострі краї, захоплюється оксамитовою поверхнею барабанів і відкидається до відбивного кожуха, який направляє їх назад на вальці на деякій відстані від місця початкової віддачі. Така багаторазова взаємодія насіння із вальцями триває до їхнього повного видалення із суміші, що очищається, у відходи. Насіння із гладкою поверхнею III скочує по похилому жолобу й сходить із їхнього нижнього кінця в ємність для основної фракції 7. Насіння II, що надходить в ємності для відходів 6, розділяються кожухом на дві фракції: переважно шорсткуваті – з першої половини вальців, з деякою частиною гладких насінь основної культури (які можуть бути спрямовані на повторне очищення) – із другої.

На ступінь поділу насіння впливає не тільки їх форма і шорсткість поверхні, але й ступінь зчіплюваності з матеріалом покриття вальців, а також коефіцієнт відновлення при ударі та коефіцієнт миттєвого тертя, тобто в цьому випадку можна говорити про сепарацію насіння із комплексу фізико-механічних

властивостей.

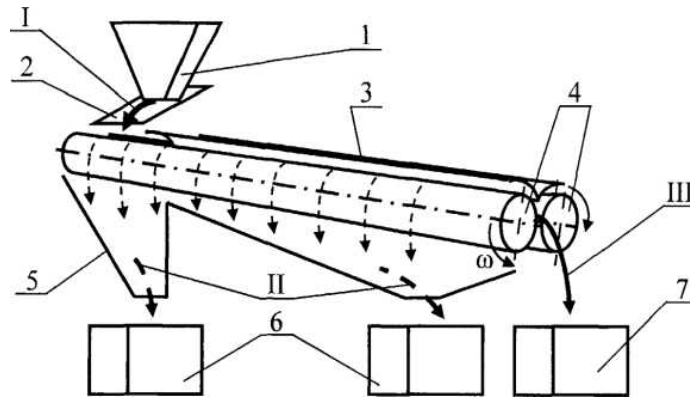


Рисунок 1.2 – Схема фрикційного сепаратора вальцьового типу для очищення насіння бобових трав

- 1 – бункер-живильник; 2 – вібралоток-живильник; 3 – відбивний кожух;
 4 – вальці; 5 – розподільний кожух; 6 – ємності для відходів;
 7 – ємність для основної фракції; I – насінна суміш; II – насіння із шорсткуватою поверхнею (відходи); III – насіння із гладкою поверхнею

Кут охоплення насіння – кут, утворений лінією центрів вальців і радіус-вектором точки викиду насіння, перебуває в межах висоти псевдорозрідженого шару утвореного вальцями.

Виходячи з обраних критеріїв якості, найкращі результати при очищенні конюшини лугової отримують при куті нахилу $8-10^\circ$, частоті їх обертання $16-17c^{-1}$ і подачі насіння $10-15$ кг/год. При цих режимах одержують насіння, що відповідає першому класу.

Іноді при необхідності очищення поверхні вальців від насіння, що має високу силу зчеплення в конструкціях, аналогічних описаних вище, застосовують додатковий відбивач, гребінь або щітку.

Криловим А.А. розроблений вальцьовий фрикційний сепаратор, що складається із провідного живильного ковша 1, відбивного щитка 2, провідного циліндричного вальця 3, робочого циліндричного вальця 4, лотка для відходів 5 і лотка для чистих насін 6 відповідно до рисунка 1.3. Вальці 1 і 4 установлено під кутом $3-7^\circ$ до горизонталі для просування насіння уздовж вальців.

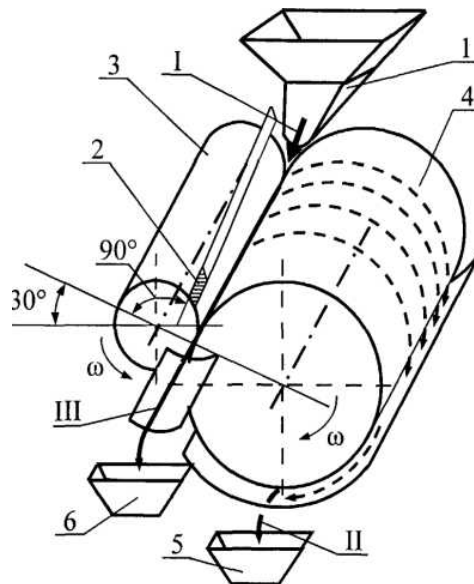


Рисунок 1.3 – Схема фрикційного сепаратора вальцевого типу

- 1 – живильний ківш; 2 – відбивний щиток; 3 – провідний циліндричний валець;
 4 – відомий робочий циліндричний валець; 5 – лоток для відходів;
 6 – лоток для чистого насіння; I – насіння культури, що очищається;
 II – шорсткі домішки (відходи); III – гладке насіння основної культури

Насіння культури, що очищається, I засипається в живильний ківш 3 і надходять у міжвальцевий простір обертових у протилежні сторони ворсистих вальців. При цьому провідний валець захоплює насіння, піднімає нагору й відкидає їх на відбивний щиток 2, відбиваючись від якого, насіння попадають на відомий робочий валець 4. Шорсткуваті домішки II захоплюються ворсом вальця 4, піднімається й скидається в ємність 5 для відходів. Гладке насіння основної культури III поступово просувається до виходу й надходить у ємність для чистого насіння 6.

Головна відмінна риса даного сепаратора полягає в тому, що з метою підвищення якості очищення насіння провідний валець розташований щодо відомого так, що лінія, що з'єднує центри цих вальців, становить кут $10 - 30^\circ$ з горизонталлю, а перпендикулярно до цієї лінії над провідним вальцем встановлений відображальний щиток, що направляє насіння на відомий валець і одночасно очищає провідний.

Основним недоліком описаного сепаратора, як і попереднього, є низька

продуктивність 8 – 12 кг/год.

Седаш Л.Т. запропонував фрикційний сепаратор з конусами, що обертаються. Він складається із двох конусів – правого 2 і лівого 3, насаджених на паралельні вали, що лежать в одній площині й нахилені під деяким кутом до горизонталі відповідно до рисунка 1.4. Середні діаметри усічених конусів можуть бути різними. Поверхні їх покриті неоднаковим матеріалом.

Над конусами встановлено пристрій живлення 1 для подачі насіння в середню частину конусів. При виконанні цих умов і обертанні обох конусів в одному напрямку створюється спрямований рух насіння вздовж найближче розташованих конусів. За рахунок сил тертя шорсткє насіння II переміщується вгору по конусу 3 і надходять в ємність для відходів 4, гладке насіння ковзає вниз в ємність для чистого насіння 5. У такому сепараторі частково усувається вільне перекочування насіння по робочому органу. Швидкість подачі насіння на конуси не повинна перевищувати швидкості руху їх нагору або вниз, а якщо навпаки, то буде відбуватися збивання насіння один одним. По даним Седаша Л.Т., сепаратором з конусами обертання виділяються такі бур'яни, як полови, редька дика й інші, що мають подовжену форму.

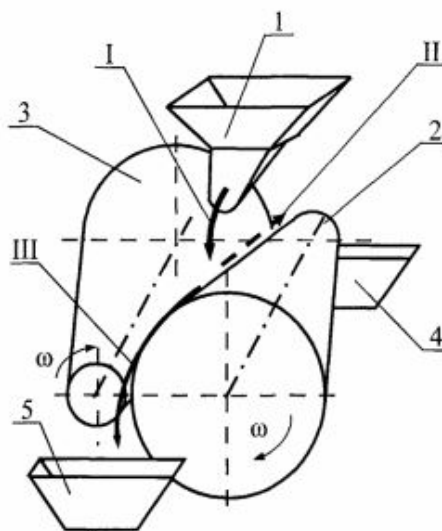


Рисунок 1.4 – Схема фрикційного сепаратора з конусами обертання
 1 – пристрій живлення; 2 – правий конус; 3 – лівий конус; 4 – ємність для відходів; 5 – ємність для чистого насіння; I – насіння, що очищається; II – шорсткє насіння (відходи); III – гладке насіння основної культури

Відома конструкція фрикційного сепаратора барабанного типу із зовнішньою робочою поверхнею. Вона містить бункер 1, вібралоток- живильник 2, циліндричний барабан 3, покритий ворсистим фрикційним матеріалом, ємність для основної фракції 4 і ємність для відходів 5 відповідно до рисунка 1.5.

Сепаратор працює так: насіння культури, що очищається, I з бункера подається вібралотком в один шар на всю ширину обертового барабана, де одержавши імпульс при взаємодії із фрикційною поверхнею барабана й відірвавшись, падає по параболічних траєкторіях різної кривизни залежно від їхньої шорсткості. Гладке насіння основної культури III – у ємність 4, а шорсткувате II – у ємність 5.

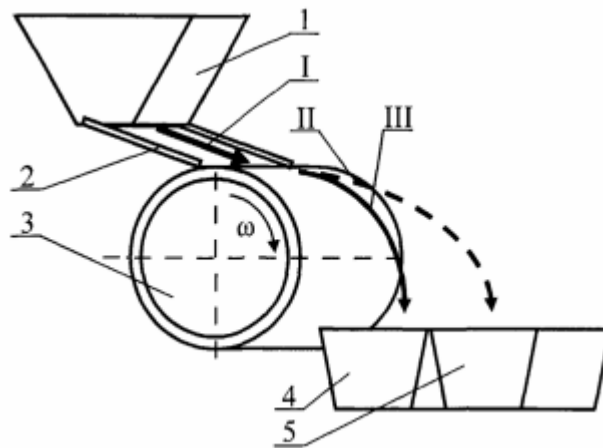


Рисунок 1.5 – Схема фрикційного сепаратора барабанного типу із зовнішньою робочою поверхнею

1 – бункер; 2 – вібралоток-живильник; 3 – циліндричний барабан;
4 – ємність для основної фракції; 5 – ємність для відходів; I – насіння культури, що очищається; II – шорсткувате насіння (відходи); III – гладке насіння основної культури

Іноді у фрикційних сепараторах із зовнішньою робочою поверхнею установлюють натискний ролик 6, роль якого полягає в забезпеченні необхідного, примусового, контакту насіння із поверхнею барабана, і щітку 7 (відповідно до рисунка 1.6), що забезпечує очищення поверхні від шорсткуватого насіння, що

зчепилося з нею й не відірвалося під дією відцентрової й гравітаційної сил.

Конструкції двох вищеописаних сепараторів прості, але малопродуктивні (150 – 400 кг/год-м), тому що подача повинна здійснюватися повільно, в один шар, для забезпечення необхідного контакту насіння із фрикційною поверхнею. За один прохід одержати високий ступінь очищення на таких машинах не вдається, тому необхідний повторний прохід. Найчастіше такі машини розташовують одну над іншою у вигляді каскадів або батареї.

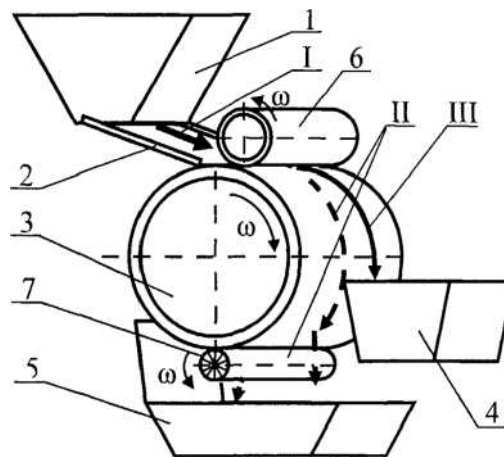


Рисунок 1.6 – Схема фрикційного сепаратора барабанного типу із зовнішньою робочою поверхнею (з використанням натискного ролика)

- 1 – бункер; 2 – вібралоток-живильник; 3 – циліндричний барабан; 4 – ємність для основної фракції; 5 – ємність для відходів; 6 – натискний ролик; 7 – щітка;
 I – насіння культури, що очищається; II – шорсткувате насіння (відходи);
 III – гладке насіння основної культури

За даними Заїки М.П., відома схема фрикційного сепаратора барабанного типу із внутрішньою робочою поверхнею. Вона містить бункер 1, живильник 2, циліндричний барабан 3, покритий зсередини ворсистим фрикційним матеріалом (вісь циліндра має нахил щодо горизонталі), жолоб 4 зі шнеком 5 для видалення домішок із шорсткуватою поверхнею, ємність для основної фракції 6 і ємність для відходів 7 відповідно до рисунка 1.7.

Сепаратор працює так: насіння культури, що очищається, I з бункера подаються живильником на внутрішню фрикційну поверхню барабана в один

шар. У результаті взаємодії з поверхнею шорсткувате насіння II попадає у жолоб, звідки шнеком направляються в ємність для відходів. Гладке насіння основної культури III просуваються по обертовій похилій поверхні барабана й попадає у ємність для основної фракції.

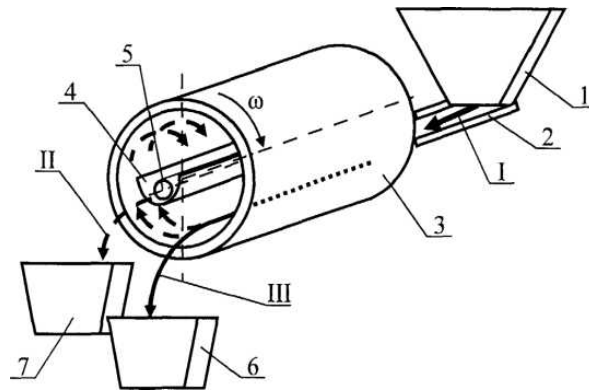


Рисунок 1.7 – Схема фрикційного сепаратора барабанного типу із внутрішньою робочою поверхнею

1 – бункер; 2 – живильник; 3 – циліндричний барабан; 4 – жолоб; 5 – шнек; 6 – ємність для основної фракції; 7 – ємність для відходів; I – насіння культури, що очищається; II – шорсткувате насіння (відходи); III – гладке насіння основної культури

Для того, щоб відбувався процес сепарації, необхідно насіння підняти вище горизонтального діаметра. Виходячи із цього, вибирають мінімальну частоту обертання. Максимальну частоту обертання визначають із умови, при якому нормальна складова реакції у верхній точці циліндра дорівнює нулю. При проектуванні розміри циліндра (діаметр і довжину) знаходять, виходячи із заданої проектної продуктивності й припустимого питомого навантаження. Для зернових культур (вівса, ячменя) при виділенні вівсюга питома навантаження ухвалюють рівної 60 – 80 кг/(год-м²), а для очищення насіння льону – 80 – 90 кг/(год-м²).

Описана схема досить проста, вона може бути уніфікована й застосована в існуючих схемах трієрних блоків, але її обмежені показники продуктивності й необхідність повторних циклів не дають можливості для її застосування у високопродуктивних лініях.

Відома схема фрикційного сепаратора барабанного типу із внутрішніми

конічними робочими поверхнями (східчастий циліндро-конічний фрикційний трієр ТФ-0,6). Вона містить бункер 1, живильник 2 (відповідно до рисунка 1.8), корпус у вигляді циліндричного барабана 3, усередині якого перебувають десять однакових робочих елементів 4, що представляють собою комбінацію циліндра з конусом і покритих усередині фрикційним матеріалом з ворсистотою поверхнею (вісь циліндра має нахил щодо горизонталі); жолоб 5 зі шнеком 6 для видалення домішок із шорсткуватою поверхнею, ємність для основної фракції 7 і ємність для відходів 8.

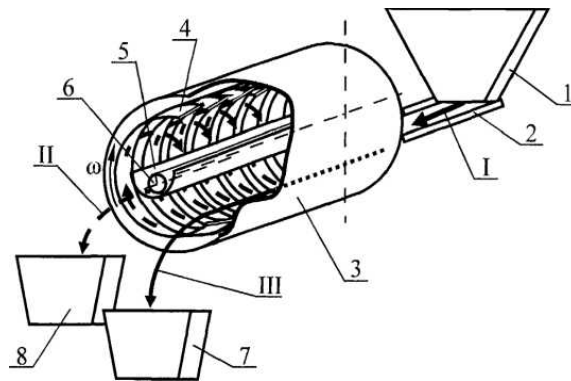


Рисунок 1.8 – Схема фрикційного сепаратора із внутрішніми конічними робочими поверхнями

1 – бункер; 2 – живильник; 3 – циліндричний барабан (корпус); 4 – конусний робочий елемент; 5 – жолоб; 6 – шнек; 7 – ємність для основної фракції; 8 – ємність для відходів; I – насіння культури, що очищається; II – шорсткувате насіння (відходи); III – гладке насіння основної культури

Сепаратор працює так: насіння культури, що очищається, I з бункера подається живильником на послідовні щаблі конічних фрикційних поверхонь. Рух насіння у напрямку обертання барабана трієра відбувається аналогічно руху в похилому обертовому циліндрі й похилому конусі. В осьовому напрямку насіння рухається інакше, ніж у циліндрах із внутрішньою робочою поверхнею. Завдяки комбінації циліндричної й конічної поверхонь у поздовжньому напрямку утворюється уступ (балка), який заповнюється насінням не більш ніж до рівня стоку їх із краю конічної частини. Така схема гарантує роботу фрикційного трієра тонким шаром, що забезпечує ефективність сепарації.

У результаті взаємодії з поверхнею шорсткуваті насіння II попадають у жолоб, звідки шнеком направляється в ємність для відходів. Гладке насіння основної культури III просувається по обертових конічних щаблях барабана й попадає у ємність для основної фракції.

Десятикратний повтор очищення насіння на циліндро-конічному фрикційному трієрі підвищує якість очищення в порівнянні зі звичайними циліндричними робочими органами внутрішньої дії, але показники продуктивності даних машин нижче, що і є їхнім основним недоліком.

Існує схема сепаратора із циліндричною фрикційною робочою поверхнею, де замість обертового руху використовується вібраційний рух. Різне компонування вібратора в системі робочого органа дозволяє виконати даний сепаратор по декільком принциповим схемам.

Сепаратор з робочим органом, що робить кругові поступальні рухи у вертикальній площині, містить живильний пристрій 1, циліндр 2, розташований під кутом до горизонталі, облицьований зсередини фрикційним матеріалом, що жорстко сидить на осі 3, що опирається на пружні підвіски 4; жорстко пов'язаний з віссю (у центрі ваги віброуючої системи) вібратор 5 з дебалансом 6, що обертаються щодо осі 3 у площині, перпендикулярної цієї осі, що приводиться через гнучкий вал 7 від електродвигуна 8; дільники 9 і приймачі 10 відповідно до рисунка 1.9.

Технологічний процес роботи сепаратора наступний. Насінну суміш культури, що очищається, з живильного пристрою подають на робочу поверхню циліндра. При обертанні дебаланса вібратора циліндру повідомляють коливання по кругових траєкторіях у вертикальній площині. Під впливом періодичних вібраційних впливів компоненти суміші, піднявшись по робочій поверхні на висоти, відповідні до граничних кутів підйому, будуть переміщатися уздовж утвореної поверхності. У виходу із циліндра насіння переміщається по різних траєкторіях (по краях шорсткувате насіння II, у центрі більш округле й гладке насіння основної культури III), розділяється на фракції дільниками й направляється в приймачі.

