

**ПОЛТАВСЬКА ДЕРЖАВНА АГРАРНА АКАДЕМІЯ**  
**Факультет інженерно-технологічний**  
**Кафедра технологій та обладнання переробних і харчових виробництв**

**Пояснювальна записка**  
*до дипломної роботи на здобуття ступеня вищої освіти*  
**«магістр»**  
бакалавр, магістр

на тему: «Покращення функціональних параметрів зернового сепаратора»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва

назва ОПП

спеціальності 208 Агроінженерія

код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «магістр» групи     

**ПЕРФІЛОВ О. О.**

Прізвище та ініціали студента

Керівник: **ІВАНОВ О. М.**

Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: **ІВАНКОВА О. В.**

Прізвище та ініціали рецензента

**Полтава – 2021 року**

## ВСТУП

**Актуальність.** В даний час все більше використовуються комбіновані добавки для годування птахів, риб, худоби, свиней і багатьох інших тварин. Комбікорми готують для сільськогосподарських тварин різної статі, віку, продуктивності та фізіологічного стану.

Комбікорми за своєю якістю повинні відповідати вимогам державного стандарту [9, 24].

Якість преміксів, добавок білково-вітамінних, комбікормових сумішей пов'язана з якістю сировини, що поставляється, технологією її зберігання, обробки та переробки в готову продукцію. Якість комбікорму залежить також від удосконалення рецептури, умов та терміну зберігання виробленої продукції, як на комбікормових заводах, так і на комплексах, фермах, господарствах. Важливе значення мають способи та засоби транспортування, відстані на які перевозять комбікорми, взаємини між виробником та покупцем. На користь досягнення найкращого кінцевого результату весь комплекс питань доцільно розглядати як єдине ціле. Втрата якості будь-якому з названих етапів призводить до зниження запланованого результату [21].

Тому для отримання якісного складу комбікормів нормами технологічного проектування передбачено очищення зернових компонентів.

На сьогоднішній день на комплексах, фермах та господарствах існує багато різних сепараторів, але вони мають свої недоліки. У зв'язку з цим доцільно було проведено дослідження з розробки та створення установки для сепарування фуражного зерна.

**Мета дослідження** – підвищення ефективності роботи сепаратора для очищення фуражного зерна шляхом удосконалення його конструкції.

У відповідності до мети в роботі вирішувались наступні завдання:

- розробити конструкцію сепаратора та обґрунтувати його конструктивно-кінематичні параметри;

- отримати експериментально-математичну модель якості сепарування залежно від конструктивно-кінематичних параметрів сепаратора. Виявити раціональні параметри сепаратора, що розробляється;

- надати оцінку рівня потенціального небезпеки для природного навколишнього середовища та провести аналіз потенціальним можливостям виникнення аварійнонебезпечним ситуаціям при використанні нового технологічного засобу;

- оцінити економічну ефективність використання розробленого сепаратора при приготуванні кормових сумішей.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес сепарації зерна.

**Предмет дослідження** – залежності, фактори та взаємозв'язки, що характеризують роботу сепаратора.

**Методика досліджень.** Постановку експериментальних досліджень проводили відповідно до чинних стандартів і розроблених індивідуальних методик.

Обробка результатів досліджень проводилася за допомогою ПК та використанням програмних продуктів: Microsoft Excel, математичного редактора STATISTICS.

**Наукова новизна** одержаних результатів полягає в наступному:

Отримано експериментальні залежності оціночних показників установки для сепарування фуражного зерна від її конструктивних параметрів у вигляді математичної моделі процесу сепарування.

**Практичне значення** одержаних результатів полягає у:

- розробленому пристрої для сепарування фуражного зерна, що дозволяє очищати зерновий матеріал у комбікормовому виробництві.

- обґрунтованих параметрах вібраційного сепаратора, які можуть бути використані конструкторськими організаціями під час проектування пристроїв для очищення фуражного зерна.

# 1 СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Кормова цінність комбікормів та кормових добавок

Для забезпечення процесів зростання та розвитку, нормального функціонування всіх систем організму тварини необхідні витрати певної кількості поживних речовин та енергії, джерелом яких є корми [9, 21, 24].

Корми – це органічні та неорганічні (мінеральні) речовини, що служать для годівлі сільськогосподарських тварин. Термін «корми» використовується для характеристики продуктів тваринного, рослинного та мінерального походження, а також комбікорми, кормові суміші та суміші мінеральних речовин. За хімічними та фізичними властивостями корми поділяють на грубі, соковиті та концентровані.

До грубих кормів можна віднести сінаж, сіно, солому, кукурудзяні качани, деревні корми та ін. Ці корми з низьким вмістом енергії та протеїну та високим — клітковини.

Соковиті корми - це в основному силос і кормові коренеплоди, що використовуються для згодовування свиней, худоби та інших тварин.

До концентрованих кормів відносять зерно зернобобових, злакових культур і корми промислового виробництва, такі як макухи та шроту, висівки, кормові дріжджі, сухе знежирене молоко, сухий буряковий жом та ін. Ці види кормів застосовують для годування всіх сільськогосподарських тварин. Вони служать джерелами енергії та протеїну, відрізняються гарною поїдання, високою перетравністю.

Виробництво комбікормів та кормових сумішей складається з кількох послідовних технологічних операцій переробки сировини: отримання компонентів, їх вивантаження, транспортування, розміщення на тимчасове зберігання, очищення, подрібнення, дозування, змішування тощо.

Основні фізико-механічні властивості компонентів і комбікормів: вологість, гранулометричний склад, структурно-механічні властивості, щільність, об'ємна маса, фрикційні властивості, аеродинамічні властивості, в'язкість, самосортування та ін. У таблиці 1.1 представлені вимоги до фуражного зерна [24].

Таблиця 1.1 - Вимоги до фуражного зерна, призначеного для кормових цілей

| Найменування показника | Пшениця | Горох | Ячмінь |
|------------------------|---------|-------|--------|
| Вологість, %           | 13,5    | 14,0  | 14,5   |
| Домішки, %             | 6,0     | 7,0   | 6,0    |
| Мінеральні домішки, %  | 2,0     | 2,0   | 3,0    |
| Органічні домішки, %   | 5,0     | 1,0   | 1,0    |

Потреби тварин у різних видів активних речовинах, як правило, не відповідають вмісту цих речовин в окремо взятих кормах. У зв'язку з цим можуть бути не вичерпані як генетичні можливості тварини щодо продуктивності, так і не повністю використані поживні речовини корму. Встановлено, що найкраще використання поживних речовин досягається при згодовуванні тварин не окремих кормів, а сумішей, оскільки кормова цінність суміші (%) вища за кормову цінність кожного зі складових її компонентів: горохове борошно – 63%; соєвий шрот – 62,1%; пшеничні висівки – 63,1%; суміш компонентів – 67,2%.

При правильному доборі компонентів кормової суміші недостатня кількість поживних речовин в одному кормі доповнюється підвищенням вмістом в іншому, в результаті чого можна повністю покрити потребу тварини в поживних речовинах, виходячи з її виду, віку та продуктивності.

Найбільш раціональна форма застосування концентрованих кормів у тваринництві – це комбікорми. Вони являють собою складну однорідну суміш відповідним чином оброблених компонентів, підібраних за науково обґрунтованими рецептами для забезпечення повноцінного годування тварин та найбільш ефективного використання поживних речовин у раціоні.

Компоненти - це окремі кормові засоби, суміші кормів, а також мінеральних та біологічно активних речовин, які застосовуються при виробництві комбікормів.

Комбікорми готують для сільськогосподарських тварин усіх видів з урахуванням їх статі, віку, продуктивності та фізіологічного стану. Біологічна повноцінність комбікормів досягається збалансованістю їх за вмістом поживних

речовин на основі норм потреб тварин відповідної групи в енергії, протеїні, амінокислотах, вітамінах, макро- та мікроелементах та інших біологічно активних речовинах.

Поживну цінність комбікормів виражають у кормових одиницях, у показниках обмінної енергії, а також у вмісті сирого протеїну, сирого жиру, сирого клітковини, мінеральних речовин; при цьому враховують енергопротеїнове та цукропротеїнове відношення, та інші фактори амінокислотного, вітамінного та мінерального харчування.

Комбікорми, призначені для сільськогосподарських тварин будь-якого виду та вікової групи, за своєю якістю та поживністю повинні відповідати вимогам державних стандартів, а за вмістом вітамінів, амінокислот та інших біологічно активних речовин – певним нормам.

За видом призначення розділяють на комбікорми повнораційні, кормові добавки, кормові суміші та замінники незбираного молока.

Повнораційні комбікорми за своїм призначенням повинні повноцінно задовольняти потреби тварин окремих груп у поживних активних речовинах без потреби включення до харчового раціону інших кормів, сприяти значній продуктивності та низькій витраті поживних речовин на одиницю продукції.

Корми повинні характеризуватися приємний запахом, смаковими властивостями і сприятливо впливати на травлення та здоровий стан тварин.

Комбікорми-концентрати призначені для згодовування тварин на додаток до грубих та соковитих кормів та поповнення нестачі поживних речовин в основній частині раціону.

Вміст енергії, протеїну, амінокислот, жиру, вітамінів, мінеральних та інших біологічних речовин в 1 кг комбікорму-концентрату, як правило, має бути вищим, ніж у повнораційному комбікормі (виняток становлять комбікорми-концентрати для літньої годівлі великої рогатої худоби).

Кормові суміші готують переважно з концентрованих кормів та інших кормових добавок, очищених і подрібнених до необхідної крупності, які готують на

міжгосподарських, колгоспних та радгоспних комбикормових підприємствах для раціональнішого використання зерна, що виділяється господарствами на кормові цілі.

Кормові суміші виробляють в основному для дорослого поголів'я тварин: дійних корів, відгодівлі молодняку великої рогатої худоби, свиней та овець старше чотиримісячного віку.

Поживна цінність кормових сумішей має бути наближена до поживної цінності комбикормів.

Для компонентів, з яких готують кормові суміші, зазвичай не встановлені жорсткі вимоги за показниками якості. При виробництві кормових сумішей широко використовують трав'яне борошно та січку, відходи, садівництва, зернові відходи, побічні продукти харчової промисловості, а також різноманітні добавки із місцевих ресурсів сировини. У кормові суміші для великої рогатої худоби можуть бути введені подрібнена солома, борошно із стрижнів кукурудзяних качанів, кошиків соняшнику та інші відповідним чином підготовлені побічні продукти рослинництва. Для балансування кормових сумішей з мінеральних речовин використовують кухонну сіль, крейду, кормові фосфати, солі мікроелементів.

Балансуючі кормові добавки використовують як доповнювачі до концентрованих або інших кормів для підвищення ефективності основного раціону.

Білково-вітамінні добавки (БВД) є однорідними сумішами подрібнених до необхідної крупності високобілкових кормових засобів і мікродобавок. Рецепти БВД розробляють з урахуванням виду та віку тварин, потреби їх у поживних речовинах, а також вмісту в основних кормах протеїну, вітамінів, амінокислот, мінеральних речовин. Вводять БВС у зернові суміші у кількості від 15 до 25% [21].

Сільському господарству БВС постачають комбикормові заводи. Проте їхнє виробництво може бути організоване і на міжгосподарських комбикормових підприємствах із місцевих сировинних компонентів.

Для заповнення нестачі протеїну в раціонах жуйних тварин виробляють кормові добавки з включенням до них карбаміду та амонійних солей.

Карбамідний концентрат - це кормова добавка, що містить близько 600 г протеїну, що перетравлюється, в 1 кг. Карбамідний концентрат виробляють методом

екструзії. Технологія виробництва добавки полягає у змішуванні 70... 80% подрібненого зерна (кукурудзи, ячменю та ін.) з 15... 25% карбаміду та 5% бентоніту та екструдуванні суміші. Під впливом високої температури (135... 160 °C) та тиску в прес-екструдері карбамід плавиться та обволікається желатинізованим крохмалем зерна.

При згодовуванні такої добавки швидкість розчинення карбаміду в рубці жуйних та гідроліз до аміаку сповільнюються, підвищується ефективність його використання для синтезу бактеріального білка та заповнення дефіциту протеїну в кормовому раціоні.

Карбамідним концентратом можна частково або повністю замінювати макухи, шроти та інші високобілкові корми в комбікормах для молодняку великої рогатої худоби старше шестимісячного віку та ягнят старше тримісячного віку. У комбікорми для молочних корів карбамідний концентрат можна вводити в кількості 5...6%, для великої рогатої худоби на відгодівлі - до 12%.

Премікси - це однорідні суміші подрібнених до необхідної крупності мікродобавок та наповнювача, що використовуються для збагачення комбікормів та білково-вітамінних добавок.

Як наповнювач використовують пшеничні висівки, борошно пшеничне тонкого помелу, кормові дріжджі, соєвий шрот.

Для різних видів тварин і груп тварин виробляють певні премікси. Їх вводять у відповідні комбікорми в кількості 1%, або 10 кг на 1 т. Залежно від введення БВС у комбікорми розраховують норми введення в нього преміксів. Так, наприклад, якщо БВД вводять у зернову суміш у кількості 20 %, то норму введення відповідного преміксу в таку добавку доводять до 5 %, або 50 кг на 1 т БВД.

Виробляють також мінеральні премікси, що є сумішшю з мінеральних кормів, виготовлені за певними рецептами. Мінеральні премікси використовують при виробництві комбікормів та кормових сумішей та додають у кормові раціони тварин безпосередньо на тваринницьких фермах.



## 1.2 Устаткування для сепарування зерна

### Пристрої для очищення збіжжя з рухомим решетом.

Ситові сепаратори на комплектних млинах та крупозаводах встановлюються після першого пневмотранспортного підйому з розвантаженням зерна у пневмосепараторі. У ряді млинів, наприклад, ММБ-700 («Совокрим»), перший підйом зерна (з приймального бункера) здійснюється норією, яка направляє зерно на пристрій, що пневмосепарує, і далі на ситовий сепаратор.

Ситові сепаратори цих установок, як правило, прості за конструкцією і як робочі органи використовують зернові та підсівні грати, видаляючи із зерна великі та дрібні домішки [9, 21].

Як зернові на пшениці використовують решета з круглими отворами діаметром (8-9 мм), а як підсівні - щілинні (1,7x20 мм) і з дрібнішими отворами на житі.

Ситові сепаратори комплектних установок одностипні по ситових корпусах. У той же час способи та механізми сполучення ситових корпусів коливань і характер коливань вкрай різноманітні. Застосовуються ситові сепаратори з поступально-поворотними коливаннями ( $a=4-5$  мм,  $p=400-450$  кол./хв) - млина «Мельінвест»; з круговими коливаннями ( $R = 9$  мм,  $p = 300-320$  кол./хв) - млина АВМ; віброколиваннями ( $a = 6$  мм,  $p = 750-950$  кол./хв) - млина «Совокрим», «Станкінпром» та ін. При цьому вібратори встановлюються або знизу ситового корпусу, або з боків.

Ситовий сепаратор фірми «Совокрим» (рис. 1.1) складається з рами та ситового корпусу, встановленого на пружинах. Коливальний рух ситового корпусу повідомляють два мотор-вібратори. Ситовий корпус має два яруси решіт — зернових та підсівних. Решета у процесі роботи очищаються гумовими кульками. Продуктивність даного сепаратора розрахована на 2-3 т/год.

Недоліками віброситового сепаратора є підвищена металоємність конструкції, так як в сепараторі є чотири решета, масивна рама і корпус, велика енергоємність двох вібраторів, витрачається на рух робочого органу сепаратора з зерновим матеріалом на ньому. Сепаратор вібраційний А1-БСК (рис. 1.1) призначений для виділення із зернової суміші великих, дрібних і легких домішок, а також може бути використаний

для попереднього поділу суміші на велику фракцію, наприклад, при обробці круп'яних культур.

