

УДК 631.362.35.+УДК 633.853.+УДК 631.31

№ держреєстрації 0111U002549

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
72312, м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18,
ТЕЛ. (0619) 42-13-83. 42-12-65

ЗАТВЕРЖУЮ:

Директор НДІ МЗСУ,

чл. кор. НААНУ, д.т.н.,

 В.Т. Надикто

«» 2017р.

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ЗА 2016 р.

п.п. 2. Розробка технологій і технічних засобів для рослинництва в умовах зрошеного землеробства півдня України

Завідувач відділу  чл. кор. НААНУ, д.т.н. Надикто В.Т.

Завідувач лабораторії  д.т.н. Михайлов Є.В.

2017 р.

Результати роботи розглянуті НТР
Протокол № 8 від «05.12» 2017 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник підпрограми 2, д.т.н., професор кафедри МВЗ	Михайлов Є.В. (реферат, вступ, розділи 1, 2)
інженер	Задосна Н.О. (вступ, розділ 2)
аспірант	Афанасьєв О.О. (підрозділ 2.5)
студент 21 - СПМ	Мордарьов П.С. (підрозділ 2.5)
д.т.н., професор кафедри ТМ	Леженкін О.М. (вступ, підрозділи 3.1, 3.3, 3.4)
інженер	Леженкін І.О. (підрозділи 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6)
аспірант	Головльов В. А. (підрозділ 3.4)

РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 34 сторінки, 12 рисунків, 1 таблиця, 18 посилань.

Об'єкти дослідження - технологічні процеси технічних засобів післязбиральної обробки зерна та олійної сировини соняшнику в умовах південних господарств України.

Мета роботи - підвищення ефективності технологічних процесів післязбиральної обробки зерна (ПЗОЗ) та олійної сировини соняшнику.

Методи дослідження - теоретико - експериментальні із застосуванням елементів системного аналізу. Для розробки математичних моделей і методів розрахунку використані основні положення вищої математики, теорії ймовірностей і масового обслуговування, методи ідентифікації та імітаційного моделювання. Перевірка гіпотез і обробка експериментальних даних виконані за стандартними та розробленими програмами.

У даному звіті пропонуються:

- моделювання процесів функціонування технічних засобів післязбиральної обробки зерна;
- аспекти обґрунтування технологічної схеми, параметрів і режимів роботи пневмосепаратора олійної сировини соняшнику;
- дослідження технологічного процесу сепарації обчісаного вороху пшениці.

**ПІСЛЯЗБИРАЛЬНА ОБРОБКА ЗЕРНА, ОЛІЙНА СИРОВИНА
СОНЯШНИКУ, СЕПАРАЦІЯ ОБЧІСАНОВОГО ВОРОХУ ПШЕНИЦІ.**

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Моделювання процесів функціонування технічних засобів післязбиральної обробки зерна.....	6
2 Аспекти обґрунтування технологічної схеми, параметрів і режимів роботи пневмосепаратора олійної сировини соняшнику.....	13
3 Дослідження технологічного процесу сепарації обчісаного вороху пшениці.....	20
Загальні висновки.....	32
Література.....	33

ВСТУП

Післязбиральна обробка зерна(ПЗОЗ) - один з найбільш трудомістких етапів його виробництва. Впровадження потокової технології обробки зерна, яка характеризується комплексною механізацією всіх процесів і операцій, призвело до різкого зниження витрат праці і, разом з тим, показало найбільш часте нераціональне застосування типів агрегатів і комплексів, що використовуються для різних господарських умов. Крім того, при пропонованих небагаточисельних розрахунках з обґрунтування параметрів процесу ПЗОЗ в більшості випадків не враховується його ймовірно - статистична природа умов функціонування машин і агрегатів в умовах України і особливо в її найбільш зерновиробничих південних районах.

Розробка проектів для будівництва та реконструкції зернотоків проводиться без урахування фактичної продуктивності зерноочисних машин (ЗОМ) і достатніх інформаційних та методично - розрахункових баз для конкретного господарства і реальних зональних умов, а це висуває завдання розробки та вдосконалення методики розрахунку параметрів технічної оснащеності (ТО) ПЗОЗ.

Існує проблема забезпечення якісної очистки олійної сировини соняшнику, що потребує провести дослідження щодо обґрунтування параметрів та режимів роботи пневмосепараторів попередньої очистки олійної сировини соняшнику.

В Україні зерновиробництво є провідною галуззю сільського господарства, при цьому його технічне оснащення знаходиться на низькому рівні, і в першу чергу це стосується зернозбиральної техніки. Усунути ці недоліки має підставу мелітопольська наукова школа технології збирання рослин обчисування рослин на корені. Однак впровадження цієї технології стримується відсутністю технічних засобів сепарації обчисаного вороху,що підтверджує актуальність вищезначених проблем.

1 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА

Актуальність досліджень

До переліку найважливіших технологічних вимог, які пред'являються до післязбиральної обробки зерна входять потоковість (критерій мінімуму витрат), якість оброблюємої продукції та показник втрат зерна. При раціональному обґрунтуванні основних параметрів ЗОМ та агрегатів можуть бути правильно організовані технологічні процеси, які відповідають цим вимогам. При цьому враховується складний характер взаємодії збиральної техніки (надходження вихідного матеріалу на зернокомплекси), транспортних засобів і машин для ПЗОЗ, погодних умов та характеристик зернових матеріалів - засміченості, вологості, натуре та ін.

Вищезазначені особливості передбачають необхідність в системному підході і використанні імовірнісних методів системного аналізу, зокрема, імітаційного моделювання - одного з найбільш потужних і універсальних методів вивчення процесу функціонування об'єктів складної структури [1].

Суть системного підходу полягає в тому, що дослідники вивчають поведінку системи в цілому, а не концентрують свою увагу на окремих її елементах.

У цьому випадку розглядається факт, що навіть якщо кожен елемент або підсистема мають оптимальні конструктивні або функціональні характеристики, то поведінка всієї системи може виявитися нераціональною через взаємодії між елементами і підсистемами. Системний підхід при вивченні поведінки великих (складних) систем викладено в роботі Н. П. Бусленко [5].