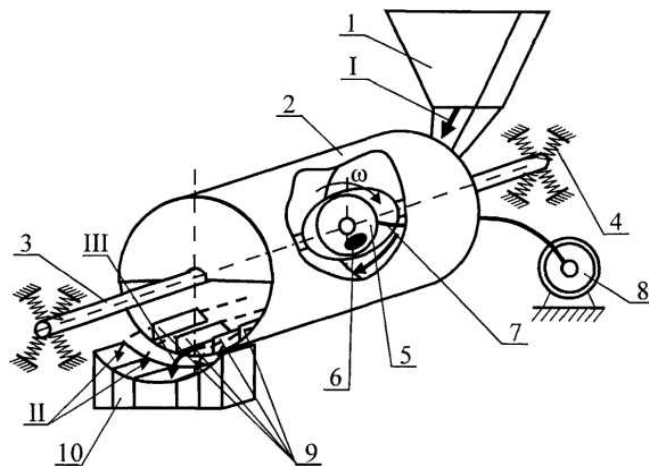


Рисунок 1.9 – Схема фрикційного сепаратора із циліндричним робочим органом, що роблять кругові поступальні рухи у вертикальній площині

1 – живильний пристрій; 2 – циліндр; 3 – вісь; 4 – пружна підвіска;
 5 – віброзбудник; 6 – дебаланс; 7 – гнучкий вал; 8 – електродвигун;
 9 – дільники; 10 – приймачі продуктів поділу; I – насіння культури, що очищається; II – шорсткувате насіння (відходи); III – гладке насіння основної культури

Подібний процес сепарації насінної суміші можна одержати й на горизонтально розташованому циліндричному робочому органі (аналогічному по опису попередньому). Для цього робочий орган необхідно приводити у вібраційний рух так, щоб була поздовжня, уздовж осі циліндра, складова амплітуди коливань. Це можна здійснити віброзбудником 5 з дебалансом 6, закріпленим на осі в центрі ваги віброуючої частини сепаратора відповідно до рисунка 1.10, при цьому площина обертання дебаланса віброзбудника повинна бути встановлена під гострим кутом до осі в напрямку руху оброблюваних насіннь.

Технологічний процес такий же, як і в раніше описаного сепаратора. Під впливом вібрації компоненти суміші переміщуються уздовж циліндра, піднімаючись по його поверхні до граничних кутів підйому, відповідних до властивостей поверхні насіння.

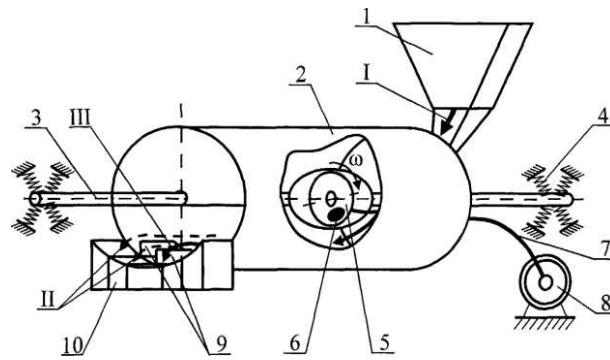


Рисунок 1.10 – Схема фрикційного сепаратора із циліндричним робочим органом, що роблять просторові коливання

- 1 – живильний пристрій; 2 – циліндр; 3 – вісь; 4 – пружна підвіска;
 5 – вібратор; 6 – дебаланс; 7 – гнучкий вал; 8 – електродвигун; 9 – дільники;
 10 – приймачі продуктів поділу; I – насіння культури, що очищається;
 II – шорсткувате насіння (відходи); III – гладке насіння основної культури

Дані вібраційні сепаратори ефективні в плані очищення, але малопродуктивні через обмеження в навантаженні, а також досить складні по конструкції.

Відомий фрикційний сепаруючий пристрій для видалення тканинних вичісок з борошн'яних витрясок. Пристрій містить сталевий роз'ємний корпус 1, барабан 2 (відповідно до рисунка 1.11), що складається із приводного вала, трьох чавунних розеток і дерев'яної обшивки, покритої голчастою стрічкою № 20; притискної прогумований валик 3, очисний валик 4, покритий голчастою стрічкою № 18; металевий гребінь 5 для знімання вичісок з очисного валика. Для рівномірного розподілу борошн'яних витрясок по довжині робочої щілини, утвореної між барабаном і притискним валиком, у верхній частині пристрою встановлений живильник, який складається із прийомного бункера 6, засувки 7 і жолоба 8. Для виводу очищеного борошна в нижній частині корпусу передбачений канал 9, а для виводу вичісок – канал 10.

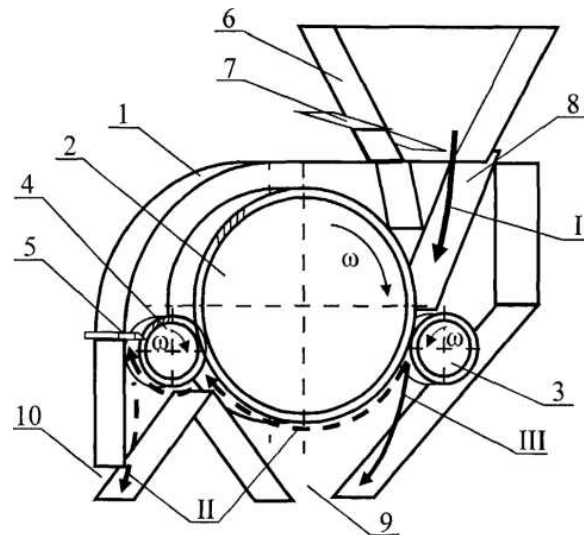


Рисунок 1.11 – Схема фрикційного сепарувального пристрою для видалення тканинних вичісок з борошняних витрясок

1 – корпус; 2 – барабан; 3 – притискний валик; 4 – очисний валик;
 5 – гребінь; 6 – прийомний бункер; 7 – засувка; 8 – жолоб; 9 – вивідний канал
 для очищеного борошна; 10 – вивідний канал для тканинних вичісок;
 I – борошняні витряски; II – тканинні вичіски; III – очищене борошно

Робота пристрою полягає в наступному: при відкритті засувки 7 борошняні витряски I із прийомного бункера 6 надходять у жолоб 8, а потім у робочу щілину, шириною 3 – 4 мм між барабаном і притискним прогумованим валиком, які обертаються назустріч один одному. Тканинні вичіски II, підхоплені голками барабана, подаються назустріч до обертового очисного валика 4. Очисний валик знімає тканинні вичіски з голок барабана й подає їх до гребня 5, який, у свою чергу, знімає вичіски з голок валика 4. Вичіски, зняті гребнем, попадають у канал 10 і виводяться із пристрою. Очищене борошно III, пройшовши робочу щілину між барабаном і притискним валиком, попадає в канал 9, потім також виводиться із пристрою. Сепаратор цієї конструкції, що володіє високою продуктивністю (до 1000 кг/ год-м).

Висновки до розділу і завдання дослідження

На сьогоднішній день існують десятки запатентованих технологій виробництва екструдованої сої й соєвого молока. Незалежно від складності або простоти пропонованих схем, у кожній з них обов'язково присутні лінія очищення й ті самі проблеми:

- низька продуктивність існуючих машин, що сепарують;
- недостатній ступінь добування домішок із суміші;
- відсутність спеціальних машин для очищення сої від важковідокремлюваних домішок.

Одним з перспективних шляхів підвищення якості очищення сої від важковідокремлюваного насіння нетреби звичайної є використання спеціального сепаратора. Розрахунки й дослідження показують, що фрикційна сепарація сої при виділенні насіння нетреби звичайної більш ефективна, чим повітряно-ситова й трієрна.

Науковою ідеєю даної роботи є підвищення ефективності очищення сої від нетреби звичайної на фрикційному сепараторі барабанного типу.

Поставлені питання вимагають розв'язку наступних завдань:

- визначити раціональний спосіб очищення сої від нетреби звичайної;
- розробити розрахункову схему й математичну модель руху матеріалу в технологічному зазорі між скатною дошкою й фрикційною поверхнею барабана;
- встановити вплив конструктивно-кінематичних параметрів сепаратора й фізико-механічних властивостей фрикційної поверхні на продуктивність по очищеній фракції й ступінь вилучення нетреби звичайної;
- обґрунтувати технологічну схему процесу очищення сої фрикційним сепаратором;
- розробити рекомендації з використання фрикційного сепаратора в технологічній схемі лінії очищення сої й визначити економічний ефект його застосування.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ СОЇ ВІД НЕТРЕБИ ЗВИЧАЙНОЇ ФРИКЦІЙНИМ СЕПАРАТОРОМ БАРАБАННОГО ТИПУ

2.1 Розрахунки руху насіння сої в технологічному зазорі фрикційного сепаратора

При розробці розрахункової схеми руху матеріалу в сепараторі (рис.2.1) прийняті наступні допущення: 1) біб сої представлений у вигляді кулі з еквівалентним діаметром; 2) куля обертається рівномірно; 3) опір повітря не враховується.

Початок координат O_1 збігається із центром ваги кулі в момент, коли куля перебуває у верхньому шарі оброблюваного в зазорі матеріалу. Вісь X розташована паралельно скатній дошці з позитивним напрямком по ходу руху матеріалу. Вісь Y перпендикулярна скатній дошці й спрямована їй назустріч.

Диференціальне рівняння руху кулі в зазорі між скатною дошкою й фрикційною поверхнею барабана має вигляд:

$$m\ddot{x} = mg \sin \alpha - F_c + F_{ui} \quad (2.1)$$

де m – маса бобу сої (кулі), кг;

α – кут нахилу скатної дошки, гради;

F_c – сила опору руху кулі в зазорі, Н.

$$F_c = F_{mрd} + F_{mрб} \quad (2.2)$$

де $F_{mрd}$ – сила тертя кулі про скатну дошку, Н;

$F_{mрб}$ – тертя кулі про фрикційну поверхню барабана, Н;

F_{ui} – сила впливу вищележачих куль, Н.

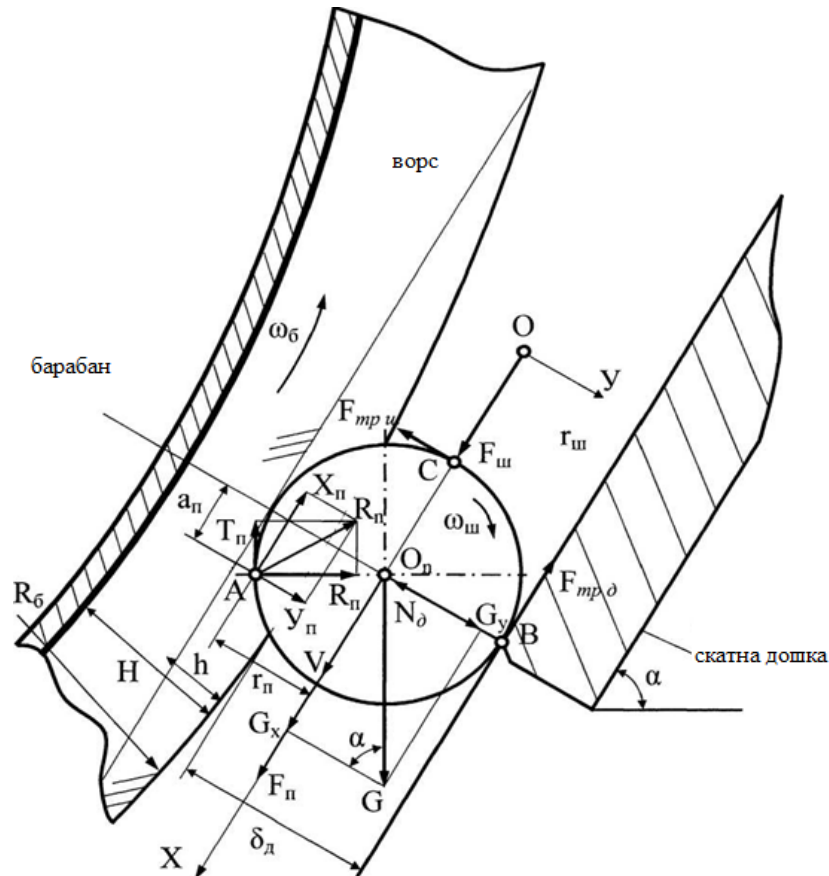


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема руху кулі в технологічному зазорі між скатною дошкою й фрикційною поверхнею барабану

$$F_{mp\delta} = f_{\delta} \cdot N_{\delta} \quad (2.3)$$

де f_{δ} – коефіцієнт тертя ковзання між кулею й скатною дошкою, $f_{mp\delta} = 0,29$.

N_{δ} – сила тиску кулі на дошку, Н;

$$F_{mp\omega} = f_{\omega} \cdot Y_n \quad (2.4)$$

де Y_n – нормальна реакція фрикційної поверхні, Н;

f_{ω} – коефіцієнт опору коченню матеріалу по фрикційній поверхні барабана в зазорі.

$$f_{\delta} = f_{\delta} + f_{\omega} \quad (2.5)$$

де f_{δ} – коефіцієнт опору коченню, що враховує величину зазору;

f_{ω} – коефіцієнт опору коченню, що враховує частоту обертання барабана.

Для розрахунків коефіцієнта опору руху матеріалу по фрикційній поверхні в зазорі використовуємо теорію руху відомого металевого (твердого) колеса по деформаційному ґрунту.

Куля переміщається в зазорі під дією сили F_n зі швидкістю V . Сила визначається з вираження:

$$F_n = F_{ш} + G_x \quad (2.6)$$

де $F_{ш}$ – сила впливу вищележачих куль, Н;

$$G_x = G \sin \alpha \quad (2.7)$$

де G_x – проекція сили ваги на вісь X , Н;

G – сила ваги кулі, Н.

Уздовж осі Y діє результуюча нормальна реакція між кулею й дошкою N_{δ} , що складається із проекція сили ваги кулі G_y , реакції фрикційного матеріалу Y_n і реакції від дії тертя об вищележачі кулі $F_{трш}$.

Проекція сили ваги кулі визначається з вираження:

$$G_y = G \cos \alpha \quad (2.8)$$

Результативну нормальну реакцію N_{δ} знаходимо за формулою:

$$N_o = G \cos \alpha + Y_n - F_{\text{фри}} \quad (2.9)$$

Сила тертя об вищележачі кулі визначається з виразу:

$$F_{\text{фри}} = F_u \cdot f_u \quad (2.10)$$

де f_u – коефіцієнт тертя ковзання між кулями;

F_u – сила впливу вищих куль, Н.

Під дією вищевказаних сил куля, що рухається, вдавлюється у фрикційну поверхню. У результаті цього виникають нормальні й дотичні реакції робочої поверхні. Перші з них спрямовані по нормалі до поверхні кулі, тобто по радіусах. Вони дають результуючу R_n , прикладену в крапці A поверхні контакту кулі із фрикційною поверхнею й минаючу через центр кулі.

Дотичні реакції являють собою сили тертя між поверхнею кулі й фрикційною поверхнею. Вони прагнуть обертати куля за годинниковою стрілкою. Замінімо дотичні сили тертя результуючою силою T_n і допустимо, що вона прикладена в тій же крапці A , де прикладена результуюча нормальна реакція R_n . Розкладемо геометричну суму сил R_n і T_n на дві складові: по осі $Y - Y_n$ і по осі $X - X_n$.

Зсув точки A прикладення вертикальної реакції Y_n від вертикалі, що проходить через вісь колеса, приводить до виникнення моменту опору коченню:

$$M_{fn} = Y_n \cdot a_n \quad (2.11)$$

де a_n – розмір плеча, м.

Величина моменту M_{fn} залежить від реакції Y_n і від розміру плеча a_n , тобто

від глибини занурення кулі в робочу поверхню. Чим менше зазор між скатною дошкою й ворсом, тим більше глибина занурення кулі у фрикційну поверхню й тим більше момент опору коченню кулі.

Опір коченню кулі виявляє й момент сили тертя кулі про скатну дошку:

$$M_{mрd} = F_{mрd} \cdot r_{ui} \quad (2.12)$$

Вплив виявляє й момент сили тертя між кулями:

$$M_{mрui} = F_{mрui} \cdot r_{ui} \quad (2.13)$$

Крім моментів опору коченню, на кулю діє ще пари сил, утворена силою F_n , що штовхає куля, і протилежної по напрямкові реакції робочої поверхні X_n . Плече цієї пари сил, тобто відстань від центру ваги кулі до площини, паралельної осі X , у якій лежить крапка A . Відповідно до цього позначимо відстань від центру ваги кулі до реакції X_n через r_n . Проекції на вісь X сил, що діють на кулю, становлять рівність (2.8).

Для підтримки рівномірного обертання кулі момент пари сил F_n і X_n повинен дорівнювати сумі моментів опору коченню кулі:

$$F_n r_n = M_{fn} + M_{mрd} + M_{mрui} = M_{\Sigma} \quad (2.14)$$

звідки випливає, що:

$$F_n = \frac{M_{\Sigma}}{r_n} \quad (2.15)$$

Відношення являє собою умовну силу опору коченню кулі. При деяких

співвідношеннях $Y_n, X_n, F_{три}$ і $F_{трд}$ може виникати ковзання кулі по робочій поверхні, більше або менше, залежно від його зчіпних властивостей. В окремому випадку куля буде рухатися без обертання.

З рівнянь 2.3, 2.4, 2.6 і 2.16 випливає, що коефіцієнт опору руху кулі в зазорі може бути визначений шляхом виміру сили, що штовхає, необхідної для рівномірного руху кулі з яким-небудь обраним ваговим навантаженням по заданих робочих поверхнях (поверхня скатної дошки й ворс фрикційного матеріалу).

Для оцінки коефіцієнта опору коченню використовуємо формулу Горячкіна. Стосовно до теорії кочення кулі по ворсистій поверхні вона має такий вигляд:

$$f_{\delta} = 0,863 \sqrt[3]{\frac{Y_n}{kdD^2}} \quad (2.16)$$

де D і d – відповідно діаметр кулі й діаметр зануреного в матеріал сектору кулі, м;

k – коефіцієнт об'ємного стиску фрикційної поверхні Н/м³;

Для досліджуваної фрикційної поверхні з урахуванням експериментальних даних $k = 65000 \dots 75000$ Н/м³;

Y_n – вертикальне навантаження, передана поверхні кулею (сила реакції поверхні), Н.

На підставі апроксимації даних попередніх експериментів по дослідженню впливу частоти обертання барабана на продуктивність сепаратора, отримана залежність коефіцієнта тертя від частоти обертання барабана у вигляді:

$$f_{\omega} = \frac{k_1 \cdot \omega_{\min}}{(\omega_{\max} - \omega)} + k_2 \quad (2.17)$$

де ω – частота обертання барабана в досліджуваному робочому діапазоні, с⁻¹;

$$\omega = 3 \dots 15 c^{-1};$$

ω_{\min} – мінімальна частота обертання барабана, c^{-1} ;

Для всіх зазорів $\omega_{\min} = 2 c^{-1}$;

ω_{\max} – максимальна частота обертання барабана певна для кожного зазору експериментально, c^{-1} ;

Для зазору $\delta = 4$ мм частота $\omega_{\max} = 18 c^{-1}$; зазору $\delta = 4,5$ мм частота $\omega_{\max} = 20 c^{-1}$; зазору $\delta = 5$ мм частота $\omega_{\max} = 22 c^{-1}$; зазору $\delta = 5,5$ мм частота $\omega_{\max} = 24 c^{-1}$; зазору $\delta = 6$ мм частота $\omega_{\max} = 26 c^{-1}$.

k_1 – емпіричний коефіцієнт, $k_1 = 0,1$;

k_2 – емпіричний коефіцієнт, $k_2 = 0,092$.

2.2 Розрахунки питомої продуктивності сепаратора по очищеній фракції

Для визначення питомої продуктивності $q_{оч}$ фрикційного сепаратора на 1 м довжини робочого зазору (довжини барабана), по очищеній фракції, отримана формула:

$$q_{оч} = \frac{3600 \cdot m_{\delta} \cdot V_{\delta} \cdot k_3}{d_{\delta}^2 - q \eta_H} \quad (2.18)$$

де m_{δ} – маса бобу, кг;

V_{δ} – швидкість бобу, м/с;

k_3 – емпіричний коефіцієнт заповнення щілини, $k_3 = 0,9$;

d_{δ} – еквівалентний діаметр бобу, м;

q – питома навантаження (продуктивність живильника), кг/год-м;

η_H – вагова частка нетреби звичайної у вихідній суміші, д.од.