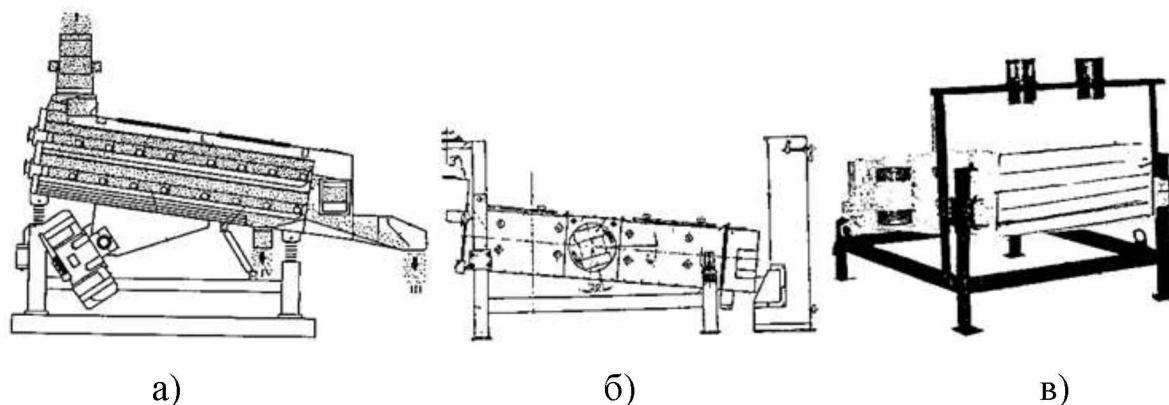


Рисунок 1.1 – Сепаратори зернової маси: а) віброситовий сепаратор «Совокрим»; б) вібраційний сепаратор А1-БСК; в) віброситовий сепаратор БСГМ

Вібраційний сепаратор складається з ситового корпусу, пневмосепаруючого каналу та станини. Подача зерна в ситовий корпус здійснюється пристроєм подачі, а вихід очищеного зерна та відходів - випускним пристроєм. Корпус можна розташовувати під кутом від 0 до 20°.

Робота сепаратора передбачає розділення вихідної зернової суміші на фракції через послідовного пропускання зернової маси через два яруси решіт, що виконують коливальні рухи, і відокремлення легких домішок, і пилу з великої фракції під час проходження її через висхідний потік повітря в сепаруючому каналі. Продуктивність сепаратора 3-5 т/год, технологічна ефективність виділення великих домішок становить 100%, встановлена потужність 0,76 кВт, маса 690 кг.

До недоліків даного вібраційного сепаратора відносяться великі габарити і висока металоємність конструкції, велика енергоємність, так як на даному вібраційному сепараторі стоїть два електровібратори, які приводять в рух робочі органи разом з матеріалом, що сепарується.

Віброситовий сепаратор БСГМ (рис. 1.1) випускається Хорольським механічним заводом спільно з НВО «Агросімомашбуд». Конструкція його аналогічна сепаратор А1-БСК і відрізняється незначними деталями. У даній моделі для покращення розподілу зерна по ширині решета здійснюється в два приймальні патрубки. Сепаратор може комплектуватися пневмосепаруючим каналом. Ситовий

корпус та привід сепаратора аналогічні сепаратору БСК. Продуктивність сепаратора 2-5 т/год., технологічна ефективність виділення великих домішок становить 90-100%, встановлена потужність 0,74 кВт, маса 690 кг.

Недоліками даного віброситового сепаратора є великі габарити, як наслідок, висока металоємність конструкції, підвищена енергоємність сепаратора.

Камневідбірні машини вібропневматичного типу з повітряно-флотаційним принципом дії на комплектних млинах, особливо останніх моделей, набувають все більш широкого застосування. Ці машини зарекомендували себе найбільш ефективними на операціях очищення зерна від каменів і мінеральних домішок [2, 6, 12].

За технологією на комплектних млинах камневідбірники встановлюються після ситових сепараторів, однак у разі застосування комбінованих зерноочисних машин такий варіант реалізувати важко, хоча і можливо, направивши зерно замість трієра на відбірник каміння, а потім повернувши його в трієр. Використовують простіше рішення, встановивши камневідбірник після першого обійного проходу. І хоча це не найкраще рішення, каміння та мінеральні домішки краще відібрати до обробки зерна в трієрі та обій машині, на деяких млинах з міркувань більш раціонального компонування воно застосовується.

Фірми «Мельінвест» та «Совокрим» випускають два типорозміри камневідбірників продуктивністю 1,0 та 2,0-3,0 т/год моделей КО-1 та КО-2 (рис. 1.2). Камневідбірники застосовуються на млинах невеликої потужності і призначені для відокремлення зерна від органічних і мінеральних домішок (дрібної гальки, шматочків вугілля, руди, землі, великого піску тощо), які можуть бути легшими або важчими за зерно, але практично не відрізняються за розмірами та аеродинамічних властивостей.

При розміщенні зернової маси на похилій поверхні для сортування, крізь неї продувається повітря, що разом з одночасним задіюванням вібраційного механізму призводить до утворення розпушеного шару маси зерна. Такий шар сприяє створенню умов для ефективного сортування різних складових маси: більш важкі фракції

опускаються донизу на поверхню сортування, а легкі домішки мігрують до верхній шарів.

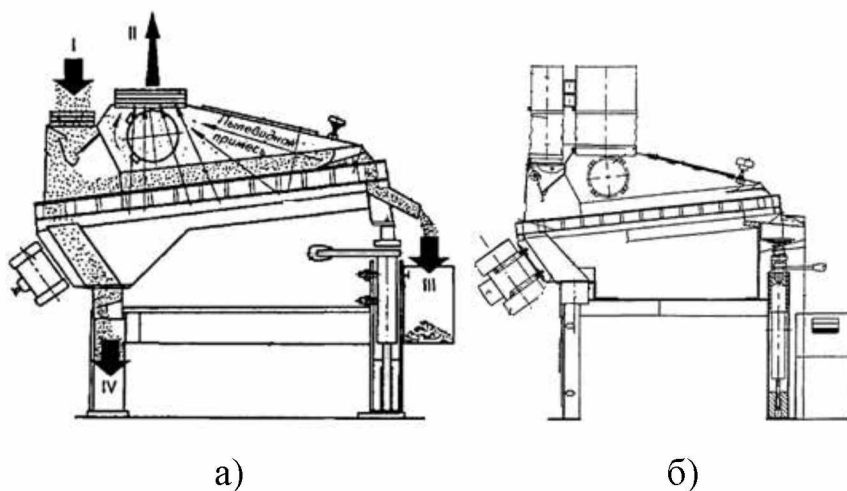


Рисунок 1.2 – Каменевідбірники: а) каменевідбірник КО-1; б) каменевідбірник КО-2

У розшарованій таким чином суміші здійснюється вібраційне переміщення різних компонентів у різні напрямки.

Переміщення до верху створюється за рахунок поєднання кінематичних параметрів, кута нахилу та коефіцієнту тертя поверхня для сортування та навантаженим зерном.

Таблиця 1.2 - Технічні характеристики каменевідбірників КО

| Показник                               | Модель  |         |
|----------------------------------------|---------|---------|
|                                        | КО-1    | КО-2    |
| Продуктивність, т/ч                    | 1,0     | 2,0-3,0 |
| Площа решета, м <sup>2</sup>           | 0,32    | 0,53    |
| Кут нахилу деки, град.                 | 6-7     | 6-7     |
| Кількість електровібраторів, шт.       | 2       | 2       |
| Потужність двох електровібраторів, кВт | 2x0,185 | 2x0,185 |
| Габарити, мм:                          |         |         |
| довжина                                | 1300    | 1260    |
| ширина                                 | 500     | 890     |
| висота                                 | 800     | 1420    |

Недоліками розглянутих каменевідбірників є великі габарити і, як наслідок, висока металомісткість конструкції.

Камневідбірник А1-БММ/6 виробництва «Мельінвест» для комплектних млинів продуктивністю 25-30 т/год. Його конструкція та призначення аналогічні раніше розглянутим камневідбірника типу КО.

Регулювання повітряного та кінематичного режимів здійснюється аналогічно камневідбірникам КО. Порівняно з камневідбірниками КО А1-БММ/6 має меншу частоту коливань (575 проти 900), зате більш ніж удвічі більшу амплітуду коливань (7 проти 2,5). Камневідбірник застосовується в основному в комплектних млинах "Мельінвест". Він відрізняється компактністю, невеликими габаритами та забезпечує необхідну технологічну ефективність. Дещо велика маса камневідбірника - 230 кг (проти 120 кг - КО-1).

До недоліків розглянутого камневідбірника відносяться громіздкість конструкції, великі габарити та підвищена металомісткість, низька ефективність виділення мінеральних домішок та великі втрати зерна у відходи.

### **Класифікація пристроїв для очищення зерна з нерухомим решетом**

Для сепарування сипучих продуктів застосовуються нерухомі ґрати. При транспортуванні зернових продуктів шнековими транспортерами можливе їхнє очищення без додаткових витрат електроенергії. Для цього фірмою CanAgro (Німеччина) була розроблена комбінація гвинтового конвеєра з вбудованим решетом [1], яке дозволяє виділяти дрібні домішки. Проблема очищення цього решета вирішена в циліндричному сепараторі Kwik Kleen (Австралія) [1, 2], де на внутрішньому шнеку встановлені щітки, що сприяють меншому травмуванню зерна. У конструкції нормалізатора вороха [2] застосовано щілинне решето виділення великих домішок при транспортуванні зернової суміші. Використання нерухомих решіт, як правило, веде до спрощення конструкції. Найбільшого поширення набули гравітаційні сепаратори з нерухомим решетом. Промисловістю випускаються сепаратори КСМК-1, ДСК-1 та інші. З середини 90-х років для очищення зернових культур від великих та дрібних домішок у сільськогосподарських підприємствах використовується розроблений у ВІМ гравітаційний сепаратор СЗГ-25 продуктивністю 25 т/год та його модифікації [2]. У даній конструкції використовуються плоскі гребінки, що просіюють. Інтенсифікувати процес сепарації

на гребінках з клиноподібними отворами можливо за допомогою застосування увігнутого у вертикальній площині решета [2].

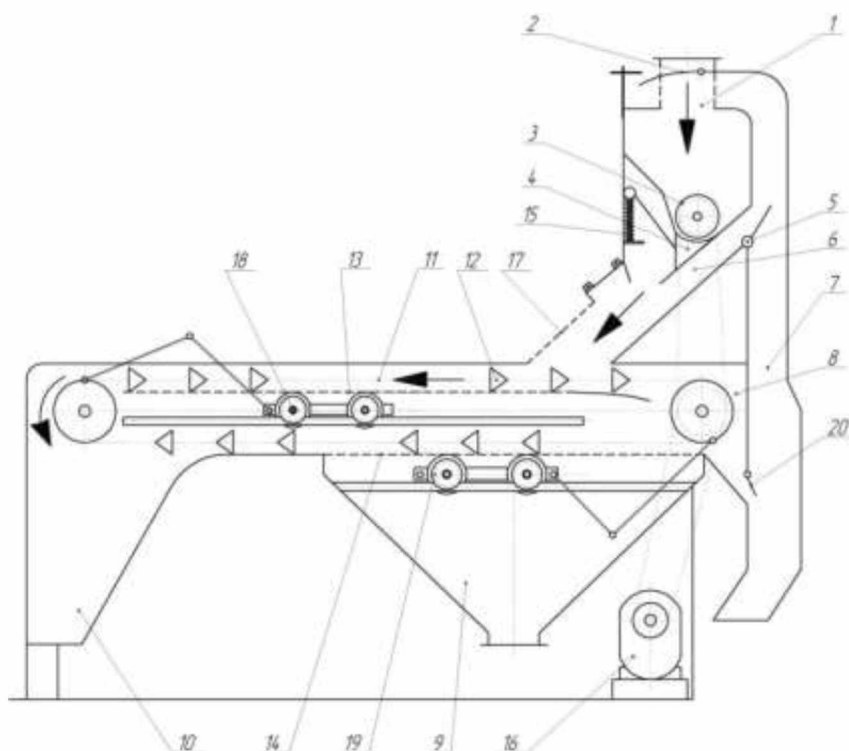


Рисунок 1.3 – Машина попереднього очищення ЗМП-60 (Болгарія):

- 1 - приймальний пристрій; 2 – клапан регулювання швидкості повітряного потоку у загальному аспіраційному каналі; 3 – розподільний шнек;  
4 – рухоме дно шнека; 5 – клапан регулювання швидкості повітряного потоку у другому каналі; 6 – перший аспіраційний канал; 7 – другий аспіраційний канал; 8 – нерухомий решітний стан; 9 – приймач підсівної фракції; 10 – приймач великих домішок; 11 – пластинчастий транспортер; 12 – зернове решето; 13 - підсівне решето; 14 – регулювальні пружини.

Поєднання функції сепарування та транспортування застосовано у сепараторі СВТ-2 та роботах [6]. Тут використовується вертикальне циліндричне решето з клиноподібними отворами. Просіюючі струнні конуси [6, 12] дозволяють реалізувати каскадну систему очищення та зменшити габаритні розміри гравітаційного сепаратора. Використання нерухомих решіт в сепараторах дозволяє також змінювати розмір отворів [14], що істотно полегшує перехід з одного продукту, що сепарується, на інший. На особливу увагу заслуговує сепарування на плоскому нерухомому решеті

із застосуванням нескінченного пластинчастого транспортера, реалізованого в машині ЗМП-60 виробництва Болгарії [2] (рис. 1.3).

Технологічний процес сепарації протікає в такий спосіб. Зерновий матеріал подається до приймального пристрою, де розподільним шнеком рівномірно розподіляється по ширині машини. Рухоме дно у певний момент відкривається і підтримує задану продуктивність залежно від положення регулювальних пружин. Зерновий матеріал рівномірним потоком надходить у перший аспіраційний канал, де виділяються легкі домішки. Далі зерновий матеріал надходить початку зернового решета, де сходом йдуть великі домішки, які у приймач великих домішок. Основна культура, що містить підсівну фракцію, йде проходом із зернового решета і надходить на підсівне решето, де відбувається виділення підсівної фракції. Другий аспіраційний канал служить виділення щуплого зерна.

### **1.3 Висновки до першого розділу**

Проведений огляд сепараторів очищення фуражного зерна, що застосовуються у борошномельному та комбікормовому виробництві, з урахуванням вимог, що пред'являються до них, дозволяє зробити наступні висновки:

1. Комбікорми та кормові добавки повинні відповідати ДСТУ або технічним умовам, у зв'язку з цим постає питання про якісне очищення компонентів, що надходять на виробництво комбікорму.

2. Проведений аналіз малогабаритних комбікормових агрегатів показав, що очищення вихідного фуражного зерна є у технологічному процесі всіх без винятку агрегатів.

3. Відомі в даний час сепаратори не відповідають вимогам, що пред'являються до них, тому постає питання про необхідність удосконалення конструкції в напрямку зниження енергоємності, металомісткості, підвищення якості очищення та зменшення втрат зерна у відходи.

## **2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **2.1 Програма експериментальних досліджень**

Експериментальні дослідження проводяться з метою обґрунтування параметрів об'єкта досліджень, а також виявлення загальних закономірностей робочого процесу.

Етапи проведення експериментальних досліджень:

Перший етап – розробка програм та методики, що підвищують ефективність експериментальних досліджень за мінімальних витрат часу; вибір залежних змінних, які підлягають дослідженню; вибір якісних та кількісних рівнів досліджуваних критеріїв оптимізації та побудова математичної моделі досліджуваного процесу.

Другий етап – виготовлення експериментальної установки; підготовка вимірювальної апаратури; проведення експериментальних досліджень та математична обробка отриманих даних; зіставлення результатів експериментальних досліджень із теоретичними викладками; коригування математичної моделі та при необхідності проведення додаткових експериментів.

Усі етапи безпосередньо пов'язані з підготовчою та теоретичною частинами роботи. Підготовча частина включає збирання, вивчення та аналіз наявної інформації, визначення можливих напрямів досліджень; а теоретична - розрахунок, моделювання основних процесів досліджень та розробка робочих гіпотез.

