

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

КОСТЮК АНДРІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 631.362

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Підвищення продуктивності роботи зерноочисної машини
(тема роботи)

208 «Агроінженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Сукманюк Олена Миколаївна
(прізвище, ім'я, по батькові)
к.і.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)

АНОТАЦІЯ

Костюк А.І. Підвищення продуктивності роботи зерноочисної машини. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

В кваліфікаційній роботі наведений аналіз робочих процесів і конструкцій зерноочисних машин. Показана класифікація решітних зерноочисних машин та наведений огляд схем очищення зернового матеріалу.

Проаналізовано процес роботи решітного стану зерноочисної машини, визначено сили, що діють на решітний стан, а також показано вплив зернового навантаження на решето.

Обґрунтовані основні параметри решітного вібросепаратора та наведена методика проведення дослідів при розподілі зернового матеріалу.

Ключові слова: очищення, зерно, процес, гравітаційний сепаратор, удосконалення.

ABSTRACT

Kostiuk A.I. Increasing the productivity of the grain cleaning machine. Qualification for the advanced master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

In the qualified robotic guidance, analysis of work processes and the design of grain cleaning machines. The classification of sieve grain cleaning machines and guidance on grain cleaning schemes is shown.

The process of operation of the sieve mill of a grain cleaning machine is analyzed, the force exerted on the sieve mill is determined, and the flow of grain onto the sieve is also shown.

The main parameters of the sieve vibration separator have been determined and the methodology for carrying out investigations during the distribution of grain material has been established.

Key words: purification, grain, process, gravity separator, improvement.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ І КОНСТРУКЦІЙ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН	6
1.1.Класифікація решітних зерноочисних машин.	6
1.2.Огляд схем очищення зернового матеріалу	15
1.3.Висновки по першому розділу	18
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН	20
2.1. Аналіз процесу роботи решітного стану зерноочисної машини	20
2.2. Визначення сил, що діють на решітний стан	23
2.3. Дослідження впливу зернового навантаження на решето	26
2.4. Висновки по другому розділу	27
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	28
3.1. Обґрунтування основних параметрів решітного вібросепаратора насіння	28
3.2. Методика проведення дослідів при розподілі зернового матеріалу	30
3.3. Висновки по третьому розділу	33
ВИСНОВКИ	35
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	36

ВСТУП

Виробництво зерна є найважливішою сферою аграрного сектору, що має найбільший вплив на степінь забезпечення населення продовольством та на рівень розвитку кормової бази для низки галузей агропромислового комплексу.

Однією з трудомістких та важливих операцій при виробництві зерна є його післязбиральне первинне (до базисних кондицій продовольчого зерна) та насіннєве очищення. Однак конструктивні технологічні недоліки та недосконалість та знос основних технічних засобів не дозволяють господарствам своєчасно та якісно проводити післязбиральну обробку зерна.

Заміна фізично та морально застарілих зерноочисних машин новими триває багато років, але суттєвого здвигу в створенні нових вітчизняних і ефективних зерноочисних машин та удосконалених способів очищення зерна. У зв'язку з цим у господарствах відсутні високопродуктивні зерноочисні машини і в результаті, при отриманні навіть високого врожаю, господарства зазнають великих збитків від значних втрат зерна при післязбиральній обробці.

Найважливішим завданням, яке стоїть сьогодні перед розробниками нових зерноочисних машин та агрегатів, є обґрунтування раціональних схем та технічних засобів для поточних технологій очищення та сортування насіння зерна, що забезпечують високі показники з мінімальними наведеними витратами, що надалі забезпечить розробку та випуск високопродуктивної сільськогосподарської техніки для післязбиральної обробки зернових культур.

В даний час створення нової техніки йде переважно шляхом вдосконалення традиційних базових конструкцій, збільшення їх металоємності та енергонасиченості, що не призводить до суттєвого покращення їх технологічної надійності та питомих показників технічного рівня.

Це пояснюється тим, що існуючі традиційні методи розробки та проектування технологічних процесів і технічних засобів (зерноочисних машин і потокових ліній) базуються на традиційній послідовності виконання технологічних операцій та використання існуючих базових машин. Підвищення післязбирального очищення та сортування зернових неможливо без здійснення прогресивних технологій та створення зерноочисних машин нового покоління.

У зв'язку з цим, для розробки зерноочисних машин з високими техніко-економічними показниками стала необхідність у вирішенні проблеми

оптимізації раціональної сукупності окремих операцій та параметрів зерноочисних машин. Які мають забезпечити виконання необхідних показників призначення при мінімізації витрат на очищення та отримання насінневого та продуктового матеріалу.

Основна мета дослідження підвищення ефективності функціонування зерноочисних машин.

Об'єкт дослідження: процес роботи решітного стану машини для очищення зерна.

Предмет дослідження: Закономірність функціонування процесу решітного стану зерноочисних машин.

Методологія і методи дослідження.

Теоретична частина роботи базується на застосуванні математичного моделювання та положень класичної механіки.

Основні завдання дослідження:

– проведення аналізу процесу та конструкцій очищення на вібраційних сепараторах;

– визначення впливу навантаження та кінематичних параметрів на продуктивність та ефективність поділу зернової суміші при виділенні домішки на решітках.

– обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів решітних станів.

Публікації:

Сукманюк О. М., Костюк А. І. Дослідження впливу зернового навантаження на решето. Біоенергетичні системи: *Біоенергетичні системи: матеріали ІХ міжн. наук.-практ. конф.* 19-20 листопада 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 33-35.

Костюк А. І. Обґрунтування основних параметрів решітного вібросепаратора насіння. *Наукові читання – 2025: збірник тез доповідей наук.-практ. конф. за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей.* 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Том 2. 85 С. 65-67.

Костюк А. І. Класифікація решітних зерноочисних машин. *Студентські читання–2025: матеріали наук.-практ. конф. науково-педагогічних працівників та здобувачів вищої освіти факультету інженерії та енергетики.* 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Т2. 85. С. 56-60.

Обсяг та структура роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 37 сторінках машинописного тексту, містить 19 рисунків, списку використаних джерел з 15 найменувань.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ І КОНСТРУКЦІЙ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН

1.1. Класифікація решітних зерноочисних машин.

На сьогоднішній день розроблено безліч конструкції зерноочисних машин. Це перш за все машини з плоскими прямокутними або круглими решетами, що здійснюють просторові коливання, з круглими та гвинтовими решетами, що здійснюють гвинтову або осьову вібрацію від електромагнітних вібраторів, з циліндричним решетом, що здійснює просторові коливання та інші, до яких проявляється підвищений науковий інтерес.

На зерноочисних машинах здійснюється вилучення сторонніх домішок із початкового матеріалу та розподіл продукту на окремі фракції.

Добре очищене та відсортоване насіння знижує засміченість полів, підвищує схожість насіння та врожайність. Біологічно повноцінне, вирівняне, вільне від домішок та хвороб насіння забезпечує найвищу енергію проростання та лабораторну схожість, дружні та сильні сходи, високу врожайність.

Ступінь очищення основної зернової культури надалі впливає як на якість посівного матеріалу, так і на стабільність якості зерна, що переробляється, визначає навантаження та ефективність роботи технологічних машин, що зрештою впливає на продуктивність та техніко-економічні показники.

Очищення зернової суміші вважається одним з складних процесів у виробництві, для інтенсифікації якого необхідно вирішити технічну складову, домогтися необхідної продуктивності, мінімізуючи втрати зерна у відходи за максимальної ефективності [2].

Існує дуже багато класифікацій зерноочисних машин за ознакою поділу зернової суміші, за способом завантаження матеріалу, способом очищення, ступенем впливу на продукт, розташування решіт, форму поверхні робочого органу та видів коливань різних решіт і т.д.

На сучасному етапі зерноочисні машини та апарати, що працюють на основі вібраційного принципу, посідають провідне місце на підприємствах харчової промисловості та в аграрному секторі. Їхня популярність зумовлена конструктивною простотою та здатністю підвищувати ефективність видалення домішок завдяки поєднанню в одному агрегаті кількох функціональних вузлів, які виконують операції сепарування.

«Вібраційні машини знаходять широке застосування в різних галузях техніки для підвищення ефективності фізичних і хімічних процесів, транспортування та дозування сипких матеріалів, їх змішування, ущільнення, а також розподілу даних матеріалів на фракції різної якості» [8].

«Вібраційні машини поділяються на машини безперервної та періодичної дії, причому найбільш поширеними є саме сепаратори безперервного типу». [8].

Особливості технологічних та конструктивних схем даних машин залежно від ознак та способів поділу частинок, робочих органів та траєкторії руху наведені у роботах [8,10]. Залежно від призначення дані машини відрізняються одна від одної за типом приводу, за числом і розташування коливаючих ситових корпусів, за характером їх руху. Враховуючи класифікацію вібромашин [6, 9], основні групи зерноочисних машин можна класифікувати наступним чином (рис. 1.1).

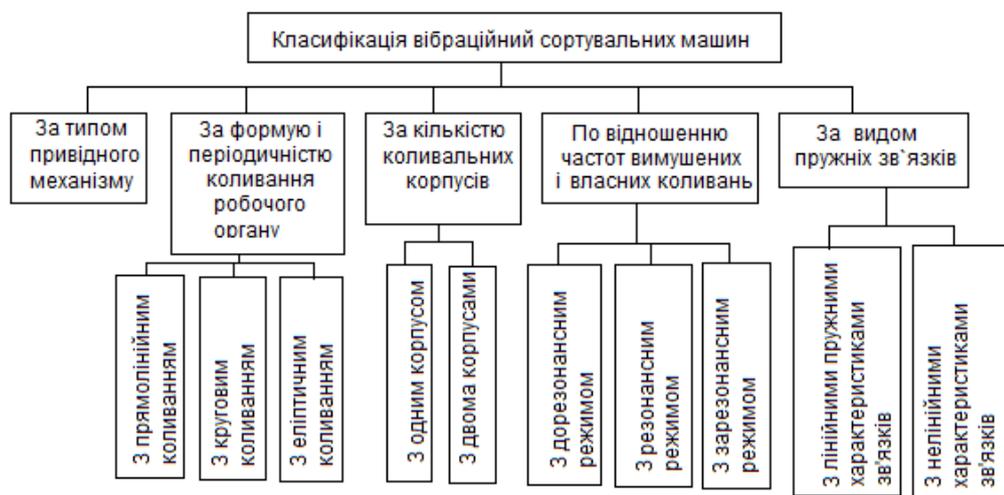


Рисунок 1.1. Класифікація вібраційних сепаруючих машин

«Форма коливань робочого органу залежить від динамічних параметрів системи, зокрема від типу привідного пристрою, маси робочого органу та жорсткості пружних елементів. Приведена класифікація вібраційних зерноочисних машин дає змогу об'єднувати різні типи машин у відповідні групи за певними ознаками та вдосконалювати загальну методику їх розрахунку». [9]

До сьогодні як в Україні, так і за кордоном створено значну кількість зерноочисного обладнання, призначеного для різних етапів очищення та оснований на використанні різних фізико-механічних властивостей складових зернової маси.