У результаті розрахунків отримані наступні теоретичні залежності,

представлені на рисунку 2.2 і 2.3. Вихід очищеної фракції визначається по формулі:

$$W = \left(\frac{q_{oc}}{q} \right) \cdot 100, \% \quad (2.19)$$

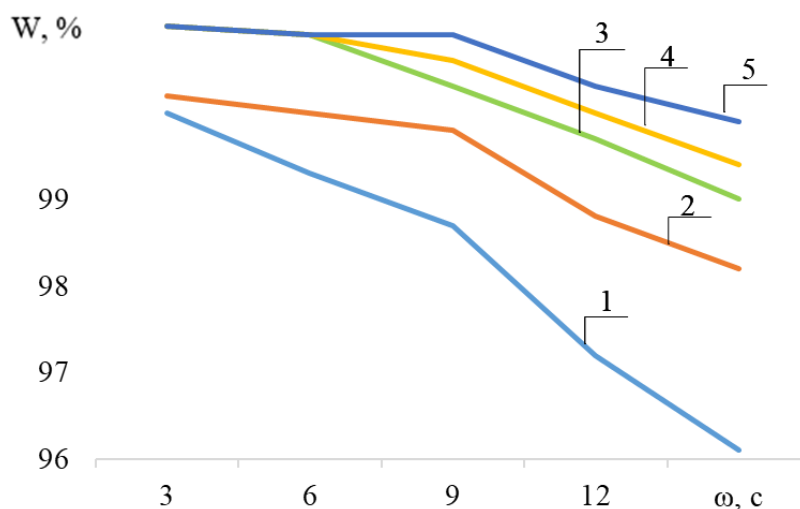


Рисунок 2.2 – Залежність виходу очищеної фракції від частоти обертання барабана й величини зазору при навантаженні 1500 кг/год-м (для матеріалу звукотеплоізоляційна основа лінолеуму)

1 – $\delta = 4$ мм; 2 – $\delta = 4,5$ мм; 3 – $\delta = 5$ мм; 4 – $\delta = 5,5$ мм; 5 – $\delta = 6$ мм

Найбільш важливою особливістю процесу сепарації є формування в просторі-зазорі (у вигляді клину) між скатною дошкою й поверхнею барабана шару зернобобової суміші. Обсяг даного шару збільшується при збільшенні частоти обертання барабана й при зменшенні зазору. Чим більше обсяг матеріалу в зазорі, тим більше втрати сої, тому що боби, відскакуючи від поверхні шару можуть потрапити в сектор барабана можливого руху з поверхнею. Рациональна частота обертання барабана при мінімальних втратах сої $4 - 6 \text{ с}^{-1}$.

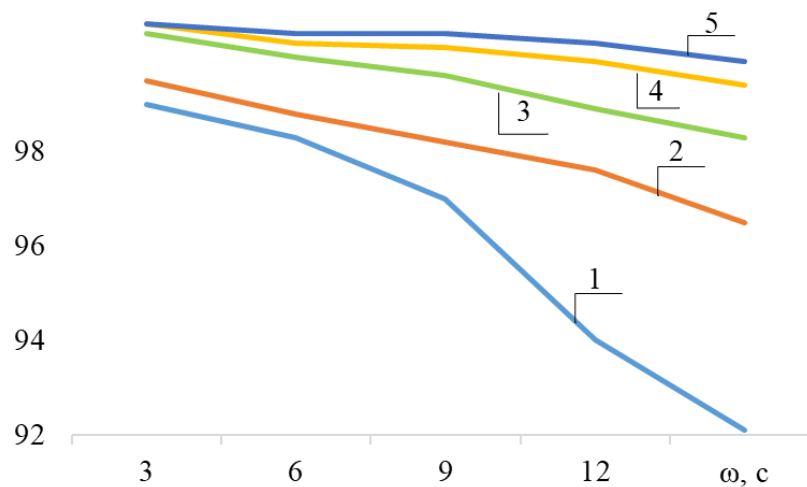
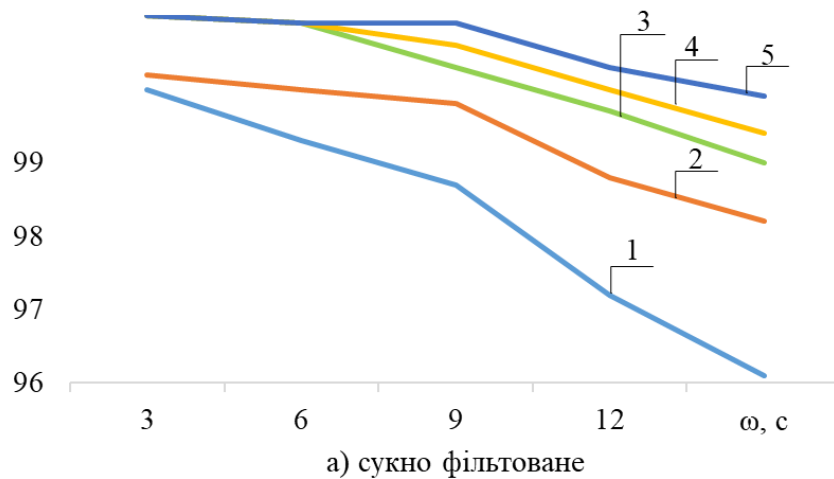


Рисунок 2.3 – Залежність виходу очищеної фракції від частоти обертання барабана й величини зазору при навантаженні 1500 кг/год-м
 1 – $\delta = 4$ мм; 2 – $\delta = 4,5$ мм; 3 – $\delta = 5$ мм; 4 – $\delta = 5,5$ мм; 5 – $\delta = 6$ мм

2.3 Умови, що визначають ефективність вилучення суплідь нетреби звичайної

На процес добування суплідь нетреби звичайної з насіння сої впливають частота обертання барабана, кут нахилу скатної дошки, зазор, навантаження й висота шару (рис. 2.4) Супліддя мають можливість взаємодії з ворсом з моменту падіння на поверхню шару, при цьому від величини сили зчеплення залежить – виділиться він відразу або, втопившись в шарі по мірі просування в зазорі, зачепиться із силою, що перевищує тиск вищележачих бобів.

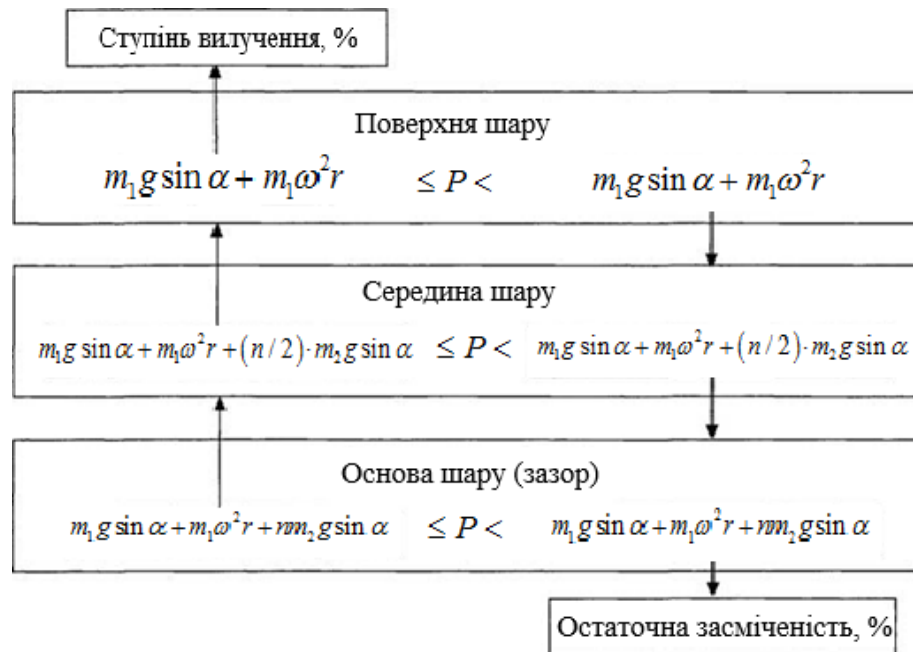


Рисунок 2.4 – Умови, що визначають ефективність вилучення суплідь нетреби звичайної

примітка:

m_1 – маса супліддя нетреби звичайної, кг; m_2 – маса бобу сої, кг; P – сила зчеплення нетреби звичайної із фрикційною поверхнею, Н; ω – кутова швидкість обертання барабана, c^{-1} ; n – кількість бобів по висоті шару, шт.

У процесі подолання шару нетреба звичайна може відриватися від ворсу й знову вертатися в глибину шару до зазору, де в черговий раз відбудеться змушене зачеплення. Дана особливість процесу дозволяє добитися високого ступеня добування нетреби звичайної (98 – 99 %). Максимальний ступінь добування досягається при кутовій швидкості обертання барабана $\omega = 4 - 6 c^{-1}$, зазорах 4,0 – 4,5 мм. При цьому максимальна подача 1500 кг/год-м.

Висновки до розділу

Обґрунтована технологічна схема фрикційного сепаратора, у якому при проходженні сепаруючого матеріалу крізь технологічний зазор, утворений скатною дошкою й фрикційною поверхнею барабана, що обертається проти

поток суміші, забезпечується високий ступінь добування нетреби звичайної при великій питомій продуктивності по очищеній фракції.

Розроблена математична модель проходження бобами зазору між скатною дошкою й фрикційною поверхнею, що дозволяє на стадії проектування встановити питому продуктивність, раціональні конструктивно-кінематичні параметри й режими очищення сої від нетреби звичайної фрикційним сепаратором барабанного типу.

Отримані математичні залежності процесу руху матеріалу дозволили встановити наступні раціональні параметри фрикційного сепаратора для сої:

- кут нахилу скатної дошки $55 - 65^\circ$;
- діаметр барабана $0,3 - 0,4$ м;
- зазор $4 - 6$ мм;
- кутова швидкість обертання барабана $3 - 6 \text{ c}^{-1}$;
- навантаження 1500 кг/год-м.

3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Загальна програма експериментальних досліджень

За результатами раніше проведених досліджень було встановлено, що на технологічний процес сепарації на фрикційних зерноочисних машинах впливають наступні фактори: початкова подача (навантаження), кінематичні параметри (частота обертання барабана, кут нахилу скатної дошки), величина робочого зазору й властивості фрикційної поверхні барабана.

Вивчення взаємозв'язку вищевказаних факторів і вплив кожного з них окремо на процес сепарації дозволить визначити оптимальний технологічний режим роботи решета, а також зрівняти його технологічні показники з існуючими машинами для очищення сої.

Для обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів фрикційного сепаратора барабанного типу була складена програма експериментальних досліджень, що полягає з наступних методик:

- методика визначення еквівалентного діаметра бобу сої;
- методика визначення коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях;
- методика дослідження залежності величини коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях від питомого навантаження на боби;
- методика визначення параметрів деформації стиску фрикційних матеріалів;
- методика визначення сили, витраченої бобом сої для проходження технологічного зазору;
- методика визначення сили, необхідної для відриву нетреби звичайної від фрикційної поверхні при різних кутах її додатка й умовах зчеплення;
- методика визначення впливу навантаження, зазору, кутової швидкості (частоти) обертання барабана й типу матеріалу робочої поверхні на повноту виділення нетреби звичайної й продуктивність сепаратора.
- методика визначення впливу навантаження, зазору й частоти обертання

барабана на висоту клиноподібного шару, що формується в зазорі, суміші;

- методика проведення виробничих випробувань фрикційного сепаратора барабанного типу в лінії очищення сої.

Лабораторні дослідження проводилися класичним методом, з варіюванням одного з факторів при сталості інших.

Досліджувані фактори, їх основні рівні й інтервали варіювання вибиралися на підставі методу апriorного ранжирування й на підставі попередніх пошукових дослідів.

Для перевірки експериментів на відтворюваність досліди проводилися не менш чим в п'ятикратній повторності. З метою виключення впливу систематичної помилки досліди рандомували за допомогою таблиці випадкових чисел.

Обробка отриманих результатів проводилася на персональному комп'ютері за загальновідомою методикою.

3.2 Прилади й устаткування для експериментального дослідження

При проведенні лабораторних досліджень використовувалися: транспортир, кутомір для виміру відхилень поверхні від вертикалі й горизонталі Уб-Хл4 ТУ50-18-77, набір ВГУ-1 ОКП 96 6211 1226, динамометр (до 1Н), мілідинамометр (до 10 мн), індикатору годинного типу ИЧ-10 ДЕРЖСТАНДАРТ 577-68, магнітний штатив, лабораторний штатив, латер РНТ – 220-12 № 812, електронний тахометр ТЭ-30-5Р, ваги РН-10Ц13М, електричні ваги В ЛТК-500, штангенциркуль 1ПЦ-250, мікрометр МКО-25, електронний секундомір, калькулятор.

3.3 Опис експериментальної установки

З метою вивчення процесу очищення сої на фрикційному сепараторі барабанного типу на кафедрі технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції спільно ТОВ «Д Алекс» виготовлені макетний і експериментальний сепаратори (рисунок 3.1).

При розробці експериментальної машини до неї пред'являлися наступні вимоги: простота конструкції й зручність в експлуатації; стійкість режимів роботи; можливість стабілізації параметрів, що впливають на процес сепарації; можливість регулювання кінематичних і технологічних параметрів у широкому діапазоні; можливість візуального спостереження процесу очищення.

Розроблений фрикційний сепаратор барабанного типу для очищення сої від нетреби звичайної складається зі звареної рами 1, бункера 2 із заслінкою 3, живильника стрічкового 4 із приводом від редуктора-мотор-редуктора 5, циліндричного барабана 6, що приводиться електродвигуном постійного струму 7 з регулятором частоти обертання (латер) 8, покритого фрикційним матеріалом 9 (рисунок 3.2), скатної дошки 10, відбійника 11 з незалежним приводом від електродвигуна 12, кожуха 13, шківів 14, 15, 16, 17, 18, 19, клинових ременів 20, 21, 22, приймача чистих бобів сої 23 і приймача відходів 24.

Сепаратор працює в такий спосіб. Суміш (рисунок 3.3), що підлягає очищенню, з бункера крізь щілину, обмежену заслінкою, подається стрічковим живильником на скатну дошку й направляється в регульований зазор між скатною дошкою й фрикційною поверхнею барабана, що обертається назустріч руху суміші. Насіння нетреби звичайної колючками зачіпаються за ворсисту поверхню й ідуть на відбійник, де від удару відриваються й, відбиваючись від кожуха, падають у приймач відходів. Насіння сої, що володіють гладкою сферичною поверхнею, пройшовши через зазор, сходять із дошки й надходять у приймач чистих бобів.

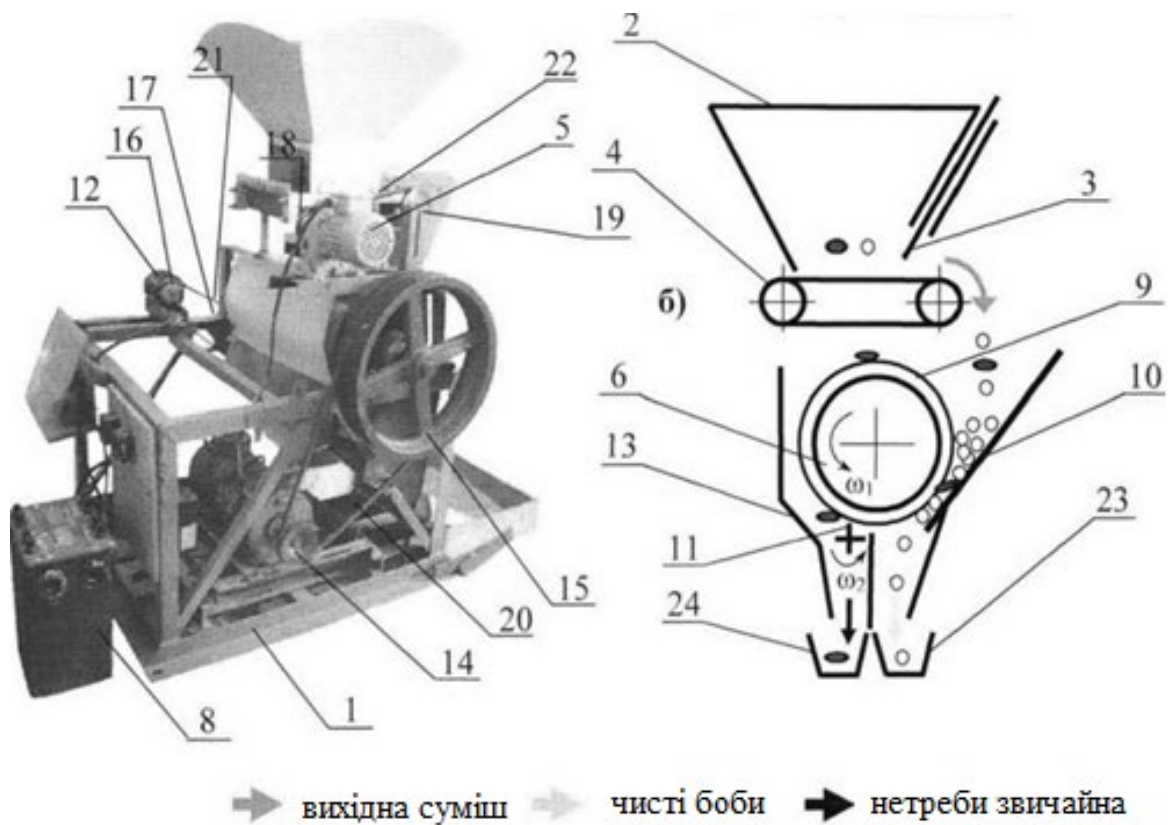


Рисунок 3.1 – Загальний вид макетного й експериментального фрикційного сепараторів барабанного типу для очищення сої від нетреби звичайної

а) макетний сепаратор; б) експериментальний сепаратор

- 1 – зварена рама; 2 – бункер; 3 – заслінка; 4 – живильник стрічковий; 5 – мотор-редуктор; 6 – барабан; 7 – електродвигун постійного струму; 8 – регулятор частоти обертання (латер); 9 – фрикційна поверхня; 10 – скатна дошка; 11 – відбійник; 12 – електродвигун; 13 – кожух; 14,15, 16, 17, 18, 19 – шківи; 20,21,22 – клинові ремені; 23 – приймач чистих бобів; 24 – приймач відходів

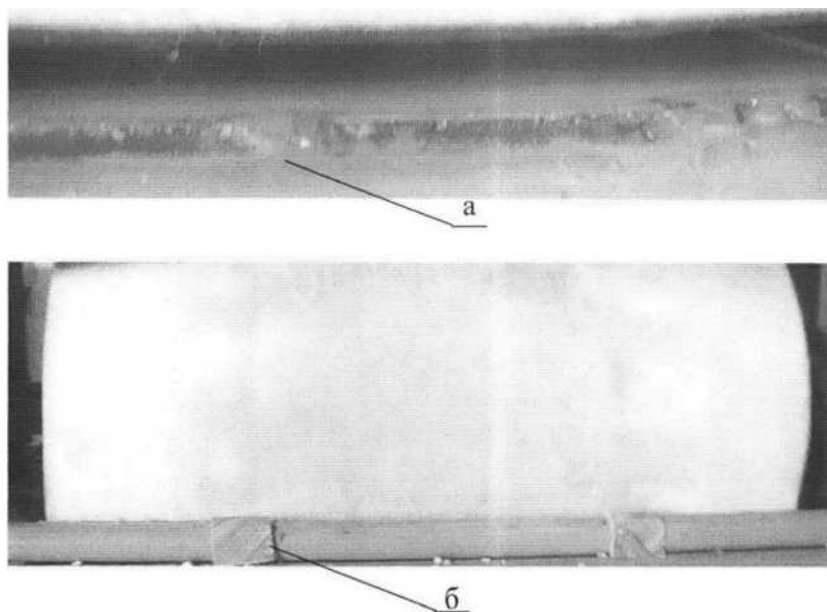


Рисунок 3.2 – Барабан із фрикційною поверхнею
а – вид зверху в зазор між скатною дошкою й фрикційною поверхнею;
б – вид збоку на барабан