Програмою експериментальних досліджень передбачається вирішити такі завдання:

1. Виявити чинники, які найбільше впливають на робочий процес сепарування.
2. Дослідити вплив конструктивних та кінематичних параметрів сепаратора.
3. Визначити раціональні параметри та режими роботи сепаратора.

### **2.2 Опис експериментальної установки та обґрунтування її параметрів**

З метою вивчення процесу просіювання було розроблено та виготовлено лабораторну установку. Її схема наведена на рисунку 2.1, а загальний вигляд показаний на рисунку 2.2.



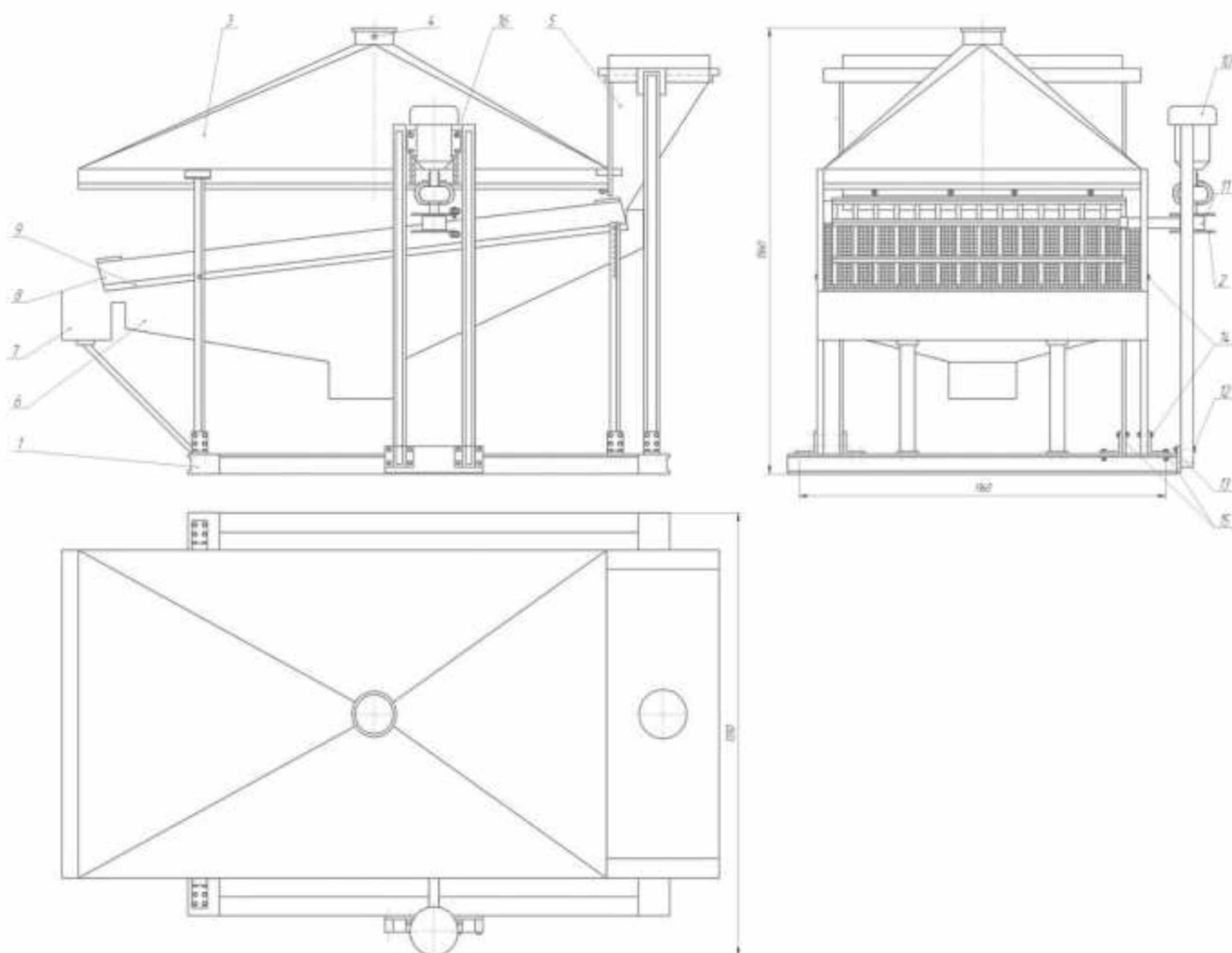


Рисунок 2.1 – Схема експериментальної установки:

1 – рама; 2 – віброзбудник; 3 – витяжний зонд; 4 – клапан для регулювання повітряного режиму; 5 – бункер вихідного матеріалу; 6 – збірка очищеного зерна; 7 – збірка домішок; 8 – набір паралельних планок; 9 – решето; 10 – електродвигун.

Під час розробки експериментальної установки, згідно з програмою експериментальних досліджень, до неї пред'являлися такі вимоги.

1. Простота конструкції, можливість швидкого розбирання та складання основних вузлів.

2. Можливість регулювання чинників у межах.

3. Стійкість режимів роботи та стабільність вихідних параметрів.

Сепаратор очищення фуражного зерна (рис. 2.1, 2.2) містить раму 1, віброзбудник 2, витяжну парасольку 3, клапан для регулювання повітряного режиму 4, набір паралельних планок 8, бункер вихідного матеріалу 5, решета 9. Під решетом

розташований збірник очищення, збірник домішок 7. На зовнішній стороні корпусу встановлено електродвигун 10.

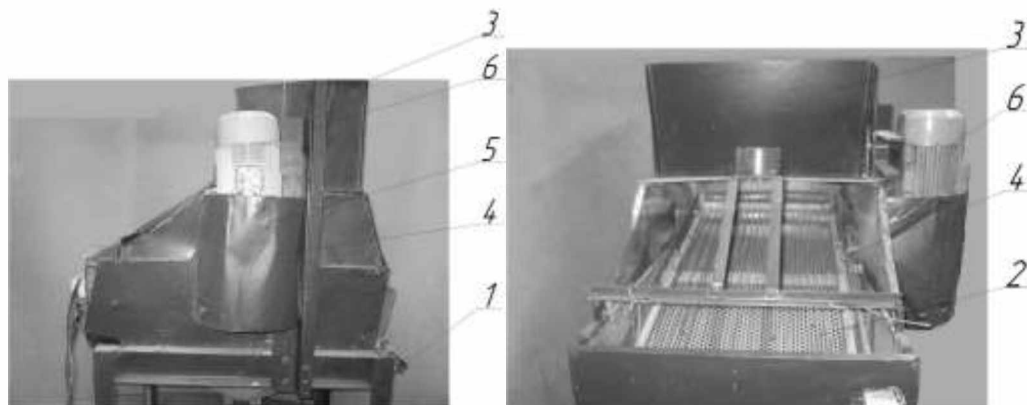


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд експериментальної установки:

1 – рама; 2 – решето; 3 – бункер вихідного матеріалу; 4 – шатун; 5 – вібропривід; 6 – електродвигун.

Пристрій для очищення фуражного зерна працює в такий спосіб.

У бункер 3 засипається зерновий матеріал з різними сторонніми домішками.

Прокидаючись через нижній отвір бункера 3, яке розташоване майже по всій довжині решітного стану 2, матеріал потрапляє на нерухоме решето 2, яке жорстко пов'язане з рамою 1 сепаратора. Зерновий матеріал з різними сторонніми домішками наводиться в рух набором з'єднаних між собою паралельних планок, які у свою чергу наводяться в рух шатуном 4 віброприводи 5. Зерновий матеріал з різними сторонніми домішками здійснює при цьому поступальні рухи по нерухомому решету 2 у напрямку сходу домішок. Внаслідок цього очищене зерно, яке просіялося через нерухоме решето 2, потрапляє до збірки фракцій.

Домішки та зерно, що застрягли в нерухомому решеті 2, видаляються набором з'єднаних між собою паралельних планок. Домішки та сторонній матеріал здійснюють рух у всьому решеті у бік сходу домішок.

### **2.3 Прилади та обладнання, що застосовуються під час експериментальних дослідженнях**

Під час проведення експериментальних досліджень сепаратора вимірювалися і визначалися такі параметри:

1.  $a$  - амплітуда коливань робочого органу, м;
2.  $\omega$  - кутова частота коливань,  $\text{с}^{-1}$ ;
3.  $\alpha$ -кут нахилу решета, град;
4.  $C_0$  - засміченість вихідної зернової суміші, %;
5.  $\epsilon$ ,  $\Pi$  – ефективність виділення зернової домішки та втрати зерна у відходи;
6.  $m_r$ ,  $m_{д.б.}$  - маса гальки та маса дерев'яних брусків;
7.  $Q$  – подача зернової суміші, кг/с.

Привід шатуна з планками здійснюється за допомогою асинхронного електродвигуна змінної напруги тип А108А4У3 С1 потужністю 11 кВт з частотою обертання  $1390 \text{ хв}^{-1} \cos\varphi 0,81$ .

Сепарування зернового матеріалу здійснюється завдяки набору паралельних планок (рис. 2.3), які розташовані вздовж руху фуражного зерна і нахилені під кутом спрямовуючого решета. Крок між пластинами змінювався в межах від 15 мм до 35 мм. Довжина пластин становить 86 мм, висота пластин змінювалася від 10 мм до 30 мм.



Рисунок 2.3 – Набір паралельних планок

Визначення втрат зерна у відходи та виділених грубих домішок здійснювалося за допомогою вимірювального приладу (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Лабораторні електронні ваги MW-300T

У дослідях потужність реєструвалася за допомогою вимірювального комплексу К-50.

Для визначення вологості зернового матеріалу використовувався прилад – експрес-аналізатор спектрофотометр дифузного відображення інфрачервоний «Спектр ІТ», принцип роботи якого заснований на кореляції між ІЧ-спектром дифузного відображення та змістом аналізованого комплексу. Похибка виміру не перевищувала 0,2%.

Об'ємна вага зернового матеріалу визначалася за допомогою літрової пурки ПХ-1.

Частота обертання електродвигуна змінювалася за допомогою перетворювача частоти електричного струму (рис. 2.5) MITSUBISHI E500 FR-PA02-02, включеного в електричний ланцюг разом із системою пуску та захисту двигуна.



Рисунок 2.5 – Перетворювач частоти електричного струму

Використання даного засобу дозволить достатньо гнучко змінювати швидкість обертання основного привідного валу сепаратора.

## **2.4 Характеристика зернового матеріалу**

З літературних джерел та власних досліджень нами було встановлено, що максимальний розмір отворів решіт для попереднього сепарування зернового матеріалу, при приготуванні комбікорму, становить 10 мм.

Як засмічувач використовували мінеральну (галька – сход з решета з отворами 2 мм) та органічну домішку (дерев'яні брусочки довжиною >50 мм). Засміченість вихідної зернової суміші змінювалася від 1 до 5% мінеральної та від 2 до 6% органічної домішок.

Вологість зерна зберігалася постійною весь період експериментів, а необхідне значення вологості забезпечувалося з допомогою штучного зволоження. При цьому рівномірність розподілу вологи по всьому зерновому матеріалу досягалася витриманням протягом 48 годин, перемішування матеріалу проводилося кожні 12 годин.

## **2.5 Методика проведення досвіду**

Порядок проведення експериментальних досліджень у кожному випадку залишався одним і тим самим і полягав у наступному:

1. На експериментальній установці встановлювалися необхідні значення досліджуваних та фіксованих параметрів.
2. Готувалась вихідна зернова суміш масою 20 кг.
3. Під збірки фракцій підшивали мішки.
4. Вмикалася установка та відкривалася на необхідну величину шиберна заслінка для забезпечення заданої подачі матеріалу.
5. Після сепарування проводився аналіз та зважування матеріалу.
6. Усі отримані дані дослідів заносилися до журналу спостережень та здійснювалася обробка результатів.

7. Після проведення досвіду зернова суміш піддавалася очищенню від домішок за допомогою набору решіт з різними отворами.

Досліди проводилися у триразовій повторності. Як показали попередні експерименти, відхилення за повтореннями відрізняються не більше, ніж на 5%.

Після проведення досвіду та запису отриманих результатів до журналу спостережень, далі відбувалася зміна регульованого параметра та досліди тривали.

## 2.6 Порядок проведення відсіваючого експерименту

Експериментальні дослідження проводили у лабораторних умовах. Як контрольним компонентом було прийнято фуражне зерно пшениці. Як домішки використовували мінеральна (галька  $>6$  мм) і органічні (дерев'яні бруски  $>50$  мм) домішки.

З аналізу літературних джерел та власних досліджень були виявлені параметри, що впливають на процес сепарування.

Вихідними критеріями ефективності прийняли ефективність виділення бур'янистої домішки ( $\epsilon$ ) та втрати зерна у відходи ( $\Pi$ ).

Рівні варіювання факторів та їх кодовані значення для проведення відсіваючого експерименту представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Рівні факторів та інтервали варіювання

| Позначення | Найменування факторів                                                        | Значення              |                      |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|
|            |                                                                              | -1                    | +1                   |
| 1          | 2                                                                            | 3                     | 4                    |
| $X_1$      | $\frac{a\omega^2}{g}$ - коефіцієнт перевантаження                            | 0,52                  | 14,8                 |
| $X_2$      | $\frac{h_{\text{ви}} a \omega}{\nu}$ - вібраційний аналог числа Рейнольдса   | $0,035 \cdot 10^{-3}$ | $0,95 \cdot 10^{-3}$ |
| $X_3$      | $\frac{Q}{a^3 \omega \rho}$ - безрозмірний фактор подачі зернового матеріалу | 867                   | 4320                 |

Продовження таблиці 2.1

| 1                                                  | 2                                      | 3     | 4     |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------|-------|-------|
| X <sub>4</sub>                                     | $\frac{L}{h_{nl}}$ - масштабний фактор | 46,5  | 2840  |
| X <sub>5</sub>                                     | $\frac{h_{nl}}{b}$ - масштабний фактор | 0,677 | 0,867 |
| X <sub>6</sub>                                     | $\frac{L}{b}$ - масштабний фактор      | 30,43 | 2453  |
| X <sub>7</sub>                                     | $\alpha$ – кут нахилу решета           | 5     | 25    |
| X <sub>8</sub>                                     | C <sub>0</sub> Галька, %               | 1     | 5     |
|                                                    | Довгі частинки >0.05 м, %              | 2     | 6     |
| X <sub>9</sub> , X <sub>10</sub> , X <sub>11</sub> | Фіктивний фактор                       |       |       |

Для проведення відсіваючого експерименту скористалися планом Плакетта-Бермана [22] поданого у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2– Матриця експерименту, що відсіває, за планом Плакетта-Бермана

| ФАКТОРИ |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| №       | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | X10 | X11 |
| 1       | +  | +  | -  | +  | +  | +  | -  | -  | -  | +   | -   |
| 2       | -  | +  | +  | -  | +  | +  | +  | -  | -  | -   | +   |
| 3       | +  | -  | +  | +  | -  | +  | +  | +  | -  | -   | -   |
| 4       | -  | +  | -  | +  | +  | -  | +  | +  | +  | -   | -   |
| 5       | -  | -  | +  | -  | +  | +  | -  | +  | +  | +   | -   |
| 6       | -  | -  | -  | +  | -  | +  | +  | -  | +  | +   | +   |
| 7       | +  | -  | -  | -  | +  | -  | +  | +  | -  | +   | +   |
| 8       | +  | +  | -  | -  | -  | +  | -  | +  | +  | -   | +   |
| 9       | +  | +  | +  | -  | -  | -  | +  | -  | +  | +   | -   |
| 10      | -  | +  | +  | +  | -  | -  | -  | +  | -  | +   | +   |
| 11      | +  | -  | +  | +  | +  | -  | -  | -  | +  | -   | +   |
| 12      | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -   | -   |

Ми маємо вісім факторів, що підлягають дослідженню, додамо до них три фіктивного фактора, отримаємо план-матрицю для одинадцяти факторів, в якій буде дванадцять дослідів.