Аналіз механізованих процесів у рослинництві і тваринництві, проведений С. В. Кардашевським, Л. В. Погорілим та ін. [2, 3], дозволяє сформулювати основні характерні особливості складних систем щодо

комплексів сільськогосподарських машин, використаних для здійснення цих процесів [4,6]:

- наявність ієрархічної структури - принципова можливість розчленовування системи на взаємодіючі між собою елементи і підсистеми, які виконують різні технологічні, організаційні та виробничі функції;
- стохастичний характер процесів функціонування підсистем і елементів, який полягає в їх взаємодії з постійно і випадковим чином мінливими факторами зовнішнього середовища і внутрішніми збуреннями;
- наявність загальної для системи цілеспрямованої завдання і конкуруючих цілей функціонування підсистем при накладенні обмежень технічного, технологічного та економічного характеру;
- систематична спрямованість системи управління на досягнення певних показників ефективності шляхом цілеспрямованого впливу обслуговуючого персоналу.

Для комплексів ПЗОЗ в різній мірі характерні всі викладені риси, що дозволяє розглядати процеси їх функціонування, як процеси складних систем і підтверджує актуальність дослідження.

Мета дослідження.

Підвищення ефективності післязбиральної обробки насінневого і товарного зерна шляхом формування методології обґрунтування складу і функціональних параметрів технічних засобів.

Програма дослідження:

- систематизація порушень працездатності технічної оснащення системи ПЗОЗ та оптимізація параметрів технологічних ліній;
- прогнозування окремих блоків системи технічної оснащення ПЗОЗ на стадіях проектування інформаційних систем.

Об'єкт дослідження - технологічний процес післязбиральної обробки зерна в умовах господарств півдня України.

Методи дослідження.

Для розробки математичних моделей і методів розрахунку використано

основні положення вищої математики, теорії ймовірностей і масового обслуговування, методи ідентифікації та імітаційного моделювання.

Результати досліджень.

Терміни реалізації процесу ПЗОЗ значною мірою залежать від погодних умов. Для збирального сезону кожного року формується свій конкретний графік виконання робіт. Склад засобів ТО може змінюватися залежно від умов року прибирання, що ще раз підтверджує необхідність врахування ймовірнісної природи умов формування термінів ПЗОЗ.

У роботах В. Г. Еникеева і П. Л. Пашічева [6, 7] структура і склад засобів ТО обгрунтовані в результаті виконання наступного ряду формалізованих процедур:

- імовірнісна процедура формування термінів проведення механізованих робіт області для ряду років (розмір ряду повинен забезпечувати задану достовірність оціночних показників, обумовлених в наступних процедурах):
- оптимізація складу і структури засобів ТО рослинництва для кожного з варіантів графіків виконання робіт, сформованих на попередньому етапі розрахунку;
- побудова щільності розподілу оціночних показників, отриманих у результаті оптимізації ряду графіків виконання робіт з обгрунтування структури і складу засобів ТО.

Цілі, методи і засоби вирішення ієрархічної схеми задачі обгрунтування рівня ТО можуть бути розроблені інакше. Так, пропонується знайти декілька відмінних схем, побудованих за технологічними і територіальними принципами, які охоплюють більш високі рівні (технічну оснащеність, природно-економічною зону, район, регіон і т.і.) і побудовані за технологічними і територіальними принципами.

Для вирішення завдань на кожному рівні використовуються показники якості, які відображають ефективність функціонування машин і агрегатів [6-8].

Як основний показник ефективності сільськогосподарських агрегатів слід вважати умову:

$$E \in E_{\text{доп}}, (1.1)$$

де $E = U - U_n$ - випадковий вектор відхилень функції результатів роботи агрегату U від деякої заданої функції U_n , що показує, як він повинен працювати; $E_{\text{доп}}$ - допустима область відхилень. Здатність агрегату виконувати задані операції на рівні не нижче заданого протягом певного проміжку часу визначає оцінку ефективності його функціонування. При вирішенні завдань на всіх рівнях, крім показників ефективності функціонування засобів ТО, важливе значення має показник приведених витрат на одиницю продукції. При дослідженні будь-якої складної системи Н. П. Бусленко [5, 9] пропонує два способи:

- обробка даних натурного експерименту;
- метод моделювання процесу функціонування систем.

Експериментальне дослідження при цьому має дотримуватися наступних умов:

- система допускає зміну режимів функціонування, необхідних для вирішення задачі;
- існує можливість фіксації всієї необхідної інформації при допустимих витратах;
- фіксація і обробка цієї інформації в реальному масштабі часу дозволяють накопичити достатній обсяг даних;
- зміна режимів функціонування обладнання при проведенні експерименту не веде до значних втрат, аварій та інших небажаних наслідків.

Найбільш доцільним, на наш погляд, є з'єднання експериментального і математичного методів моделювання.

Для систем, утворених з залежних по відновленню підсистем враховується дисципліна обслуговування елементів - пріоритет обслуговування, тобто порядок виконання розглянутих операцій. Опис функціонування системи здійснюється за допомогою побудови графа стану і складання системи лінійних алгебраїчних і диференціальних рівнянь.

Математична модель функціонування системи може бути представлена наступним алгоритмом.

Нехай E – множина всіх станів системи, E_+ – множина справних, E_- – множина відмовних станів, $p_i(t)$ – ймовірність перебування системи в момент часу t в стані i , $i \in E$; $\lambda_{i,j}$ – інтенсивність переходу зі стану i в стан j . Якщо стан i в стані j відсутній, то $\lambda_{i,j} = 0$.

Система лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами, що описує процес функціонування лістингом програм в пакеті MathCad – рішення системи рівнянь методом Рунге – Кутта визначає ймовірності функціонування системи і має вигляд:

$$p'_i(t) = -\sum_{j \in E} \lambda_{i,j} p_i(t) + \sum_{j \in E} \lambda_{j,i} p_j(t), \quad i \in E. \quad (1.2)$$

$$p'_i(t) = \frac{dp_i(t)}{dt} \quad \text{- похідна за часом.}$$

Припускаючи, що в момент часу $t = 0$ система повністю справна, початкові умови функціонування мають вигляд:

$$p_0(0) = 1, \quad p_i(0) = 0, \quad i \in E \setminus \{0\}.$$

Рішення системи (1.2) із заданими початковими умовами дозволяє знайти ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ технічної системи за час t за умови, що всі стани відмови є поглинаючі:

$$P(t) = \sum_{i \in E_+} p_i(t) \quad (1.3)$$

Для визначення середнього часу безвідмовної роботи по графу станів (рис. 1.1) складається система лінійних алгебраїчних рівнянь щодо часу перебування технічної системи в несправних станах τ_i :

$$-\sum_{j \in E} \lambda_{i,j} \tau_i + \sum_{j \in E} \lambda_{j,i} \tau_j = -p_i(0), \quad i \in E_+. \quad (1.4)$$

Суммарний риск системи за время t знаходиться по формулі:

$$R(t) = -\sum_{i \in E} r_{k(i)} p_i(t) \quad (1.5)$$

где $r_{k(i)}$ – риск системы из-за отказа i -го элемента.