Основними напрямками удосконалення таких машин є забезпечення необхідної продуктивності, підвищення якості очищення зерна й насіння, а

також зменшення енерго- та металоємності за умов дотримання санітарно-гігієнічних норм.

Розподіл зернової суміші за геометричними параметрами (товщиною та шириною) здійснюється за допомогою сит (решіт). Ключовою умовою ефективного протікання цього процесу є рух матеріалу по поверхні сита, який забезпечується кутом його нахилу та характером коливального руху.

Застосування тієї чи іншої схеми виду коливань та форми поверхні решіт зерноочисних машин визначається трьома головними факторами: продуктивністю, просіюваністю та стійкістю технологічного процесу. Дані фактори задовольняють вимоги зерноочисних та сортувальних машин з точки зору кількісної та якісної технологічної оцінок [1].

Решітні сепаратори – найпоширеніший різновид зерноочисних машин, що застосовуються як у сільському господарстві, і харчової промисловості. Процеси, що протікають у решітних сепараторах, описані спеціальною літературою. Підвищення ефективності вилучення домішок, даними пристроями, присвячено декілька робіт, виконаних у ВНЗ та НДІ [5, 10].

Процес, що лежить в основі роботи решітних сепараторів, умовно можна розділити на дві стадії: самосортування та просіювання. Внаслідок стадії самосортування важкі частинки суміші опускаються на поверхню решета внаслідок відносного руху всієї зернової суміші по робочій поверхні. На другому етапі проходові частинки, розмір яких менше отворів у решеті, продовжуючи відносний рух у нижньому шарі зернової суміші та проходячи над отвором решета, просіюються.

Якщо у зерновій суміші міститься значна частка проходових фракцій, то явище самосортування практично не впливає на кінцевий результат сепарації, і основну роль у процесі починає відігравати саме просіювання.

За низького вмісту проходового матеріалу та за умови, що товщина шару перевищує розміри зернівки у кілька разів, решето здебільшого пропускає важчі частинки, які опиняються на його поверхні внаслідок самосортування.

На ефективність роботи решітного сепаратора впливають численні чинники, зокрема ймовірнісний характер властивостей окремих частинок зернової маси, багаторазова взаємодія між ними та з робочою поверхнею апарата, а також інші особливості динаміки матеріального потоку.

У ряді робіт для опису процесу решітного сепарування використовують теорію випадкових процесів марковського типу. За такого підходу ефективність сепарування описують стохастичні коефіцієнти, значення яких отримують експериментально для конкретних умов, що суттєво ускладнює аналіз результатів.

Для вивчення процесу решітного сепарування найчастіше використовують детерміністський підхід, що дозволяє уявити взаємодію частинок зернової суміші одна з одною та робочою поверхнею у вигляді нескладних математичних моделей, що враховують основні закони механіки: модель як матеріальної точки; модель у вигляді матеріальної частки із наведеними параметрами; модель руху сипучого середовища по неоднорідній вібраційній поверхні; двомасова інерційна модель; модель плоских шарів; модель суцільного середовища; двошарова модель із сухим тертям [5-9].

Конструктивні особливості та порядок роботи розглянемо на прикладі решітного вібросепаратора СПВ-Н. Даний пристрій застосовується для попереднього очищення зерна на сільськогосподарських підприємствах, комбікормових та круп'яних заводах, млинах та елеваторах.

Конструктивна схема вібросепаратора СПВ-Н представлена на рис. 1.2.

Конструктивно вібросепаратор складається з: завантажувального пристрою 1, набору сит 3, 4, 6, 7, розташованих у ситовому корпусі у два яруси, двох моторвібраторів 5, рами 12, яка з'єднана з решітним корпусом за допомогою пружин 8.

Процес сепарування протікає наступним чином: зерноsumіш А, через завантажувальний пристрій 1 та систему похилих схилів 2 потрапляє на сортувальні сита 3 і 4, на яких відокремлюються великі домішки, а зерно проходить надходить на підсівні сита 6 та 7. Далі очищене зерно С, з сит 6 і 7 видаляється через лоток 10. Дрібні домішки D, які просіялися через сита 6 і 7 збираються на дні сепаратора та виводяться.

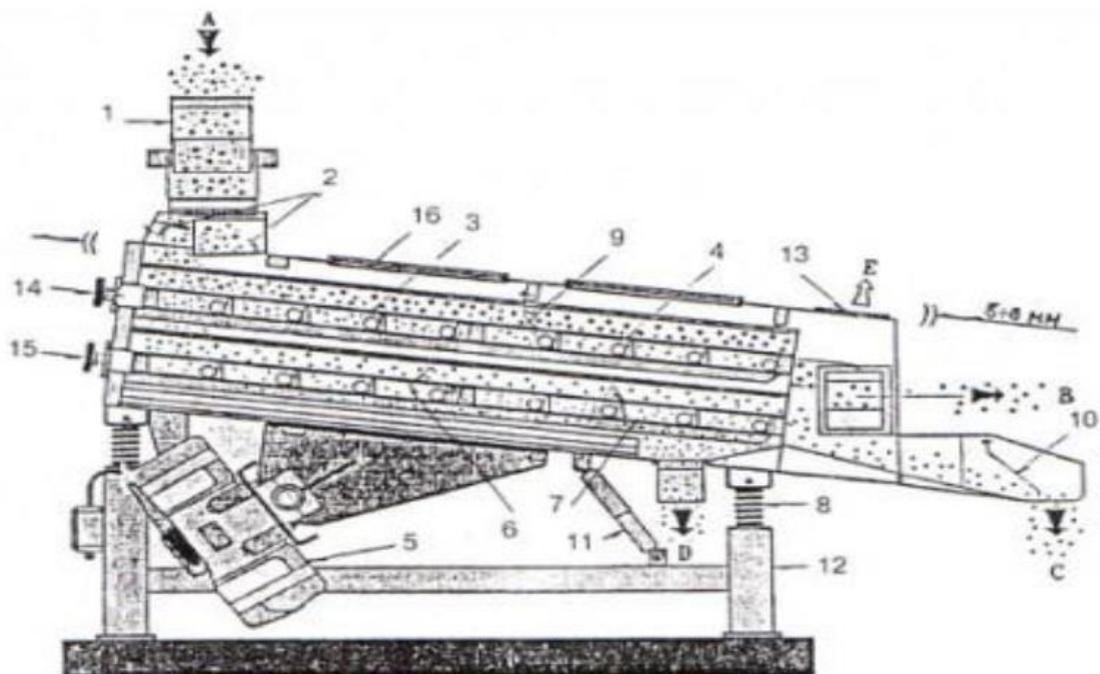


Рисунок 1.2. Конструктивна схема решітного вібросепаратора СПВ – Н

До основних переваг такого сепаратора належать простота конструкції як приводу, так і всього агрегату, а також висока надійність і тривалий термін служби.

Серед основних недоліків вібросепараторів варто зазначити невелику амплітуду коливань решітних поверхонь, що зумовлює недостатнє видалення легких домішок за один прохід і, відповідно, обмежує продуктивність обладнання.

Вібраційний сепаратор насіння запропонований Завгороднім А.І. та ін., що складається з живильного бункера, решітного стану з вібраційними плоскими решетами і шариковими очищувачами (рис. 1.3.) Кожне решето виконано з перфорованими і неперфорованими ділянками, причому неперфорована ділянка кожного наступного решета розміщена із зазором на перфоровану ділянку попереднього решета.

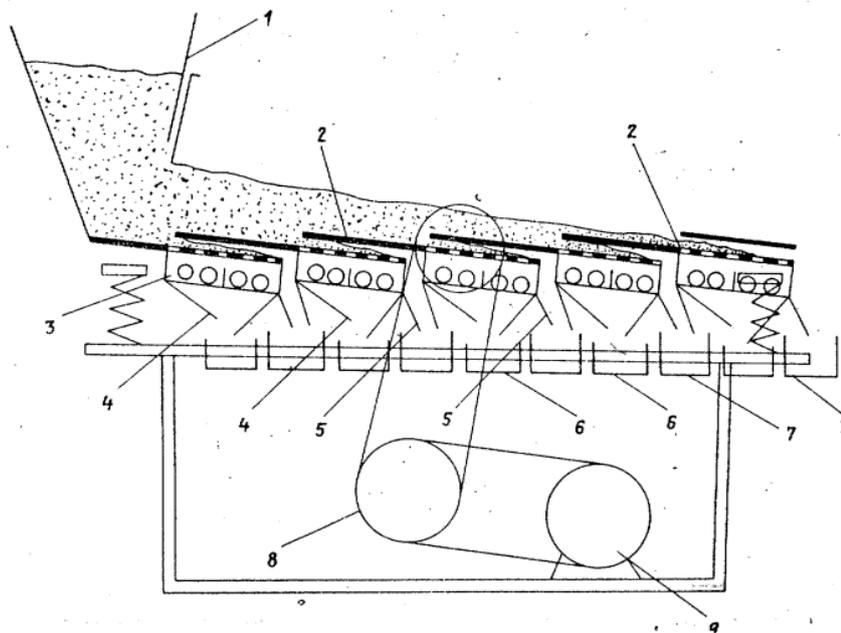


Рисунок 1.3. Вібраційний сепаратор: 1 – живильний бункер; 2 – плоскі решета з перфорованими і неперфорованими ділянками; 3 – кулькові очищувачі; 4 і 5 – направляючі лотки; 6 і 7 – приймальники; 8 вібратор з приводом 9.

Зерновий матеріал із бункера 1 надходить товстим шаром на коливальні решета 2. При переміщенні матеріал попадає в зазори, утворені перфорованими ділянками попередніх і неперфорованих ділянок попередніх решіт 2, розділяючись при цьому на тонкі шари. Далі матеріал переміщається по перфорованим ділянкам шаром і розділяється на фракції. Дрібна фракція, проходить крізь отвори решета і направляється лотками 4 в приймальники 6. Велика фракція проходить сходом і направляється в лотки 5 в приймальники 7. Частинки матеріалу, що застрягли в отворах решета, виштовхуються із

ударами кульок очисника 3. Політ частинок, що піднімаються при ударі кульок очищувача 3 об решето 2, обмежується неперфорованими ділянками наступного решета.

Таким чином, вібраційний сепаратор насіння дозволяє при великій товщині шару суміші, що подається на початкову ділянку решета, забезпечує малу товщину шарів суміші на кожній перфорованій ділянці, тобто утворює сприятливі умови для просівання. Покращення ефективності просіювання досягається за рахунок накладення складного силового поля, складовими якого є кругові та осьові рухи.