Наявність фіктивних факторів дозволяє оцінити дисперсію помилок спостережень, ефекти цих фіктивних факторів дорівнюватимуть нулю тільки в тих випадках, якщо немає взаємодій між факторами та вимірюванням є абсолютно точними.

Величина коефіцієнтів значущості факторів у відсіваючому експерименті розраховується за формулою [26]:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_{iu}}{N}, \quad (2.1)$$

де  $b_i$  - коефіцієнт значимості фактору,

$x_{iu}$  - значення рівня факторів, що відповідає  $i$ -му стовпцю та  $u$ -му рядку матриці планування;

$\bar{y}_{iu}$  - середнє значення критерію оптимізації в  $u$ -му рядку матриці планування;

$N$  - число рядків плану.

Перевірка адекватності коефіцієнтів значимості факторів проводиться за формулою [26]:

$$S_y^2 = \frac{N \sum_{j=1}^{N-k-1} b_j^2}{N - k - 1}, \quad (2.2)$$

де  $b_j$  - коефіцієнт регресії при  $j$ -му фіктивному фактору.

Дисперсії оцінок коефіцієнтів значимості [26]:

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{N}, \quad (2.3)$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів значимості факторів [26]:

$$\Delta b_i = t_{\alpha f_1} \times S_{b_i}, \quad (2.4)$$

де  $t_{\alpha f_1}$  - критерій Стюдента для рівня значимості  $\alpha=0,95$  та числа вільності  $f_1$

Коефіцієнт значущий, якщо виконується нерівність [26]:



$$|b_i| \geq \Delta b_i. \quad (2.5)$$

За допомогою отриманих даних у Microsoft Office Excel 2003 [19] були розраховані коефіцієнти регресії. Деякі з коефіцієнтів виявились статистично незначущими і вони були виключені з моделі.

## 2.7 Методика проведення основного експерименту

Після проведення відсівного експерименту та призначення значущих фактори провели основний експеримент.

Наявні апріорні дані дозволили вибрати інтервали варіювання факторів з таким розрахунком, щоб охопити найважливішу, з нашої точки зору, зону експерименту (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Фактори та інтервали варіювання

| Позначення     | Найменування факторів                                                      | Значення |      |      |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------|----------|------|------|
|                |                                                                            | -1       | 0    | +1   |
| X <sub>1</sub> | $\frac{h_{nl}}{b}$ - масштабний фактор                                     | 0,67     | 0,8  | 2840 |
| X <sub>2</sub> | $\frac{a\omega^2}{g}$ - коефіцієнт перевантаження                          | 0,52     | 1,01 | 14,8 |
| X <sub>3</sub> | $\alpha$ , град                                                            | 5        | 15   | 25   |
| X <sub>5</sub> | $\frac{Q}{a^3\omega\rho}$ - безрозмірний фактор подачі зернового матеріалу | 1        | 3    | 4320 |
| X <sub>4</sub> | C <sub>0</sub> Мінеральні домішки, %                                       | 2        | 4    | 5    |
|                | Органічні домішки, %                                                       | 867      | 2588 | 6    |

Істотними факторами процесу очищення фуражного зерна від домішок є критерії подібності:  $\frac{a\omega^2}{g}$  – коефіцієнт перевантаження, - масштабний фактор,  $\alpha$  – кут нахилу решета, C<sub>0</sub> – засміченість вихідної зернової суміші,  $\frac{Q}{a^3\omega\rho}$  - безрозмірний фактор подачі зернових матеріалів.

Як критерії оптимізації були прийняті:

- ефективність виділення мінеральних домішок  $\varepsilon_1\%$ ;
- ефективність виділення органічних домішок  $\varepsilon_2\%$ ;
- втрати зерна у відходи П, %;
- питома енергоємність робочого процесу  $N_{\text{пит}}$ , кВт·год/т.

Аналіз літературних джерел та попередніх досліджень, показав, що в прийнятому факторному просторі потрібні функції відгуку можуть описуватися поліноміальними рівняннями другого порядку [3, 19, 22]. Для експериментальних досліджень було використано методику планування експерименту із застосуванням симетричного композиційного плану другого порядку типу  $B_k$  близький до  $D$  - оптимального плану [22].

Таблиця 2.4 – Робоча матриця планування по плану  $B_5$

| №  | X1 ( $h_{\text{пл}}/b$ ) | X2( $a\omega^2/g$ ) | X3( $\alpha$ ) | X4(C) | X5( $Q/a^3\omega\rho$ ) |
|----|--------------------------|---------------------|----------------|-------|-------------------------|
| 1  | +                        | +                   | +              | +     | +                       |
| 2  | -                        | +                   | +              | +     | -                       |
| 3  | +                        | -                   | +              | +     | -                       |
| 4  | -                        | -                   | +              | +     | +                       |
| 5  | +                        | +                   | -              | +     | -                       |
| 6  | -                        | +                   | -              | +     | +                       |
| 7  | +                        | -                   | -              | +     | +                       |
| 8  | -                        | -                   | -              | +     | -                       |
| 9  | +                        | +                   | +              | -     | -                       |
| 10 | -                        | +                   | +              | -     | +                       |
| 11 | +                        | -                   | +              | -     | +                       |
| 12 | -                        | -                   | +              | -     | -                       |
| 13 | +                        | +                   | -              | -     | +                       |
| 14 | -                        | +                   | -              | -     | -                       |
| 15 | +                        | -                   | -              | -     | -                       |
| 16 | -                        | -                   | -              | -     | +                       |
| 17 | +                        | 0                   | 0              | 0     | 0                       |
| 18 | -                        | 0                   | 0              | 0     | 0                       |
| 19 | 0                        | +                   | 0              | 0     | 0                       |
| 20 | 0                        | -                   | 0              | 0     | 0                       |
| 21 | 0                        | 0                   | +              | 0     | 0                       |
| 22 | 0                        | 0                   | -              | 0     | 0                       |
| 23 | 0                        | 0                   | 0              | +     | 0                       |
| 24 | 0                        | 0                   | 0              | -     | 0                       |
| 25 | 0                        | 0                   | 0              | 0     | +                       |

Після проведення експерименту планується отримання апроксимованого рівняння типу:

$$y = b_o + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 \quad (2.6)$$

Для виключення систематичних похибок, що викликані зовнішніми вимогами при проведенні експерименту, здійснювалась проведення дослідів рандомним чином. Кількість повторів кожного дослідів при проведенні багатofакторного експерименту за нижче приведеною формулою з вірогідністю 0,95:

$$n = \frac{S_y^2}{0.05 \tau^2}, \quad (2.7)$$

де  $S_y$  – середнє квадратичне відхилення;

$\tau$  – величина, що складає 5% від середнього значення  $y$ ;

$\bar{y}$  – середнє арифметичне.

За результатами розрахунків кількість повторів кожного дослідів прийнято рівним чотирьом.

Для кожного дослідів розраховується дисперсія:

$$S_{y_u}^2 = \frac{\sum_{g=1}^n (y_{ug} - \bar{y}_u)^2}{n-1}, \quad (2.8)$$

де  $y_{ug}$  – результат  $g$ -ого повтору;

$\bar{y}_u$  - середнє арифметичне  $u$ -ого повтору.

Для визначення можливості проведення регресійного аналізу розраховують однорідність дисперсій паралельного дослідів за критерієм Кохрена:

$$G^{розр} = \frac{\max S_{y_u}^2}{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2}, \quad (2.9)$$

де  $\max S_{y_u}^2$  - найбільша у ряду дисперсія.

Розрахункове значення критерію  $G_{розр}$  порівнюємо зі значенням критерію Кохрена, узятим з таблиці [22] в залежності від рівня значущості, числа ступенів

свободи  $f = n - 1$  і числа дослідів. Ряд дисперсій вважається однорідним, якщо  $G_{розр} < G_{табл}$  [3].

Дисперсія відтворюваності розраховується:

$$S_{y_u}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2}{N} \quad (2.10)$$

де  $N$  - число незалежних дослідів.

Проведення експерименту з використанням ортогонального симетричного композиційного плану передбачає отримання спочатку моделі процесу виду [3]:

$$y = b'_o + \sum_{i=1} b_i x_i + \sum_{i \leq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1} b_{ii} x_i^2 \quad (2.11)$$

Оцінки коефіцієнтів моделі (2.22) визначають незалежно один від одного за формулами [3]:

$$b'_o = \frac{\sum_{u=1}^N n_u \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u}, \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu}^2}, \quad (2.12)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u^2}, \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^N n_u x'_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u x'^2_{iu}}. \quad (2.13)$$

де  $u$  – порядковий номер дослідів.

Дисперсії оцінок коефіцієнтів розраховують:

$$S_{b'_o}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u}, \quad S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu}^2}, \quad (2.14)$$

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u^2}, \quad S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u x'^2_{iu}}. \quad (2.15)$$

Після розрахунку коефіцієнтів рівняння регресії, проводиться їх перевірка на статистичну значущість.

Довірчий інтервал розраховується:

$$\Delta b_i = t_{\alpha; f_1} S_{b_i}, \quad (2.16)$$

де  $t$  - критерій Стюдента, береться з таблиць [3] в залежності від рівня значущості і числа ступенів свободи  $f_1$ ;

$S_{b_i}$  - середнє квадратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії.

Потім визначається значимість коефіцієнтів. Коефіцієнт вважається статистично значимим, коли його абсолютна величина більше довірчому інтервалу чи дорівнює йому:

$$|b_i| \geq \Delta b_i. \quad (2.17)$$

При ортогональному плануванні значимі коефіцієнти з моделі можуть бути виключені, при цьому перерахунок інших коефіцієнтів не потрібно.

Після розрахунку коефіцієнтів і перевірки їх статистичної значущості від моделі (2.22) переходять до моделі (2.17), розраховавши значення  $b_o$

$$b_o = b'_o - \lambda_2 \sum_{i=1}^k b_{ii}, \quad (2.18)$$

$$\lambda_2 = N^{-1} \sum_{u=1}^N x_{iu}^2. \quad (2.19)$$

Оскільки коефіцієнти  $b_o$  і  $b_{ii}$  оцінені незалежно один від одного, дисперсія  $S_{b_o}^2$  визначається за законом накопичення помилок:

$$S_{b_o}^2 = S_{b'_o}^2 + \lambda_2^2 \sum_{i=1}^k S_{b_{ii}}^2. \quad (2.20)$$

Перевірку отриманої моделі на адекватність здійснюють за допомогою критерію Фішера за формулами

Значимість коефіцієнтів регресії визначається за  $t$ -критерієм, при чому статистично значимі є коефіцієнти, що визначаються з умови:

$$|b_i| \geq t_{kp} \cdot S_{b_i}. \quad (2.21)$$

Потім необхідно перевірити гіпотезу про адекватність моделі.

Перевірка отриманої лінійної моделі на адекватність здійснюється за критерієм Фішера. Дане значення визначається за формулою:

$$F_{f_2; f_1}^{розр} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}, \quad (2.22)$$

$$f_2 = N - k', \quad (2.23)$$

де  $k'$  - кількість вагомих коефіцієнтів апроксимованого рівняння;

$N$  – кількість дослідів плану;

$$f_2 = N(n-1), \quad (2.24)$$

$N$  – кількість повторів кожного дослідів;

$S_{неад}^2$  - дисперсія неоднозначності.

$$S_{неад}^2 = \frac{SS_{неад}}{f_2}, \quad (2.25)$$

$$SS_{неад} = n \sum_{i=1}^N \left( y_{u_{розр.}} - \bar{y}_{u_{експ}} \right)^2, \quad (2.26)$$

де  $y_{уирасч}$ ,  $y_{уексп}$  – значення відклику в  $i$ -тому досліді, відповідно, розрахованого за рівнянням регресії та визначене експериментально.

Гіпотеза про адекватність рівняння може бути прийнята лише тоді, коли отримане при проведенні розрахунків значення критерію Фішера не перевищує табличного значення для вибраного рівня достовірності, тобто  $F_{табл.} \geq F_{розр.}$

Після обробки даних та отримання математичних моделей процесу будували двомірні поверхні відгуку з різними варіантами значень факторів. З їхнього аналізу визначалися оптимальні значення конструктивно-режимних параметрів установки для сепарування фуражного зерна. Побудову поверхонь відгуку проводили за допомогою програми MathCAD.

Зважаючи на те, що найбільш значне зменшення середньоквадратичної помилки відбувається при збільшенні числа повтору до трьох, то при проведенні основного експерименту обмежуємося трьома повторами кожного дослідів.

Отримані дані експериментальних досліджень дозволяють надалі, при аналізі, доповнити та розширити інформацію, отриману про процесі теоретичних досліджень.

## **2.8 Висновки до другого розділу**

1. Розроблений програму та алгоритми проведення експериментальних досліджень, що передбачало дослідження процесу сепарації зерна злакових культур.

2. У відповідності до програми досліджень для досягнення поставленої мети необхідно здійснити визначення якості процесу сепарації при змінні конструктивних та режимних параметрів роботи сепаратора з встановленням оптимальних параметрів його роботи.

3. Розроблена і виготовлена лабораторна установка, що реалізує процес сепарації.

### 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Ефективність виділення мінеральних домішок

Для проведення основного експерименту використовували поєднання п'яти факторів, обраних та обґрунтованих у розділі 2, це

$\frac{h_{ml}}{b}$  - масштабний фактор ( $X_1$ );

$\frac{a\omega^2}{g}$  - коефіцієнт перевантаження ( $X_2$ );

$\alpha$  – кут нахилу решета ( $X_3$ );

$C_o$  – засміченість вихідної зернової суміші ( $X_4$ );

$\frac{Q}{a^3\omega\rho}$  - безрозмірний фактор подачі зернового матеріалу ( $X_5$ );

Отримані експериментальні дані описували за допомогою рівняння регресії у вигляді полінома другого ступеня

$$y = b'_o + \sum_{i=1} b_i x_i + \sum_{i \leq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1} b_{ii} x_i^2$$

При порівнянні коефіцієнтів рівняння регресії з критичними значеннями використовували метод виключення незначних квадратичних ефектів [84].

Після виключення останніх коефіцієнти  $b_{ii}$ ,  $b_0$  та їх дисперсії  $S_{bi}^2$  перераховували.

Значимі коефіцієнти представлені таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Значення значущих коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм оптимізації  $\varepsilon$

| Культура | Значимі коефіцієнти рівняння регресії |       |       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|---------------------------------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | $b_0$                                 | $b_3$ | $b_4$ | $b_{13}$ | $b_{14}$ | $b_{15}$ | $b_{24}$ | $b_{25}$ | $b_{22}$ | $b_{33}$ | $b_{44}$ | $b_{55}$ |
| Пшеница  | 88,79                                 | 2,4   | -     | 2,41     | -        | -        | -        | -2,54    | 6,28     | -        | -15,4    | 6,3      |

Рівняння регресії за критерієм оптимізації - ефективність виділення мінеральних домішок при кодованому значенні факторів має вигляд:

$$Y = 89.78 + 2.4X_3 + 2.42X_1X_3 - 2.55X_2X_5 + 7.29X_2^2 - 16.4X_4^2 + 6.3X_5^2 \quad (3.1)$$



Перевірка отриманої регресійної моделі на адекватність за критерієм Фішера, показала, що  $F_{\text{розр.}} < F_{\text{табл.}}$ , отже, представлена математична модель адекватно описує експериментальні дані

Аналіз рівняння регресії свідчить про досить складний характер поведінки функцій відгуку, що свідчить велика кількість взаємодій чинників.

### **3.2 Ефективність виділення мінеральних домішок із пшениці**

Для визначення точок екстремумів функцій оптимальні значення факторів визначили через аналіз перерізів поверхні відгуку функції  $\varepsilon$ .