Розглянемо структурну схему можливих варіантів послідовності основних технологічних процесів післязбиральної обробки та складування товарного зерна і насіння [1].

Основне технологічне обладнання поділяється на 2 групи- машини для обробки ненормалізованого і машини для обробки нормалізованого зерна. До першої групи відносяться машини для попереднього очищення зерна і його сушіння, а до другої - для остаточного очищення і сортування матеріалу. Умови роботи машин другої групи більш сприятливі, ніж першої.

Обладнання на підприємствах растанавливаються таким чином, щоб технологічні операції виконувалися послідовно і тим самим забезпечувалося доведення зернового матеріалу до посівних, базисних або обмежувальних кондицій за один пропуск або прохід [10].

Опис функціонування системи представляє граф можливих варіантів послідовності основних технологічних процесів післязбиральної обробки та складування товарного зерна і насіння (рис. 1.1).

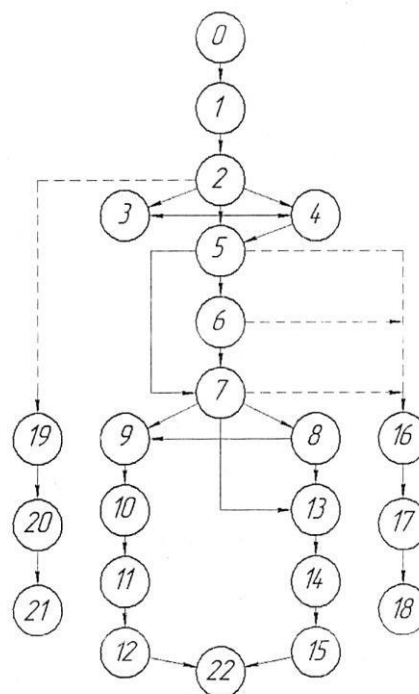


Рис. 1.1 - Граф можливих варіантів послідовності основних технологічних процесів післязбиральної обробки та складування товарного зерна і насіння.

Функціонування системи ПЗОЗ представлено наступними технологічними операціями: 0 - зважування оберемка; 1 - розвантаження оберемка; 2 - попереднє очищення; 3 - тимчасове зберігання, активне вентилявання; 4 - сушка; 5 - первинна очистка; 6 - вторинна очистка; 7 - трієрованіє; 8 - очищення на пневмосортувальних столах; 9 - затарювання і зважування мішків; 10 - зашивання і укладання мішків; 11 - перевезення мішків; 12 - укладання мішків у зерносховище; 13 - завантаження і зважування авто; 14 - перевезення зерна; 15 - завантаження в зерносховищі; 16 - завантаження та зважування фуражу; 17 - перевезення зернофуражу; 18 - складування фуражу; 19 - завантаження незернових відходів; 20 - перевезення відходів; 21 - утилізація відходів; 22 - зберігання зерна.

Система послідовності основних технологічних процесів післязбиральної обробки та складування товарного зерна і насіння представляється у вигляді диференціальних рівнянь.

Висновок

Опис функціонування системи здійснюється за допомогою побудови графа станів і системи лінійних алгебраїчних і диференціальних рівнянь, в результаті чого отримують лістинг програм в пакеті MathCad - рішення системи рівнянь методом Рунге - Кутта і визначаються ймовірності функціонування системи. Це дозволяє обґрунтувати параметри технічної оснащеності післязбиральної обробки зерна і підвищити її ефективність.

2 АСПЕКТИ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ, ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ ПНЕВМОСЕПАРАТОРА ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ СОНЯШНИКУ

Актуальність досліджень

Зерноочисні машини попереднього очищення зерна класифікуються за такими ознаками - по мобільності, за ознакою подільності зернової суміші, по типу вентилятора, за типом системи повітряного потоку, за типом каналу повітряного потоку, за типом решіт і т. і.

На початковому етапі очищення поділ складових вороху насіння соняшнику відбувається з урахуванням його аеродинамічних властивостей і особливо критичних швидкостей витання. Незважаючи на широке використання явища руху матеріальних частинок в сучасних зерноочисних машинах, пов'язаних з сепарацією складових вороху, кількісні закономірності руху тіл з урахуванням опору повітряного середовища і сьогодні потребують в додатковому дослідженні [11].

Деякі зерноочисні машини з замкненою повітряною системою мають загальний недолік - відсутність решіт для видділення великих домішок, що знижує якість очищення вихідного матеріалу.

Особливий інтерес представляє пневморешітний сепаратор зернового вороху з замкненою повітряною системою, де суттєве значення має влаштування, що дозволяє розподілити повітряний потік на дві складові - сепаруючу і живлячу.

Попереднє очищення зернового вороху ставить за мету відокремлення від зерна великих та легких домішок і тим самим поліпшення його якості. В області очищення зерна, переведення зернового вороху в псевдозріджений стан представлена робота [11], де зернова суміш переміщується по лотку, а повітряний потік, підводимий верхнім каналом, проходить через перфоровану поверхню лотка і шар зерна.

У роботі [11], зерновий матеріал завантажувальним пристроєм подається в живильний пристрій пневмосепаруючого каналу. На перфорованій похилій площині відбувається розрідження зернового матеріалу повітряним потоком, який нагнітається вентилятором по повітряпідводячому каналу. В результаті легкі домішки "вспливають" на поверхню зернового матеріалу і надходять в пневмосепаруючий канал вище зони введення зернової частини вихідного матеріалу.

У роботі [11] розглядається методика експериментальних досліджень процесу сепарації на інерційно-гравітаційному решітному сепараторі, де передбачається визначення фізико-механічних властивостей зерна: коефіцієнта тертя, фракційного складу, вологості, вивчення закономірностей просівання зерна через щілини решета в залежності від основних параметрів і режимів роботи сепаратора. У меншій мірі представлені дослідження за методикою визначення параметрів і режимів роботи пневмосепаратора скальператорного типу.

Технологія післязбиральної обробки насіння соняшника - це складна функціональна система, яка багатогранно впливає на якість насіння і залежить від їх фізико-механічних властивостей. Своєчасне та ефективне проведення післязбиральної обробки підвищує насінневі і продовольчі якості соняшнику, а також зменшує його втрати [12, 13, 14].