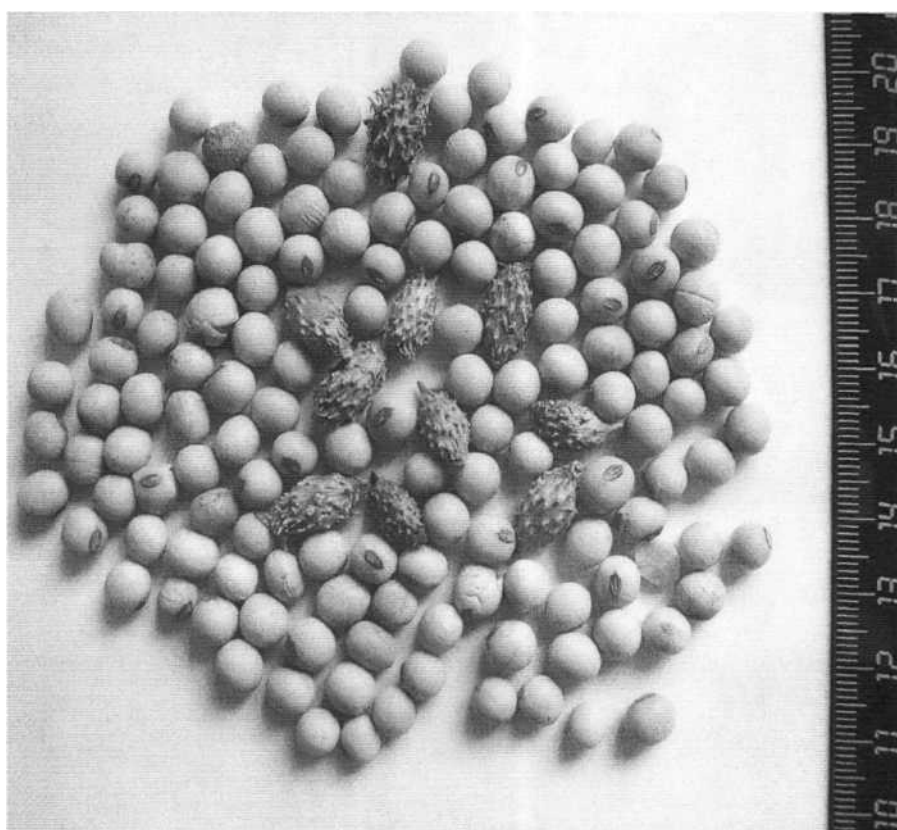


Рисунок 3.3 – Боби сої та супліддя нетреби звичайної

3.4 Методика визначення еквівалентного діаметра бобу сої

Еквівалентним діаметром зерна називається діаметр кулі, обсяг якого дорівнює дійсному обсягу зерна.

Значення еквівалентного діаметра бобу сої знаходили експериментально в такий спосіб:

1. У мірний циліндр наливали воду до певної мітки;
2. Відраховували сто бобів, зважували й занурювали їх у воду. Різниця обсягів води в мірному циліндрі після й до занурення 100 бобів буде становити обсяг цих зерен.

Обсяг одного бобу V_E , рівновеликої за обсягом кулі визначали по формулі:

$$V_E = \frac{\pi D_E^3}{6} \quad (3.7)$$

Еквівалентний діаметр бобу сої знаходили з вираження:

$$D_E = \sqrt[3]{\frac{6V_E}{\pi}} \quad (3.8)$$

Досліди по визначенню еквівалентного діаметра проводили з п'ятикратним повтором. За середнім значенням отриманих даних визначили еквівалентний діаметр бобу сої.

3.5 Методика визначення коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях

Одним з найбільш важливих факторів, що впливають на ефективність роботи фрикційного сепаратора, є тертя частки об робочі поверхні. На сьогоднішній день немає досить чітких методик по точному визначенню

коефіцієнта тертя. Поверхня насіння може бути рівною й шорсткуватою, щільною й пористою і т.д. Стан поверхні насіння залежить від вологості, сплості і т.д. Усе це суттєво впливає на опір насіння руху по робочих поверхнях. Тому фізико-механічні властивості сої, пов'язані зі станом поверхні й визначають величину сил тертя між насінням, що рухається й робочою поверхнею, використовують для поділу насінних сумішей на робочих органах фрикційних зерноочисних машин.

Коефіцієнт тертя у своїх розрахунках ми визначали в такий спосіб:

1. На досліджувану фрикційну поверхню прикріплену до рухливої рамки експериментальної установки з можливістю плавної зміни кута нахилу поміщали змодельовану частку сої (пластинка $0,05 \times 0,05$ м одна з поверхонь якої заповнена по всій площі наклеєними на неї бобами сої, у кількості 46 шт.) у відповідність із рисунком 3.4.

2. Змінюючи нахил поверхні до горизонту, визначали за допомогою кутоміра для виміру відхилень поверхні від вертикалі й горизонталі УБ-Хл4 ТУ50-18-77 значення кута, при якому починається рух частки. Визначена величина буде кутом відриву $\varphi_{\text{відр}}$ частки.

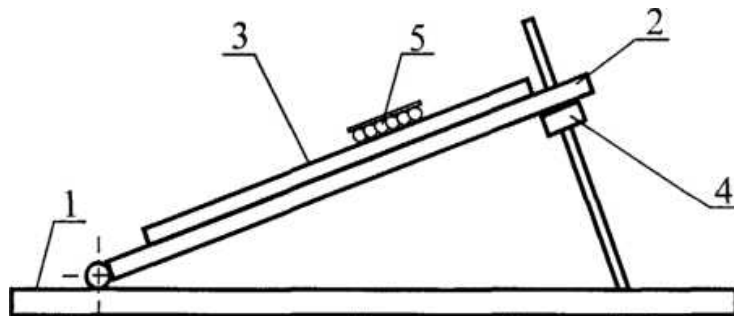


Рисунок 3.4 – Схема установки по визначенню коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційній поверхні

1 – нерухлива рама; 2 – рухлива рама; 3 – фрикційна поверхня; 4 – регулювальна гайка; 5 – змодельована частка сої

3. Зменшуючи нахил поверхні, визначали кут, при якому рух частки припиняється. Отримана величина буде кутом зупинки $\varphi_{\text{відр}}$ руху частки по

фрикційній поверхні.

4. Дії в пунктах 2 і 3 дозволили нам виявити середній кут між кутами відриву й зупинки, який і буде кутом ковзання $\varphi_{ков}$ частки по фрикційній поверхні.

Досліди по визначенню кута ковзання проводили з п'ятикратним повтором. За середнім значенням тангенсів кутів ковзання визначили коефіцієнти тертя ковзання по сталевому листу, войлоку ГОСТ 6418-81, сукну фільтрувальному ГОСТ 6986-69 і звукотеплоізоляційній основі лінолеуму ГОСТ 18108-80.

При русі часток по обертовій поверхні дія сил тертя зменшується, тому що активна сила, що впливає на частку, зустрічає зменшений опір завдяки наявності сил інерції. При цьому для розрахунків замість коефіцієнта тертя ковзання f урахуємо так званий ефективний коефіцієнт тертя f_{ef} значення якого визначається по формулі:

$$f_{ef} = f \cdot k \quad (3.9)$$

де $k < 1$ – безрозмірний коефіцієнт.

3.6 Методика дослідження залежності величини коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях від питомого навантаження на боби

Утворювана при сепарації в технологічному просторі «клинні» псевдорозріджена зернобобова маса впливає на значення коефіцієнта тертя прилягаючого до фрикційної поверхні шару бобів, що у свою чергу впливає на енергетичні витрати, пов'язані з необхідністю подолання обертовим проти потоку суміші барабаном сумарних сил тертя бобів. Для визначення величини коефіцієнта тертя були проведені досвіди у відповідності зі схемою, представленої на рисунку 3.5.

Коефіцієнт тертя ми визначили в такий спосіб:

1. На досліджувану горизонтально розташовану й прикріплену до пластини фрикційну поверхню поміщали змодельовану частку сої (пластинка $0,05 \times 0,05$ м, одна з поверхонь якої заповнена по всій площі наклеєними на неї бобами сої в кількості 46 шт.).

2. Використовуючи набір ВГУ-1 ОКП 96 6211 1226, навантажували пластинку масами, кратними (2 – 20) кількості наклеєних бобів (F_{np} , Н).

3. Динамометром рівномірно (горизонтально) тягли навантажену пластинку й у момент руху пластинки по фрикційній поверхні зчитували значення, що встановилося, сили (F_{mp} , Н);

4. Послідовне виконання пунктів 2 і 3 дозволило нам виявити значення сил тертя й відповідних коефіцієнтів тертя при різному питомому навантаженні на боби.

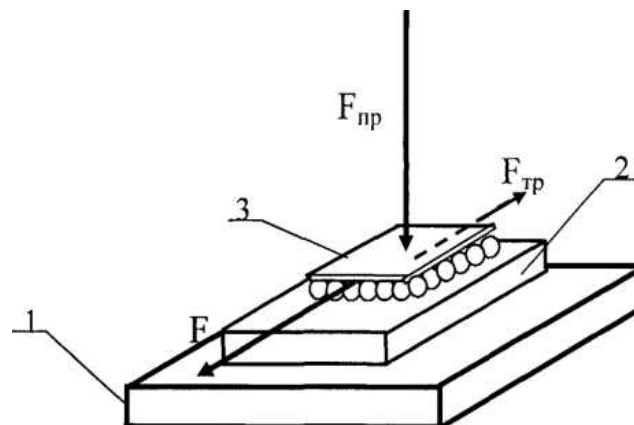


Рисунок 3.5 – Схема досвіду по визначенню коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях при різному питомому навантаженні

1 – нерухлива горизонтальна пластина; 2 – фрикційна поверхня; 3 – змодельована частка сої

Досліди по визначенню коефіцієнта тертя ковзання по фрикційних поверхнях при різному питомому навантаженні проводили з п'ятикратним повтором. За середнім значенням отриманих сил тертя ковзання визначили коефіцієнти тертя ковзання по сталевому листу, войлоку, сукні й основі лінолеуму.

При русі часток по фрикційній поверхні сила тертя F_{mp} залежить від величини прикладеної сили F_{np} . Для розрахунків коефіцієнта тертя ковзання f скористаємося формулою:

$$f = \frac{F_{mp}}{F_{np}} \quad (3.10)$$

де F_{mp} – сила тертя, Н;

F_{np} – прикладена сила, Н.

Питоме навантаження на боби F_{nn} визначається з вираження:

$$F_{nn} = \frac{F_{np}}{S} \quad (3.11)$$

де S – площа поверхні, що навантажується, м².

3.7 Методика визначення сили, необхідної для відриву нетреби звичайної від фрикційної поверхні при різних кутах її прикладення й умовах зчеплення

З метою вибору конструкції органу очищення фрикційної поверхні від домішки й визначення його конструктивно-кінематичних параметрів у відповідності зі схемою досліду, представленого на рисунку 3.6, проведені експерименти по виміру мінімальної й максимальної сили відриву супліддя нетреби звичайної від ворсу при різних кутах її (сили) прикладення.

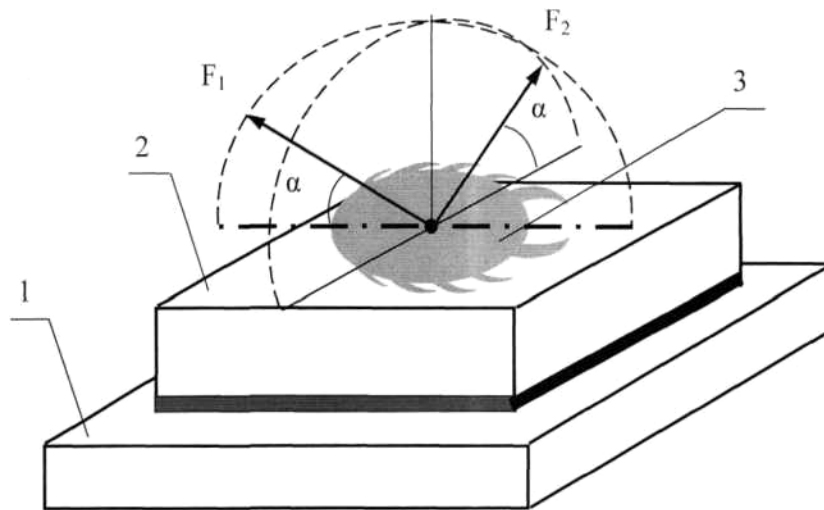


Рисунок 3.6 – Схема дослідження по визначенню сили, необхідної для відриву нетреби звичайної від фрикційної поверхні при різних кутах її прикладення

1 – нерухлива пластина; 2 – фрикційна поверхня; 3 – супліддя нетреби звичайної

Силу, необхідну для відриву нетреби звичайної від поверхні, ми визначили в такий спосіб:

1. На досліджувану горизонтально розташовану, прикріплену до нерухливої пластини, фрикційну поверхню поміщали супліддя нетреби звичайної, попередньо вдавивши його у ворс на глибину, що імітує проходження мінімального зазору між скатною дошкою й фрикційною поверхнею (4 мм), для визначення максимальної сили відриву (для визначення мінімального значення сили супліддя поміщали на поверхню без навантаження);

2. Динамометром (мілідинамометром) рівномірно тягли нетребу звичайну за дужку, що защемляє супліддя в центрі ваги до моменту відриву. Зусилля прикладали послідовно при різних кутах ($\alpha = 0 - 180^\circ$) обумовлених транспортером, спочатку уздовж осі супліддя (F_1, H), потім перпендикулярно осі (F_2, H) при тих же кутах. Отримані значення фіксували в журналі дослідів.

3. Послідовне виконання пунктів 1 і 2 дозволило нам виявити середні значення мінімальних і максимальних сил відриву нетреби звичайної від фрикційної поверхні при різних кутах її додатка.

Дослідження з визначення сили відриву проводилися на трьох різних

поверхнях: повсті, матеріалі № 1 і матеріалі № 2. Досліди проводили з п'ятикратним повтором. За середнім значенням отриманих даних у поздовжній і поперечної площинах впливу були визначені мінімальні й максимальні сили необхідні для відриву нетреби звичайної від фрикційної поверхні.

3.8 Методика визначення впливу навантаження, зазору, кутової швидкості обертання барабана й типу матеріалу робочої поверхні на ступінь добування нетреби звичайної, питому продуктивність, втрати сої й висоту клиноподібного шару, що формується в зазорі, суміші

Основними факторами, що визначають якість очищення на фрикційному сепараторі пропонованої конструкції, є початкове навантаження, технологічний зазор і кутова швидкість обертання барабана.

Для дослідження впливу перерахованих вище факторів на процес поділу зернобобової суміші ми розробили методику експерименту, що включає наступні пункти:

1. Готовили суміш: вагами РН - 10Ц13М відміряли 10 кг сої (суміш із цілих бобів, травмованих і половинок), далі додавали супліддя нетреби звичайної в кількості 100 шт., чим імітували реальну максимальну засміченість купи після очищення на повітряно-ситовій машині типу «Петкус-523».

2. Ретельно перемішану суміш засипали в бункер.

3. Регулювальним гвинтом переміщали заслінку бункера й встановлювали необхідну величину щілини, що визначає подачу (500 – 2000 кг/год-м, крок 500 кг/год-м);

4. Регулювальним гвинтом по розміченій шкалі встановлювали необхідний зазор між скатною дошкою й фрикційною поверхнею барабана (4 – 6 мм, крок 0,5 мм);

5. Магнітним пускачем ПКЕ-222-3У2 включали двигуни: постійного струму П-32 № 173232 фрикційний барабан, що приводить через пасову передачу, і змінного струму, що приводить через пасову передачу відбійник. Застосовуючи

латер РНТ - 220 - 12 № 812 і електронний тахометр ТЭ-30-5Р, виставляли необхідну швидкість обертання барабана ($2 - 15 \text{ c}^{-1}$, крок 2 і 3 c^{-1}).

6. Магнітним пускачем ПКЕ-222-3У2 включали мотор-редуктор, що приводить через пасову передачу стрічковий живильник.

7. По закінченню досліду пускачами послідовно зупиняли подачу, обертання барабана й відбійника.

8. Обробляли результати експерименту: підраховували кількість не витягнутих у результаті сепарації суплідь нетреби звичайної в очищеній масі й за допомогою лабораторних електричних ваг У ЛТК-500 зважували масу очищеного матеріалу і його втрати.

9. Послідовне виконання пунктів з 1 по 8 дозволило нам визначити середні значення ступеня добування (якості очищення) і втрат при різних умовах протікання процесу сепарації. Експеримент проводили з п'ятикратною повторністю при зміні одного з параметрів і сталості інших.

Висота шару суміші відіграє важливу роль у процесі сепарації. Чим вище шар, тем нижче повнота виділення нетреби звичайної й більше втрати сої.

Для дослідження впливу перерахованих вище факторів на висоту шару ми розробили методику експерименту, що включає наступні пункти:

Методика повторює попередню по пунктах з 1 по 6.

7. У процесі сепарації зчитуємо показання лінійки (у міліметрах), зануреної в шар дощенту й закріпленої на скатній дошці.

8. По закінченню досвіду пускачами послідовно зупиняли подачу, обертання барабана й відбійника.

9. Послідовне виконання пунктів з 1 по 8 дозволило нам визначити середні значення якості очищення й втрат при різних умовах протікання процесу сепарації. Експеримент проводили з п'ятикратною повторністю при зміні одного з параметрів і сталості інших.

3.9 Технологічна схема й методика проведення виробничих випробувань лінії очищення сої

При виробництві комбикормів одним з використовуваних компонентів є екструдована соя й окара як багаті джерела білка.

У якості сировини закуповують як цілі боби, так і половинки. Очищення отриманого від постачальників сировини є першорядним завданням у процесі переробки, тому що якість виконання цієї операції визначає якість кінцевого продукту.

Для цеху екструдувannya необхідно зберегти при очищенні всю масу сої й по можливості повністю витягти супліддя нетреби звичайної. Для розв'язку цього завдання розроблена потокова технологічна лінія очищення бобів сої, представлена на рисунку 3.7.