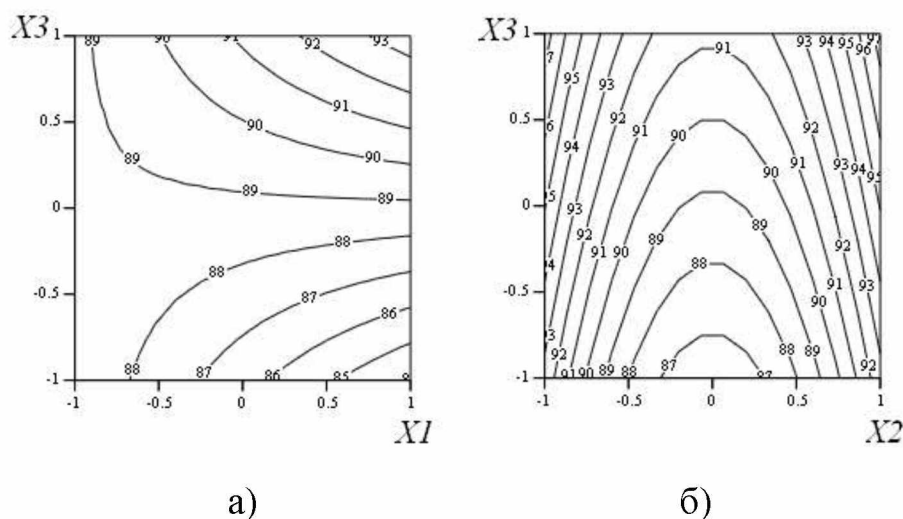
За рівнянням (3.1) були побудовані перерізи поверхні відгуку різних поєднань чинників (рис. 3.1, 3.2).

Розглянемо докладніше поверхні відгуків на околицях оптимуму.

Проаналізуємо поведінку функції відгуку  $\varepsilon = f(X_1, X_3)$  ефективність виділення мінеральних домішок від масштабного фактору  $X_1$  та коефіцієнта навантаження  $X_2$ .

Ефективність виділення мінеральних домішок тісно пов'язані з конструктивними параметрами установки. Як показує графічна залежність (рисунок 4.1 а), при максимальному значенні масштабного фактору  $X_1 = 1$  та максимальному значенні кута нахилу решета  $X_3 = 1$  досягається висока ефективність виділення мінеральних домішок. При максимальному значенні масштабного фактору  $X_1 = 1$  та при мінімальному значенні кута нахилу решета  $X_3 = -1$  спостерігається низька ефективність виділення мінеральних домішок. Це тим, що частки перебуваючи на похилій поверхні мають велику швидкість руху, що у свою чергу перешкоджає просіюванню домішок через отвори в решеті.

Аналіз перерізу показує, що доцільно використовувати поєднання факторів максимального значення масштабного фактору  $X_1 = 1$  та максимального значення кута нахилу решета  $X_3 = 1$ , що призведе до підвищення ефективності виділення мінеральних домішок.

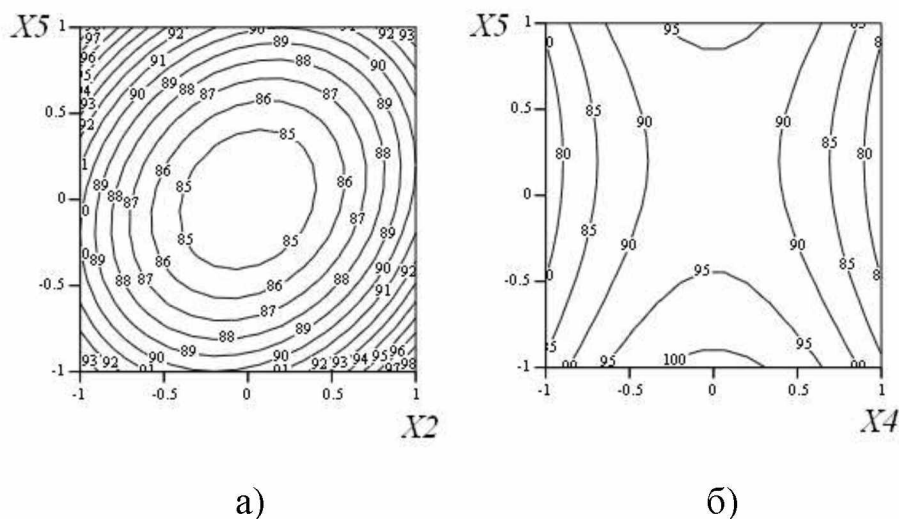


а)  $\varepsilon=f(X_1, X_3)$  при  $X_2 = X_4 = X_5 = 0$ ; б)  $\varepsilon = f(X_2, X_3)$  при  $X_1 = X_4 = X_5 = 0$ .

Рисунок 3.1 – Двовимірний переріз поверхні відгуку.

Проаналізуємо поведінку функції відгуку  $\varepsilon=f(X_2, X_3)$  ефективності виділення мінеральних домішок від коефіцієнта навантаження та кута нахилу решета (рис.3.1б).

При аналізі графіка (рис. 3.1 б) на зафіксованому рівні  $X_1 = X_4 = X_5 = 0$  видно, що при мінімальному значенні коефіцієнта навантаження  $X_2 = -1$  та максимальному значенні кута нахилу решета  $X_3 = 1$ , спостерігається зростання ефективності виділення мінеральних домішок. Також зростання ефективності виділення мінеральних домішок спостерігається при значенні  $X_2 = 1$  і максимальному значенні кута нахилу решета  $X_3 = 1$ . Це з тим, що виділення мінеральних домішок і двох процесів: процесу дифундування і процесу вібропереміщення частки. У цих режимах роботи сепаратора інтенсивно протікає процес вібропереміщення, що веде до підвищення ефективності виділення мінеральних домішок. Однак при значенні коефіцієнта навантаження  $X_2=0$  швидкості процесу дифундування перевершують швидкості процесу вібропереміщення, чим обумовлюється низька ефективність виділення мінеральних домішок.



а)  $\varepsilon=f(X_2, X_5)$  при  $X_1=1$   $X_3=-1$   $X_4=0$ ; б)  $\varepsilon=f(X_4, X_5)$  при  $X_1=0$ ,  $X_2=1$ ,  $X_3=-1$ .

Рисунок 3.2 – Двовимірний переріз поверхні відгуку.

Аналіз графічної залежності впливу факторів коефіцієнта навантаження  $X_2$  та безрозмірного фактору подачі зернового матеріалу  $X_5$  на ефективність виділення мінеральних домішок (рис. 3.2 а) показує, що функція відгуку  $\varepsilon=f(X_2, X_5)$  має чітко виражену квадратичну залежність з центром в околиці точки  $X_2 = 0$ ,  $X_5 = 0$ . Подальший рух у бік призводить до зростання функції відгуку, своїх максимальних значень вона досягає межі досліджуваної області при  $X_2 = 1$ ,  $X_5 = -1$  і  $X_2 = -1$ ,  $X_5 = 1$ .

З аналізу графіка (рис. 3.2 б), на зафіксованому рівні  $X_1=0$ ,  $X_2=1$ ,  $X_3=-1$  вплив факторів засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4$  та безрозмірного фактору подачі зернового матеріалу  $X_5$  видно, що максимальне значення ефективності виділення мінеральних домішок досягається за параметра засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4=0$  та безрозмірного фактора подачі зернового матеріалу  $X_5=-1$  та  $X_5=1$ . Рух у бік призводить до зменшення функції  $\varepsilon=f(X_4, X_5)$ . Це тим, що збільшуючи чи зменшуючи параметр засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4$  призводить до зниження стохастичного стану зернової суміші.

### 3.3 Ефективність виділення органічних домішок

Порівняння коефіцієнтів рівняння регресії з критичними значеннями, виробляли методом виключення незначних квадратичних ефектів [22].

Значимі коефіцієнти наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Значимі коефіцієнти рівняння регресії за критерієм оптимізації  $\varepsilon_2$ 

| Культура | Значимі коефіцієнти рівняння регресії |       |       |       |          |          |          |          |
|----------|---------------------------------------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
|          | $b_0$                                 | $b_1$ | $b_3$ | $b_5$ | $b_{34}$ | $b_{35}$ | $b_{33}$ | $b_{44}$ |
| Пшеница  | 68,98                                 | -2,9  | 18,64 | -     | -        | -        | -17,65   | 8,08     |

Рівняння регресії при кодованому значенні факторів має вигляд:

$$Y_2 = 69.99 - 2.9x_1 + 18.64x_3 - 17.65x_3^2 + 8.08x_4^2 \quad (3.2)$$

Регресійну модель перевіряли на адекватність за критерієм Фішера при 5%-му рівні значущості.

Результати перевірки показали, що  $F_{\text{розр.}} < F_{\text{табл.}}$ , отже, математична модель адекватно описує експериментальні дані.

### 3.4 Ефективність виділення органічних домішок із пшениці

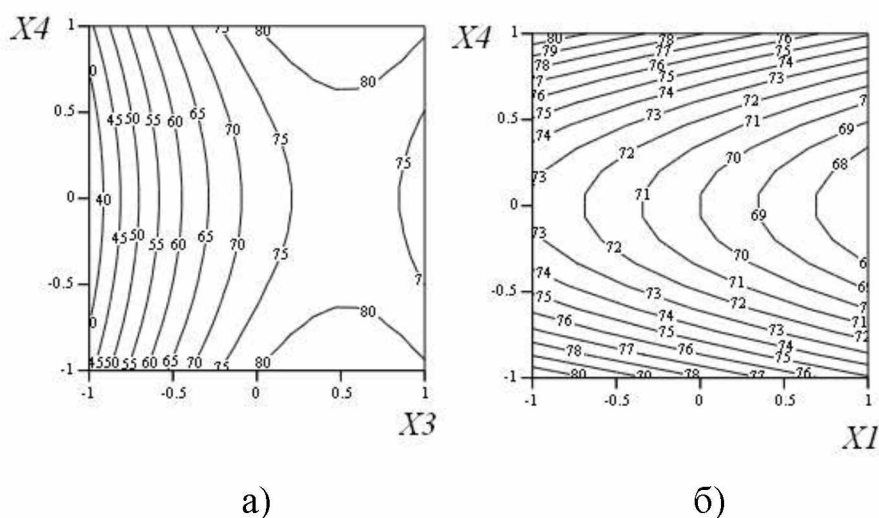
Проведемо аналіз перерізів поверхні відгуку функції  $\varepsilon_2$ .

З рівняння (3.2) було отримано перерізу поверхні відгуку різних поєднань чинників (рис. 3.3).

Проаналізуємо функцію відгуку  $\varepsilon_2 = f(X_3, X_4)$  ефективності виділення органічних домішок від масштабного фактору  $X_1$ .

З аналізу графічної залежності (рис 3.3 а), ефективності виділення органічних домішок із пшениці в залежності від факторів кута нахилу решета  $X_3$  та засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4$  видно, що

максимальне значення ефективності виділення органічних домішок досягається при параметрі кута нахилу решета  $X_3=0-1$  та засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4=-1$  та  $X_4=1$  на зафіксованому рівні  $X_1=-1$ . Розглядаючи параметр кута нахилу решета в ліву сторону  $X_3$  призводить до зменшення функції відгуку. Тому, що подальше зменшення параметра кута нахилу решета  $X_3$  призводить до зменшення швидкості вібропереміщення зернової суміші.



а)  $\varepsilon_2 = f(X_3, X_4)$  при  $X_1 = -1$ ; б)  $\varepsilon_2 = f(X_1, X_4)$  при  $X_3 = 1$ .

Рисунок 3.3 – Двовимірний переріз поверхні відгуку:

Розглянемо поверхню відгуку (рис. 3.3 б)  $\varepsilon_2 = f(X_1, X_4)$  на зафіксованому рівні  $X_3 = 1$ . З графіка видно, що при мінімальному значенні масштабного фактору  $X_1 = -1$  і мінімальному значенні засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4 = -1$ , а також при мінімальному значенні масштабного фактору  $X_1 = -1$  та максимальному значенні засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4 = 1$  досягається висока ефективність виділення органічних домішок. При максимальному значенні масштабного фактору  $X_1 = 1$  і за засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4 = -1$  і  $X_4 = 1$  спостерігається низька ефективність виділення органічних домішок. Це тим, що у виділення органічних домішок діє процес віброзрідження шару. Звідси випливає, що з мінімальному значенні масштабного чинника  $X_1 = -1$  швидкість віброзрідження зернового шару максимальна.

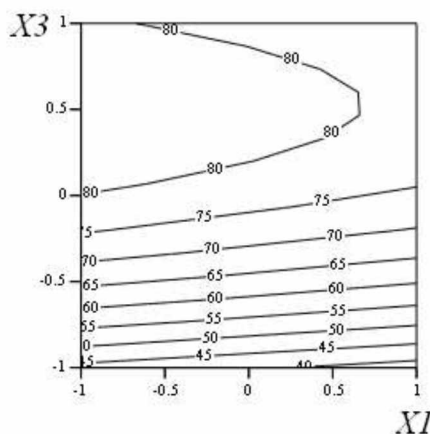


Рисунок 3.4 – Двовимірний переріз поверхні відгуку:  $\varepsilon_2 = f(X_1, X_3)$  при  $X_4 = 1$ .

Поведінка двовимірного перерізу поверхні відгуку (рис. 3.4) на зафіксованому рівні  $X_4=1$  показує, що максимальна ефективність виділення органічних домішок із пшениці досягає при значенні фактора кута нахилу решета  $X_3 = 0 \dots 1$  та значення масштабного фактора  $X_1 = -1 \dots 0,6$ . Це тим, що з зміні чинника кута нахилу решета  $X_3$  збільшується швидкість вібропереміщення зернової суміші, що призводить до зростання виділення органічних домішок з пшениці.

### 3.5 Втрати зерна у відходи

За результатами експерименту щодо визначення втрат зерна у відходи було отримано значні коефіцієнти рівняння регресії (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Значення коефіцієнтів регресії за критерієм оптимізації П

| Культура | Значимі коефіцієнти рівняння регресії |       |       |       |       |          |          |          |          |          |          |          |
|----------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | $b_0$                                 | $b_2$ | $b_3$ | $b_4$ | $b_5$ | $b_{12}$ | $b_{23}$ | $b_{35}$ | $b_{45}$ | $b_{22}$ | $b_{44}$ | $b_{55}$ |
| Пшениця  | 0,696                                 | -     | 1,54  | 0,41  | 1,22  | -        | -        | 1,29     | -        | -        | 1,07     | -        |

Регресійна модель у вигляді полінома другого ступеня адекватно описує втрати зерна у відходи. Рівняння регресії в кодованому значенні змінних мають такий вигляд:

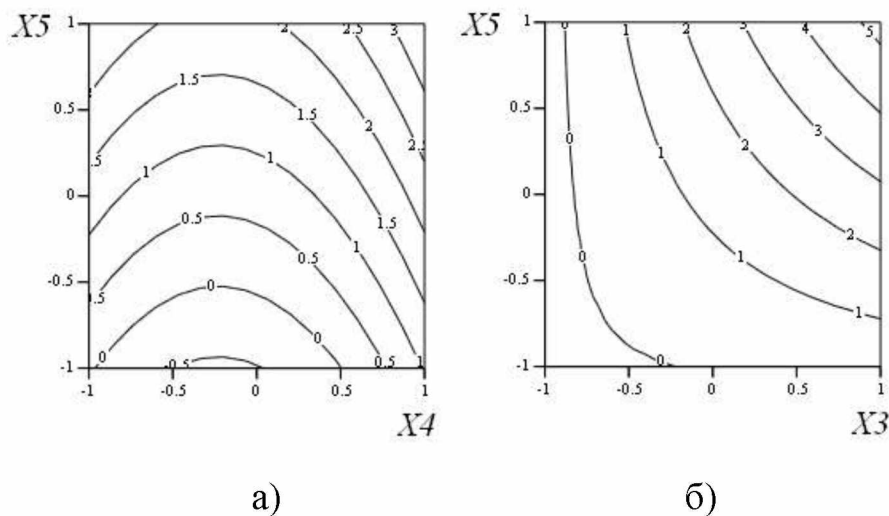
$$Y_3 = 0.696 + 1.54x_3 + 0.41x_4 + 1.22x_5 + 1.29x_3x_5 + 1.07x_4^2 \quad (3.3)$$

Перевірка моделі на адекватність при 5% - му рівні значущості, показала, що  $F_{\text{розн.}} < F_{\text{табл.}}$ , звідси впливає математична модель адекватно описує експериментальні дані.