Коллективом розробників [6] запропонована зерноочисна машина з використанням вібрації у механічних системах (рис. 1.4.).

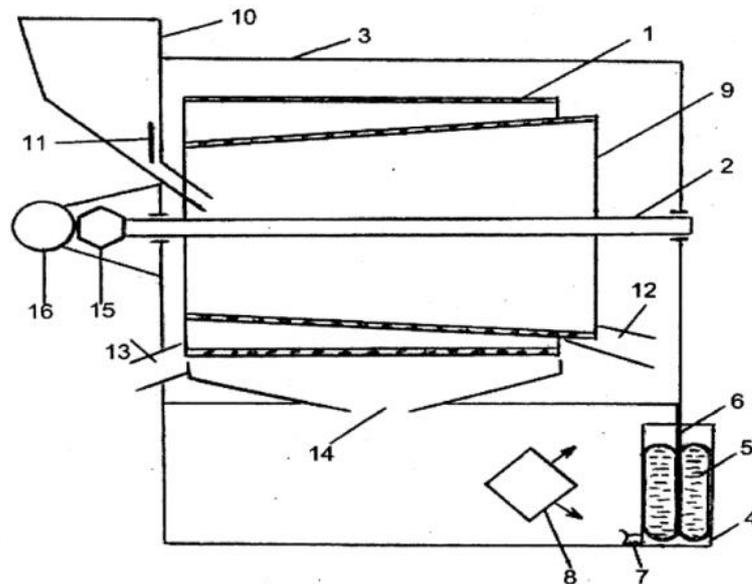


Рисунок 1.4. Схема вібровідцентрової машини: 1 – перфорований барабан; 2 – вал; 3 – рама; 4 – вібропривід; 5 – еластичні тороїди; 6 – штоки; 7 – вхідний штуцер; 8 – блок управління; 9 – конусне решето; 10 – бункер; 11 – заслінка; 12 – приймач великих частинок; 13 – приймач середніх частинок; 14 – приймач дрібних частинок; 15 – редуктор; 16 – привід

Вібровідцентрова машина працює наступним чином: вихідний зерновий матеріал з бункера 10 при відкритій заслінці 11 надходить на внутрішню поверхню конусного решета 9, який розміщений у перфорованому барабані 1, що закріплені на валу 2 та приводиться в обертальний рух приводом 16 через редуктор 15 і осьові коливальні рухи від двох віброприводів 4, що складаються з циліндрів 4, з рухомими штоками 6, що проходять через їх центральний отвір і закріплені в еластичних тороїдах 5. На вал 2 впливають осьові коливальні рухи з частотою 3 Гц через вертикальну стійку рами 3 при одночасному обертанні. Частинки, що

знаходяться в матеріалі під дією складних силових полів, розподіляються поверхнею конусного решета 9. Великі частинки сходом потрапляють у приймач 12, а середні з дрібними просіюються на перфорований барабан 1, де середні сипучі речовини йдуть сходом в приймач 13, а дрібні – проходом до приймача 14. При сепарації легких матеріалів кругові рухи можуть бути вимкнені. При цьому працюють тільки віброприводи 4 з пневмоподачею блоку управління 8.

Установка двох циліндрів з еластичними тороїдами у вібровідцентровій машині дозволяє передавати коливальні рухи перфорованому барабану та конусному решету. Передача коливального руху барабану та конусному решету підвищує ефективність просіювання та очищення отворів просіваючих поверхонь. Виконання віброприводу з можливістю коливань у площині валу дозволяє барабану та конусному решету здійснювати осьові коливання. Таке виконання віброприводу дає можливість вибирати незалежно від частоти обертання барабана параметри коливань (частоту та амплітуду).

Вібровідцентрова машина дозволяє працювати при вимкненому приводі кругових рухів, що доцільно при сепарації легко роздільних зернових сумішей.

Тересенком А.П. та ін. [7] був розроблений прискорешітний сепаратор (рис. 1.5.), на якому встановлений дисбалансний вібратор направленої дії, що встановлений з можливістю переміщення вздовж повздовжньої вісі решета.

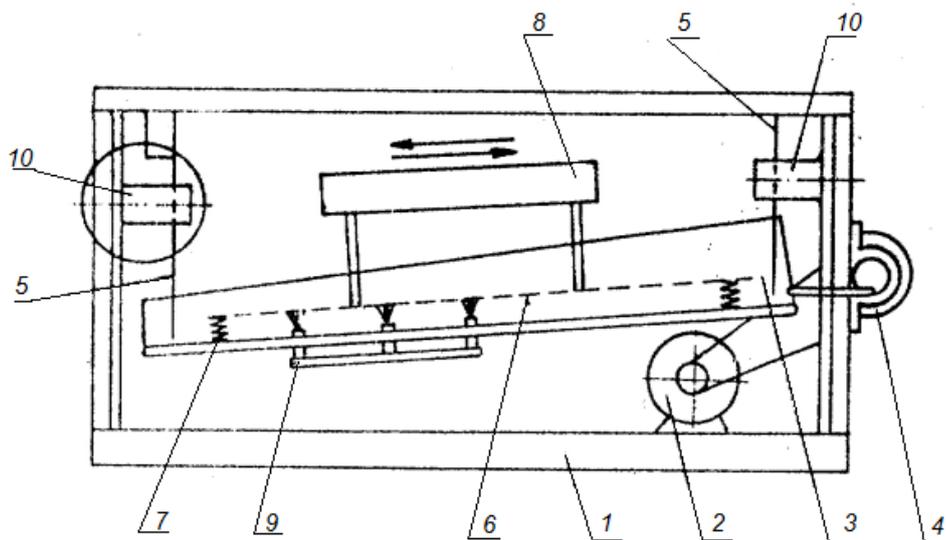


Рисунок 1.5. Плоскорешітний сепаратор: 1 – рама; 2 – електродвигун; 3 – решітний стан; 4 – вібропривід; 5 – підвіска; 6 – плоске решето; 7 – пружини; 8 – дисбалансний вібратор; 9 – пристосування для очищення решіт.

Даний сепаратор працює наступним чином: зерновий матеріал за допомогою завантажувального пристрою подається на початок решета 6, що здійснює разом з решітним станом 3 коливальні рухи. Поверхня решета 6 очищується від застряглих зерен за допомогою механізму очищення 9.

Довжина робочих ділянок підвісок 5 регулюється безступінчасто за допомогою переміщення кронштейнів 10 у вертикальному напрямку, яке здійснюється шляхом переустановлення кронштейнів 10 в овальних отворах 12. При цьому найбільша продуктивність при використанні решіт з продовговуватими отворами досягається при максимальній довжині підвіски 5 (при крайньому верхньому положенні кронштейна 10), оскільки найбільш ефективно процес сепарації на таких решетах здійснюється при ковзанні очищувального матеріалу по решету.

При використанні решіт з круглими отворами найбільша продуктивність досягається при мінімальній довжині підвісок 5, оскільки така довжина забезпечує режими роботи решета з підкиданням матеріалу.

Конструкція десбалансного вібратора 8 дає можливість незалежно регулювати амплітуду і частоту додаткових вібрацій. За рахунок переміщення вібратора 8 в напрямок повздовжньої вісі решета 6 є можливість знаходити положення точок прикладання обурювальної сили, при якій досягається найбільша продуктивність.

На рис. 1.6 схематично показана сегрегація компонентів зернового потоку під впливом вібрації робочої поверхні та потоку повітря.

Ефективне вилучення домішок із зернової суміші, що відрізняються за щільністю та розміром, у псевдозрідженому шарі здійснюється комбінованим способом очищення. Як правило, для цього використовуються вібропневмосепаратори. Дані пристрої дозволяють ефективно розшарувати зернову суміш і згрупувати у шарах зерна з подібними фізичними параметрами. [9].

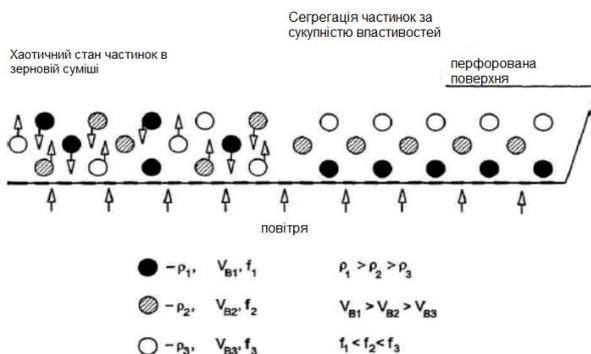


Рисунок 1.6. Сегрегація компонентів зернового потоку під впливом вібрації перфорованої робочої поверхні та потоку повітря. ρ , V , f – відповідно, щільність, швидкість вітання та коефіцієнт тертя [7]

Надалі зернову суміш поділяють одним із способів, показаних рис. 1.7.

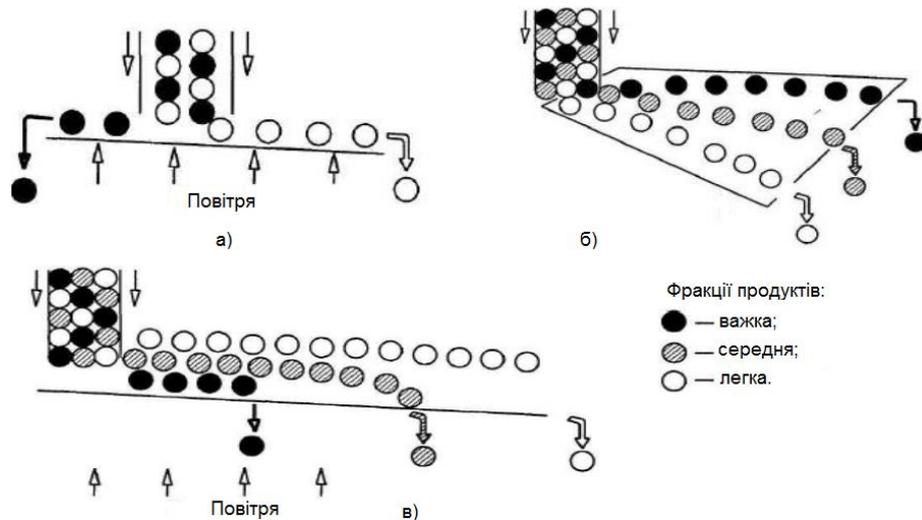


Рисунок 1.7. Поділ компонентів зернової суміші за сукупністю ознак: а) протиточний; б) віяловий; в) за зменшенням щільності [9].