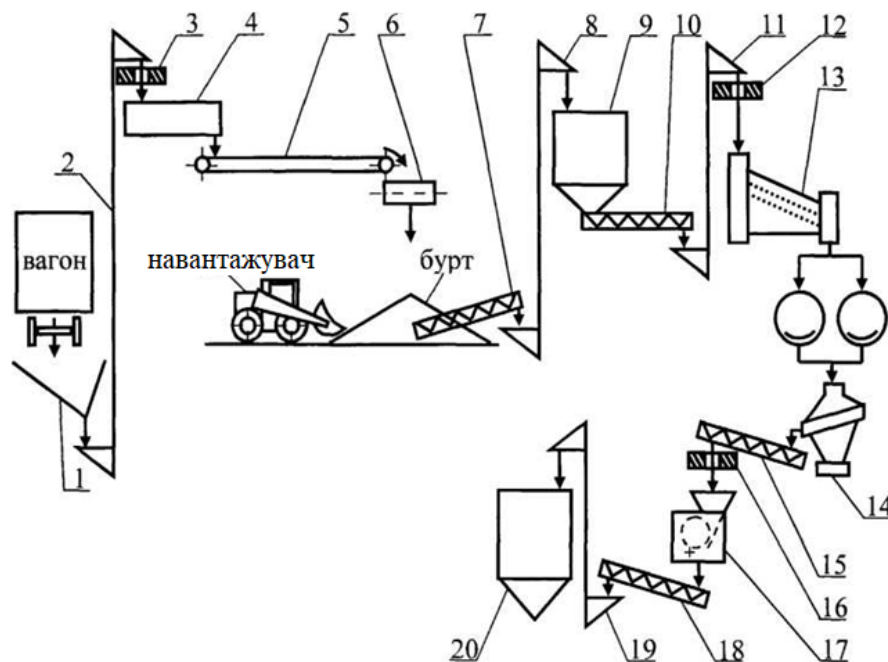


Рисунок 3.7 – Технологічна схема лінії очищення сої

- 1 – завальна яма; 2, 8, 11, 19 – норії; 3, 12, 16 – магнітні сепаратори;
 4 – скальператор; 5 – стрічковий транспортер; 6 – ланцюговий транспортер; 7, 10,
 15, 18 – шнекові транспортери; 9 – бункер неочищеної сої;
 13 – пневмоситова зерноочисна машина «Петкус-531»; 14 – каменевідбірник;
 17 – фрикційний сепаратор барабанного типу; 20 – бункер очищеної сої.

Соєві боби привозять залізничним транспортом і вивантажуються в завальну яму 1. Норією 2 соя подається через магнітний сепаратор 3 у скальператор 4 і транспортером 5 переміщається на поперечний транспортер, що розподіляє, 6 у складі підлогового зберігання. За допомогою навантажувача й шнекового транспортера 7 соя подається в норію 8 і завантажується в бункер 9. З бункера шнековим транспортером 10 і норією 11 соя подається на очищення в магнітний сепаратор 12, пневмоситову зерноочисну машину «Петкус-531» 13 і каменевідбірник 14. Далі соя шнековим транспортером 15 через магнітний сепаратор 16 направляється на очищення у фрикційному сепараторі барабанного типу 17, після чого шнековим транспортером 18 норією 19 завантажується в бункер 20 у цеху екструдювання.

Методика проведення виробничих випробувань фрикційного сепаратора барабанного типу:

1. На виході очищеної сої й домішок встановлювали приймачі.
2. Магнітним пускачем ІЖЕ- 222 – ЗУ2 включали двигуни: постійного струму П-32 № 173232 фрикційний барабан, що приводить через пасову передачу, і змінного струму, що приводить через пасову передачу відбійника.
3. По закінченню досліду пускачами послідовно зупиняли подачу, обертання барабана й відбійника.
4. Обробляли результати експерименту: підраховували кількість не витягнутих у результаті сепарації суплідь нетреби звичайної в очищеній масі; за допомогою лабораторних електричних ваг ВЛТК-500 зважували втрати основного матеріалу, що потрапив у приймач для домішок, а також визначали масу очищеної сої для підтвердження заявленої питомої продуктивності машини.

Висновки до розділу

1. На підставі вивчених фізико-механічних властивостей бобів сої складена методика по визначенню коефіцієнта тертя по трьом фрикційним поверхням при різних умовах навантаження.

2. На підставі вивчених фізико-механічних властивостей смітних домішок складена методика по визначенню сили відриву суплідь нетреби звичайної від трьох фрикційних поверхонь при різних кутах прикладення й умовах зчеплення.

3. На підставі вивчених фізико-механічних властивостей зернобобової суміші складена методика визначення параметрів деформації стиску фрикційних матеріалів.

4. З урахуванням вимог технологічної лінії по виробництві екструдованої сої для проведення експерименту була виготовлена дослідна установка.

Складена методика визначення впливу навантаження, зазору й частоти обертання барабана на якість очищення сої від нетреби звичайної.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати випробувань макетного зразка фрикційного сепаратора барабанного типу

З метою виявлення найбільш ефективної конструкції й вивчення особливостей очищення насіння фрикційним робочими органами був виготовлений макетний зразок фрикційного сепаратора барабанного типу, на якому були виконані попередні випробування різних варіантів схем (рис. 4.1 і 4.2).

Конструкції споконвічно пред'являлися наступні вимоги:

- продуктивність не менш 1500 кг/год-м;
- повнота виділення нетреби не менш 98 %;
- якість очищення фрикційної поверхні від домішок – 100 %;
- втрати бобів не більш 1 %.

Опис можливих схем фрикційного сепаратора барабанного типу. Робочими органами сепаратора (схема а – рисунок 4.1) є: бункер – 1 із заслінкою – 2, що регулює подачу; барабан – 3, покритий фрикційною поверхнею, з можливістю обертання по ходу потоку насінної суміші; нерухлива гребінка – 4 для очищення фрикційної поверхні від насіння нетреби звичайної; розподільний кожух – 5, що направляє матеріали; приймач чистих бобів – 6 і приймач відходів – 7.

Сепаратор працює в такий спосіб. Суміш, що підлягає очищенню, з бункера – 1, крізь щілину між заслінкою – 2 і барабаном – 3 направляється барабаном через розподільний кожух – 5 у приймач чистих бобів – 6. У процесі взаємодії суміші з барабаном насіння нетреби звичайної колючками зачіпається за ворсисту поверхню й іде на гребінку – 4, де від удару відривається або зсковзує і, відбиваючись від кожуха, падає у приймач відходів – 7. Насіння сої, що володіє гладкою сферичною поверхнею, сходить із барабана й надходить у приймач чистих бобів.

Переваги схеми а: простота конструкції (мінімум обертових деталей).

Недоліки схеми а: низька продуктивність (не більш 500 кг/год-м); низька

повнота виділення нетреби звичайної (не більш 60 %); неефективна робота гребінки (якість очищення фрикційної поверхні від домішок – 70 %).

Сепаратор (схема б – рисунок 4.1) відрізняються від сепаратора (схема а) тим, що для очищення фрикційної поверхні від насіння нетреби звичайної використовується чотирьохлопатовий відбійник – 4, з можливістю обертання по ходу руху фрикційної поверхні.

Сепаратор працює з наступною відмінністю. Насіння нетреби звичайної колбочками зачіпається за ворсисту поверхню й іде на відбійник – 4, де від попутного удару відривається й, відбиваючись від кожуха, падає у приймач відходів – 7.

Переваги схеми б: простота конструкції; більш ефективно очищення фрикційної поверхні (у порівнянні з попередньої) – 90 %.

Недоліки схеми б: низька продуктивність (не більш 500 кг/год-м); низька повнота виділення нетреби звичайної (не більш 60 %).

Сепаратор (схема в – рисунок 4.1) відрізняються від сепаратора (схема б) тим, що для очищення фрикційної поверхні від насіння нетреби звичайної використовується чотирьохлопатовий відбійник – 4, з можливістю обертання проти ходу руху фрикційної поверхні.

Сепаратор працює з наступною відмінністю. Насіння нетреби звичайної колбочками зачіпається за ворсисту поверхню й іде на відбійник – 4, де від зустрічного удару відривається й, відбиваючись від кожуха, падає у приймач відходів – 7.

Переваги схеми в: простота конструкції; більш ефективно очищення фрикційної поверхні від домішок (у порівнянні з попередньої) – 100 %.

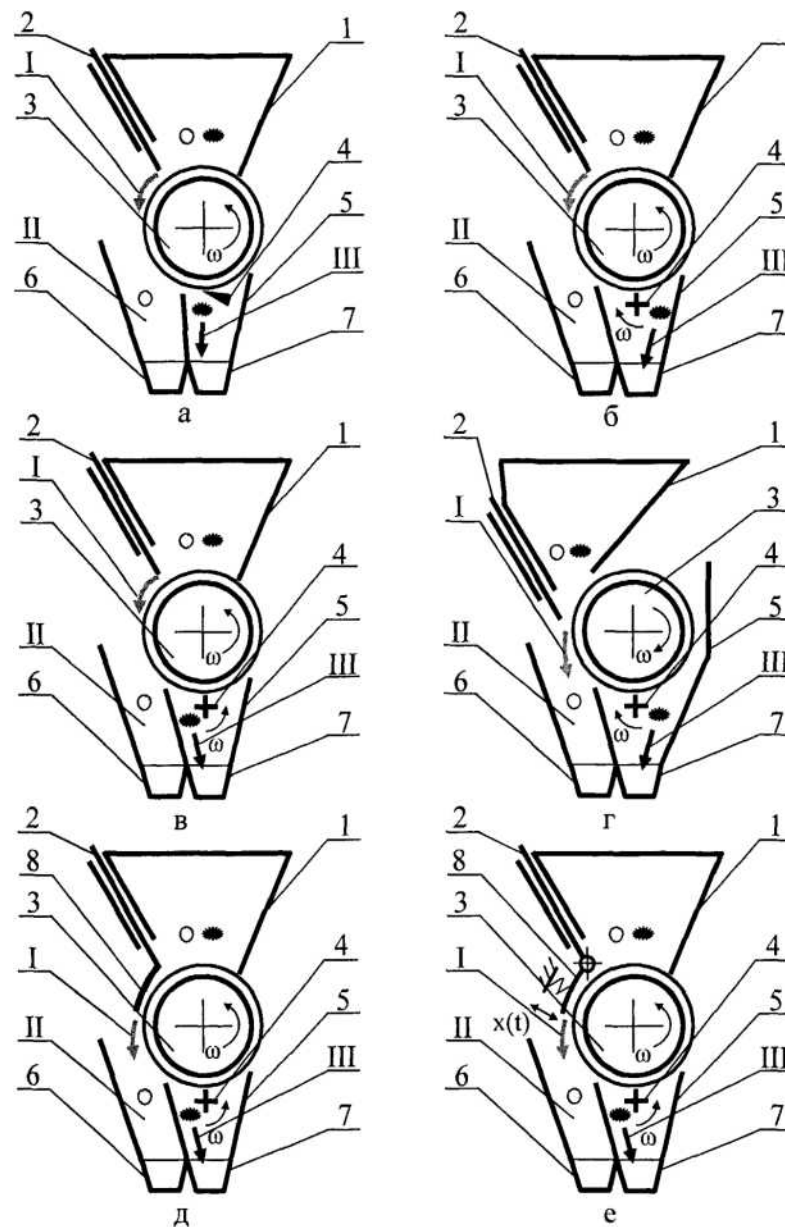


Рисунок 4.1 – Варіанти схем фрикційного сепаратора барабанного типу
 1 – бункер; 2 – заслінка; 3 – барабан із фрикційною поверхнею; 4(а) – гребінка;
 4 – відбійник; 5 – кожух; 6 – приймач чистих бобів; 7 – приймач відходів;
 8(д) – гнучка притискна поверхня; 8(е) – підпружинена притискна поверхня;
 I – насінна суміш; II – гладке насіння (соє); III – шорсткувате насіння (нетреба звичайна).

Недоліки схеми в: низька продуктивність (не більш 500 кг/год-м); низька повнота виділення нетреби звичайної (не більш 60 %).

Сепаратор (схема г – рисунок 4.1) відрізняється від сепаратора (схема в) тим, що барабан – 3, покритий фрикційною поверхнею, виконаний з можливістю

обертання проти ходу потоку матеріалу.

Переваги схеми г: простота конструкції; ефективне очищення фрикційної поверхні – 100 %; підвищення продуктивності до 900 кг/год-м.

Недоліки схеми г: повнота виділення нетреби звичайної до 75 %.

Сепаратор (схема д – рисунок 4.1) відрізняється від сепаратора (схема г) тим, що барабан – 3, покритий фрикційною поверхнею, з можливістю обертання по ходу потоку матеріалу має гнучку притискну поверхню – 8 для забезпечення необхідної взаємодії насіння із фрикційною поверхнею.

Сепаратор працює з наступною відмінністю. Суміш, що підлягає очищенню, з бункера – 1, крізь щілину, утворену заслінкою – 2, долаючи тертя об притискну поверхню – 8, направляється барабаном через розподільний кожух – 5 у приймач чистих бобів – 6.

Переваги схеми д: простота конструкції; ефективне очищення фрикційної поверхні від домішки – 100 %; продуктивності до 1000 кг/год-м.

Недоліки схеми д: якість очищення не більш 80 %.

Сепаратор (схема е – рисунок 4.1) відрізняється від сепаратора (схема д) тим, що барабан – 3 має гнучку або негнучку підпружинену, шарнірно закріплену, притискну поверхню – 8 для забезпечення необхідної взаємодії насіння із фрикційною поверхнею.

Переваги схеми е: простота конструкції; ефективне очищення фрикційної поверхні – 100 %; продуктивність до 1000 кг/год-м.

Недоліки: якість очищення не більш 85 %.

Сепаратор (схема ж – рисунок 4.2) відрізняється від сепаратора (схема е – рисунок 4.1) тим, що підпружинена притискна поверхня – 8 закріплена шарнірно, з можливістю здійснення коливань у своїй площині, для забезпечення додаткової взаємодії насіння із фрикційною поверхнею.

Переваги схеми ж: простота конструкції; ефективне очищення фрикційної поверхні – 100 %; продуктивність до 1000 кг/год-м.

Недоліки схеми ж: якість очищення не більш 90 %.

Сепаратор (схема з – рисунок 4.2) відрізняється від сепаратора (схема ж)

тим, що барабан – 3 має прогумований притискний валик – 8 з можливістю обертання проти потоку суміші для забезпечення необхідного додаткового моменту при взаємодії насіння із фрикційною поверхнею.

Сепаратор працює з наступною відмінністю. У процесі взаємодії суміші з барабаном і активним притискним валиком насіння нетреби звичайної, обертаючись, колючками зачіпається за ворсисту поверхню.

Переваги схеми з: ефективне очищення фрикційної поверхні – 100 %; продуктивність до 1000 кг/год-м.

Недоліки схеми з: ускладнення конструкції; повнота виділення нетреби звичайної не більш 90 %. Сепаратор (схема й – рисунок 4.2) відрізняється від сепаратора (схема в – рисунок 4.1) тим, що має продубльовані барабани – 3, покриті фрикційною поверхнею, з можливістю обертання по ходу потоку матеріалу; чотирьохлопатовий відбійник – 4 з можливістю обертання проти ходу руху фрикційної поверхні для очищення поверхонь від насіння нетреби звичайної.

Сепаратор працює з наступною відмінністю. Суміш, що підлягає очищенню, з бункера – 1 крізь щілину, утворену заслінкою – 2, впливає й направляється в зазор між барабанами. У процесі взаємодії насіння нетреби звичайної зачіпається за ворсисту поверхню одного з барабанів і йде на відбійник – 4, де від зустрічного удару відривається й, відбиваючись від кожуха, падає у приймач відходів – 7. Насіння сої, що володіє гладкою сферичною поверхнею, сходить із барабанів і надходить у приймач чистих бобів – 6.

Переваги схеми й: ефективне очищення фрикційної поверхні – 100 %; продуктивність до 1300 кг/год-м.

Недоліки схеми й: ускладнення конструкції; повнота виділення нетреби звичайної – до 96 %.

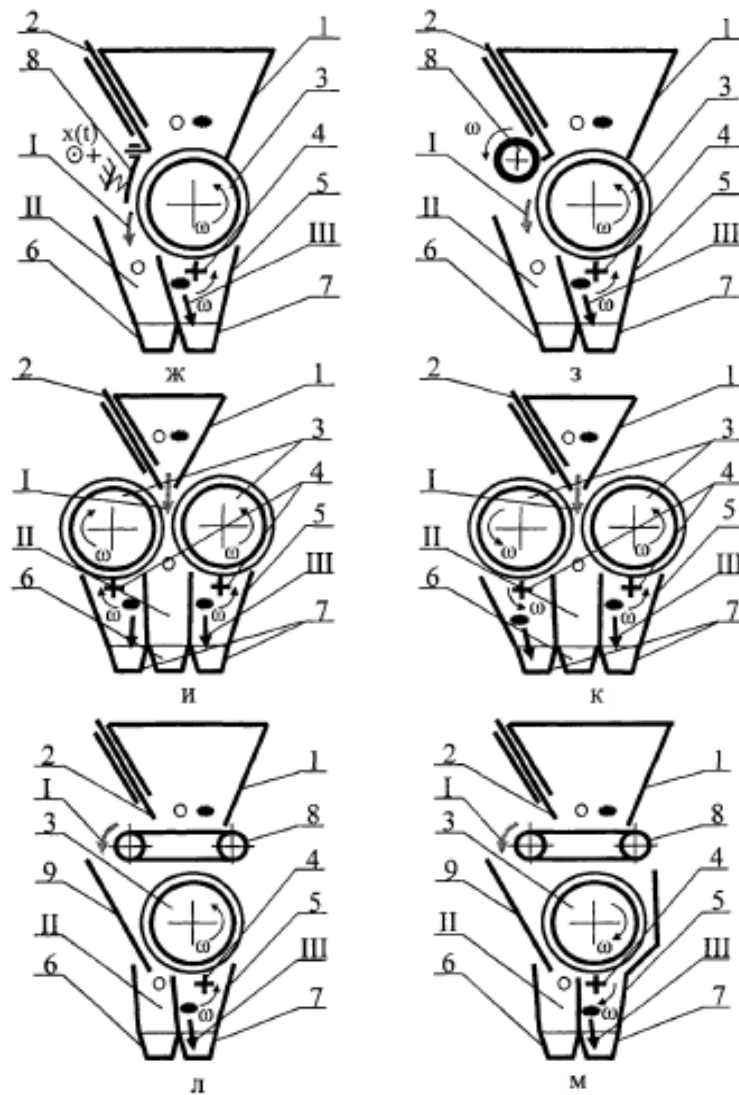


Рисунок 4.2 – Варіанти схем фрикційного сепаратора барабанного типу
 1 – бункер; 2 – заслінка; 3 – барабан із фрикційною поверхнею; 4 – відбійник;
 5 – кожух; 6 – приймач чистих бобів; 7 – приймач відходів; 8(ж) – підпружинена притискна поверхня; 8(з) – притискний прогумований валик; 8(л;м) – живильник стрічковий 9(л;м) – скатна дошка; I – насінна суміш; II – гладке насіння (соя); III – шорсткувате насіння (нетреба звичайна)

Сепаратор (схема к – рисунок 4.2) відрізняється від сепаратора (схема й) тим, що барабани – 3, покриті фрикційною поверхнею, виконані з можливістю однобічного обертання.

Сепаратор працює з наступною відмінністю. Матеріал з бункера – 1 крізь щілину, утворену заслінкою – 2, впливає й перемішується в утвореному

барабанами клині. У процесі взаємодії суміші з барабанами насіння нетреби звичайної зачіпається за ворсисту поверхню одного з барабанів і йде на відбійники по різних траєкторіях.

Переваги схеми к: ефективне очищення фрикційної поверхні – 100 %; продуктивність до 1100 кг/год-м.

Недоліки схеми к: ускладнення конструкції; повнота виділення нетреби звичайної не більш 97 %.

Сепаратор (схема л – рисунок 4.2) складається з: бункера – 1 із заслінкою – 2, що регулює подачу; барабана – 3, покритого фрикційною поверхнею, з можливістю обертання по ходу потоку суміші; чотирьохлопатевого відбійника – 4 з можливістю обертання проти ходу руху фрикційної поверхні для очищення останньої від насіння нетреби звичайної; розподільного кожуха – 5, що направляє матеріали; приймача чистих бобів – 6; приймачів відходів – 7; стрічкового живильника – 8 і скатної дошки – 9.