### 3.6 Втрати пшениці у відходи

Аналіз графіка (рис. 3.5 а) на зафіксованому рівні  $X_3 = 0$  показує, що при мінімальному значенні фактору засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4 = -1$  та мінімальному значенні безрозмірного фактору подачі зернового матеріалу  $X_5 = 1$ , спостерігається зменшення втрат пшениці у відходи. Розглядаючи параметри у будь-яку іншу сторону, бачимо збільшення втрат зерна у відходи. Це тим, що у втрати зерна у відходи діє процес віброзрідження. У даних режимах роботи сепаратора зі збільшенням фактору засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4$  та

безрозмірного фактору подачі зернового матеріалу  $X_5 = 1$  зменшується швидкість віброзрідження, що призводить до збільшення втрат зерна у відходи.



а)  $P = f(X_4, X_5)$  при  $X_3 = 0$ ; б)  $P = f(X_3, X_5)$  за  $X_4 = -1$ .

Рисунок 3.5 – Двовимірний переріз поверхні відгуку:

При аналізі графічної залежності (рис. 3.5 б) на зафіксованому рівні  $X_4 = -1$  бачимо, що при мінімальному значенні кута нахилу решета  $X_3$  та мінімальному значенні безрозмірного фактору подачі зернового матеріалу  $X_5$  втрати зерна пшениці у відходи мінімальні. При максимальному значенні кута нахилу решета  $X_3$  та максимальному значенні безрозмірного фактору подачі зернового матеріалу  $X_5$  збільшуються втрати зерна у відходи. Це з тим, що із збільшенням кута нахилу решета  $X_3$  швидкість процесу вібропереміщення зростає.

### 3.7 Питома енергоємність робочого процесу

За експериментальними даними щодо визначення енергоємності процесу отримали значні коефіцієнти рівняння регресії (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Значення коефіцієнтів рівняння регресії за критерієм оптимізації з кожної культури

| Культура | Значимі коефіцієнти рівняння регресії |        |       |       |          |          |          |          |          |          |
|----------|---------------------------------------|--------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|          | $b_0$                                 | $b_2$  | $b_4$ | $b_5$ | $b_{15}$ | $b_{24}$ | $b_{25}$ | $b_{34}$ | $b_{11}$ | $b_{55}$ |
| Пшеница  | 0,624                                 | 0,0507 | 0,018 | -0,79 | -        | -        | -0,041   | -0,017   | 0,038    | 0,518    |

Рівняння регресії

$$Y_4 = 0.6237 + 0.051x_2 + 0.0183x_4 - 0.79x_5 - 0.041x_2x_5 - 0.0169x_3x_4 + 0.038x_1^2 + 0.518x_5^2 \quad (3.4)$$

Перевірка моделі на адекватність при 5% - му рівні значущості, показала, що  $F_{\text{розр.}} < F_{\text{табл.}}$ , звідси впливає математична модель адекватно описує експериментальні дані.

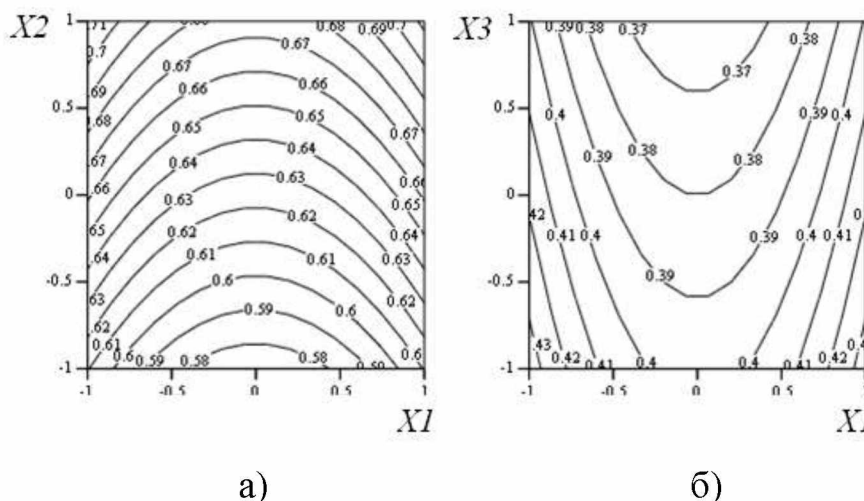
### 3.8 Питома енергоємність процесу сепарування пшениці

Аналіз графічної залежності (рис. 3.6 а) на зафіксованому рівні  $X_3 = 0$ ,  $X_4 = 0$ ,  $X_5 = 0$  видно, що при мінімальному та максимальному значенні масштабного фактора  $X_1 = 1$ ,  $X_1 = -1$  та мінімальному значенні коефіцієнта навантаження  $X_2 = -1$ , спостерігається низька питома енергоємність процесу. А зі збільшенням значення коефіцієнта навантаження  $X_2$  видно зростання питомої енергоємності. Це з тим, що збільшуються витрати енергії на рух робочого органу (набір з'єднаних між собою планок).

З аналізу графічної залежності (рис. 3.6 б) на зафіксованому рівні  $X_2 = 1$ ,  $X_4 = 1$ ,  $X_5 = 1$  видно, що при мінімальному та максимальному значенні масштабного фактору  $X_1 = 1$ ,  $X_1 = -1$  та максимальному значенні кута нахилу решета  $X_3 = 1$  спостерігається низька питома енергоємність процесу. А із зменшенням фактору кута нахилу решета  $X_3$  збільшується питома енергоємність процесу. Це тим, що зі збільшенням чинника кута нахилу решета  $X_3$  швидкість вібропереміщення збільшується, унаслідок чого зменшується питома енергоємність процесу.

Аналіз поверхні перерізу відгуку (рис. 3.7 а) при закріпленні факторів  $X_2 = -1$ ,  $X_3 = -1$ ,  $X_4 = -1$  на нижньому рівні на поведінку функції  $N_{\text{шт}} = f(X_1, X_5)$ , великий вплив має безрозмірний фактор подачі зернового матеріалу  $X_5$ , яка має чітко виражену квадратичну залежність із центром на околиці точки  $X_1 = 0$ ,  $X_5 = 0,75$ .



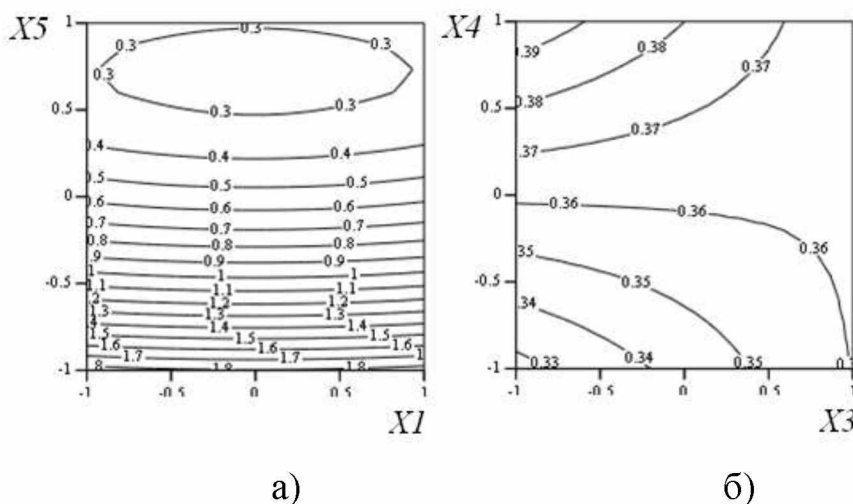


а)  $N_{\text{пит}} = f(X_1, X_2)$  при  $X_3 = 0, X_4 = 0, X_5 = 0$ ; б)  $N_{\text{пит}} = f(X_1, X_3)$  при  $X_2 = 1, X_4 = 1, X_5 = 1$ .

Рисунок 3.6 – Двовимірний переріз поверхні відгуку:

Подальше зміщення у будь-який бік призводить до зростання функції відгуку, своїх максимальних значень вона досягає межі досліджуваної області при  $X_1 = 1, X_5 = -1$  і  $X_1 = -1, X_5 = -1$ .

Як показує графічна залежність (рис. 3.7 б), при  $X_1=0, X_2=1, X_5=1$  і  $X_4 = -1$  збільшення фактору кута нахилу решета  $X_3$  призводить до зростання питомого навантаження  $N_{\text{пит}}$ , а якщо засміченість вихідного зернового матеріалу  $X_4 = 1$  і збільшення кута нахилу решета  $X_3$  викликає зменшення питомої навантаження  $N_{\text{пит}}$ .



а)  $N_{\text{пит}} = f(X_1, X_5)$  при  $X_2 = -1, X_3 = -1, X_4 = -1$ ; б)  $N_{\text{пит}} = f(X_3, X_4)$  при  $X_1 = 0, X_2 = 1, X_5 = 1$ .

Рисунок 3.7 – Двовимірний переріз поверхні відгуку:

Точкою перегину у разі є значення засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4 = 0,1$ . У цьому випадку засміченість вихідного зернового матеріалу  $X_4$  взагалі не впливає на функцію відгуку  $N_{\text{шт}} = f(X_3, X_4)$ .

Аналіз перерізу показує, що доцільно використовувати поєднання факторів мінімального значення засміченості вихідного зернового матеріалу  $X_4 = -1$  та мінімального значення кута нахилу решета  $X_3 = -1$ , що призведе до зменшення питомої енергоємності процесу.

### 3.9 Розв'язання багатокритеріального завдання

Вирішення багатокритеріальної задачі складається з двох етапів – апроксимації структури переваг та вибір оптимуму [3].

При порівнянні будь-яких двох недовідомих критеріїв проблеми, що з'являються в тому, що один з варіантів краще за одним визначальним критерієм і гірше за іншими.

З аналізу літературних джерел [3, 22] ясно, що зернові корми з підвищеною органічною домішкою можна використовувати з подальшою їх обробкою, а корми з підвищеною мінеральною домішкою категорично забороняється. Звідси випливає, що критерій оптимізації ефективність виділення органічних домішок можна виключити із розрахунку компромісної задачі.

З отриманих результатів щодо визначення питомої енергоємності, видно, що вона змінюється незначно, звідси випливає, що надалі можна цим критерієм знехтувати та виключити з розрахунку компромісного завдання.

Для визначення раціональних значень факторів, які задовольняли б усім двом критеріям оптимізації  $\varepsilon_1$  (ефективність виділення мінеральних домішок),  $\Pi$  (втрати зерна у відходи), необхідно вирішити багатокритеріальне завдання.

Для її вирішення використовуємо метод згортання критеріїв на основі вагових коефіцієнтів [19]. Його сутність полягає в тому, що цільова функція утворюється шляхом складання нормованих значень приватних критеріїв, що входять до цільової функції  $J$  з деякою вагою  $\alpha$ , що визначає важливість кожного критерію. Інакше кажучи, комплексний критерій набуває вигляду:

$$J = \sum_{i=1}^n \alpha_i \psi_i \rightarrow \max \quad \alpha_i > 0 \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (3.5)$$

де  $\alpha_i = \frac{\partial I}{\partial \psi_i}$  - ваговий коефіцієнт  $i$ -го частного критерію;

$\psi_i$  – нормоване значення цього критерію.

Слід також звернути увагу на те, що до цільової функції (3.5) приватні критерії, які можна максимізувати, входять зі знаком «+», а ті, які потрібно мінімізувати – зі знаком «-» (згадаємо, що якщо  $W_i \rightarrow \min$ , то  $W_i \rightarrow \max$ ) [107].

В результаті проведених експериментальних досліджень запропонованого сепаратора отримані значення виділення мінеральних домішок і втрати зерна у відходи піддані порівнянню запропонованим методом.

Для вибору кращого варіанту сепаратора потрібно призначити коефіцієнт ваги  $\alpha_i$  для кожного критерію. Поширений метод – визначення коефіцієнтів ваги за допомогою експертів, який є, по суті, звичайним обговоренням з тією лише різницею, що свою думку експерти висловлюють не словами, а цифрами.

При безпосередньому призначенні коефіцієнтів ваги експерт оцінює порівняльну важливість аналізованих критеріїв, які входять у цільову функцію. У цьому методі кожен експерт  $i$ -го критерію повинен призначити коефіцієнт ваги  $\alpha_i$  таким чином, щоб сума всіх коефіцієнтів ваги, призначених одним експертом для різних критеріїв, дорівнювала одиниці.

Середнє за всіма експертами арифметичне значення коефіцієнта ваги для кожного критерію оптимізації розраховується за такою формулою:

$$\alpha_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \alpha_{ij}, \quad (3.6)$$

де  $k$  – кількість експертів.

Середнє квадратичне відхилення для кожного коефіцієнту ваги:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^k (a_{ij} - a_{icp})^2}{k-1}} \quad (3.7)$$

Таблиця 3.5 – Базова таблиця

| Експерт                                     | Критерії оптимізації |       | Сума |
|---------------------------------------------|----------------------|-------|------|
|                                             | $\varepsilon$        | $\Pi$ |      |
| 1                                           | 0,6                  | 0,4   | 1    |
| 2                                           | 0,5                  | 0,5   | 1    |
| 3                                           | 0,7                  | 0,3   | 1    |
| 4                                           | 0,6                  | 0,4   | 1    |
| 5                                           | 0,65                 | 0,35  | 1    |
| 6                                           | 0,5                  | 0,5   | 1    |
| 7                                           | 0,6                  | 0,4   | 1    |
| 8                                           | 0,7                  | 0,3   | 1    |
| 9                                           | 0,6                  | 0,4   | 1    |
| Середнє значення коефіцієнту ваги, $\alpha$ | 0,606                | 0,394 |      |
| Середнє квадратичне відхилення, $s$         | 0,073                | 0,073 |      |
| Коефіцієнт варіації, $v$                    | 0,12                 | 0,18  |      |

Коефіцієнт варіації

$$v = \frac{s_i}{\alpha_{icp}}. \quad (3.8)$$

Значення коефіцієнтів варіації показує величину розкиду експертних оцінок. При  $v < 0,2$  оцінки експертів вважатимуться узгодженими.

У разі  $v > 0,2$  доцільніше провести з експертами змістовне обговорення важливості параметрів, що оцінюються, після чого повторити експертизу [19].

Середнє значення коефіцієнта ваги  $\alpha_i$  вийшло рівною для критерію оптимізації ефективність виділення мінеральних домішок  $\varepsilon_m = 0,606$  для втрат зерна у відходи  $\Pi = 0,394$ .

На підставі отриманого значення коефіцієнта ваги  $\alpha_i$  складаємо цільову функцію, вона набуде вигляду:

$$W = \alpha_1 \varepsilon_m(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) - \alpha_2 \Pi(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$$

$$W_{\text{тиен}} = 0,606(88,79 + 2,3x_3 + 2,21x_1x_3 - 2,55x_2x_5 + 6,29x_2^2 - 16,3x_4^2 + 6,6x_5^2) - \\ - 0,606(28,73 + 1,3x_3 + 3,2x_3 - 5,34x_4 + 7,29x_5 + 16,3x_3x_5 + 4,6x_4^2)$$

Вирішивши цільову функцію у програмі MathCAD використовуючи додаток Maximize, отримали такі варіанти критеріїв оптимізації при найкращих поєднаннях чинників, причому значення деяких із них збільшено на 15 % проти досвідченими. При інженерному прогнозуванні таке допускається і математична модель вважається достовірною, якщо область екстраполяції виходить межі інтерполяції на 15...20 %.

На підставі отриманих результатів було сформовано умовні оптимальні фактори (табл.3.6).