Найважливішою складовою частиною післязбиральної обробки є очищення вороху від різних домішок. Олійна сировина соняшнику після його збирання являє собою суміш насіння основної культури, а також олійних і різних смітних домішок мінерального і органічного походження. Післязбиральне очищення насіння соняшнику дозволяє виділити грубі, легкі домішки і бур'яни, які мають високу вологість, і тим самим поліпшити якість його обробки. Існуючі сепаратори не забезпечують виконання агротехнічних вимог до попереднього очищення сировини, що підтверджує актуальність дослідження.

Мета дослідження.

Підвищення ефективності процесу попередньої чистки олійної сировини соняшнику шляхом обґрунтування технологічної схеми, параметрів і режимів роботи пневмосепаратора.

Об'єкт дослідження - процес попереднього очищення олійної сировини соняшнику.

Програма дослідження.

Обґрунтувати технологічну схему і процес роботи пневморешітного сепаратора з замкненою повітряною системою.

Розробити методику встановлення, визначення параметрів і режимів роботи пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику.

Методи дослідження.

Теоретико - експериментальні дослідження виконані із застосуванням елементів системного аналізу, розроблених методик та існуючих державних стандартів.

Результати досліджень.

У роботі пропонується удосконалення пневморешітного сепаратора із замкненою повітряною системою, в якому шляхом встановлення пневмосепаруючої і осадової камер зі складною геометричною поверхнею, сполучених всмоктуючим каналом з діаметральним вентилятором, створюючих замкнуту повітряну систему, забезпечується поліпшення процесу виділення легких домішок, зменшення енергоємності пневмосепарації та забруднення навколишнього середовища [15].

Запропонована машина для очищення зерна (Рис. 2.1.) складається з встановленого під кутом $60\dots70^\circ$ до горизонтальної площини діаметрального вентилятора 1, до вихідній горловині якого приєднано повітрярозподільний канал 3, який у верхній частині перекритий лотком-інтенсифікатором 8. Верхня стінка 4 повітрярозподільного каналу 3 прилягає до початку лотка-інтенсифікатора 8 і до кінця завантажувального пристрою бункера 10 з заслінкою 9. Нижня стінка 2 повітрярозподільного каналу 3,

прилягаючого до циліндричного решета 7 з горизонтальною віссю обертання, виконана у вигляді жалюзійного повітрярозподільника 5. Лоток-інтенсифікатор 8 має перфоровану поверхню, а жалюзі повітрярозподільника 5 мають можливість змінювати живий перетин і кут нахилу жалюзі. Для очищення поверхні циліндричного решета 7 встановлена очисна щітка 12 з горизонтальною віссю обертання. Простір зверху циліндричного решета 7 і очисної щітки 12, обмежено верхньою стінкою 11, що створює пневмосепаруючу камеру 13. Знизу циліндричного решета 7 і очисної щітки 12 встановлені клапан виводу фракції очищеного зерна 22 і клапан виведення великих домішок 21. Продовження пневмосепаруючої камери 13 переходить в осадову камеру 17, в нижній частині якої встановлено відбійна площина 9 і пристрій виводу легких домішок 18. У верхній частині осадової камери встановлені горловина 16 зворотного всмоктуючого каналу 20, сполученого з діаметральним вентилятором 1.

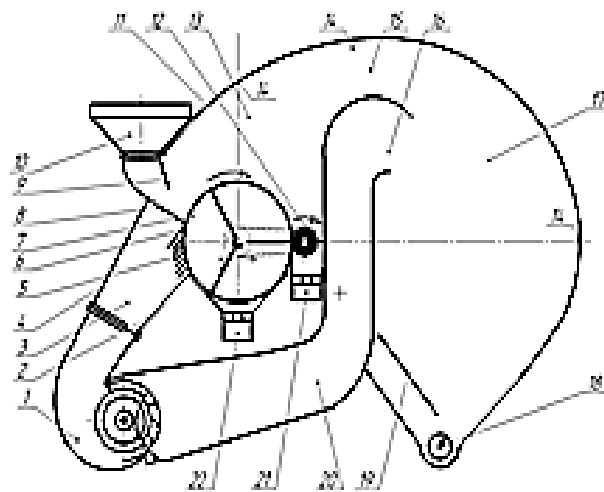


Рис. 2.1 - Схема технологічна пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику з замкненою повітряною системою

1- вентилятор діаметральний; 2 - нижня стінка, повітрярозподільний канал; 4 - верхня стінка; 5 - повітрярозподільник жалюзійний; 6 - середня стінка; 7 - циліндричне решето; 8 - лоток-інтенсифікатор; 9 - заслінка; 10 - бункер; 11 - верхня стінка камери пневмосепарації; 12 - щітка очисна; 13 - камера пневмосепаруюча; 14 - обичайка; 15 - канал пневмосепаруючий; 16 -

горловина; 17 - осадова камера; 18 - пристрій виведення легких домішок; 19 - площина відбійна; 20 - канал зворотний всмоктуючий; 21 - клапан виведення великих домішок; 22 - клапан виведення фракції очищеного зерна.

Розрахункова питома продуктивність пневморешітного сепаратора в 2...2,5 рази вище продуктивності існуючих зерноочисних машин, оснащених циліндричними решетами з горизонтальною віссю обертання і зовнішньою робочою поверхнею.

Пневмосепаратор простий за конструкцією, має меншу металоенергоємність у порівнянні з існуючими машинами попереднього очищення зерна, не має віброуючих і коливаючих елементів конструкції.

Для обґрунтування параметрів і режимів роботи пневмосепаратора розроблена лабораторно-виробнича установка (рис. 2.2).

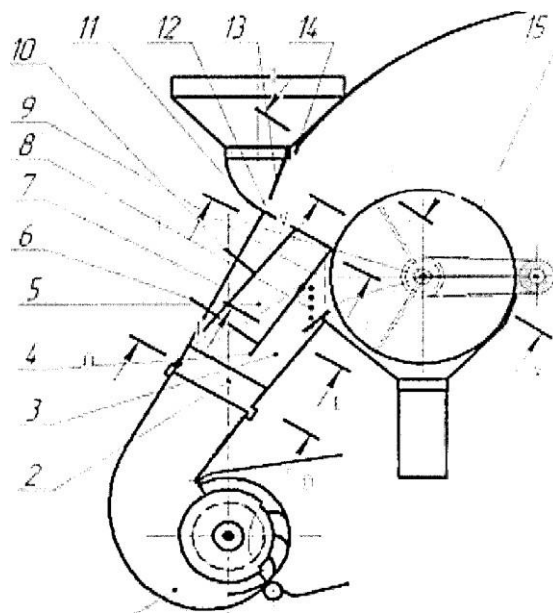


Рис. 2.2 - Схема лабораторно - виробничої установки для визначення основних параметрів та режимів роботи повітрярозподільного пристрою

1 - вентилятор діаметральний; 2- повітрярозподільник; 3 - сепаруюча складова повітрярозподільника; 4 - середня рухома стінка; 5 - живильна складова повітрярозподільника; 6 - регулятор зміни кута нахилу середньої рухомої стінки; 7 - рухома стінка задня; 8 - повітрярозподільник жалюзійний; 9 - нерухома частина середньої стінки; 10 - регулятор зміни кута нахилу

задньої рухомої стінки; 11 - задня стінка; 12 - лоток - інтенсифікатор; 13 - живлячий пристрій; 14 - бункер; 15 - циліндричне решето.