Сепаратор працює в такий спосіб. Суміш, що підлягає очищенню, з бункера – 1 крізь щілину, утворену заслінкою – 2, захоплюється стрічковим живильником – 8, падає на скатну дошку – 9 і направляєється барабаном через розподільний кожух – 5 у приймач чистих бобів – 6. У процесі взаємодії суміші з барабанами насіння нетреби звичайної зачіпається за ворсисту поверхню й іде на відбійник – 4, де від зустрічного удару відривається й, відбиваючись від кожуха, падає у приймач відходів – 7. Насіння сої, що володіє гладкою сферичною поверхнею, сходять зі скатної дошки й надходять у приймач чистих бобів.

Переваги схеми л: простота конструкції; ефективне очищення фрикційної поверхні від домішок – 100 %; продуктивність до 1500 кг/год-м.

Недоліки схеми л: повнота виділення нетреби звичайної – 96 %.

Сепаратор (схема м – рисунок 4.2) відрізняється від сепаратора (схема л – рисунок 4.2) тим, що барабан – 3, покритий фрикційною поверхнею, виконаний з можливістю обертання проти потоку суміші.

Сепаратор працює з наступною відмінністю. Суміш, що підлягає очищенню, падає на скатну дошку – 9 і, перемішуючись в утвореному барабаном клині,

направляється через розподільний кожух – 5 у приймач чистих бобів – 6. У процесі взаємодії суміші з барабанами насіння нетреби звичайної зачіпається за ворсисту поверхню й іде крізь шар на відбійник – 4, де від зустрічного удару відривається й, відбиваючись від кожуха, падає у приймач відходів – 7. Насіння сої, що володіє гладкою сферичною поверхнею, сходять зі скатної дошки й надходить у приймач чистих бобів.

Переваги схеми м: простота конструкції; продуктивність до 1600 кг/год-м; повнота виділення нетреби звичайної понад 98 %; ефективне очищення фрикційної поверхні від домішок – 100 %.

Недоліки схеми м: недовговічність матеріалу.

4.2 Результати досліджень по визначенню еквівалентного діаметра бобу сої

Еквівалентний діаметр бобу сої визначали за методикою, представленої в розділі 3.4.

Дослідження були необхідні нам для виявлення діаметра частки із прийнятими допущеннями, використовуюваного в теоретичних дослідженнях.

Середнє значення еквівалентного діаметра бобу сої склало 6,2 мм.

4.3 Результати досліджень по визначенню коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях

Методика визначення коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях представлено в розділі 3.5.

Міняючи кут нахилу рухливої рамки лабораторної установки, показаної на рисунку 3.2, визначали кути початку руху й зупинки частки по різних поверхнях.

Усереднені дані, отримані в результаті дослідів, наведено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти тертя ковзання сої по фрикційним поверхням

Матеріал поверхні	Значення коефіцієнта
Сталь	0,32 – 0,45
Сукно фільтрувальне 1 ГОСТ 6986-69	0,59 – 0,62
Войлок ГОСТ 6418-81	0,69 – 0,75
Основа лінолеуму ГОСТ 18108-80	0,77 – 0,82

Для пояснення отриманих даних вважаємо за необхідне представити характеристики трьох, що цікавлять нас фрикційних поверхонь у вигляді таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Характеристика фрикційних поверхонь

Матеріал поверхні	Діаметр волоса, D , мкм	Довжина волоса, L , м	Щільність матеріалу, ρ , г/см ³
Сукно фільтрувальне	20 – 25	0,03 – 0,04	0,096
Войлок	40 – 70	0,04 – 0,06	0,048
Основа лінолеуму	30 – 35	0,05 – 0,07	0,022

Аналізуючи представлені дані, можна сказати, що основа лінолеуму має найбільше значення коефіцієнта ковзання сої, тому що має найменшу щільність і максимальну довжину волоса, виходячи із чого можна із упевненістю припустити, що для суплідь нетреби звичайної ймовірність зчеплення з даною фрикційною поверхнею також буде максимальною.

4.4 Результати досліджень залежності величини коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях від питомого навантаження на боби

Для проведення досліджень використовувалася методика, представлена в розділі 3.6. Схема експерименту показано на рисунку 3.3.

Одним з основних факторів, що впливає на енергетику процесу очищення бобів сої на фрикційному сепараторі пропонованої конструкції, є коефіцієнт тертя

псевдорозрідженого шару об фрикційну поверхню й скатну дошку. Залежно від висоти шару змінюється сила питомого навантаження на боби, що контактує із поверхнями.

На рисунку 4.1 наведені результати експериментальних досліджень, залежності коефіцієнта тертя від питомого навантаження на боби для різних поверхонь. Криві для всіх представлених фрикційних поверхонь у розглянутому діапазоні зміни питомого навантаження мають екстремальний характер. У міру збільшення навантаження спостерігається спочатку ріст, а потім спад величини коефіцієнта тертя. Максимальні значення коефіцієнта тертя ковзання сої, як видно із графіків, належать войлоку, його екстремум відповідає навантаженню $F \approx 147$ Н/м². Нижче за графіком впливають: основи лінолеуму з екстремумом при навантаженні $F \approx 225$ Н/м², крива сукна фільтрувального (екстремум при $F \approx 294$ Н/м) і крива коефіцієнта тертя сої по сталі (екстремум при $F \approx 375$ Н/м). Це пояснюється особливостями фізичних властивостей поверхонь: для войлоку, що полягає з натуральних пружних волосків, які при взаємодії з бобами відгинаються, значення коефіцієнта після проходження екстремума зменшується, тому що в міру росту питомого навантаження верхній впушений шар фрикційної поверхні, що полягає в основному із прямих (або вигнутих), під різними кутами виступаючих з поверхні волосків, усе більш ефективно пригладжується під тиском бобів. Для основи лінолеуму й сукна фільтрувального все відбувається аналогічно вищеописаному войлоку, а зсув екстремума пояснюється тим, що синтетичні волоски мають менший діаметр, більш податливі на вигин і утворюють численні петлі один з одним. Боби сої, зариваючись у пухкий матеріал, долають додатковий опір петель. Для сталі крива пояснюється тим, що поверхня металу й поверхня бобів мають непомітні для ока шорсткості й мікронерівності, під дією навантаження відбувається деформація бобу в точці контакту, це у свою чергу приводить до згладжування мікронерівностей і зменшенню коефіцієнта тертя.

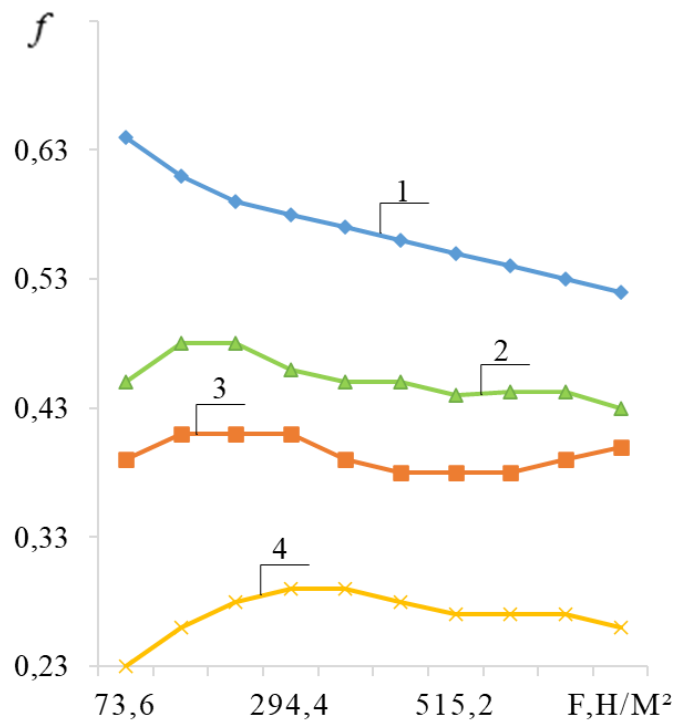


Рисунок 4.3 – Залежність коефіцієнта тертя від величини питомого навантаження на боби для різних поверхонь

1 – войлок; 2 – основа лінолеуму; 3 – сукно фільтрувальне; 4 – метал (сталь)

З аналізу наведених результатів залежності величини коефіцієнта тертя ковзання сої по фрикційних поверхнях від питомого навантаження на боби впливає, що найбільший ефект у процесі сепарації досягається при використанні питомого навантаження починаючи з $F = 515 \text{ Н/м}^2$, це дозволяє зменшити ймовірність втрати бобів сої через зчеплення із фрикційним матеріалом.

4.5 Результати досліджень по визначенню впливу навантаження, зазору, кутової швидкості обертання барабана й типу матеріалу робочої поверхні на ступінь добування нетреби звичайної, вихід очищеної фракції, втрати сої й висоту клиноподібного шару, що формується в зазорі, суміші

Методика дослідження з визначення впливу навантаження, зазору й кутової швидкості обертання барабана на якість очищення сої від нетреби звичайної представлена в розділі 3.10.

Досліджувалися впливи навантаження, зазору й кутової швидкості обертання барабана на якість очищення сої від нетреби звичайної. Результати експериментальних досліджень для трьох фрикційних поверхонь представлено на рисунках 4.4, 4.5, 4.6, 4.8, 4.9, 4.10.

Характер кривих для всіх представлених фрикційних поверхонь аналогічний і різняться незначно. Залежності мають екстремальний характер. Усі чотири параметри відіграють значну роль у процесі сепарації й впливають на якість очищення сої від нетреби звичайної.

Найбільш важливою особливістю процесу є формування в «клинні» (просторі до зазору між скатною дошкою й поверхнею барабана) псевдорозрідженого шару зернобобової суміші. Даний шар підвищується пропорційно росту навантаження й кутової швидкості обертання барабана й назад пропорційно збільшенню зазору. Чим більше висота шару, тим більше втрати сої так, як боби відскакуючи від поверхні шару можуть потрапити в сектор можливого руху з поверхнею. Швидкість взаємодії супліддя із фрикційною поверхнею впливає на міцність його зчеплення з ворсом. При кутовій швидкості обертання барабана $\omega > 4c^{-1}$ нетреба звичайна добре зчіплюється з ворсом й переміщається проти потоку бобів сої. Зустрічний пульсуючий шар наростає пропорційно швидкості нетреби звичайної (окружної швидкості барабана) і збиває супліддя з поверхні. Цим пояснюється зниження ступеня добування нетреби звичайної на режимах зі швидкістю $\omega > 9c^{-1}$. Зниження ступеня добування нетреби звичайної при кутовій швидкості $\omega < 4c^{-1}$ пояснюється тим, що відносна швидкість взаємодії суплідь нетреби звичайної й ворсу не забезпечує необхідного проникнення колочок супліддя у ворс. При обертанні барабана зі швидкістю $\omega < 4c^{-1}$ маса, що формується над зазором «клина» менше піддана кипінню, боби течуть суцільним потоком, впливають із більшою силою на супліддя й відривають, що слабо зачепилися. При меншому зазорі нетреба звичайна зчіплюється більш ефективно, але при цьому шар бобів в «клинні» вище й, отже, вище втрати основного матеріалу, що попадає разом з нетребою звичайною у відходи.

При зазорі $4 \cdot 10^{-3}$ м раціональним, як видно із графіків, є діапазон швидкостей обертання барабана при навантаженні 500 кг/год-м – $6-9 \text{с}^{-1}$ і при навантаженнях 1000 – 1500 кг/год-м – $4-6 \text{с}^{-1}$. При зазорі $4,5 \cdot 10^{-3}$ м і навантаженню 500 кг/год-м раціональний діапазон – $7-10 \text{с}^{-1}$ і при навантаженнях 1000 – 1500 кг/год-м – $5-7 \text{с}^{-1}$. Представлені діапазони забезпечують оптимальні умови для контакту суплідь нетреби звичайної із фрикційною поверхнею й дозволяють одержати якість очищення більш 98 %.

На рисунку 4.10 представлені залежності ступеня добування від кутової швидкості обертання барабана при навантаженні 1500 кг/год-м для трьох досліджуваних фрикційних поверхонь при різних технологічних зазорах. Навантаження обране виходячи з даних по ступеню добування нетреби звичайної, як найбільш раціональна.

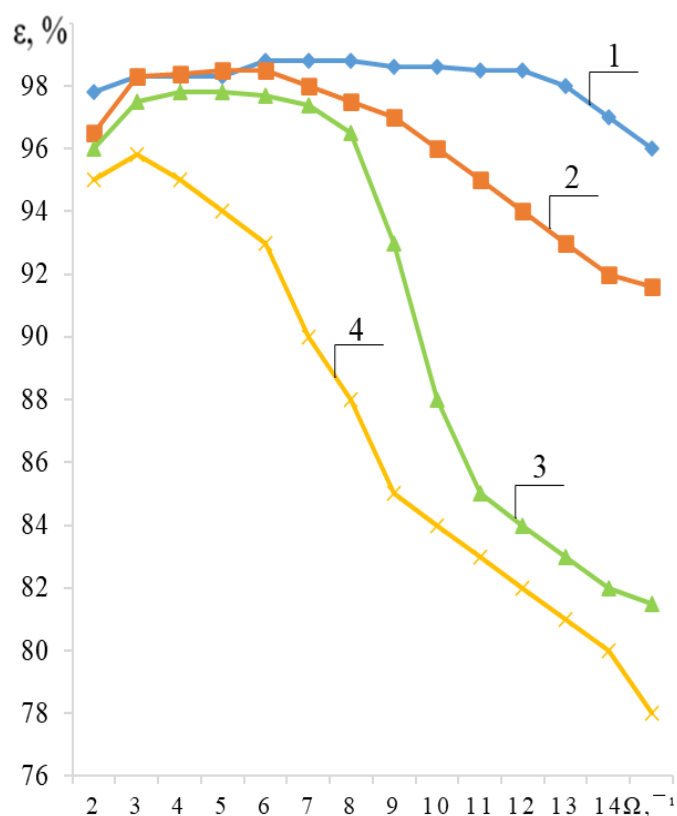


Рисунок 4.4 – Залежність ступеня вилучення нетреби звичайної від величини навантаження і кутової швидкості обертання барабана при зазорі $\delta = 4$ мм (матеріал поверхні – основа лінолеуму)

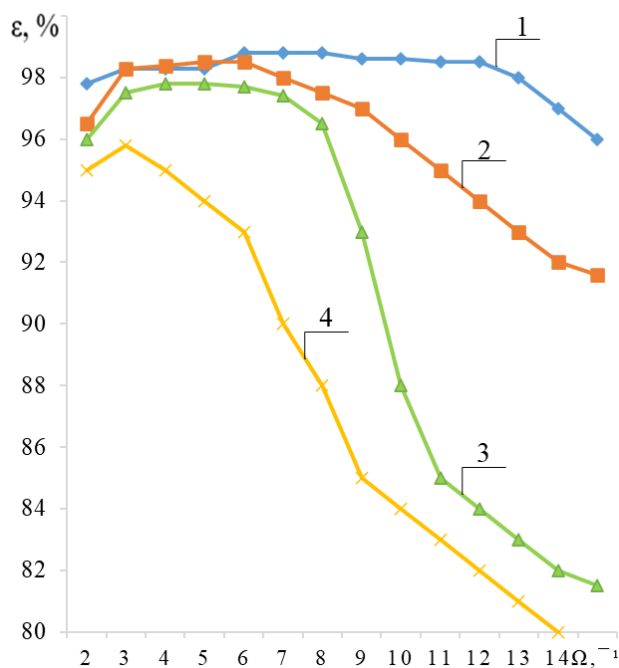


Рисунок 4.5 – Залежність ступеня вилучення нетреби звичайної від величини навантаження і кутової швидкості обертання барабана при зазорі $\delta = 4,5$ мм (матеріал поверхні – основа лінолеуму)

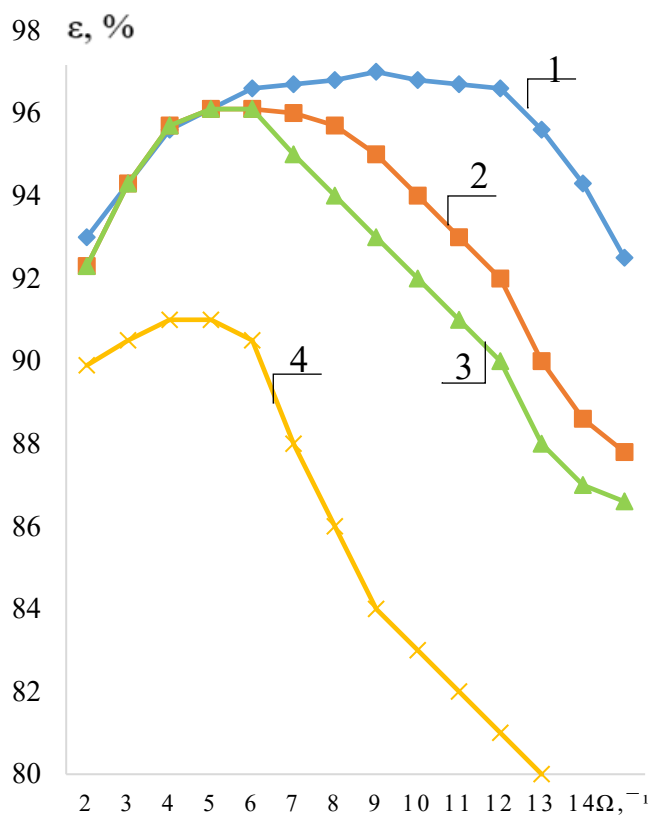


Рисунок 4.6 – Залежність ступеня вилучення нетреби звичайної від величини навантаження і кутової швидкості обертання барабана при зазорі $\delta = 5$ мм (матеріал поверхні – основа лінолеуму)

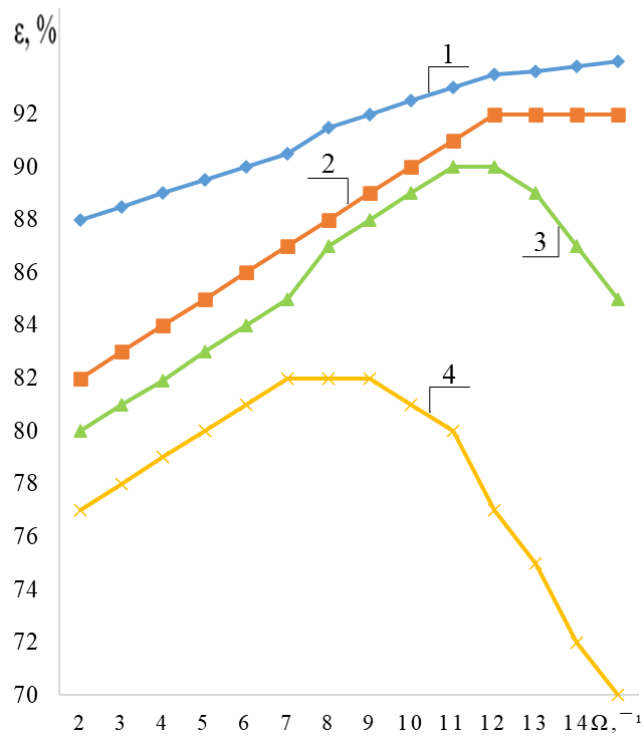


Рисунок 4.7 – Залежність повноти вилучення нетреби звичайної від величини навантаження і кутової швидкості обертання барабана при зазорі $\delta = 5,5$ мм (матеріал поверхні – основа лінолеуму)