«Найбільш поширеними у сільському господарстві є вібропневмосепаратори з трапецієподібною формою робочого органу, які також називають пневмосортувальними столами». [9]

«Робота цих пристроїв відбувається у дві взаємопов'язані фази: спочатку відбувається самосортування (розшарування) зернової суміші в псевдозрідженому шарі, після чого – роздільний рух частинок суміші до різних ділянок робочої поверхні». [9]

«Ділянку поверхні, де здійснюється розшарування потоку зерна, називають зоною попереднього розшарування, а ту, по якій розділене зерно рухається далі, – зоною транспортування. Зазвичай зона попереднього розшарування займає близько 25% від загальної площі робочого органу». [9]

Форма поверхні пневмосортувального столу визначається тривалістю руху по ній легких і важких фракцій.

Варіанти робочих органів наведено на рис. 1.8. Їх можна поділити на три основні групи: ті, що забезпечують довшу обробку важкої фракції зернової суміші (рис. 1.8 а, б, в); ті, що сприяють тривалішій обробці легких фракцій (рис. 1.8 г); та варіанти, які забезпечують приблизно однакову тривалість обробки обох фракцій (рис. 1.8 д).

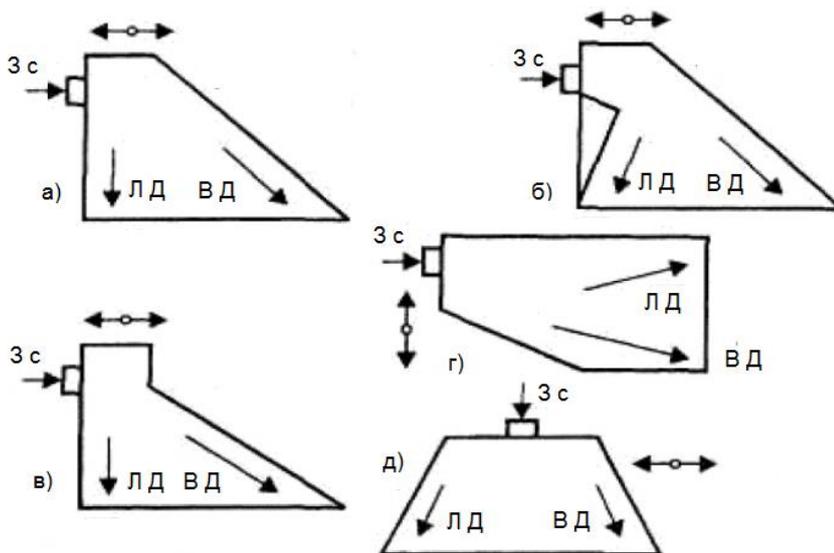


Рисунок 1.8. Варіанти форми робочого органа пневмосортувального столу: З с – зернова суміш; Л Д – легкі домішки зернової суміші; В Д – важкі домішки зернової суміші; ↔ – напрямлення коливання робочого органа.

Перша група, найбільш поширена, і використовується в пневмосортувальних столах фірм Forsberg (США), Sutton, Steelle&Steelle (США), Камас (Швеція), Ogrim (Італія).

Друга використовується у пристроях фірм Oliver (США), Heid (Австрія). Дана форма робочого органа найперспективніша і застосовується в машинах та має високу продуктивність. Як правило, дані машини використовуються для очищення насіння зернових культур.

Третя група в основному використовується у столах, що випускаються фірмою Камас.

Робочі елементи пневмосортувальних столів можуть мати різну конструкцію залежно від їхнього функціонального призначення та вимог до продуктивності. Найчастіше вони виконуються у вигляді сит, решіт або просівочно-витяжних ґрат із жалюзійними виступами. Випускаються деки, у яких зони транспортування та попереднього розшарування виконані із різних елементів.

1.2. Огляд схем очищення зернового матеріалу

Велика кількість різновидів схем застосування способів очищення зерна зручніше і наочніше подати у вигляді табл. 1.1.

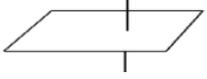
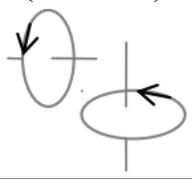
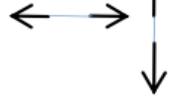
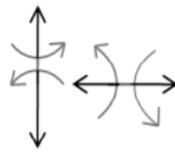
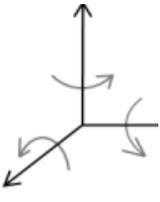
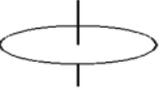
Розглянемо деякі схеми поєднання видів коливань та форм поверхонь решіт:

Схема 1 (прямокутні решета, коливання кругові) та схема 2 (решітно-прямокутне, коливання – прямолінійні спрямовані). За таким принципом працює багато віброрешітних машини.

Безперечно, що подальше вдосконалення групи машин буде здійснюватись шляхом підбору режимів амплітуди, частоти вібрації решітного стану для окремої культури, а також видів її коливань. Важливо вони ідентичні, але відрізняються формою решета.

Схема 3: (плоска кругла, коливання кругові) в основному застосовується для очищення рису та бульби. Істотним недоліком дискових сортувань, що обертаються в горизонтальній площині, є короткий технологічний шлях компонентів оброблюваного матеріалу решітної поверхні, оскільки під дією відцентрових сил коренебульбоплоди миттєво сходять із решета. Цим пояснюється низька пропускна здатність і низька якість роботи обертових решіт [2].

Таблиця 1.1. Види руху форми поверхонь решіт зерноочисних машин

Форма поверхні решіт (схема і основні положення)	Вид коливання решета			
	в площині		в просторі	
	кругові (овальні)	прямолінійні (осьові)	гвинтові	просторові
	 1	 2	 -	 -
Плоска, кругла 	3	-	4	5
Конічна 	-	6	-	-
Гвинтова 	-	-	7	-

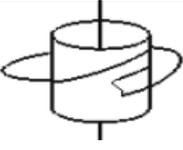
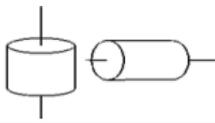
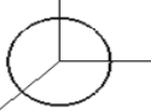
				
Циліндрична 	8	-	-	9
Кулькова 	10	-	-	11

Схема 4 решета - плоскі круглі, коливання - гвинтові. Дана схема (з електромагнітним вібратором гвинтових коливань) запропонована авторами з метою очищення рису від бур'янів [3].

Схема 5: форма поверхні вібраційного решета зерночисної машини - плоска кругла, коливання – складні просторові. Машина, виготовлена за даною схемою, не дозволяє збільшувати продуктивність, а також не забезпечує максимальної якості сепарації за стійких режимів [4].

Перевага 4 схеми перед схемою 5 полягає в можливості підвищення кількості решіт, кожне з яких має продуктивність не менше 200 кг/год. При з'єднанні решіт послідовно (а це необхідно для підвищення якості очищення) виникає нерівномірність технологічного процесу на перехідних ділянках з'єднуються решета, так як необхідно створити круговий рух шару по решету. Щоб уникнути даного недоліку авторами було запропонована та досліджена схема 7, при якій круглі решета замінені гвинтовими.

Схема 6: поверхня решета - у вигляді зрізаного конуса, коливання - прямолінійні спрямовані (по осі конуса). Дана схема запропонована для очищення зерна від бур'янів, вона має перспективу, оскільки має всі переваги від попередньої.

Відмінною особливістю схеми є те, що в ній замість гвинтових ярусів решіт буде використаний набір зрізаних конічних решіт з малими кутами. Залежно від розміщення вершин зрізаних конусів до горизонту зерновий ворох буде завантажуватися на конуси або з периферії, або з центру. При цьому шар буде повільно переміщатися (у процесі осьової вібрації всього блоку решіт) утворюючим усічених конічних решіт, а не по близьких до кругових траєкторій, як у випадку круглих або навіть гвинтових решіт [5].

Схема 7: решета - гвинтові, коливання - гвинтові. У даному випадку недолік з нерівномірності технологічного процесу просівання, що

вирішується по ширині та по окремих витках (на противагу схемах 5 та 4) повністю усунений. При цьому гвинтове решето набуває нову якість - здатність транспортування шару витками знизу вгору та навпаки за рахунок значної швидкості руху шару поверхнею решета. При цьому сила, що проштовхує, діє на частинку, спрямовується під кутом, тому поєднання "гвинтове решето-гвинтове коливання" має перспективу застосування при процесах, де повинні вирішуватися одночасно два завдання: просіювання та транспортування [4].

Схеми з 8 по 9 - з циліндричними решітками особливого поширення не набули через низьку продуктивність на одиницю площі робочого органу. Справа в тому, що при підвищенні частоти обертання решета насіння прилипає до його поверхні, а при зниженні – працює лише нижній сектор [6].

З технологічної точки зору мають перспективу схеми 10-11. Але конструкція приводу на етапі технічного розвитку виходить складною, а також виготовлення робочого органу стає досить витратним.

У своїх працях дослідники відзначають, що середня швидкість руху зернового матеріалу по решету суттєво впливає на технологічну ефективність процесу сепарування [6-8]. Дана швидкість визначається поєднанням таких параметрів, як товщина шару зернової суміші, амплітуда, частота коливань, кут нахилу та напрямок коливань сита. Аналіз наукових робіт, спрямованих на встановлення оптимальних значень технологічних і динамічних параметрів зерноочисних машин, показує необхідність урахування впливу вібрацій конструкцій машин на їхні технологічні показники [8].

1.3.Висновки по першому розділу

В результаті аналізу конструкцій та процесу роботи решітних зерноочисних машин виявлено такі тенденції їх розвитку:

- підвищення продуктивності до 200...250 т/год і більше за рахунок збільшення площі сортувальних і підсівних решіт, продуктивності вентиляторів, застосування фракційної технології очищення за швидкістю витання та розмірами частинок, використання для очищення від грубих домішок додаткового решета;

- розширення функціональних можливостей – розробка зерноочисних машин для попереднього та первинного очищення, первинного та вторинного очищення, універсальних зерноочисних машин для виконання попереднього, первинного та вторинного очищення;

- розробка та впровадження на підприємствах малогабаритних (компактних) пристроїв та пристроїв, що дозволяють підвищити

інтенсивність самосортування зернової суміші на робочих органах, які використовують принцип вібраційної сепарації.

Існуюча система зерноочищення та підготовки насіння зернових культур вимагає багаторазового повторення однотипних операцій, спрямованих на підвищення кількості вилучених домішок, а це у свою чергу призводить до механічного пошкодження зерен і впливає на якісні та кількісні показники врожаю.