Визначення параметрів повітряного потоку виконується у п'яти перетинах:

0--0 - перетин вимірювання динамічного тиску на вході повітрярозподільник;

I--I - перетин вимірювання динамічного тиску під лотком-інтенсифікатором;

II--II - перетин вимірювання динамічного тиску над лотком-інтенсифікатором;

III--III - перетин вимірювання динамічного тиску під жалюзійним повітрярозподільником;

IV--IV - перетин вимірювання динамічного тиску в сепаруючій зоні циліндричного решета.

Методикою передбачається визначення області раціональних значень основних параметрів і режимів роботи жалюзійного повітрярозподільника за рахунок:

- подачі олійної сировини соняшнику;
- подачі повітряного потоку;
- кута нахилу середньої рухомої стінки повітрярозподільного пристрою;
- коефіцієнта живого перетину повітрярозподільника жалюзійного;
- режиму псевдозрідження, частоти обертання вентилятора, при різних значеннях кута нахилу середньої рухомої стінки і коефіцієнтах живого перетину повітрярозподільника жалюзійного за рахунок рухомої задньої стінки;
- значень динамічного тиску і расходу повітря на вході в повітрярозподільник жалюзійний в перетину 0--0;
- значень динамічного тиску і витрат повітря під лотком-інтенсифікатором в перетині I--I; - значень динамічного тиску і витрат повітря над лотком-інтенсифікатором в перетині II--II;

- значень динамічного тиску і витрат повітря в перетині III--III в напрямку сепаруючої складової повітрярозподільного пристрою від величини робочої щільності повітрярозподільника жалюзійного, частоти обертання вентилятора, при різних значеннях кута нахилу середньої рухомої стінки і коефіцієнта живого перетину повітрярозподільника жалюзійного за рахунок рухомої задньої стінки;
- значень динамічного тиску і витрат повітря в перетині IV - IV, над лотком - інтенсифікатором і у внутрішній зоні циліндричного решета.

2.6. Висновки

1. Впровадження в пневмосепаратор циліндричного решета з горизонтальною віссю обертання і діаметрального вентилятора дозволило обґрунтувати технологічну схему і процес роботи пневморешітного сепаратора з замкненою повітряною системою.

2. Розроблена методика встановлення і визначення параметрів і режимів роботи пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику.

3. За рахунок визначення режимів подачі олійної сировини соняшнику, повітряного потоку, коефіцієнта живого перетину жалюзійного повітрярозподільника і кута нахилу задньої і середньої стінок повітрярозподільника, забезпечення створення псевдозрідженого стану та сегрегації шару насінневого вороху над лотком-інтенсифікатором, можливо забезпечити підвищення ефективності роботи пневмосепаратора.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ОБЧІСАНОГО ВОРОХУ ПШЕНИЦІ

Актуальність теми дослідження

В Україні зерновиробництво є провідною галуззю сільського господарства, при цьому його технічне оснащення знаходиться на низькому рівні, і в першу чергу це стосується зернозбиральної техніки. За чверть століття парк зернозбиральних комбайнів України скоротився майже в три рази, а посівні площі під зерновими збільшилися.

Це призвело до значного росту сезонного навантаження на один комбайн, і як наслідок до порушення агротехнічних строків збирання, що викликає збільшення втрат і зниження якості зерна. Усунути ці недоліки, як довів засновник мелітопольської школи технології обчисування рослин на корені проф. Шабанов П. А. дозволяє стаціонарна технологія, в основі якої лежить даний метод. Однак впровадження цієї технології стримується відсутністю технічних засобів сепарації обчисаного вороху.

Такий стан речей створює народногосподарську проблему, сутність якої полягає в низькій техніко-економічній ефективності виконання технологічного процесу сепарації обчисаного вороху зернових колосових існуючими технічними засобами.

Розв'язання цієї народногосподарської проблеми неможливо без рішення відповідної науково-технічної задачі, яка полягає в обґрунтуванні параметрів та режимів функціонування робочого органу для сепарації обчисаного вороху пшениці, що дозволить підвищити ефективність сепарації.

Мета дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності процесу сепарації обчисаного вороху пшениці шляхом обґрунтування параметрів і режимів роботи сепаруючого робочого органу.

Програма дослідження

Програмою і завданнями експериментальних досліджень передбачалося проведення лабораторних досліджень технологічного процесу сепарації обчісаного вороху пшениці розробленим робочим органом. У програму експериментальних досліджень були включені наступні питання:

- побудова математичної моделі технологічного процесу сепарації вільного зерна експериментальним робочим органом;
- визначення оптимальних значень параметрів і режимів роботи експериментального робочого органу;
- встановлення впливу конструктивних, технологічних і кінематичних параметрів робочого органу на якісні показники його роботи.