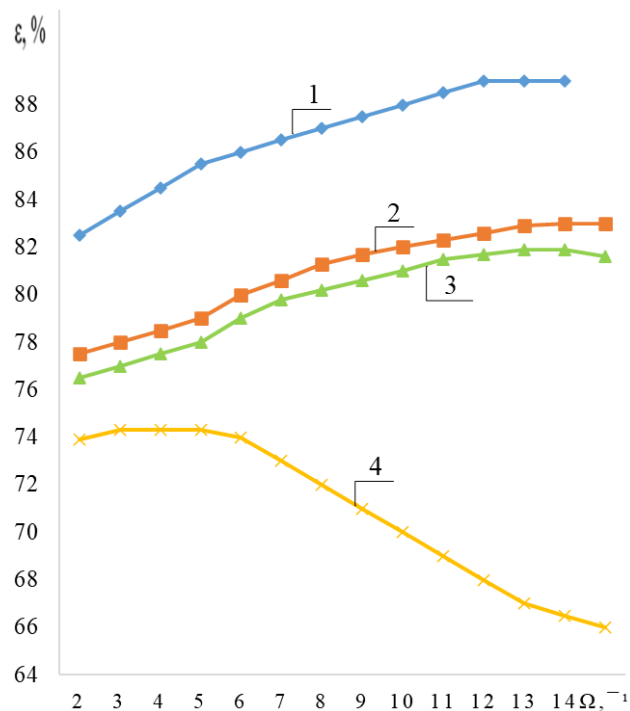


Рисунок 4.8 – Залежність повноти вилучення нетреби звичайної від величини навантаження і кутової швидкості обертання барабана при зазорі $\delta = 6,0$ мм (матеріал поверхні – основа лінолеуму)

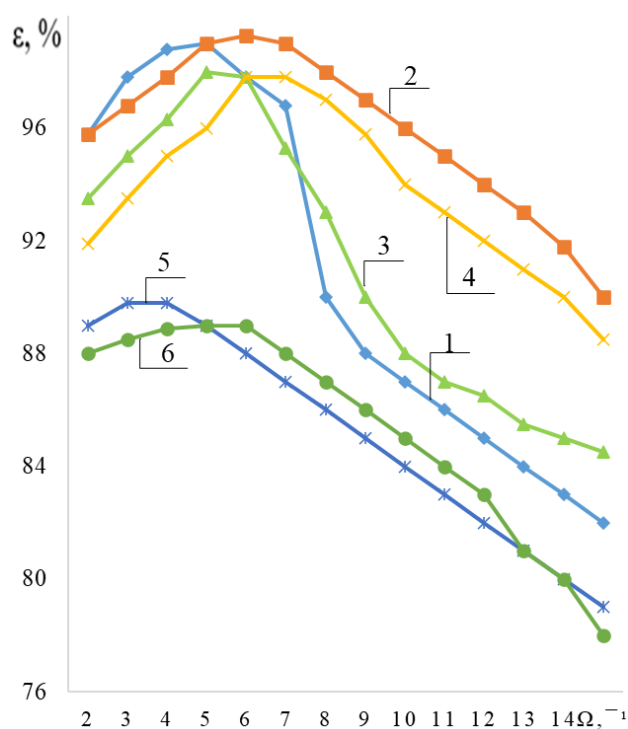


Рисунок 4.9 – Графік залежності повноти виділення нетреби звичайної від кутової швидкості обертання барабана при навантаженні 1500 кг/год-м

Порівняльний аналіз кривих підтверджує припущення про те, що основа лінолеуму при рівних умовах дозволяє одержати більшу якість очищення сої від нетреби звичайної.

Результати експериментальних досліджень впливу навантаження, зазору й кутової швидкості обертання барабана на вихід очищеної фракції сепаратора (і втрати сої) представлено на рисунку 4.10. Для порівняння на практично отримані залежності накладені теоретичні лінії. Характер кривих збігається, помилка не перевищує 5 %. Це говорить про те, що запропонована нами формула визначення продуктивності фрикційного сепаратора з достатньою вірогідністю відбиває процес сепарації. Відхилення й розбіжності даних пов'язані з допущеннями прийнятими при розробці теорії.

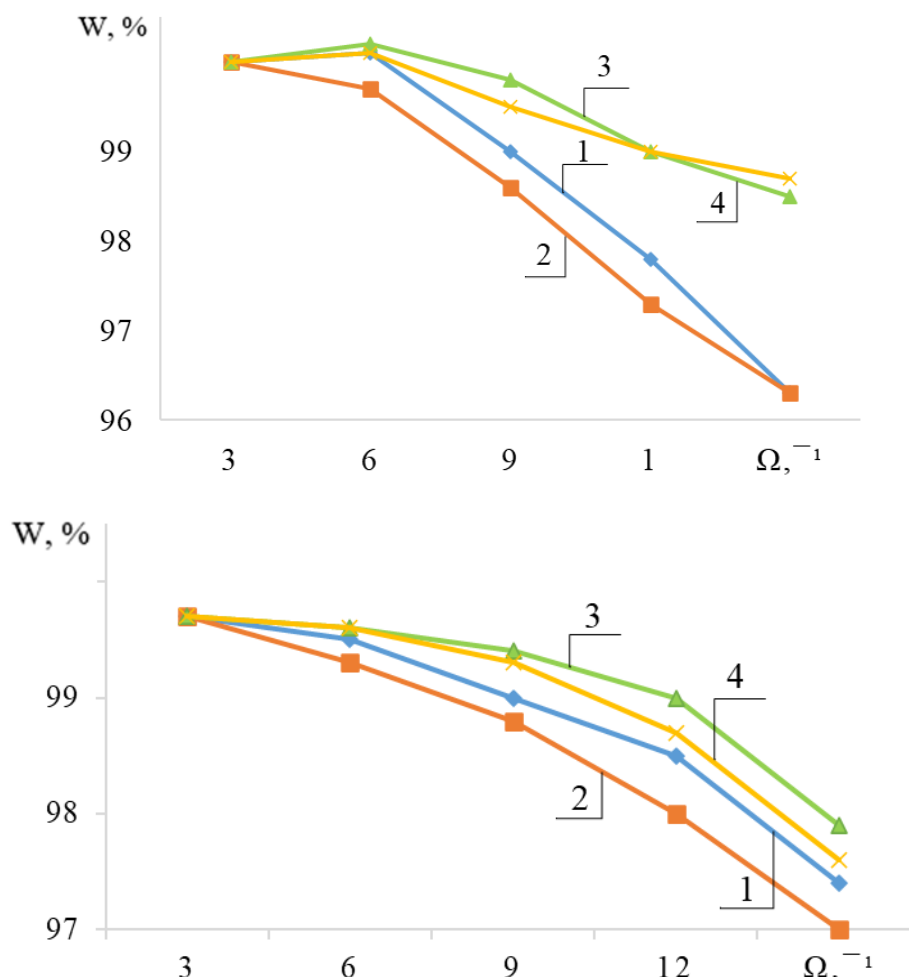


Рисунок 4.10 – Залежність виходу очищеної фракції від кутової швидкості обертання барабана при навантаженні 1500 кг/год-м для основи лінолеуму

З наведених даних, отриманих у результаті дослідження закономірностей впливу навантаження, зазору й кутової швидкості обертання барабана на ступінь добування нетреби звичайної із сої впливає, що найбільш прийнятними для одержання якості очищення 98 – 99 % з мінімальними втратами сої й максимальним виходом очищеної фракції є наступні параметри фрикційного сепаратора: матеріал фрикційної поверхні – основа лінолеуму; зазор – 4,0 – 4,5 – 10 мм; навантаження – 1500 кг/год-м; кутова швидкість обертання барабана – $3 - 6 \text{ c}^{-1}$.

Методика дослідження з визначення впливу навантаження, зазору й кутової швидкості обертання барабана на висоту клиноподібного шару, що формується в зазорі, суміші представлено в розділі 3.10.

Досліджувалися впливи навантаження, зазору й кутової швидкості обертання барабана на висоту шару. Результати експериментальних досліджень для матеріалу (основа лінолеуму) представлено на малюнку 4.11.

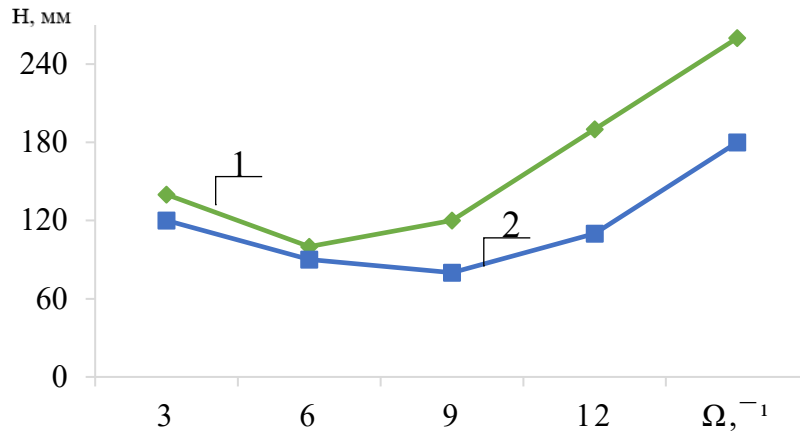


Рисунок 4.11 – Залежність висоти шару від кутової швидкості обертання барабана при навантаженні 1500 кг/год-м (для основи лінолеуму)

$$1 - \delta = 4,0 \text{ мм}; \quad 2 - \delta = 4,5 \text{ мм}$$

Клиноподібний шар, що формується в зазорі, впливає на процес очищення сої від нетреби звичайної й на втрати основного матеріалу. Збільшення висоти шару при швидкості обертання барабана $\omega < 6 \text{ с}^{-1}$ пояснюється втратою матеріалу через сводоутворення. Ріст шару при швидкості $\omega > 6 \text{ с}^{-1}$ пояснюється тим, що шар зазнає кипіння, пов'язаному з відштовхуючим впливом фрикційної поверхні на матеріал, що надходить у зазор.

4.6 Результати виробничих випробувань фрикційного сепаратора барабанного типу в лінії очищення сої

Методика проведення виробничих випробувань лінії очищення сої представлено в розділі 3.11, результати порівняльних виробничих випробувань наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати порівняльних виробничих випробувань

Показники	«Петкус-523»+ «Петкус-531»+ «Петкус-531»	«Петкус-523»+ «Петкус-531»+ експериментальний сепаратор
Продуктивність, т/год	3	3
Сумарна потужність електродвигунів, кВт	12,1	9,4
Ступінь вилучення суплідь нетреби звичайної, %	85 – 86	98 – 99

Вихідна засміченість зернобобового матеріалу сої нетреби звичайної при проведенні випробувань становила 20 шт на 1 кг бобів. Після очищення зернобобової купи на пневмоситових зерноочисної машинах «Петкус-523» і «Петкус-531» і повторному очищенню на «Петкус-531» ступінь добування суплідь 85 – 86 %. При використанні фрикційного сепаратора замість другої машини «Петкус-531» вдалося витягти 98 – 99 % суплідь нетреби звичайної.

Таким чином, у результаті роботи лінії очищення із застосуванням фрикційного сепаратора при початковому навантаженні 3000 кг/год-м і вихідної засміченості нетреби звичайної 20 шт на 1 кг бобів отриманий кондиційний матеріал задовольняючий вимоги технології екструдуювання сої.

Виробнича перевірка показала, що використання фрикційного сепаратора в зерноочисній лінії дозволяє суттєво збільшати час невинної роботи екструдерів і сприяє зниженню витрат, пов'язаних з обслуговуванням і ремонтом екструдерів, а також економічних втрат від простою лінії.

На підставі теоретичних розрахунків, експериментальних і виробничих випробувань виявлені основні параметри фрикційного сепаратора барабанного типу (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 – Основні параметри фрикційного сепаратора барабанного типу

Показники	Соє/Нетреба звичайна
Навантаження, т/год	3
Фрикційний матеріал	ГОСТ 18108-80
Матеріал скатної дошки	сталь
Діаметр барабана, м	0,3 – 0,4
Кількість барабанів, шт	2
Кутова швидкість обертання барабана, c^{-1}	4 – 6
Радіус лопати відбійника, м	0,02 – 0,025
Кутова швидкість обертання відбійника, c^{-1}	60 – 90
Кут нахилу скатної дошки, гради	55 – 65
Робочий зазор, мм	4,0 – 4,5
Довжина робочого зазору, м	2

Висновки до розділу

1. На підставі пошукових досліджень підібрана найбільш раціональна схема очищення фрикційної поверхні від нетреби звичайної, що забезпечує необхідні показники для ефективної роботи сепаратора: очищення повинно здійснюватися відбійником, що обертається проти ходу руху фрикційної поверхні.

2. Сепаратор (схема м – рисунок 4.2) у порівнянні з усіма розглянутими схемами дозволив досягти необхідної повноти виділення нетреби звичайної й продуктивності.

3. Експериментально підтверджені теоретичні дослідження залежності продуктивності сепаратора й втрат сої від типу фрикційної поверхні, кутової швидкості обертання барабана й величини робочого зазору.

4. Експериментальна перевірка показала, що оптимальний режим роботи фрикційного сепаратора, при добуванні суплідь нетреби звичайної із сої, що впливає: кутова швидкість обертання барабана $\omega = 4 - 6 c^{-1}$; робочий зазор $\delta = 4,0 - 4,5$ мм; навантаження $q = 1500$ кг/год-м.

5. Виробничі випробування підтвердили, що фрикційний сепаратор дозволяє одержати ступінь добування нетреби звичайної із сої – 98 – 99 %.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Розробка організаційно-технологічної карти

На зображенні 5.1 відображено схему роботи оператора сепаратора барабанного типу, який використовується для очищення зерна з підвищеною вологістю.

1. Характеристика процесу та умови праці	<ol style="list-style-type: none"> 1. Місце роботи – дільниця первинної обробки насіння сої ТОВ «ДАлекс». 2. Вид робіт – очищення насіння сої від нетреби звичайної на фрикційному сепараторі барабанного типу. 3. Кваліфікація – оператор сепаратора для очистки насіння соняшника від нетреби звичайної. 4. Умови праці – нормальні.
2. Технічні умови забезпечення безпеки праці	<ol style="list-style-type: none"> 1. Застосувати засоби індивідуального захисту: костюм бавовняний пилозахисний; черевики шкіряні; рукавиці комбіновані; шолом захисний; при роботі взимку – куртка та брюки утеплені. 2. Освітленість робочого місця – не менше 150 лк. 3. Повітряний обмін – не менше 1000 м³/год.
3. Показники технологічного режиму і заходи безпеки	<ol style="list-style-type: none"> 1. Захисні загородження повинні бути надійно закріплені та пофарбовані в яскравий колір. 2. Електрозахисні і блокувальні пристрої повинні бути справними і відповідати нормативним параметрам. Рама сепаратора повинна бути заземлена. 3. На пульту керування сепаратора повинна бути попереджувальна табличка, що буде попереджувати про можливість враження струмом.
4. Шкідливі небезпечні і виробничі фактори на робочому місці	<ol style="list-style-type: none"> 1. Зерновий пил (аерозолі), частинки мінеральних домішок та соломи. 2. Обертальні частини обладнання; 3. Підвищене значення електричної напруги. 5. Підвищений рівень шуму та вібрації.
5. Основні вимоги безпеки при роботі оператора сепаратора очистки зерна	<ol style="list-style-type: none"> 1. Роботи повинні виконуватись згідно заходів безпеки встановлених ДНАОП та існуючої на підприємстві документації. 2. До роботи на сепараторі допускаються, що досягли 18 років, пройшли навчання та всі види інструктажу з охорони праці, стажування і мають досвід роботи на даному обладнанні. 3. Забороняється проводити ремонтні роботи і очистку сепаратора не вимкнувши його від мережі і без повної зупинки робочих органів. 4. Постійно здійснювати контроль стану опор ситового робочого органу, аспіраційного каналу та регулювальних і натяжних пристроїв. 5. Дотримуватися правил електробезпеки, здійснювати контроль допоміжних захисних пристроїв та захисних огорожень. 6. Підтримувати чистоту і порядок на робочому місці.

Рисунок 5.1 – Опис робочих процесів оператора сепаратора барабанного типу для очищення зерна

Під час створення організаційно-технологічної карти, ми уважно розглянули всі особливості та умови роботи оператора зерноочисного сепаратора.

5.2 Утилізація відходів на елеваторі ТОВ «ДАлекс»

Виробничі операції на елеваторах та млинах мають суттєвий вплив на оточуюче середовище. Цей вплив можна описати через такі ключові аспекти, як забруднення повітря пилом і токсичними речовинами, забруднення зернових продуктів, викиди стічних вод і промисловий шум.

Оскільки забруднення повітря є основною загрозою, одним з найважливіших завдань в рамках природоохоронних заходів ТОВ «ДАлекс» є забезпечення чистоти атмосферного повітря.

Під час очищення та переробки зерна утворюється значна кількість мінерального та органічного пилу, що є результатом процесів сортування та очищення. Щоб запобігти викиду пилу в атмосферу та забрудненню навколишнього середовища, млин обладнаний системою аспірації, яка всмоктує пил з усіх точок викидів. Повітря надійно очищається за допомогою циклонів та різних конструкцій фільтрів.

Транспортні маршрути характеризуються мінімальною кількістю перевантажувальних пунктів та короткою довжиною. Завдяки розташуванню виробничого обладнання на території заводу, доступ до нього для технічного обслуговування та видалення пилу є легким. Навантаження на обладнання відповідає виробничим стандартам, технологічним проектам та правилам організації та проведення технологічних процесів. Обладнання знаходиться в технічно справному стані під час експлуатації та безперебійної роботи до проведення запланованого технічного обслуговування.

Для переміщення промислових відходів використовуються різноманітні транспортні засоби, такі як самохідні транспортні засоби, стрічкові конвеєри та пневматичний транспорт. Стрічкові конвеєри, зокрема, експлуатуються на низьких швидкостях (менше 1,0 – 1,5 м/с), щоб мінімізувати викиди пилу.

У приміщеннях використовуються гладкі поверхні на стінах, стелях, несучих конструкціях, дверних заповненнях і підлогах, що сприяє полегшенню видалення пилу.

Знепилення на підприємствах, у тому числі на дахах будинків, проводиться за програмою, яка визначає періодичність знепилення на певній виробничій ділянці (наприклад: щозмінно, щоденно, щомісячно, щоквартально).

Природоохоронні заходи ТОВ «ДАлекс» в основному спрямовані на створення здорових і безпечних умов життя і праці працівників, що є важливим фактором підвищення продуктивності праці.

Висновки до розділу

В рамках даної кваліфікаційної роботи розроблено техніко-експлуатаційний регламент для операторів зерносортувальників ТОВ «ДАлекс».

Дослідження також детально розглядало утилізацію відходів елеватора та її вплив на екологічну безпеку на місцевому рівні.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Організація досліджень

Метою економічних розрахунків для демонстрації ефективності проведених досліджень є оцінка результатів та доцільності реалізації проекту щодо пошуку шляхів підвищення ефективності очищення сої на барабанних сепараторах тертя.

Методами сітьового планування та управління організовано науково-дослідну роботу щодо процесу очищення сої від звичайних бур'янів, першочергово складаючи план дослідження.

План дослідження представлено в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – План проведення дослідження

Шифр робіт $i-j$	Найменування робіт	Тривалість робіт t_{ij} , днів
1-2	Вибір теми науково-дослідної роботи	1
2-3	Літературний пошук	10
3-4	Аналіз зібраних даних, написання огляду	5
4-5	Складання плану науково-дослідної роботи	2
5-6	Підготовка дослідних зразків насіння сої	3
6-7	Підготовка макетного зразка фрикційного сепаратора барабанного типу	25
7-8	Визначення впливу типу фрикційної поверхні на ефективність очищення насіння сої	5
7-9	Визначення впливу початкового навантаження на ефективність очищення насіння сої	1
7-10	Визначення впливу величини зазору робочого органу на ефективність очищення насіння сої	2
7-11	Визначення впливу величини кутової швидкості обертання барабану на ефективність очищення насіння сої	3
8-12	Аналіз та обробка отриманих результатів дослідження	1
9-12		1
10-12		1
11-12		1
12-13	Оформлення результатів	5
13-14	Підготовка матеріалу до публікації	6
14-15	Формування демонстраційного матеріалу	4

Відповідно до плану дослідження була побудована сітьова діаграма (рисунок 6.1) – графічна модель усієї роботи, в якій детально визначені логічні зв'язки.