Таблиця 3.6 – Умовні оптимальні значення

| Культура | Фактори |      |       |      |      |
|----------|---------|------|-------|------|------|
|          | $X1$    | $X2$ | $X3$  | $X4$ | $X5$ |
| Пшениця  | -1,15   | 1,15 | -0,15 | 0    | 1,15 |

З аналізу літературних джерел та власних спостережень можемо дійти згоди та навести оптимальні параметри сепаратора, які б підходили для кожної культури. Вони будуть такими:

$X1 = -1,15$  - масштабний фактор ( $\frac{h_{пл}}{b}$ );

$X2 = 1,15$  - коефіцієнт навантаження ( $\frac{a\omega^2}{g}$ );

$X3 = -0,15$  - кут нахилу решета ( $\alpha = 12$ , град);

$X4 = 0$  - засміченість вихідного зернового матеріалу мінеральної ( $C_0 = 3\%$ ) та органічної ( $C_0 = 4\%$ ) домішками);

$X5 = 0$  - безрозмірний фактор подачі зернового матеріалу ( $\frac{Q}{a^3\omega\rho} = 2598$ ).

Отримані оптимальні параметри дозволяють визначити значення критеріїв оптимізації, при яких відбувається максимальне виділення мінеральних домішок з мінімальними втратами зерна у відходи.

Таблиця 3.7 - Умовні оптимальні значення процесу сепарування

| Культура | Критерій оптимізації |           |
|----------|----------------------|-----------|
|          | $\varepsilon, \%$    | $\Pi, \%$ |
| Пшениця  | 97,5                 | 0         |

Параметри пристрою для сепарування фуражного зерна пшениці будуть наступними:

1.  $\alpha=0,006$  – амплітуда коливань робочого органу, м;
2.  $\omega=50$  – кутова частота коливань, с-1;
3.  $h_{\text{шл}} = 0,01$  – висота пластин, м;
4.  $b=0,015$  – крок між пластинами, м;
5.  $L_p = 0,85$  – довжина решета, м;
6.  $b_p = 0,55$  – ширина решета, м;
7.  $\alpha=12$  – кут нахилу решета, град;
8.  $Q=2,5$  – подача зернової суміші, т/год.

### 3.10 Висновки до третього розділу

Зі порівняння чисельних значень, отриманих за допомогою експериментальних досліджень та за допомогою регресійної моделі, що становлять близько 5 %, слідує, що побудована модель адекватно описує експериментальні дані на прийнятому рівні значущості.

При вирішенні багатокритеріальної задачі з оптимізації ефективності виділення мінеральних домішок і втрат зерна у відходи, отримано раціональні параметри сепаратора, що розробляється:  $X_1 = -1,15$  – масштабний фактор ( $h_{\text{шл}}/b = 0,56$ );  $X_2 = 1,15$  - коефіцієнт навантаження ( $a\omega^2/g = 1,76$ );  $X_3 = -0,15$  - кут нахилу решета ( $\alpha = 12$ , град);  $X_4 = 0$  - засміченість вихідного зернового матеріалу мінеральної ( $C_0 = 3\%$ ) та органічної ( $C_0 = 4\%$ ) домішками;  $X_5 = 0$  – безрозмірний фактор подачі зернового матеріалу ( $Q/a^3\omega p = 2598$ ).

## **4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **4.1 Екологічна експертиза**

Екологічна експертиза являє собою врегульовану нормами діяльність експертів по аналізу, перевірці і оцінці документації об'єктів і рішень, на їх відповідність правилам і вимогам охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування з метою попередження можливих негативних наслідків для навколишнього середовища.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливові антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності й екологічної ситуації на окремих територіях та об'єктах.

Екологічна експертиза буває державною, громадською та інших різновидів. Вона є обов'язковою умовою законодавчої роботи господарства й іншої діяльності, яка впливає на стан навколишнього середовища. Основним законодавчим актом, що визначає правові, екологічні і соціальні основи організації охорони навколишнього середовища, є Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища", прийнятий 25 червня 1991 року на третій сесії Верховної Ради України [10]. Іншим важливим законом є Закон „Про екологічну експертизу”, від 9 лютого 1995 р. [11].

Екологічну експертизу проекту проводять з дотриманням принципів права громадськості на охорону навколишнього середовища, гармонійного поєднання екологічних і економічних інтересів, суворого дотримання законності і державних норм природокористування.

Громадська екологічна експертиза може здійснюватися в будь-якій сфері діяльності, що потребує екологічного обґрунтування, за ініціативою громадських організацій чи інших громадських формувань. Громадська екологічна експертиза може здійснюватися одночасно з державною екологічною експертизою шляхом створення на добровільних засадах тимчасових або постійних еколого-експертних колективів громадських організацій чи інших громадських формувань.

Предметом розгляду впливу на оточуюче навколишнє середовище є технологія сепарації зерна сільськогосподарських культур. Дана технологія є цілковито безпечною і в повній мірі відповідає усім законодавчо-нормативним актам та екологічним нормам і стандартам. Це твердження обумовлено відсутністю появи яких-небудь токсичних або негативних проявів, що би могли сприяти погіршенню екологічного становище навколишнього природного середовища. Але одним із потенційно можливих факторів екологічного забруднення є псування та втрата зернового врожаю з доволі великої кількості причини: недотримання технології зберігання, транспортування, первинної обробки та інше. Для недопущення окресленої негативної ситуації слід дотримуватися наступних вимог у поводженні зі зерновим збіжжям.

Зберігання зерна здійснюється в зерносховищах, що відповідають екологічним, будівельним, пожежним, санітарно-гігієнічним, фітосанітарним вимогам відповідно до технічних регламентів та стандартів.

Поверхні стін, стель, несучих конструкцій, дверей, підлоги виробничих приміщень, а також силосів і бункерів повинні бути доступними для очищення і знезараження. Стан покрівлі і стін зерносховищ, конструкції вхідних отворів каналів активної вентиляції повинні забезпечити запобігання попадання в них атмосферних опадів і сторонніх предметів.

Технологічний процес обробки зерна в зерносховищах повинен забезпечувати сушку, очистку і знезараження зерна до рівня, що забезпечує безпечне і стійке для зберігання стану.

У зерносховищах не допускається:

1) зберігати спільно з зерном токсичні, горючі хімічні речовини, пально-мастильні матеріали та нафтопродукти, а також харчову продукцію іншого виду і нехарчову продукцію в разі, якщо це може призвести до забруднення зерна;

2) застосовувати всередині складських приміщень машини з двигунами внутрішнього згоряння.



У зерносховищі протягом всього періоду зберігання зерна повинен бути організований виробничий контроль за вологістю, температурою, зараженістю шкідниками, запахом і кольором зерна.

При зберіганні зерна в мішках на настилах і піддонах розміри штабелів і відстань між ними не повинні створювати перешкод для відбору проб з будь-якого місця і проведення технологічних операцій.

Для забезпечення безпеки зерна його перевезення здійснюється спеціально призначеними для цих цілей транспортними засобами. При перевезенні зерна залізничним транспортом використовуються криті вагони, хопер-вагони (зерновози) або контейнери, що відповідають пропонованим до них санітарним вимогам.

Конструкція вантажних приміщень транспортних засобів, що використовуються для перевезення зерна, повинна забезпечувати можливість їх миття, обробки і дезінфекції, дезінсекції та дератизації, захист зерна від забруднення, а також перешкоджатиме пробудженню зерна в процесі перевезення, проникненню комах, тварин, в тому числі гризунів.

Очищення, мийка, обробка, дезінфекція, дезінсекція та дератизація залізничних транспортних засобів і транспортного устаткування (контейнерів) для перевезення зерна повинна здійснюватися в порядку, встановленому національним законодавством.

Не допускається перевезення зерна в транспортних засобах, в яких перевозилися сильно пахучі і (або) токсичні вантажі.

У кінцевому випадку, технологія сепарації зернової маси характеризується мінімальним рівнем екологічної загрози, не призводить до негативного впливу на стан природного навколишнього середовища, є безпечним для людини та живих організмів та відповідає всім екологічним нормам та правилам, обумовлених чиним вітчизняним екологічним законодавством.

## **4.2 Охорона праці**

### **4.2.1 Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях**

Вивчення й вирішення проблем, пов'язаних із забезпеченням здорових і безпечних умов, у яких відбувається праця людини – одне з найбільш важливих завдань у розробці нових технологій і систем виробництва. Дослідження й виявлення можливих причин виробничих нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж, і розробка заходів і вимог, спрямованих на усунення цих причин дозволяють створити безпечні й сприятливі умови для праці людини. Комфортні й безпечні умови праці – один з основних факторів, який впливає на продуктивність і безпеку праці, здоров'я працівників [4, 5].

Державне, регіональне і галузеве управління охороною праці, численні наглядові і контрольні інспекції не забезпечать безпечне ведення робіт, якщо це не стане головним повсякденним завданням і моральним обов'язком для усіх без винятку – роботодавців, керівників, інженерно-технічних працівників, кожного працюючого. Для вирішення всіх проблем у сфері охорони праці потрібний системний підхід створення ефективної системи управління охороною праці (СУОП) на кожному підприємстві, установі, організації незалежно від форми власності і розмірів [13].

### **4.2.2 Аналіз наявних потенційних небезпек та об'єктів підвищеної небезпеки**

Характер сировини, що переробляється, а також технологічні процеси приймання, відпуску та переробки зерна і одержуваних з нього продуктів призводять до виникнення особливих факторів травмування обслуговуючого персоналу. До них насамперед належать: затягування в зернову масу при випуску зерна зі складів, бункерів, з силосів елеваторів; завалювання людини зерною масою, що обрушується, або масою продуктів переробки зерна в складах для зберігання; травмування при падінні у відкритий люк бункера або силосу; травмування при вантажно-розвантажувальних роботах з сипучими або тарний вантажами;

травмування при роботі з тарний вантажами в складах зберігання; отруєння отрутохімікатами, що застосовуються при боротьбі з шкідниками комор; отруєння вуглекислим газом, що накопичується в силосах, складах або в заглиблених, погано провітрюваних приміщеннях в результаті дихання зерна чи інших процесів.

Затягування зерном відбувається в зв'язку з тим, що при випуску його з зерносховища над випускним люком утворюється спочатку невелика воронка, діаметр якої в міру виходу зерна збільшується до межі кута природного укусу. Продовжує цю воронку «стовп» зерна, що рухається вертикально зверху вниз, в якому діють різні сили, з них найбільші - вертикальні.

Дії цих сил спрямовані до випускного люка зерносховища, чим і пояснюється властивість рухомого «стовпа» зерна втягувати (засмоктувати) все, що знаходиться на його поверхні і шляхи.

Наскільки серйозною небезпеку наражається людина, що потрапила в воронку рухомого зерна, можна судити з наступних цифр: тиск зерна в звичайному складі на 1 м<sup>2</sup> підлоги при висоті зернового насипу 1,5 м становить понад 1 т, при висоті насипу 2,5 м - близько 2 т і при висоті насипу 3,5 м - близько 3 т; при випуску 16 т зерна на годину з зерносховища через випускний люк (отвір) швидкість руху вертикального «стовпа» зерна в центрі воронки досягає 3 м/хв [4].

Величина всмоктувального зусилля в центрі зерна настільки велика, що підвішені металеві труби (для дистанційного термометрування зерна в силосах при випуску зерна іноді деформуються або спостерігається обрив тросів.

Ось чому випадки перебування людини на насипу зерна, що випускається, закінчувалися затягуванням його в зерно і задухою.

Небезпека для робітників на елеваторах, борошномельних, круп'яних і комбікормових заводах виникає як при переміщенні зерна, висівок, компонентів комбікормів, мучки, лушпиння, зернового пилу та інших відходів, так і при зберіганні їх в складах, засіках, бункерах і запорошених камерах, при неправильній організації робіт. При цьому особливу небезпеку становлять:

– вибірка при заповненні мішків або при підгортання зерна з насипу до випускного отвору на транспортну стрічку або норію шляхом «підкопу» із

залишенням навислої або стрімкого верху насипу, який несподівано може обрушитися на працівників, зайнятих цими операціями;

- ходіння працівників по насипу (навіть злежаного) зерна, висівок, відходів та інше без спеціальних настилів, що призводить до провалу людини в сховані порожнечі, наявних всередині насипу;

- спуск працівників в бункера і безпосередньо на насип для розпушування злежаних висівок, компонентів комбікормів, відходів і випуску їх в патрубок, на норію або на транспортерну стрічку;

- спуск працівників в бункера і пилову камеру для зачистки або обрушення злежалася (прилип до стін) в них сипучої маси.

Робочі зони, що представляють собою можливі джерела ураження людини в результаті затягування його в зернову воронку, обрушення склепіння або навислої продукту, отруєння вуглекислим газом, слід вважати зонами підвищеної небезпеки.

Сховища для зерна або зернопродуктів силосного або бункерного типу мають у верхній частині насипні отвори (люки), що виходять найчастіше на рівень підлоги виробничих приміщень. При відсутності запобіжних пристроїв можливий травматизм в результаті падіння обслуговуючого персоналу в відкриті незахищені люки.

#### **4.2.3 Пропозиції щодо покращення умов виробничої безпеки та недопущення появи небезпечних ситуацій**

Труби і фасонні частини самопливних трубопроводів повинні бути надійно закріплені, щільно з'єднані між собою і не пропускати пил. Чим не дозволяється усувати залягання продукту в соматичних трубопроводах, б'ючи по них твердими предметами. Лючки на самопливних трубопроводах повинні мати щільно закриті кришки і розташовуватися в місцях, зручних для обслуговування.

Для очищення повітропроводів від пилу кожна горизонтальна ділянка мережі обладнують герметично закритими люками.

Повітропроводи слід прочищати при непрацюючому вентиляторі. При очищенні повітропроводів робочі повинні користуватися протипиловими індивідуальними респіраторами. Під час роботи не можна відкривати кришки люків

в повітропроводах, що примикають до вентиляторів, і просовувати руки всередину повітропроводів. При обслуговуванні повітропроводів, розташованих на висоті, треба користуватися тільки справними сходами.

Для обслуговування засувки, якщо вони встановлені на висоті більше 2 м, влаштовують спеціальні площадки з драбинами.

Насипні лотки слід ретельно встановлювати по транспортеру. Вони повинні аспіровані, не допускати пилевиділення, підсору зерна. Забороняється поправляти щітки насипного лотка на ходу транспортера, брати з нього проби зерна, виймати сторонні предмети.

Ефективна і безпечна робота аспіраційних і пневмотранспортних установок багато в чому залежить від вмілого і правильного догляду за ними. При експлуатації всмоктуючих фільтрів необхідно, щоб їх шафи, конуси для пилу і дверки (люки), а також випускні колектори та прийомні коробки були герметичними і не допускали підсосу повітря. Оглядати рукава і перевіряти їх натяг необхідно не рідше одного разу на добу. Несправні рукава повинні своєчасно замінюватись новими.

У відцентрових пиловідокремлювачах (циклони і розвантажувач) всі з'єднання і затвори пилевідвідного патрубку систематично перевіряють на герметичність. Необхідно стежити, щоб в пилозбірнику не накопичувався пил. Доступ до люків циклонів повинен бути вільним і безпечним. Для обслуговування циклонів і розвантажувачів, встановлених на висоті, навколо них влаштовують спеціальний майданчик. Настил площадки не повинен мати щілин між дошками, щоб вниз не могли впасти інструмент та інші предмети.

При експлуатації повітрорудних машин і вентиляторів, щоб уникнути аварій і нещасних випадків робочі колеса, з'єднувальні муфти і шківни необхідно добре відбалансувати.

Всмоктуючий отвір вентилятора, що не приєднаний до повітропроводу, має бути перекритий сіткою з осередками розміром 20х25 мм. Без таких сіток включати вентилятор в роботу не можна.