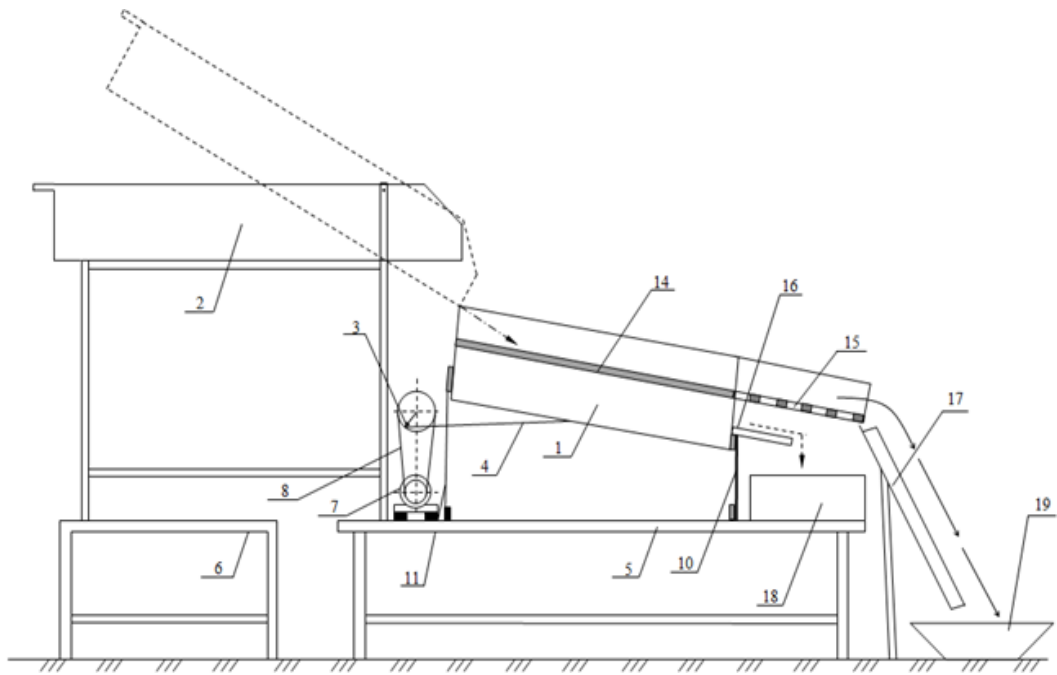
Методика дослідження

Опис лабораторної установки приладів і обладнання для проведення експериментальних досліджень

Лабораторні дослідження проводилися на експериментальній установці, технологічна схема і загальний вид якої наведено на рис. 3.1.

Лабораторна установка складається з решітного стану 1, гравітаційного транспортера 2, ексцентрикового вала (кривошипа) 3, шатуна 4, рами 5, стола 6. решітний стан встановлений на двох коротких і двох довгих дерев'яних пластинах 11 (рис. 3.1, а).

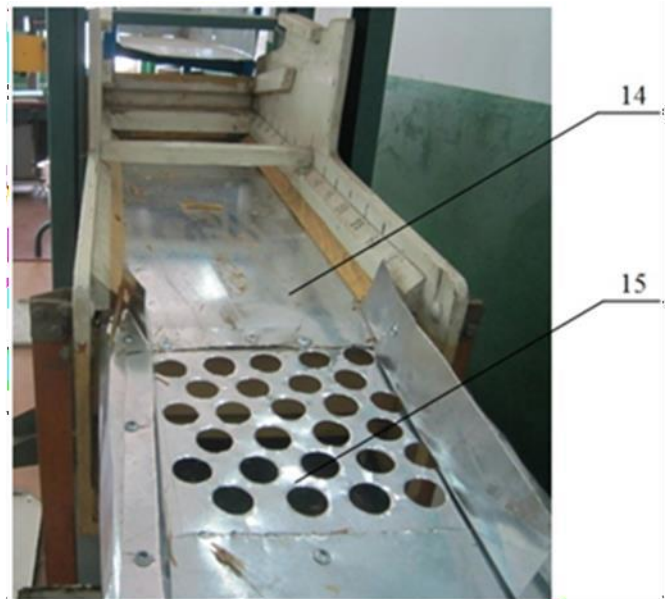
Привід решітного стану 1 здійснюється електродвигуном 7 потужністю 0,9 кВт крізь клиноременну передачу 8, ексцентриковий вал 3 і шатун 4. Частота обертання електродвигуна регулюється за допомогою автотрансформатора (ЛАТРа). Пульт управління, закріплений в передній частині рами, дозволяє здійснити управління роботою лабораторної установки.



а



б



в

Рис. 3.1. Схема технологічна (а) і загальний вид лабораторної установки (б – вид спереду, в – вид зверху)

На панелі пульта виведені кнопки «пуск» і «стоп» для включення електродвигуна приводу решетного стану і рукоятка ЛАТРА для регулювання частоти коливань решітного стану. Решта апаратів електричної схеми експериментальної лабораторної установки розташовані в окремому ящику, закріпленому в нижній частині рами 5.



а



б



в

Рис. 3.2. Решета з круглими отворами а. $d = 15$ мм, б. $d = 25$ мм, в. $d = 35$ мм

У верхній частині решетного стану встановлено робочий орган, який складається з двох жорстко з'єднаних частин. Перша частина робочого органу – сегрегатор 14, являє собою гладку поверхню, а друга частина – решето 15 з круглими отворами (рис. 3.1, в).

Для проведення повнофакторного експерименту були виготовлені три решета з різними діаметрами отворів. Перше решето з отворами $\varnothing 15$ мм, друге з отворами $\varnothing 25$ мм і третє з отворами $\varnothing 35$ мм (рис. 3.2).

Для виведення фракцій матеріалу передбачені два похилих лотка. Для виведення прохідної фракції похилий лоток 16, а для сходової фракції похилий лоток 17 (рис. 3.1, а).

Збір фракцій здійснюється за допомогою пробовідбірників 18 і 19. Прохідова фракція збиралася в пробовідбірник 18, а сходова – в пробовідбірник 19.

Технологічний процес лабораторної установки здійснювався наступним чином. Штучно приготована суміш включає в себе вільного зерна 55%, обірваних колосків 5%, солом'ястих частинок 35% (методика

приготування вихідного матеріалу наведена в [15]) завантажувалася на транспортер 2. Звідки вона надходила на сегрегатор 14, який разом з решітним станом здійснює коливальний рух. За рахунок коливань солом'ясті частки переміщаючись утворили порожнечі крізь які просівається зерно вниз і збирається в нижній частині зерносолом'ястого шару. Сегрегований шар

надходить на решето 15, де розділявся на дві фракції. Великі солом'ясті домішки і обірвані колоски йшли сходом з решета і по похилому лотку 17 потрапляли в пробовідбірник 19. Зерно проходило крізь отвори решета і по похилому лотку 16 потрапляло в пробовідбірник 18 (рис. 3.1, а).

Таким чином, в результаті роботи установки зерносолом'яста суміш поділась на дві фракції сходову (рис. 3.3) і проходову (рис. 3.4).



Рис. 3.3. Сходова фракція



Рис. 3.4. Проходова фракція

Методика проведення повнофакторного експерименту

Аналіз різних планів експериментів дозволив вибрати план найбільш раціональний для вирішення поставлених завдань. Таким планом з'явився некомпозіційний, рототабельний трирівневий план Боксу-Бенкіна [16].

Аналіз факторів дозволив виявити найбільш вагомі на процес сепарації фактори, а саме питому подачу вороху на робочий орган, частоту його коливань і діаметр отворів решета.

Для оцінки ефективності процесу сепарації вільного зерна були використані коефіцієнт сепарації і коефіцієнт ефективності виділення домішок. Таким чином виконувався повнофакторний експеримент на трьох рівнях, для трьох факторів, який оцінювався двома функціями відгуку.