З вищенаведеного вище можна зробити висновок, що існує можливість підвищення продуктивності та ефективності очищення продовольчого та насіннєвого зерна за рахунок вибору раціональних способів вилучення важковідокремлювальних домішок із зернової суміші, що враховують форми та маси домішок та використання ефективних зерноочисних машин, проведення процесів за оптимальних параметрів.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗЕРНООЧИСНИХ МАШИН

2.1. Аналіз процесу роботи решітного стану зерноочисної машини

Процес роботи зерноочисної машини тісно пов'язаний із роботою решіт, розташованих у решітному стані. Ефективність їхньої роботи залежить від великої кількості факторів, вплив режимних параметрів на даний момент є найбільш вивченим [2, 7]. При цьому залишається мало дослідженим вплив вібрації, що передається від решітного стану до машини. Такий вплив має лише негативний характер, оскільки він, по-перше, руйнує вузли машини, що негативно впливає на продуктивність машини, а по-друге передається через підлогове покриття в зону розташування оператора, що негативно позначається на його здоров'ї.

Для усунення даної проблеми необхідно вивчити механіку робочого процесу та встановити природу виникнення сил, що впливають на процес утворення шкідливої вібрації.

«Сепараційний решітний стан, що робить коливання за рахунок ексцентрика радіуса R з центром у точці D (рис. 2.1). При цьому він здійснює поступальний рух по дузі кола радіуса, що дорівнює довжині підвісок L . При повороті ексцентрика на кут $\alpha = kt$ (k – кутова швидкість обертання, c^{-1} , t – час, c) точка C переміщається в точку M , а точка A – в точку B , тоді $|OA|=|OB|=l$, радіус ексцентрика $|DC|=|DM|=R$, довжина шатуна $|AC|=|BM|=K$. Нехай x_1, y_1 – координати точки M , а x, y – координати точки B у системі координат xAy , тоді $x^2 + (l - y)^2 = l^2$, звідки» [10]:

$$y = l - \sqrt{l^2 - x^2}; \quad (2.1)$$

$$x = l - \sqrt{l^2 - y^2}. \quad (2.2)$$

«Координати x_1, y_1 визначаються за формулами» [10]:

$$x_1 = \sqrt{K^2 - (h - R)^2} + R \sin \alpha. \quad (2.3)$$

$$y = R \cos \alpha - h. \quad (2.4)$$

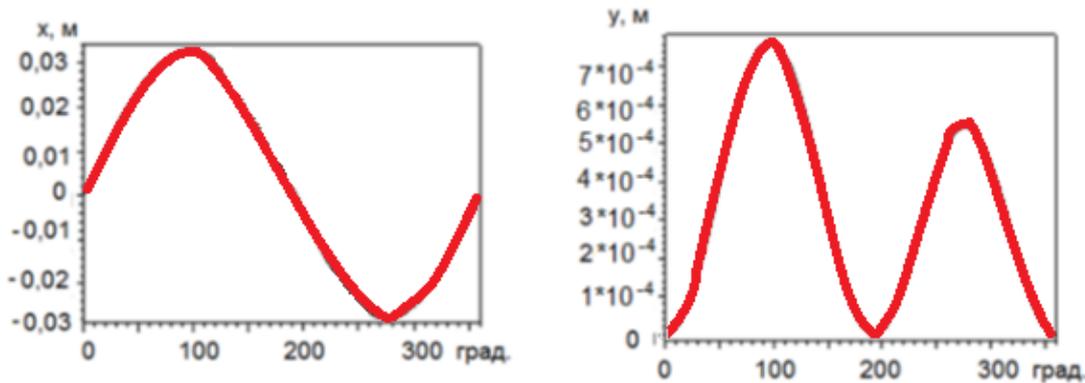
Через координати точок B та M визначимо довжину відрізка BM :

$$(\sqrt{K^2 - (h - R)^2} + R \sin \alpha)^2 + (R \cos \alpha - h - y)^2 = K^2, \quad (2.5)$$

Залежність кінематичних та динамічних характеристик руху необхідно наводити залежно від кута повороту ексцентрика α , вираженого в градусах, який пов'язаний із часом t формулою [10]:

$$t = \frac{\pi a}{180k}. \quad (2.11)$$

Залежності величин горизонтальних та вертикальних переміщень від кута повороту ексцентрика a при $l = 0,65$ м, $K = 0,6$ м, $h = 0,05$ м, $R = 0,03$ м, $k = 35$ с⁻¹ представлені на рис. 2.2.

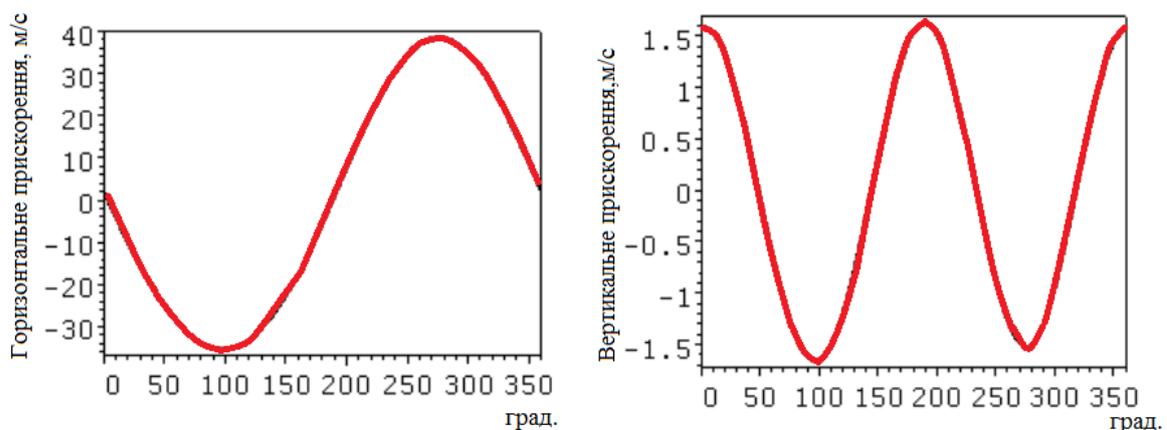


а)

б)

Рисунок 2.2 – Залежності величин горизонтальних (а) та вертикальних (б) переміщень решітного стану від кута повороту ексцентрика

Як очевидно з графіків, наведених на рис. 2.3, особливо великі горизонтальні прискорення. Їх максимальне та мінімальне значення становлять відповідно 38,7 та $-35,5$ м/с². Очевидно, що вони створюють великі сили інерції, що викликають биття решітних станів. Оскільки лінія дії шатуна приводу ВС не проходить через центр мас решітного стану, то моменти, що виникають при роботі, викликають і значні вертикальні биття.



а)

б)

Рисунок 2.3. Залежності величин горизонтальних (а) та вертикальних (б) прискорень решітного стану від кута повороту ексцентрика

Зазначимо, що зміна деяких геометричних параметрів привода дані прискорення значно змінюються. При зміні S та h максимальне за модулем горизонтальне прискорення практично не змінюється. У разі збільшення h максимальне за модулем вертикальне прискорення збільшується. Так при $h=0,065$ м воно дорівнює $1,55 \text{ м/с}^2$, при $h=0,1$ м воно дорівнює $1,6 \text{ м/с}^2$, а при $h=0,15$ м воно дорівнює 2 м/с^2 . При зменшенні значення радіусу ексцентрика R максимальне за модулем горизонтальне прискорення зменшується. Так при $R=0,03$ м максимальне по модулю горизонтальне прискорення дорівнює $38,7 \text{ м/с}^2$, а при $R=0,02$ воно дорівнює $25,3 \text{ м/с}^2$. При збільшенні кутової швидкості обертання ексцентрика k як горизонтальне, і вертикальне прискорення збільшуються. Так при $k=20 \text{ с}^{-1}$ максимальне по модулю горизонтальне прискорення дорівнює $12,5 \text{ м/с}^2$, а при $k=30 \text{ с}^{-1}$ воно дорівнює $28,2 \text{ м/с}^2$.

Отримані аналітичні залежності дозволяють визначити горизонтальні та вертикальні переміщення центру мас решітного стану, прискорення і сили інерції за будь-якого куті повороту ексцентрика [13, 15].

2.2. Визначення сил, що діють на решітний стан

Застосовуючи принцип Даламбера, запишемо рівняння рівноваги решітного стану з урахуванням сил інерції (рис. 2.1):

$$\begin{aligned} -N\sin\gamma + F_x - F_{up} + T\cos\beta &= 0; \\ N\cos\gamma + F_y - G - T\sin\beta &= 0; \\ h_1(N\sin\gamma + F_x) + bN\cos\gamma + Th_1\cos\beta &= 0; \end{aligned} \quad (2.12)$$

де N – реакція стержня підвіски, Н;

γ – кут відхилення стержня підвіски від вертикалі;

$F_x = ma_x$ – горизонтальна сила інерції, Н;

$F_y = ma_y$ – вертикальна сила інерції, Н;

m – вага решітного стану;

F_{up} – сумарна сила пружності на вигин чотирьох стрижнів, Н;

T – сила реакції шатуна, Н;

β – кут нахилу шатуна;

G – вага стану, Н;

h_1 – половина висота стану, м;

b – відстань від стержнів до точки E (центра ваги), м.

$$N = \frac{h_1(2F_{up}-F_x)+b(G-F_y)\cos\beta\cos\gamma+b(F_{up}-F_x)\sin\beta\cos\gamma}{2b\cos\gamma(\cos\beta\cos\gamma-\sin\beta\sin\gamma)} + \frac{2h_1(G-F_y)\cos\beta\sin\gamma-h_1F_x\sin\beta\sin\gamma}{2b\cos\gamma(\cos\beta\cos\gamma-\sin\beta\sin\gamma)}. \quad (2.13)$$

Бічна силу $F_{бк}$ визначаємо за наступною формулою:

$$F_{бк} = T\cos\beta = \frac{(F_{up}\cos\gamma-F_x\cos\gamma-F_y\sin\gamma+G\sin\gamma)\cos\beta}{\cos\beta\cos\gamma-\sin\beta\sin\gamma}. \quad (2.14)$$

Відповідно до рис. 2.1. $\sin\beta = \frac{(h+y-R\cos\alpha)}{S}$; $\sin\gamma = x/l$.

Внаслідок жорсткого закріплення стрижнів підвіски до стану та корпусу машини при їх згинанні виникає змінна горизонтальна сила пружності, яка визначається за відомою формулою [10]:

$$F_{up}(t) = -\frac{3E_{ст}Ix(t)}{L^3}, \quad (2.15).$$

де $E_{ст}$ – модуль пружності матеріалу стержня, для сталі $E_{ст} = 2,1 \times 10^{11}$ Па;
 I – момент інерції перетину стержня, м.

У випадку прямокутного перетину стержней з шириною b і висотою l момент інерції буде рівний:

$$I = \frac{b^3l}{12}. \quad (2.16)$$

Без врахування сил пружності при $h_1 = 0,1$ м і ваги решітного стану $m=100$ кг графік залежності бічної сили від кута повороту ексцентрика а наведений на рис. 2.4.