Для пневмотранспортних установок застосовують відцентрові вентилятори високого тиску і повітрорудні машини. Робочий, який обслуговує вентилятор,

повинен стежити за тим, щоб він працював безшумно, не перегрівалися підшипники, щоб було нормальним натяг приводних ременів і щільно приєднаний всмоктуючий повітропровід до вентилятора. Температура корпусу підшипників вентилятора повинна бути не вище 40 ... 50 °С. У разі підвищення температури необхідно виявити причину, при необхідності заповнити свіжою мастилом.

#### 4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Розрахунок економічної ефективності від впровадження сепаратора для зерна з можливістю робочими параметрами виконаний відповідно до методики визначення економічної ефективності технологій і сільськогосподарської техніки [15]. Оцінка ефективності проведена на основі даних, отриманих під час експериментальних досліджень.

При розрахунку техніко-економічної ефективності для порівняння з новою установкою були прийняті установки, що використовуються на виробництві.

Технічні характеристики нового варіанту з базовим наводяться в таблиці 4.1.

Техніко-експлуатаційні характеристики сепараторів для зерна порівнюються в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика сепараторів для зерна

| Показник                                | Базовий варіант | Проектний варіант |
|-----------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Продуктивність, т/год                   | 0,5             | 0,58              |
| Потужність електродвигуна, кВт          | 34              | 34                |
| Кількість обслуговуючого персоналу, люд | 2               | 1                 |

|                                                      |                     |                      |
|------------------------------------------------------|---------------------|----------------------|
| Габаритні розміри, мм<br>довжина<br>ширина<br>висота | 1000<br>3000<br>700 | 10000<br>3000<br>700 |
| Маса сепаратора, кг                                  | 2150                | 3200                 |

Таблиця 4.2 – Техніко-економічні характеристики сепараторів для зерна

| Показник                                                | Базовий варіант | Проектний варіант |
|---------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Річне навантаження транспортера, год                    | 80              | 80                |
| Кількість обслуговуючого персоналу, люд                 | 2               | 1                 |
| Об'єм маси, що транспортується                          | 30              | 30                |
| Продуктивність, т/год                                   | 0,5             | 0,58              |
| Ціна реалізації продукції, грн                          | 10              | 10                |
| Вартість зерна, що поступає на транспортування, грн/кг  | 5               | 5                 |
| Норматив на амортизаційні відрахування на реновацію, %: |                 |                   |
| технічних засобів                                       | 11              | 11                |
| будівельної частини                                     | 1,2             | 1,2               |
| Норматив затрат, %:                                     |                 |                   |
| технічне обслуговування                                 | 1,4             | 1,4               |
| ремонт технічних засобів                                | 6,2             | 6,2               |
| ремонт будівельної частини                              | 0,8             | 0,8               |
| Конструктивна маса сепаратора, т                        | 1,8             | 2,5               |
| Виробнича площа, м <sup>2</sup>                         | 45              | 30                |
| Балансова вартість технічних                            |                 |                   |

Річний економічний ефект від впровадження результатів дослідної розробки визначається при порівняльній оцінці сепаратора визначеного типу та запропонованої конструкції за показниками продуктивності, зниження втрат зерна та затрат енергії буде визначатися [15]:

$$E_{np} = \left( \frac{P_n}{A_n} - \frac{P_{\sigma}}{A_{\sigma}} \right) A_n, \quad (4.1)$$

де  $E_{np}$  – річний приріст прибутку, грн;

$P_n, P_{\sigma}$  – річний прибуток за базовим та проектним варіантом;

$A_n, A_{\sigma}$  – річний об'єм висушеного зерна за новим та старим варіантом.

Річний прибуток у обох варіантах  $\Pi_n$  та  $\Pi_b$  визначається з виразів [15]:

$$\Pi_n = \Pi_n A_n - C_n, \quad (4.2)$$

$$\Pi_b = \Pi_b A_b - C_b, \quad (4.3)$$

де  $\Pi_n, \Pi_b$  – ціна реалізації продукції за базовим та проектним варіантом, грн/т;

$C_n, C_b$  – собівартість виробництва усієї продукції за новим та базовим варіантом, грн.

Собівартість  $C_n$  виробництва за проектним варіантом визначається у відповідності з методичними рекомендаціями з планування та калькуляції собівартості с.г. продукції [15]:

$$C_n = Z_{екс} + Z_c + Z_{пр} + Z_{ох}, \quad (4.4)$$

де  $Z_{екс}$  – прямі експлуатаційні затрати, грн;

$Z_c$  – вартість насіння, що поступає на сушку, грн;

$Z_{пр}$  – інші витрати, грн;

$Z_{ох}$  – загальногосподарські витрати, грн.

Експлуатаційні витрати визначаються [15]:

$$Z_{екс} = Z_n + Z_a + Z_{то} + Z_{ел} + Z_m, \quad (4.5)$$

де  $Z_n$  – оплата праці разом з відрахуваннями на соціальну сферу, грн;

$Z_a$  – амортизаційні відрахування на оновлення технічних засобів, будівель, грн;

$Z_{то}$  – витрати на технічне обслуговування, ремонт будівель, грн;

$Z_{ел}$  – витрати на електроенергію, грн;

$Z_m$  – витрати на паливо-змащувальні матеріали, грн.

Сума річних відрахувань на амортизацію  $Z_a$  технічних засобів, будівель визначається [15]:

$$Z_a = \left( \frac{B_n^{mc} a_n^{mc}}{100} + \frac{B_n^{бюд} a_n^{бюд}}{100} \right), \quad (4.6)$$

де  $B_n^{mc}$  – балансова вартість технічних засобів, грн;

$B_n^{бюд}$  – балансова вартість будівель та споруд, грн;

$a_n^{mc}, a_n^{бюд}$  – норматив амортизаційних відрахувань на реновацію від балансової

вартості об'єкта технологічної лінії, машини.



Витрати на технічне обслуговування, поточний та капітальний ремонт технічних засобів та будівельної частини [15]:

$$Z_{mo} = \left( \frac{B_n^{mc} H_n^{mc}}{100} + \frac{B_n^{\delta yd} H_n^{\delta yd}}{100} \right), \quad (4.7)$$

де  $H_n^{mc}$  - норматив відрахувань на технічне обслуговування та ремонт технічних засобів, % від балансової вартості;

$H_n^{\delta yd}$  - норматив відрахувань на ремонт будівель, споруд, % від балансової вартості.

Витрати на паливо [15]:

$$Z_m = Q_m \Pi_m, \quad (4.8)$$

де  $Q_m$  – витрата палива за проектному технічному засобу, кг;

$\Pi_m$  – вартість палива на момент проведення розрахунків, грн/кг.

Витрати на електроенергію:

$$Z_{el} = E_n \Pi_{el}, \quad (4.9)$$

де  $Z_{el}$  – витрати на електроенергію при виконанні робіт по сепарації зернової маси, грн;

$E_n$  – кількість спожитої енергії на сепарації зернової маси, кВтгод;

$\Pi_{el}$  – тариф на електроенергію за 1 кВтгод/грн.

Оплата праці обслуговуючого персоналу визначається наступним чином [15]:

$$Z_n = C_{tar} \cdot Z_{np}^{pich} \cdot K_n, \quad (4.10)$$

де  $Z_n$  – витрати на оплату праці з відрахуванням на соціальні потреби, грн;

$C_{tar}$  – година тарифна ставка оплати праці персоналу, грн/год;

$Z_{np}^{pich}$  - загальні річні витрати праці на виробництво продукції, людгод;

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні витрати.

Загальні річні витрати праці  $Z_{np}^{pich}$  на виконання виробничого процесу [15]:

$$Z_{np}^{pich} = Z_{np}^{pich} + Z_{mo}^{pich}, \quad (4.11)$$

де  $Z_{np}^{pich}$  - витрати праці на виконання основного виробничого процесу, людгод;

$Z_{mo}^{pich}$  - витрати праці на техобслуговування та ремонт, людгод.

Таблиця 4.3 – Калькуляція експлуатаційних витрат

| Статті витрат                                                                      | Базовий варіант | Проектний варіант |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Амортизаційні відрахування на оновлення технічних засобів, будівель та споруд, грн | 5753            | 4872              |
| Оплата праці та відрахування у соціальні фонди, грн                                | 1025            | 689               |
| Технічне обслуговування та ремонт технічних засобів та будівель, грн               | 2743            | 2953              |
| Електроенергія, грн                                                                | 2460            | 2480              |
| Всього експлуатаційних витрат, грн                                                 | 11981           | 10994             |

Термін окупності загальних капітальних вкладень в сепаратор визначається за формулою [15]:

$$T_o = \frac{K_o}{E_{np}}, \quad (4.12)$$

де  $K_o$  – сума капітальних вкладень, що витрачаються на розробку та впровадження сепаратора, грн;

$E_{np}$  – економічна ефективність капіталовкладень у процес сепарації зернової маси, грн.

Повна енергоємність виробничого процесу на процес сепарації зернової маси  $E_c$  (МДж) визначається по сукупності прямих і упередметнених витрат енергії і енерговитрат живої праці за формулою [15]:

$$E_c = E_{np.ел.} + E_{o.буд} + E_{o.мс} + E_{ж}, \quad (4.13)$$

де  $E_{np.ел.}$  – прямі витрати електроенергії, МДж;

$E_{o.буд}$  – енерговитрати в будівлях і спорудах, МДж;

$E_{o.tc.}$  – енерговитрати в технічних засобах, МДж;

$E_{ж}$  - енергоємність живої праці, МДж.

Енергоємність споживаної енергії  $E_{np.ел.}$  визначається за формулою:

$$E_{np.ел.} = E_n L_{np.ел.}, \quad (4.14)$$

де  $L_{np.ел.}$  - енергетичний еквівалент 1 кВтгод прямих витрат, МДж ( $L_{np.ел.} = 3,6$  МДж).

Енерговитрати в засобах механізації  $E_{o.tc.}$  визначаються за формулою:

$$E_{o.tc.} = M \cdot L_{o.tc.}, \quad (4.15)$$

де  $M$  - маса технічних засобів, кг;  $\ell_{o.tc.}$  - енергетичний еквівалент 1 м<sup>2</sup> будівель і споруд, МДж ( $\ell_{o.tc.} = 20$  МДж).

Упередметнені енерговитрати в будівлях і спорудах  $E_{o.буд}$  визначаються за формулою:

$$E_{o.буд} = F_n \cdot \ell_{o.буд.}, \quad (4.16)$$

де  $F_n$  - площа будівель і споруд, м<sup>2</sup>;

$\ell_{o.буд.}$  - енергетичний еквівалент 1 м<sup>2</sup> будівель і споруд, МДж ( $\ell_{o.буд.} = 150$  МДж).

Енерговитрати живого праці на обслуговування технічного процесу визначається за формулою:

$$E_{ж} = Z_{np}^{pr} \cdot \ell_{ж}, \quad (4.17)$$

де  $\ell_{ж}$  - енергетичний еквівалент живої праці, ( $\ell_{ж} = 1,26$  МДж / люд.-год).

Енергетична ефективність виробництва зерна з урахуванням процесу сепарації запропонованої установкою визначається:

$$R = \frac{E_{np}}{E_3}, \quad (4.18)$$

де  $E_{np}$  - кількість виробленої енергії, що міститься в кінцевому продукті, МДж;

$E_3$  - кількість витраченої енергії на виробництво і обробку зерна, МДж.

Енергетичні витрати  $E_3$  на виробництво, вирощування, збирання та доопрацювання насіння визначається:

$$E_3 = E_{3.c.} + E_c, \quad (4.19)$$

де  $E_{з.с.}$  - витрати на вирощування, збирання і транспортування зернової маси до пункту післязбиральної доробки, МДж;

$E_c$  - витрати енергії на обробку зернової маси, МДж.

Питома енергоємність  $E_y$  (МДж/т) процесу сепарації зернової маси визначається в натуральному вираженні:

$$E_y = \frac{E_c}{O_c}, \quad (4.20)$$

де  $E_c$  - сукупні витрати енергії на сепарацію зернової маси, МДж;

$O_c$  - кількість транспортованої зернової маси в натуральному вираженні, т.

Питома металоємність сепаратора  $M_{шт}$  (кг / т / год) визначається на одиницю продуктивності:

$$M_{шт} = \frac{M_{a.m.}}{W_n}, \quad (4.21)$$

де  $M_{a.m.}$  - металоємність сепаратора, кг;

$W_n$  - продуктивність сепаратора, т / год.

Натуральні і вартісні показники економічної ефективності по порівнюваним варіантів представлені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Натуральні та вартісні показники економічної ефективності для варіантів, що порівнюються

| Показники                               | Базовий варіант | Проектний варіант |
|-----------------------------------------|-----------------|-------------------|
| Питома витрата електроенергії, кВтгод   | 79              | 68                |
| Витрати праці, людгод                   | 123             | 65                |
| Капітальні вкладення, грн               | 42567           | 46316             |
| Оплата праці та відрахування, грн       | 1164            | 754               |
| Прибуток балансовий, грн                | 168943          | 275388            |
| Рівень рентабельності, %                | 126             | 219               |
| Термін окупності капіталовкладень, роки | 0,64            | 0,42              |
| Прямі витрати енергії, МДж              | 73578           | 65681             |

|                                      |       |       |
|--------------------------------------|-------|-------|
| Коефіцієнт енергетичної ефективності | 1,75  | 1,73  |
| Річний економічний ефект, грн/т      | 19577 | 28468 |

На основі проведеного техніко-економічного обґрунтування було встановлено, що щорічний економічний ефект від використання проектного варіанту аеротранспортеру 28 тис.грн при терміну окупності загальних капіталовкладень біля 0,42 років

#### **4.4 Висновки до четвертого розділу**

1. На основі проведеної екологічної експертизи щодо виявленню ступеня негативного впливу технології сепарації зерна на стан природного навколишнього середовища не було встановлено фактів можливого радіоактивного, бактеріального, хімічного та інших видів забруднень

2. Основним об'єктом дослідження на предмет виявлення та упередження небезпечних ситуацій та дотримання вимог охорони праці є техніка безпека та правила поведінки при реалізації технологічного процесу сепарації зерна злакових культур.

3. На основі проведеного техніко-економічного обґрунтування було встановлено, що щорічний економічний ефект від використання проектного варіанту аеротранспортеру 28 тис.грн при терміну окупності загальних капіталовкладень біля 0,42 років.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз способів очищення зернового матеріалу, що застосовуються в комбікормовому та борошномельному виробництвах, показав, що найкраща якість очищення досягається за допомогою вібраційних сепараторів.

2. Виявлено критерії подібності до процесу сепарування, необхідні для проектування типорозмірного ряду сепараторів для очищення фуражного зерна. Експериментально підтверджені такі конструктивно-кінематичні та технологічні параметри вібраційного сепаратора, що дозволяють ефективно виділити мінеральні та органічні домішки з мінімальними втратами зерна та витрат енергії: амплітуда коливань робочого органу  $a=0,006$  м; кутова частота коливань  $\omega =50$  с<sup>-1</sup>; висота пластин  $h_{пл} = 0,01$  м; крок між пластинами  $b = 0,015$  м; довжина решета  $L_p = 0,86$  м; ширина решета  $b_p = 0,55$  м; кут нахилу решета  $\alpha=12$  град; подача зернової суміші  $Q=2,5$  т/год. Питомі енерговитрати у своїй становлять  $0,63$  кВт·час/т, ефективність виділення мінеральних домішок –  $92-97,5\%$ , а втрати зерна у відходи відсутні.

3. Детальне опрацювання питань впливу розробленого технологічного процесу сепарації зерна на стан природнього навколишнього середовища не виявило потенційних загроз в порушенні екологічних норм та стандартів. У ході проведення аналізу наявних потенційних небезпек при сепарації зерна були окреслені ймовірні причини виникнення небезпечних ситуацій та випадків. Більшість травмонебезпечних і аварійних ситуацій було піддано аналізу та надано рекомендації по їх недопущенню та профілактики

4. На основі проведеного техніко-економічного обґрунтування було встановлено, що щорічний економічний ефект від використання проектного варіанту аеротранспортеру  $28$  тис.грн при терміну окупності загальних капіталовкладень біля  $0,42$  років.