У загальному вигляді математична модель має вигляд:

$$y_1 = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 \quad (3.1)$$

$$y_2 = c_0 + c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3 + c_{12} x_1 x_2 + c_{13} x_1 x_3 + c_{23} x_2 x_3 + c_{11} x_1^2 + c_{22} x_2^2 + c_{33} x_3^2,$$

де y_1 – функція відгуку, що характеризує зміну коефіцієнта сепарації;

y_2 – функція відгуку, що характеризує зміну коефіцієнта ефективності виділення домішок;

x_1 – питома подача вихідного матеріалу на робочий орган;

x_2 – частота коливань робочого органу;

x_3 – діаметр отворів решета;

$b_0, b_1, b_2, b_3 \dots$ – коефіцієнти регресії першого рівняння;

$c_0, c_1, c_2, c_3 \dots$ – коефіцієнти регресії другого рівняння.

Використовуючи результати проведених теоретичних дослідження, а також аналіз літературних джерел були виявлені межі значень факторів, приведених в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Рівні варіювання факторами

Рівень і інтервал варіювання факторами	Фактори		
	питома подача матеріалу, кг/с·м ²	частота коливань, с ⁻¹	діаметр отвору, мм
	x_1	x_2	x_3
Верхній рівень (+)	3,3	55	35
Основний рівень (0)	2,7	50	25
Нижній рівень (-)	2,1	45	15
Інтервал варіювання	0,6	5	10

Для проведення експерименту була складена матриця планування експерименту, в якій нижній рівень позначений знаком (-), верхній – знаком (+), а основний рівень – (0).

Розрахунок коефіцієнтів регресії проводився за формулами, які наведені в [17].

Використовуючи результати експериментів і відомі формули наведені в [17] були визначені коефіцієнти регресії. Подальша робота була спрямована на проведення статистичного аналізу отриманих результатів, а саме визначення значущості коефіцієнтів регресії і оцінки адекватності моделі.

Значимість коефіцієнтів регресії визначалася за критерієм Стюдента, згідно рекомендацій [17]. Адекватність моделі перевірялася за критерієм Фішера [18].

Досліди проводилися за такою методикою. Штучно підготовлена суміш (методика її підготовки приведена в [15]) укладалася в гравітаційний транспортер. Кількість суміші відповідало чисельним значенням питомої подачі (методика розрахунку необхідної кількості суміші наведена в [15]). Відповідно до плану експерименту проводилася наладка необхідних кінематичних і конструктивних параметрів. У нашому випадку це установка необхідної частоти коливань і монтаж решета з діаметром отворів відповідним планом експерименту.

Частота коливань встановлювалася за допомогою автотрансформатора (ЛАТР), шляхом регулювання частоти обертання електродвигуна. Контроль частоти обертання електродвигуна здійснювався тахометром.

Після візуальної перевірки лабораторна установка включалася. Потім на робочий орган подавався за допомогою гравітаційного транспортера вихідний матеріал, який в процесі проходження по решету ділився на дві фракції, проходову і сходову. Проходова і сходова фракція надходили в пробовідбірники. Після повного закінчення кожного досліду, лабораторна установка вимикалася. Сходова і проходова фракції вороху зважувалися з точністю до 0,001 кг. Потім проходова фракція (зерно) очищувалася на лабораторних плоских решетах від великих домішок. Після цього очищене зерно знову зважувалося і великі солом'ясті домішки з обірваними колосками також зважувалися.

Результати зважувань заносилися в журнал первинних матеріалів.

Аналогічна робота проводилася з сходовою фракцією, тобто спочатку вона вся зважувалася, а потім на лабораторних решетах виділялося неотсепароване зерно і також зважувалося. Отримані результати також заносилися в журнал первинної інформації.

Після цього гравітаційний транспортер знову завантажувався, а

лабораторну установку перенастроювали на інший режим і проводили новий дослід.

Всі досліді проводилися з триразовою повторністю. Використовуючи таблицю випадкових чисел досліді були рандомізовані, що забезпечило рівномірне внесення елемента випадковості впливу некорильованих факторів на функції відгуку. Рандомізація також дає можливість виключити неодноразовості дискретного і безперервного типів.

Результати досліджень.

В результаті реалізації плану Боксу-Бенкіна була отримана математична модель у вигляді рівнянь регресії другого ступеню

$$y_1 = 0,614 - 0,158x_1 - 0,093x_2 + 0,132x_3 - 0,00175x_2x_3 + 0,061x_1^2 - 0,041x_2^2 - 0,0665x_3^2 \quad (3.2)$$

$$y_2 = 0,6 - 0,105x_1 - 0,104x_2 - 0,054x_3 + 0,015x_1x_2 + 0,03x_1x_3 + 0,01x_2x_3 - 0,046x_1^2 + 0,049x_2^2 - 0,009x_3^2,$$

де x_1 – питома подача зерносолом'ястого матеріалу на робочий орган;

x_2 – частота коливань робочого органу;

x_3 – діаметр отворів решета;

y_1 – функція відгуку, що характеризує зміну коефіцієнта сепарації залежно від змін факторів;

y_2 – функція відгуку, яка описує характер зміни коефіцієнта ефективності виділення домішок.

Перевірка адекватності отриманої моделі за критерієм Фішера показала, що обидва рівняння адекватно описують процес сепарації зерносолом'ястого вороху.

Подальший аналіз рівнянь регресії полягав у проведенні їх досліджень на найбільше і найменше значення, в результаті чого були визначені значення факторів, при яких функції відгуку приймають найбільше значення, а потім були побудовані поверхні відгуку. Аналіз впливу зміни факторів на якість роботи сепаруючого робочого органу виконувався шляхом моделювання.

Методика моделювання була наступною. У рівняння (3.2) підставлялися фіксовані значення факторів x_2 і x_3 , при яких функції відгуку мають найбільше значення. Для першого рівняння регресії $x_2 = -1$ і $x_3 = 1$, а для другого рівняння $x_2 = -1$ і $x_3 = -1$. В результаті були отримані дві функції, які залежать тільки від одного фактора x_1 тобто питомої подачі

$$y_1 = 0,733 - 0,158x_1 + 0,061x_1^2, \quad (3.3)$$

$$y_2 = 0,808 - 0,15x_1 - 0,046x_1^2.$$

Далі в кожне з рівнянь підставлялися значення питомої подачі в межах -1 до 1. А потім були побудовані графіки (рис. 3.5...3.6), які характеризують зміну якісних показників решіт від питомої подачі. Для зручності роботи з графіком кодовані значення фактора x_1 переведені в натуральні.