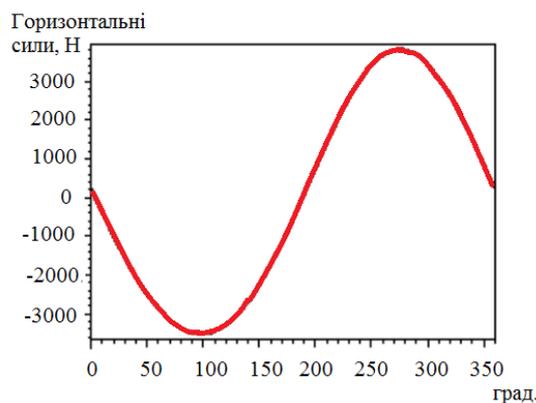


Рисунок 2.4. Залежність бічної сили від кута повороту ексцентрика

Аналізуючи графік (рис. 2.4) під час коливань бічна сила досягає дуже великих значень – близько 3800 Н. У свою чергу за рахунок моментів, що виникають, з'являються значні реакції в стрижнях підвіски, що викликають вертикальні биття.

На рис. 2.5 наведено залежності сили реакцій у стрижнях підвіски від кута повороту ексцентрика без урахування сил пружності.

Як видно з графіку (рис 2.5) максимальне значення сили реакції у стрижнях досягає 1000 Н, а мінімальне становить 600 Н.

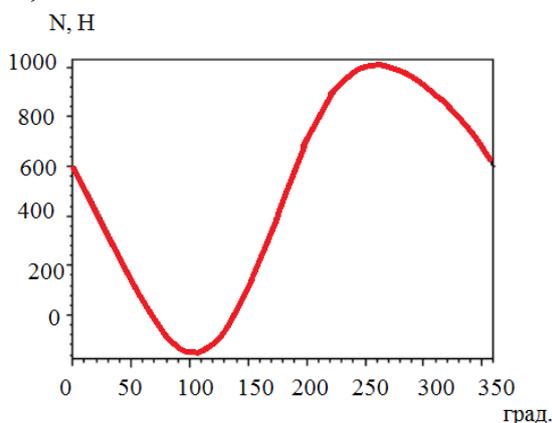


Рисунок 2.5. Залежності величини реакції у стрижнях підвіски від кута повороту ексцентрика

При фіксованій висоті перерізу стрижнів підвіски $b = 0,05$ м збільшення ширини b перерізу веде до зростання сили пружності, що протилежна бічній силі інерції, яка зменшує сумарну бічну силу, і як наслідок горизонтальні та вертикальні сили реакцій. У табл. 2.2 наведено максимальне та мінімальне значення бічної сили при різних значеннях b .

Таблиця 2.2. Значення максимальних та мінімальних бічних сил

$b, \text{м}$	$F_{\text{бк}} (\text{max}, \text{Н})$	$F_{\text{бк}} (\text{min}, \text{Н})$
0	3600	-3500
0.01	3200	-2700
0.011	2450	-1890
0.012	2150	-1320
0.013	1890	-820
0.014	1540	-790
0.015	980	-420
0.016	630	-210
0.017	1380	-370
0.018	2410	-1080

З наведеної таблиці 2.2 видно, що при $b = 0,016$ м бічні сили мають найменше за модулем значення, яке приблизно в шість разів менше цих сил у разі непружної підвіски. На рис. 2.6 представлена залежність бічної сили від кута повороту ексцентрика при $b = 0,016$ м.

Сила у підвісці N коливається від -100 Н до 200 Н, що показує графік, наведений рис 2.7. Таким чином, при правильному виборі геометрії стрижнів можна значно знизити як горизонтальні, так і вертикальні биття решітних станів [12].

Правильний вибір геометричних характеристик решітних підвісок та відповідного матеріалу для їх виготовлення дозволить суттєво знизити сили, що діють на його привід та рівень вібрації [12]. Отримані результати можуть бути використані при розробці нових зерноочисних машин для післязбиральної обробки, що встановлюються в технологічних лініях зерноочисних агрегатів, та розрахунках конструктивно-режимних параметрів роботи решітних станів.

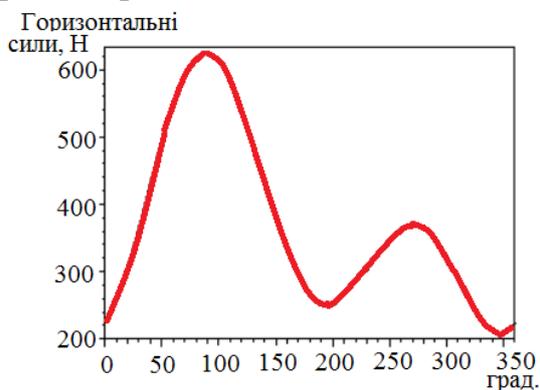


Рисунок 2.6. Залежність бічної сили від кута повороту при $b=0,016$ м

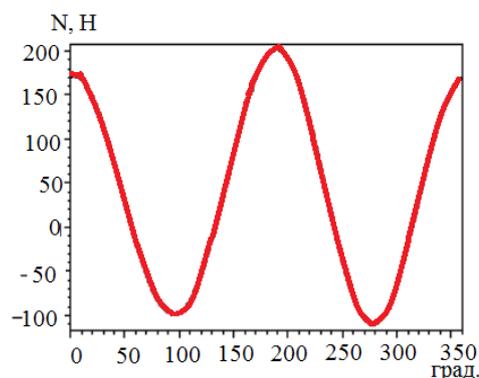


Рисунок 2.7. Залежність сили реакції в стрижнях від кута повороту при $b=0,016$ м

2.3. Дослідження впливу зернового навантаження на решето

В результаті теоретичних передумов та раніше проведених досліджень поділу зернової суміші на фракції було дослідниками встановлено, що на технологічний процес сепарації зерна на решетах впливають такі фактори: вологість і вихідна засміченість оброблюваного матеріалу, завантаження решета, розмір та форма отворів, кінематичні параметри (кут нахилу, амплітуда та частота коливань сепаруючої поверхні) [1, 8, 10, 11, 14, 15].

Одним із найважливіших факторів, визначальних ефективність сепарування на решітках є питома навантаження G . Під навантаженням розуміється маса зернової суміші, що проходить за годину через квадратний дециметр площі решета $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Загалом весь процес виділення прохідової фракції на решеті можна розділити на дві фази: перерозподіл частинок зернової суміші по розміру, щільності та проходження частинок в отвори решета. Частинки з розмірами меншими за отвори решета повинні проходити в отвори. Сукупність даних частинок називають дрібною фракцією чи прохідовою. Інші частинки повинні залишатися на робочій поверхні і

сходити з нижньої частини решета. Частки, що залишилися, називають великою фракцією або сходовою.

Просіювання ефективніше протікає при неповному навантаженні. Однак якісні переваги неповного завантаження пов'язані з відповідним зменшенням продуктивності. У зв'язку з цим виникає питання про способи підвищення ефективності роботи плоских решіт при великих початкових навантаженнях. Ефективність процесу сепарації визначатиметься швидкістю опускання проходових частинок W_z (рис. 2.8) з верхніх шарів до поверхні решета, яке, у свою чергу, залежить від форми та фізико-механічних властивостей компонентів, характеру руху робочої поверхні.

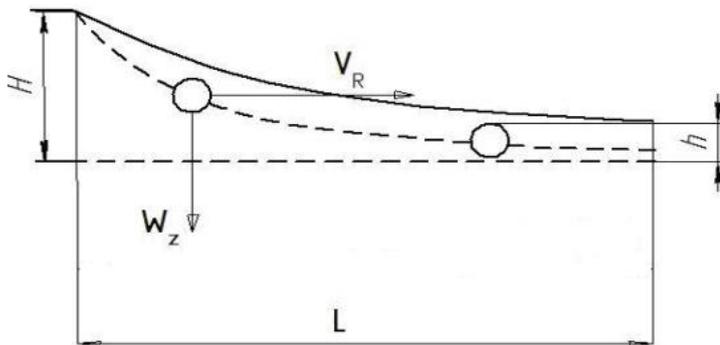


Рисунок 2.8. Схема руху проходового компонента в зерновому шарі

Для успішного перебігу даної стадії потрібно інтенсивне струшування зернову суміш, що забезпечує розпушування шару, або встановлення конструктивних елементів, що активізують процес перерозподілу частинок у шарі.

2.4. Висновки по другому розділу

На практиці при сортуванні насіння відмінність у розмірах та питомій вазі часток невелика. Крім того, спостерігається ущільнення шару на решеті при збільшенні товщини шару. Тому процес переміщення більш дрібних частинок до спарувальної поверхні, протікає з малою швидкістю, що веде до зниження продуктивності решета і якості сортування насіння. Таким чином, для підвищення продуктивності та ефективного очищення зерноsumішей, що містять компоненти, які мало відрізняються за розмірами та питомою вагою, необхідно забезпечити ефективне перемішування оброблюваного матеріалу при його переміщенні вздовж решета.

РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Обґрунтування основних параметрів решітного вібросепаратора насіння

Робота основних вітчизняних зерноочисних машин заснована на зворотно-поступальному русі решітних станів [12, 14]. Підвищення продуктивності таких машин традиційними способами себе вичерпало, тому потрібні інноваційні зерноочисні машини для післязбиральної обробки зерна з високою продуктивністю.

Заслуговує на особливу увагу один з можливих варіантів ефективного технічного засобу для сепарації зерна.

Для проведення експериментальних досліджень роботи плоского решета, що здійснює зворотно-поступальні коливання, було розроблено лабораторну установку, схему якої представлено на рис. 3.1.

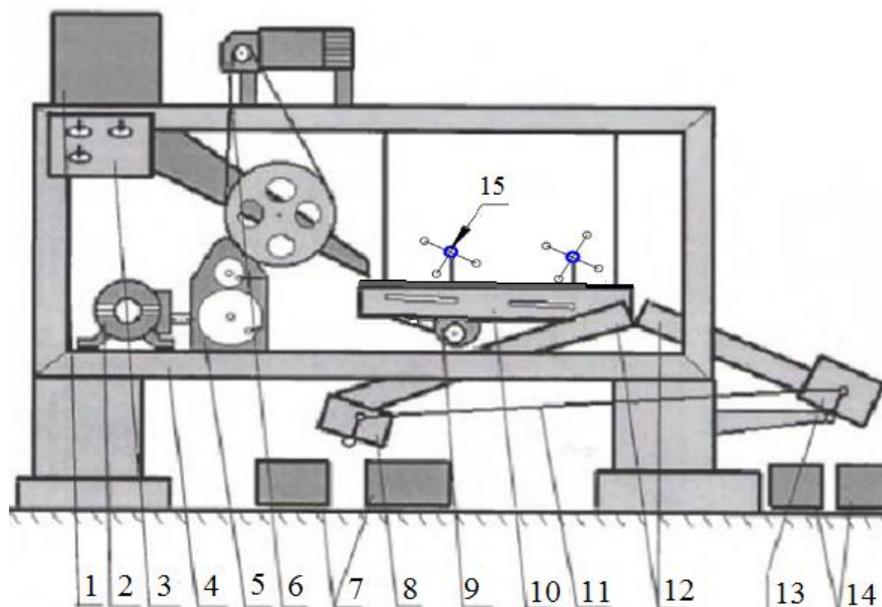


Рисунок. 3.1. Схема лабораторної установки: 1 – бункер для вихідної зернової суміші; 2 – електродвигун приводу решета, що здійснює коливання; 3 – шафа управління; 4 – рама; 5 – редуктор; 6 – привод дозатора зерна; 7 – ємності для збирання проходової фракції зерна; 8, 13 – клапани; 9 – привод щіток решета; 10 – решітний стан; 11 – важіль блокування клапанів; 12 – лотки для збирання фракцій зерна; 14 – ємності для збирання сходової фракції зерна; 15 – ворушитель.