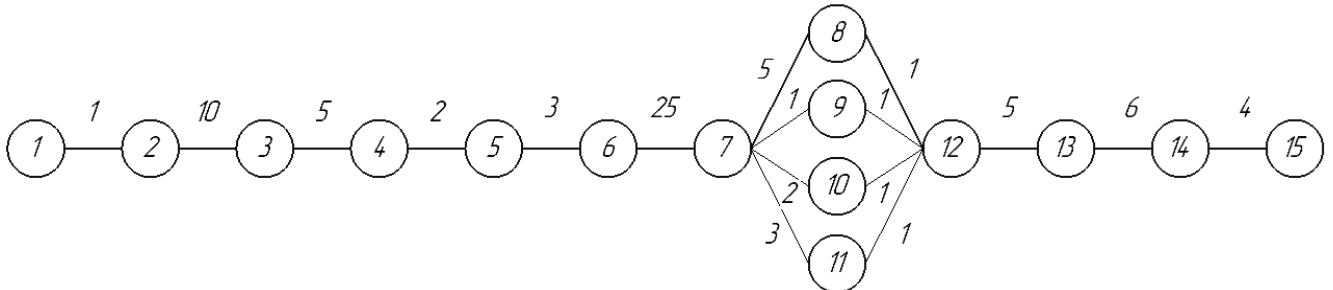


Рисунок 6.1 – Сітьовий графік проведення дослідження

Планування, оптимізація і керування процесом виконання робіт здійснюються на основі сітьового графіка. Цей метод дозволяє формалізувати процес і виразити його чисельно. При використанні сітьового графіка визначаються всі повні шляхи, які представляють собою послідовність робіт від початкової події до кінцевої. Для цього розраховуються тривалості кожної роботи:

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-12-13-14-15}^1 = 1 + 10 + 5 + 2 + 3 + 25 + 5 + 1 + 5 + 6 + 4 = 67.$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-9-12-13-14-15}^2 = 1 + 10 + 5 + 2 + 3 + 25 + 1 + 1 + 5 + 6 + 4 = 63.$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-10-12-13-14-15}^3 = 1 + 10 + 5 + 2 + 3 + 25 + 2 + 1 + 5 + 6 + 4 = 64.$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-11-12-13-14-15}^4 = 1 + 10 + 5 + 2 + 3 + 25 + 3 + 1 + 5 + 6 + 4 = 65.$$

У цьому випадку, критичним є перший шлях, який має максимальну тривалість і позначається як $L_{кр} = L_{1-2-3-4-5-6-7-8-12-13-14-15}^1$.

6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

Розрахунок витрат на основні та побічні матеріали проводиться відповідно до визначеної формули:

$$M = \sum m_1 \cdot C_1, \quad (6.1)$$

де m_1 – кількість витраченого i -го матеріалу;

C_1 – ціна одиниці i -го матеріалу, грн.

Таблиця 6.2 містить результати розрахунку витрат на матеріали.

Таблиця 6.2 – Необхідна кількість матеріалів та їх вартість

Найменування, одиниці	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Насіння сої, кг	100	9,3	930,0
Всього			930,0

Таблиця 6.3 включає в себе результати розрахунку заробітної плати для учасників досліджень.

Таблиця 6.3 – Розрахунок витрат на заробітну плату

Посада	Середньомісячний заробіток, грн	Середньочасовий заробіток, грн	Кількість людино-годин	Сума, грн
Керівник НДР	8000	50,00	20	1000,00
Всього				1000,00

Фактори, що враховуються при розрахунку заробітної плати, включають:

$$H = \frac{1000 \cdot 22}{100} = 220,00 \text{ грн.}$$

Витрати на спожиту електроенергію розраховуються за допомогою такої формули:

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a, \quad (6.2)$$

де M – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

K – коефіцієнт використання потужності ($K = 0,9$);

T – час роботи на установці, год;

a – тариф за електроенергію, грн/(кВт/год).

$$E = 0,6 \cdot 0,9 \cdot 50 \cdot 1,68 = 45,36 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат на амортизацію проводимо відповідно до наступної формули:

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 12}, \quad (6.3)$$

де A – амортизаційні відрахування, грн;

Φ – вартість устаткування, грн;

H – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на устаткуванні, днів;

12 – кількість місяців у році.

Таблиця 6.4 містить результати розрахунків витрат на амортизацію.

Таблиця 6.4 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

Устаткування	Вартість, грн	Річна норма амортизації, %	Час роботи, днів	Витрати на амортизацію, грн
Фрикційний сепаратор	1500	20	7	5,75
Всього				5,75

Загальні витрати складаються з:

$$NB = \frac{1000,00 \cdot 80}{100} = 800,00 \text{ грн.}$$

У таблиці 6.5 зведені результати розрахунків усіх витрат, пов'язаних з проведенням наукового дипломного дослідження.

Таблиця 6.5 – Кошторис витрат на проведення дослідження

Витрати	Сума, грн
Основні матеріали	930,0
Заробітна плата	1000,0
Нарахування на заробітну плату	220,0
Електроенергія	45,36
Амортизація	5,75
Накладні витрати	800,0
Всього	3001,11

З таблиці 6.5 видно, що основними складовими витрат під час проведення дослідження є витрати на заробітну плату та основні матеріали.

6.3 Розрахунок ціни дослідження

Визначаємо вартість досліджень:

$$C = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (6.4)$$

де C – вартість дослідження, грн;

C – витрати на дослідження, грн;

P – нормативна рентабельність ($P = 30$), %.

Таким чином:

$$Ц = 3001,11 + \frac{30 \cdot 3001,11}{100} = 3901,44 \text{ грн.}$$

Отже, сума витрат на проведене дослідження складає 3901,44 грн.

Висновки до розділу

Основними складовими витрат під час проведення дослідження є витрати на заробітну плату та основні матеріали, що становлять відповідно 33,32 % та 30,98 % від загальної суми витрат. Натомість, найменшим відсотком витрат є витрати на амортизацію, які становлять лише 0,19 %. Загалом, з урахуванням 30 % нормативної рентабельності, вартість проведеного дослідження складає 3901,44 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Обґрунтована технологічна схема фрикційного сепаратора, у якому при проходженні сепаруючого матеріалу крізь технологічний зазор, утворений скатною дошкою й фрикційною поверхнею барабана, що обертається проти потоку суміші, забезпечується високий ступінь добування нетреби звичайної при великій питомій продуктивності по очищеній фракції.

Розроблена математична модель проходження бобами зазору між скатною дошкою й фрикційною поверхнею, що дозволяє на стадії проектування встановити питому продуктивність, раціональні конструктивно-кінематичні параметри й режими очищення сої від нетреби звичайної фрикційним сепаратором барабанного типу.

Отримані математичні залежності процесу руху матеріалу дозволили встановити наступні раціональні параметри фрикційного сепаратора для сої:

- кут нахилу скатної дошки $55 - 65^\circ$;
- діаметр барабана $0,3 - 0,4$ м;
- зазор $4 - 6$ мм;
- кутова швидкість обертання барабана $3 - 6 \text{ c}^{-1}$;
- навантаження 1500 кг/год-м.

Експериментальна перевірка показала, що оптимальний режим роботи фрикційного сепаратора, при добуванні суплідь нетреби звичайної із сої, що впливає: кутова швидкість обертання барабана $\omega = 4 - 6 \text{ c}^{-1}$; робочий зазор $\delta = 4,0 - 4,5$ мм; навантаження $q = 1500$ кг/год-м.

Виробничі випробування підтвердили, що фрикційний сепаратор дозволяє одержати ступінь добування нетреби звичайної із сої – $98 - 99$ %.

Основними складовими витрат під час проведення дослідження є витрати на заробітну плату та основні матеріали, що становлять відповідно $33,32$ % та $30,98$ % від загальної суми витрат. Загалом, з урахуванням 30 % нормативної рентабельності, вартість проведеного дослідження складає $3901,44$ грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

- 1 Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2019 рік (2019). Київ: Міністерство аграрної політики та продовольства України. 447 с.
- 2 Державна цільова програма розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року (2016). Офіційний вісник України. № 24. Київ: Кабінет Міністрів України. 11 с.
- 3 Державна служба статистики України (2019). Економічна статистика / Економічна діяльність / Сільське, лісове та рибне господарство. Електронний ресурс: https://ukrstat.org/uk/operativ/menu/menu_u/cg.htm.
- 4 Aliiev Elchyn, Gavrilchenko Alexander, Tesliuk Hennadii, Tolstenko Alexander, Koshul'ko Vitaliy (2019). IMPROVEMENT OF THE SUNFLOWER SEED SEPARATION PROCESS EFFICIENCY ON THE VIBRATING SURFACE. ACTA PERIODICA TECHNOLOGICA (APTEFF), 50, 12 – 22. DOI: <https://doi.org/10.2298/APT1950012A> (Scopus).
- 5 Nykyforov, A., Antoshchenkov, R., Halych, I., Kis, V., Polyansky, P., Koshulko, V., Tymchak, D., Dombrovska, A., Kilimnik, I. (2022). Construction of a regression model for assessing the efficiency of separation of lightweight seeds on vibratory machines involving measures to reduce the harmful influence of the aerodynamic factor. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (1 (116)), 24–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253657> (Scopus).
- 6 Землеробська механіка. Інноваційні технології харчових виробництв / А.С. Кобець, С.П. Сокол, А.М. Пугач, Ю.О. Чурсінов, О.А. Півоваров, С.Ю. Миколенко, О.С. Ковальова, В.С. Калина, В.С. Кошулько, Д.О. Тимчак, Н.А. Сова, К.А. Худайбердієва. Дніпро: «Свідлер А.Л.». 2022. Том 4. 460 с. (наукова монографія, ISBN 978-617-627-174-1).
- 7 Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва / О.А. Півоваров, О.С.

Ковальова, В.С. Кошулько. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с. (посібник, ISBN 978-617-95201-3-6).

8 ДСТУ 2240-93. (1993). Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови. Київ: Держстандарт України. 74 с.

9 Кириченко В. В., Петренкова, В. П., Кривошеєва, О. В., Рябчун, В. К., Маркова, Т. К. (2007). Ідентифікація морфологічних ознак соняшнику (*Helianthus L.* посібник). Харків: Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва УААН. 78 с.

10 ДСТУ 4138-2002. (2002). Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Київ: Держстандарт України. 173 с.

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

12 Poliakova N.A., Vedmedeva, E.V. (2016). Inheritance of Anthocyanin Coloration Trait in Pericarp of Sunflower Seeds. *HELIA.* P. 81–90. DOI: 10.1515/helia-2016-0005

13 Заїка П. М. (2006). Теорія сільськогосподарських машин. Очистка і сортування насіння. Харків: Око. 407 с.

14 . Адамчук В. В., Прилуцький, А. Н., Заришняк, А. С., Степаненко, С. П. (2014). Концепція комплексного вирішення проблеми післязбиральної обробки і зберігання зерна в сільськогосподарських підприємствах України. В зб.: Механізація та електрифікація сільського господарства. Глевах: ННЦ «ІМЕСГ». Вип. 99. С. 40-56.

15 Войтюк Д. Г., Гаврилюк, Г. Р. (2004). Сільськогосподарські та меліоративні машини. К.: Вища освіта. 554 с.

16 Ольшанський В. П., Бредихін, В. В., Лук'яненко, В. М., Півень, М. В., Сліпченко, М. В., Харченко, С. О. (2017). Теорія сепарування зерна: монографія. Харків: ПланетаПрінт. 803 с.

17 Котов Б. І., Пастушенко, М. Г., Степаненко, С. П. (2012). Дослідження ефективності вібровідцентрової сепарації зерна на ступінчасто-конічному решеті

методом планування експериментів. Конструювання, експлуатація та виробництво сільськогосподарських машин. Випуск 42. Частина 2. С. 70-75.

18 Бредихін В. В. (2003). Обґрунтування параметрів процесу вібропневмовідцентрового розділення насінневих сумішей за густиною насіння. Автореф. дис. канд. техн. наук. Харків. 20 с.

19 Дерев'янку Д. (2015). Дослідження ударної взаємодії травмування насіння поверхнею циліндричного решета вібросепаратора після його сходження з диска розподільника. Техніка і технології АПК. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, № 6 (69). С. 9-12.

20 Заїка П. М., Бакум, М. В., Михайлов, А. Д., Козій, О. Б. (2012). Сепарація насіння льону на вібраційних сепараторах. Вібрації в техніці та технологіях. № 3 (67). С. 106-111.

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

22 Thomson, W. H., Pomeranz, Y. (1991). Classification of wheal kernels using three-dimensional image analysis. Cereal Chem. 68. № 34. P. 357-361.

23 Kiratiratanapruk K., Sinthupinyo, W. (2011). Color and texture for corn seed classification by machine vision. Int. Symp. Intell. Signal Process. Commun. Syst. "The Decad. Intell. Green Signal Process. Commun. ISPACS. P. 7-11.

24 Ronge R. V., Sardeshmukh, M. M. (2014). Comparative analysis of Indian wheat seed classification. Icacci'14. P. 937-942.

25 Mira Park, Jesse S. Jin, Sherlock L. Au, Suhuai Luo, Yue Cui (2009). Automated Defect Inspection Systems by Pattern. Recognition International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition. Vol. 2. No. 2. P. 31-41.

26 Міщенко М. І., Ріда, В. П. (2000). Патент на корисну модель UA 553 U, МПК (2006) B07B 9/00. Зерноочищувальний сепаратор. Заявник Відкрите акціонерне товариство "Хорольський механічний завод". № 99105723. Заявл. 19.10.1999. Опубл. 15.09.2000, Бюл. № 4.

27 Galling Michael John, Deefholts Murray Benedict Mark. (1981). Sorting objects. Gunson`s Sortex Ltd. Заявка Великобритании, кл. В 07 С 5/02, G 01 N 21/00, НКИ. G 1 А. Заявл. 19.01.81, N 8101542. Оpubл. 28.07.82.

28 Lockett James F. (1982). Univeisal sorting apparatus. Патент США, кл. В 07 С. 5/342, НКИ 209/564, N4344539. Заявл. 05.05.78, N 903050. Оpubл. 17.08.82.

29 Mohammad Reza Seifi, Reza Alimardani. (2010). Moisture-Dependent Physical Properties of Sunflower Seed (SHF8190). Modern Applied Science. Vol. 4, No. 7. Published by Canadian Center of Science and Education. P. 135-143.

30 Ghodsevali A., Vafaei, A. (2008). Studying of physical properties of sunflower in Golestan province. The fifth conference of agricultural machinery and mechanization, Mashad, Iran, 306 p.

31 Gupta R. K., Das, S. K. (1997). Physical properties of sunflower seeds. Journal of Agricultural Engineering Research. № 66. P. 1-8.

32 Sahebeh Jafari, Javad Khazaei, Akbar Arabhosseini, Jafar Massah, Mohammad Hadi Khoshtaghaza. (2011). Study on mechanical properties of sunflower seeds. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Volume 14. Issue 1. P. 1-11.

33 Chavoshgoli Es., Abdollahpour, Sh., Abdi, R., Babaie, A. (2014). Aerodynamic and some physical properties of sunflower seeds as affected by moisture content. Agric Eng Int: CIGR Journal. Vol. 16. No.2. P. 136-142.

34 Jafari S. (2008). Design and construction a laboratory sunflower seed dehuller machine. A thesis submitted to Graduate Studies Office in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Mechanic of Agricultural Machinery. Tehran, Iran, (in farsi).

35 Khodabakhshian R., B. Emadi, M. H. Abbaspour Fard. (2009). Aerodynamic properties of sunflower seed, kernel and its hull affected by moisture content and size, azargol variety as a case study. International Agricultural Engineering Conference, Bangkok, Thailand.

36 Михайлов Є. В., Задосна, Н. О. (2015). Аеродинамічні властивості складових олійної сировини соняшнику. Праці ТДАТУ. Випуск 15. Том 4. С. 28-38.

37 Котов Б. І., Степаненко, С. П., Швидя, В. О. (2016). Технологічні аспекти сепарації зерна у вертикальному каналі. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 46. С. 154-159.

38 Котов Б. І., Спирін, А. В., Твердохліб, І. В., Степаненко, С. П., Швидя, В. О. (2017). До питання пневмогравітаційної сепарації зернових матеріалів. Техніка, енергетика, транспорт АПК. № 4. С. 51-55.

39 Котов Б. І., Деревенько, І. А., Степаненко, С. П. (2017) Дослідження ефективності сепарації зернових матеріалів на ступінчастоконічному решеті вібровідцентрових машин. Вібрації в техніці та технологіях. № 2 (85). С. 99-102.

40 Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Lukyanov, I., Dobrovolsky, V., Yurchenko, O., Chekan, O., Dedilova, T., & Musiienko, Y. (2021). Revealing changes in the technical parameters of the teat cup liners of milking machines during testing and production conditions. EUREKA: Physics and Engineering, (6), 102-111. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.002056>

41 Kozachenko O., Aliiev E., Sedykh K. Results of investigation of the spring shank disc harrow performance. U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 83, Issue 4, 2021. 123–140. https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rezabf_492985.pdf

42 Yaropud V., Hunko I., Aliiev E., Kupchuk I. Justification of the mechatronic system for pigsty microclimate maintenance. Agraarteadus, Journal of Agricultural Science, 2021, XXXII (2): 341–351. DOI: 10.15159/jas.21.23

43 Aliiev E., Pavlenko S., Aliieva O., Morhun O. Accelerated biothermal composting of manure-compost mixture. Agraarteadus, Journal of Agricultural Science, 2021, XXXII (2): 169–181. DOI: 10.15159/jas.21.30

44 Aliiev E., Paliy A., Kis V., Paliy A., Petrov R., Plyuta L., Chekan O., Musiienko O., Ukhovskyi V., Korniiien L. (2022). Establishing the influence of technical and technological parameters of milking equipment on the efficiency of machine milking. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (1 (115)), 44–55. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251172

45 Sahay K.M. Unit operations in agricultural processing / K.M. Sahay, K.K. Singh // Vikas Publishing House Pvt Ltd, New Delhi. – 1994.

46 Singh K.K. Physical properties of sunflower seeds / K.K. Singh, T.K. Goswami // Physical properties of cumin seed. J. Agric. Eng. – 1996 – Vol. 64 – P. 93-98.

47 Nimkar M.P. Some Physical properties of green gram / M.P. Nimkar, K.P. Chattopadhyay // Journal of Agricultural Engineering Research. – 2001– Vol. 80(2) – P. 183-189.

48 Aliiev E., Aliieva O., Maliehin R. Technical and technological provision of complex waste processing of plant raw oil cultures in food for organic animals. Scientific Horizons. 2020. № 07 (92). P. 112-19. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-92-7-112-119.

49 Shevchenko I. Aliiev E. Improving the efficiency of the process of continuous flow mixing of bulk components. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. 6/1 (108). P. 6-13. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216409.

50 Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Shkromada, O., Musiienko, Y., Plyuta, L., Chekan, O., Dubin, R., Mohutova, V. (2021). Development of a device for cleansing cow udder teats and testing it under industrial conditions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(1 (109), 43–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224927>.