Запропонована лабораторна установка включає раму 4, решітний стан 10, бункер 1 з пристроєм для дозування зерна 6, лотки для подачі проходової та сходової фракцій 12 в ємності 7, 14 механізм приводу плоского решета 5. Підвіски решітного стану виготовлені з високоміцних сталевих пластин. Для

дослідів застосовано пробивне решето, його довжина та ширина відповідно дорівнюють 415 та 150 мм з розмірами отворів: 2,0 x 25 мм.

Технологічний процес поділу зернової суміші здійснюється наступним чином. Зернова суміш надходить товстим шаром на решето. Під дією коливань відбувається розподіл зернової суміші на всій поверхні решета. Дрібні важкі частинки з верхніх шарів надходять до решітної поверхні та проходять через отвори решета.

Матеріал, що обробляється, містить проходові частинки, близькі за розмірами та питомою вагою з насінням основної культури, переміщаючись по решеті, потрапляє у зону дії ворушителей шару. Перемішування шару підвищує ймовірність появи проходових частинок на поверхні та їх прохід через отвори решета.

Решітний стан здійснює зворотно-поступальні коливання механізму приводу з регульованими параметрами вібрації. Амплітуду коливань регулювали зміною радіусу кривошипу плавно, в межах від 0 до 10,5 мм. Частоту коливань решета, що робить коливання - зміною напруги, що подається на приводний електродвигун. Значення частоти коливань решета контролювали за допомогою строботометра СТ-МЕІ. З бункера зерновий матеріал подавали на решето живильною лопатевою котушкою, привід якої здійснювали від окремого електродвигуна постійного струму. Значення величини подачі зернового матеріалу на решето, що робить поперечні коливання, встановлювали шляхом зміни напруги живлення електродвигуна. Пристрій для дозування забезпечував плавне регулювання подачі від 50 до 800 кг/дм.год при заміні змінних дозуючих котушок і зміні її частоти обертання. Граничне відхилення подачі зернового матеріалу (G) від заданої величини було наведено з похибкою $\pm 2,5\%$.

Під решетом встановлено очищувальний пристрій щіткової дії з приводом, що включає кривошипний механізм, та редуктором, з'єднаним з електродвигуном. Амплітуда коливань щіток була прийнята рівною 50 мм, а частота обертання кривошипа - $0,25 \text{ с}^{-1}$. Конструкція щіткового очищувального пристрою дозволяла плавне регулювання ступеня підведення щіток до решету.

Отримане в результаті поділу на фракції (проходове та сходове) зерно направлялося за допомогою скатних дощок у відповідні ємності. Вибрано дві ємності для збору кожної фракції зерна, перша – в режимі руху, а друга – при вході в нього. Подачу кожної фракції зерна у відповідні ємності здійснювали за допомогою блокованих клапанів скатних дощок. Конструкція лабораторної установки дозволяла збирання фракцій зерна в ємності за

контрольний час експерименту в режимі роботи. У нашому випадку тривалість експерименту за часом була прийнята рівною 30 секунд.

3.2. Методика проведення дослідів при розподілі зернового матеріалу

Для досліджень роботи решета, що здійснює коливання, була обрана методика, що включає однофакторні (пошукові), що відсівають і багатофакторні експерименти. Як критерій оптимізації роботи плоского решета, що здійснює поперечні коливання, прийнята повнота поділу (ϵ) [6; 7].

За результатами виконаних однофакторних (пошукових) дослідів за класичним планом визначено діапазон регулювання основних факторів, що впливають на даний технологічний процес. Якісний показник технологічного процесу роботи з очищення зерна решітного стану залежить від обраних основних контрольованих факторів. На підставі експериментів, що відсівають статистично значимими за критерієм Стьюдента на 5%-ному рівні необхідно вважати фактори [8]: величину питомого навантаження (X_1), кут поздовжнього нахилу решета (X_2), амплітуду коливань решета (X_3), частоту його коливань (X_4). З метою отримання математичної моделі у вигляді рівняння регресії необхідні подальші дослідження роботи решета, що здійснює поперечні коливання, шляхом планованого експерименту. Слід вибрати план, що дозволяє оцінити коефіцієнти рівняння регресії. Бажано, щоб план містив як можна менше точок (експериментів). Крім того, план має забезпечувати достатньо точний опис досліджуваного процесу сепарації зерна. Тому для опису залежностей повноти поділу від цілого ряду факторів прийнято симетричний композиційний ортогональний план другого порядку з чотирма чинниками. Вибрано план за умовою ортогональності коефіцієнтів рівняння регресії. Ефект композиційності плану дозволяє спочатку отримати просту (лінійну) модель процесу першого порядку [9], а у разі її неадекватності добудувати до складнішої моделі другого порядку.

Фактори та рівні їх варіювання наведені у табл. 3.1.

Після реалізації обраного плану та обробки результатів експерименту отримано адекватне при 5% рівні значимості рівняння регресії ($F_{\text{розр}} = 2,21 < F_{\text{табл}} = 2,57$), описує технологічний процес зміни якісного показника роботи решета (повноти поділу), що здійснює поперечні коливання, кодованих величинах:

$$\epsilon = 0,7223 - 0,0755X_1 + 0,0687X_2 + 0,0132X_4 - 0,046X_1X_2 - 0,0647X_{12} - 0,0587X_{32} - 0,0221X_{42}.$$

Таблиця 3.1. Фактори і рівні варіювання

Рівні варіювання	Фактори і одиниці їх вимірювання			
	Питоме навантаження на решето G, кг/м ² ·с	Кут нахилу решета a, град.	Частота коливання решета n, хв ⁻¹	Амплітуда коливань решета R, мм
Кодування величини фактора	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Верхній рівень	0,837	16	520	10,50
Основний рівень	0,536	14	480	9,20
Нижній рівень	0,335	10	430	7,20

Попередній аналіз представленої моделі процесу сепарації за коефіцієнтами рівняння регресії дозволяє зробити висновки:

1. Коефіцієнт X₁ найбільш значущий і відображає вплив питомого навантаження на якість роботи плоского решета, що здійснює коливання. Негативний знак перед X₁ свідчить про погіршення якості сепарації зерна.

2. Усі квадратичні коефіцієнти (X₁², X₂², X₄²), присутні у рівнянні, статистично значущі. У цьому випадку модель описується кривими другого порядку та є нелінійною. Крім того, негативні знаки перед X₁², X₂², X₄² вказують на опуклість кривих, що описують залежності відгуку відповідних значень факторів.

3. Якісний показник (повнота поділу) прямо пропорційний величинам спільного впливу питомого навантаження та кута поперечного нахилу решета (X₁X₂).

4. Лінійний фактор X₄ та змішаний X₁X₂ негативно позначаються на величині відгуку.

Отримане рівняння регресії проаналізували за допомогою двовимірних перерізів поверхні відгуку. В результаті отримано залежності повноти поділу від параметрів решета, що робить поперечні коливання, при фіксованих значеннях питомого навантаження, представлені на рис. 3.2 і рис. 3.3.

Такі фактори, як амплітуди та частота коливань решета, кут його поперечного нахилу, що істотно впливають на повноту поділу ϵ зерна на решеті, що здійснює коливання, незалежно від величини питомого навантаження.

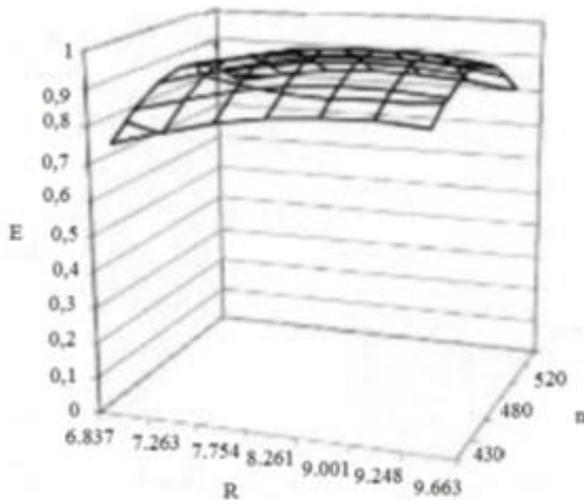


Рисунок 3.2. Залежність ϵ від амплітуди R і частоти n коливань решета $G = 0,337 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$

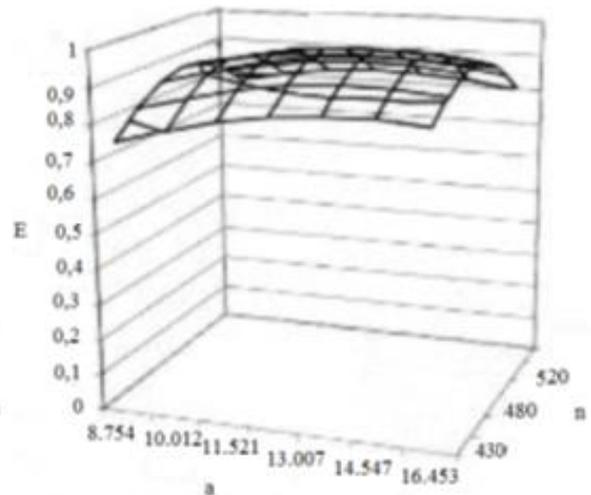


Рисунок 3.3. Залежність ϵ від кута поперечного нахилу α і частоти n коливання решета $G = 0,836 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$

У встановленому планом експерименту діапазоні зміни перерахованих вище параметрів, повнота поділу зерна змінюються в широких межах. Надмірне збільшення параметрів вібрації, особливо частоти коливань решета, призводить до деякого зниження повноти поділу.

Найбільше значення ϵ зерна знаходиться в області варіювання прийнятих факторів запланованого дослідження. При роботі плоских решіт з довгастими отворами переміщення частинок у поперечному напрямку збільшує їхню взаємодію з поздовжніми кромками отворів та підвищує орієнтованість. Зазначимо, що подібні поверхні відгуку – залежність повноти поділу від параметрів плоского решета, розглянуті вище, типові та їх якісні особливості зберігаються для інших значень питомого навантаження у діапазоні варіювання обраних факторів.

Аналіз результатів досліджень показує, що повнота виділення дрібної домішки E із збільшенням питомого навантаження знижується при всіх кінематичних режимах решета (рис. 3.4). Причому дана залежність спостерігається і під час роботи решітного стану без ворушників шару, та при роботі стану з ворушителями шару. Так, наприклад, максимальне значення повноти виділення при навантаженні $G=0.43 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ без застосування ворушників становить 0,74 (крива 2), а при навантаженні $G = 80 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ повнота виділення дрібної домішки становить лише 0,43 (крива 3). Результати роботи стану із застосуванням ворушників шару при тих же питомих навантаженнях виявилися такими: 0,81 та 0,48 відповідно (крива 6). Дані результати пояснюються тим, що зі збільшенням навантаження товщина шару збільшується, і тим самим утруднюється переміщення проходових частинок до поверхні решета. Встановлення ворушників дозволяє

поліпшити умови переміщення шляхом перемішування шару, тому всі криві, що відображають роботу решітного стану з ворушниками шару, проходять вище отриманих кривих при тих же кінематичних режимах під час роботи стану без ворушителей шару.

Збільшення частоти коливань позитивно впливає на повноту виділення дрібної домішки при постійному куті нахилу решета $\alpha=12^\circ$.

У даному діапазоні значень питомого навантаження, 0,40 до 0,60 $\text{кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$, це проявляється значніше, ніж за питомого навантаження $G=0.70 \text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$. Так, при $G=0.40 \text{ кг}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ та $\alpha=12^\circ$ збільшення частоти коливань з $n=430$ об./хв. до $n=520$ об./хв. призвело до підвищення повноти виділення з 0,4 до 0,47 при роботі стану без ворушителей шару та з 0,42 до 0,75 – з ворушниками.

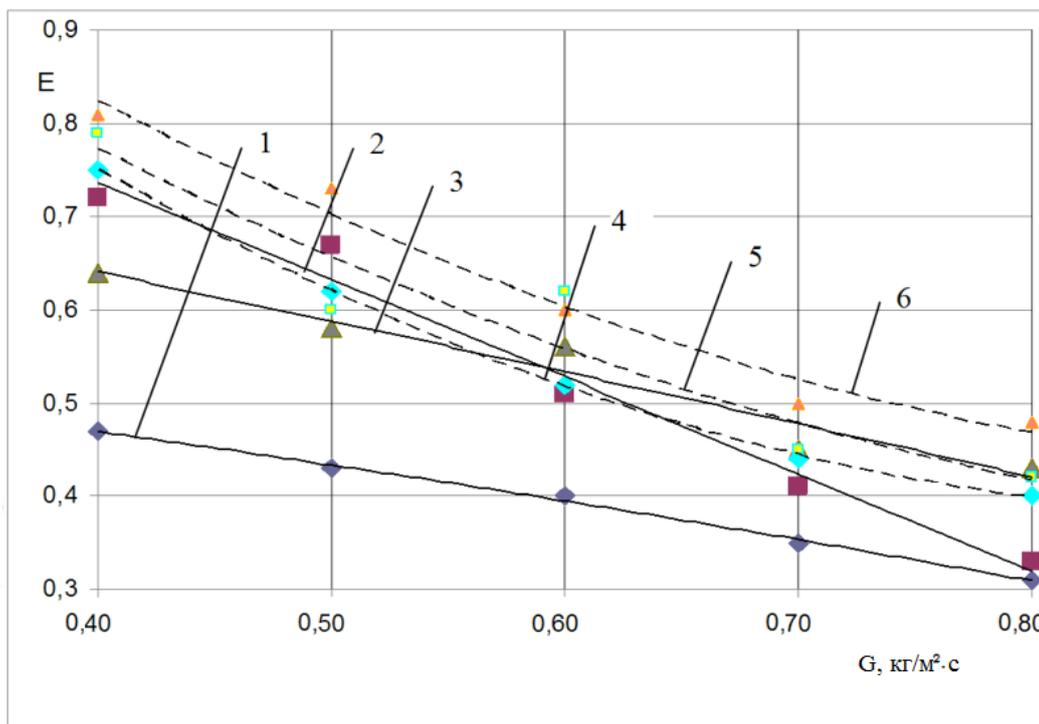


Рисунок 3.4. Залежність повноти виділення від питомого навантаження 1 – 430 об./хв., 2 – 480 об./хв., 3 – 520 об./хв. — без ворушителей шару 41 – 430 об./хв., 5 – 480 об./хв., 6 – 520 об./хв. ----- з ворушителями шару.

3.3. Висновки по третьому розділу

В даному розділі наведено методику, прилади та межі вимірювання різних факторів при проведенні досліджень роботи плоского решета, що здійснює зворотно-поступальні коливання. Прийнятий критерій оптимізації технологічного процесу сепарації зерна – повнота розподілу (ϵ). Вибрано обґрунтований симетричний композиційний ортогональний план другого

порядку з чотирма факторами. Отримано результати та аналіз досліджень даного плоского решета; адекватне на 5%-му рівні значимості рівняння регресії, що описує процес поділу зерна. Наведені наочні графічні залежності повноти поділу зерна від параметрів плоского решета, що робить коливання, при встановлених значеннях питомого навантаження, і навіть вплив найбільш значимих чинників повноти поділу. Для практичних рекомендацій обґрунтовано раціональні значення факторів: для величини питомого навантаження (G) $-0,335-0,838$ кг/(м²·с); для решета: кут повздовжнього нахилу (α) $-10-16^\circ$; амплітуда коливань (R) $-(7,25-9,25) \cdot 10^{-3}$ м; частота коливань (n) $-400-550$ хв⁻¹.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Процес переміщення більш дрібних частинок до спарувальної поверхні, протікає з малою швидкістю, що веде до зниження продуктивності решета і якості сортування насіння. Таким чином, для підвищення продуктивності та ефективного очищення зерносумішей, що містять компоненти, які мало відрізняються за розмірами та питомою вагою, необхідно забезпечити ефективне перемішування оброблюваного матеріалу при його переміщенні вздовж решета.

Запропонована лабораторна установка решітного стану дозволяє рівномірно, незалежно один від одного в широких межах змінювати амплітуду та частоту коливань, кут нахилу решета, швидкість обертання ворошителів та зазор між решетом та стрижнями ворошителів. Встановлено позитивний вплив ворошителів шару на ефективність роботи решіт, які здійснюють коливання.

Використання лабораторної установки, дозволить у широких межах незалежно змінювати кінематичні параметри та виконати пошук оптимальних режимів сепарації.

В результаті проведених експериментальних досліджень отримано математичну модель у вигляді адекватного при 5% рівні значимості рівняння регресії ($F_{\text{роз}} = 2,21 < F_{\text{табл}} = 2,57$), описує технологічний процес зміни якісного показника роботи решета (повноти поділу), що здійснює зворотно-поступальні коливання, та визначального ступеня впливу кожного з прийнятих факторів на даний процес сепарації.

Подані графічні залежності у вигляді поверхонь відгуку відображають основні закономірності процесу сепарації зерна на решеті, а також виявляють вплив найбільш значимих факторів на повноту поділу зерна.

Аналіз рівняння регресії дозволив для практичних рекомендацій обґрунтувати значення досліджуваних факторів: для величини питомого навантаження (G) – 0,335–0,838 кг/(м²·с); для решета: кут поздовжнього нахилу (α) – 10–16°; амплітуда коливань (R) – (7,25–9,25) · 10⁻³ м; частота коливань (n) – 450–550 хв⁻¹.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вплив робочих елементів вібросепаратора на травму і якість насіння озимої пшениці та жита / Д. А. Дерев'янку, В. М. Поліщук, О. М. Сукманюк, О. Д. Дерев'янку // Наукові горизонти. - 2020. - № 7 (92). - С. 98–103.
2. Derevjnko, D., Sukmaniuk, E. & Derevjnko, O. (2017). Grain crops injuries and drying modes while seeds preparation. INMATEH – Agricultural Engineering, 53 (3), 89–94.
3. Заїка П. М., Бакум М. В., Михайлов А. Д., Козій О. Б. Сепарація насіння льону на вібраційних сепараторах. Вібрації в техніці та технологіях. 2012. № 3 (67). С. 106-111.
4. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин / П.М. Заїка. – Харків: Око, 2006. – 407 с.
5. Заїка П.М., Бакум М.В., Михайлов А.Д. Вібраційна насіннеочисна машина для доочищення насіння сільськогосподарських культур. Журнал Пропозиція. № 6, 2005. с. 102.
6. Концепція аеродинамічної сепарації насіння сільськогосподарських культур та засоби її реалізації: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.05.11 / В.П. Єрмак ; Терноп. держ. техн. ун-т ім. І.Пулюя. — Т., 2009. — 39 с.
7. Котов Б.І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Вип. 33. Кіровоград, 2003.
8. Михайлов А.Д., Пастухов В.І., Бакум М.В. Машини, агрегати та комплекси для післязбиральної обробки зерна і насіння. Харків : Навчальне видання, 2012. 95 с.
9. Ланець О.С. Теорія синфазних коливань у вібраційних машинах з електромагнітним приводом. Вібрації в техніці та технологіях. 2005. № 2(40). С. 46–59.
10. Назаренко І.І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем: Навчальний посібник (2-е видання) / І.І. Назаренко. – К.: Видавничий Дім " Слово", 2010. – 440с.
11. Сисолін П. В., Петренко М. М., Свірень М. О. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини та обладнання для переробки зерна та насіння: підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. "Машини та обладн. с.-г. вир-ва". Кн. 3. К. : Фенікс, 2007. 432 с.
12. Стоцько З.А., Ребот Д.П., Топільницький В.Г. Визначення впливу властивостей сипкого середовища на ефективність сепарації. Вісник НУЛП Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. Львів. 2018. Вип.891. С. 60–65.

13. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв/ За редакцією О.В. Дацишина. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова книга, 2008. – 488 с.

14. Тіщенко Л.М. Експериментальне дослідження впливу вібрації на ефективність процесу скальперування зернового вороху / Л.М.Тіщенко, С.А.Богданович // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – вип. 43. – част. I. – 2013. – С. 160–164.

15.Тіщенко Л. М. Про рух по решету віброзріджених зернових мас з внутрішнім в'язко-сухим тертям / Тіщенко Л. М. Ольшанський В. П. Ольшанський С. В. // Вібрації в техніці і технологіях. – №1 (81). – 2016. – С. 145–148.