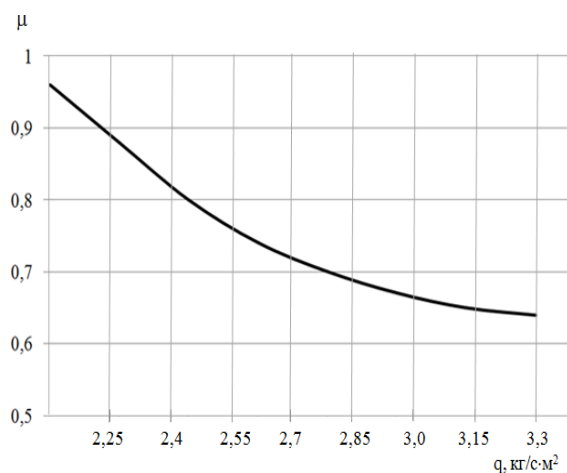


Рис. 3.5. Графік залежності коефіцієнта сепарації від питомої подачі.

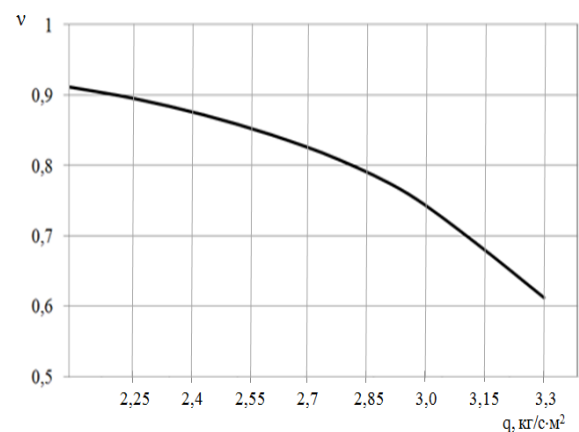


Рис. 3.6. Графік залежності коефіцієнта ефективності виділення домішок від питомої подачі.

Як видно з наведених графіків, найбільш ефективним режимом роботи сепаруючого робочого органу є питома подача $2,1 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$, при її збільшенні коефіцієнт сепарації знижується і при $3,3 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$ досягає свого найменшого значення $0,636$ і коефіцієнт ефективності виділення домішок також знижується до рівня $0,612$.

Аналіз впливу частоти коливань робочого органу на ефективність його роботи проводився за вищевикладеною методикою. Були отримані дві функції, аргументами в яких була частота коливань

$$\begin{cases} y = 0,899 - 0,095x - 0,041x^2 \\ y^1 = 0,734 - 0,129x^2 + 0,049x^2. \end{cases} \quad (3.4)$$

Використовуючи ці рівняння були побудовані графіки залежностей коефіцієнта сепарації (рис. 3.7) і коефіцієнта ефективності виділення домішок (рис. 3.8) від частоти коливань сепаруючого робочого органу.

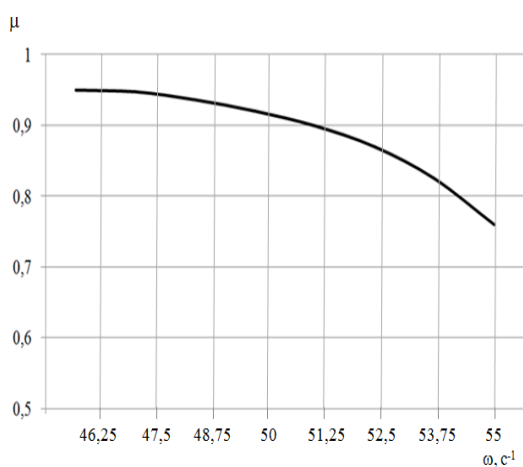


Рис. 3.7. Графік залежності коефіцієнта сепарації від частоти коливань робочого органу.

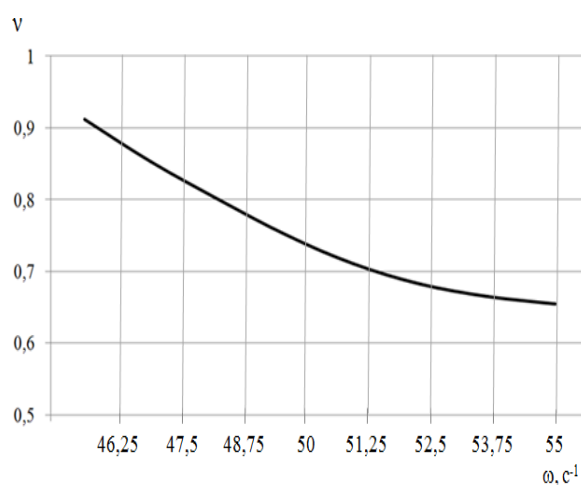


Рис. 3.8. Графік залежності коефіцієнта ефективності виділення домішок від частоти коливань робочого органу.

Як видно з наведеного графіка (рис. 3.7) коефіцієнт сепарації зменшується зі збільшенням частоти коливань. Найбільше значення коефіцієнта сепарації 0,95 спостерігається при частоті коливань робочого органу 45с^{-1} , а найменше значення коефіцієнта сепарації 0,76 буде при частоті 55с^{-1} . Характер протікання графіка залежності коефіцієнта ефективності виділення домішок свідчить про те, що функція монотонно спадаюча.

Найбільше значення 0,912 ця функція має при частоті коливань робочого органу 45с^{-1} , а найменше 0,654 при частоті 55с^{-1} . Отже, можна

зробити такий висновок, найбільш раціональним кінематичним режимом функціонування робочого органу є його частота коливань, яка дорівнює 45 c^{-1} .

Третій етап моделювання був пов'язаний з дослідженням впливу діаметра отворів решіт на якісні показники їх роботи. Аналогічним чином були отримані дві функції, які залежать від діаметра решіт і по ним були побудовані графіки (рис. 3.9)

$$y_1 = 0,885 + 0,134x_3 - 0,0665x_3^2, \quad (3.5)$$

$$y_2 = 0,827 - 0,094x_3 - 0,009x_3^2.$$

Як видно з рис. 3.9 крива 1, яка характеризує зміну коефіцієнта сепарації монотонно зростає зі збільшенням діаметра отворів решіт, а крива 2, яка є графіком залежності коефіцієнтом ефективності виділення домішок, при цьому монотонно убуває. Крива 1 і крива 2 перетинаються в точці А, ця точка є такою, що задовольняє однієї й іншій кривій. Точка А має координати на осі абсцис 22,5, а на осі ординат 0,85.

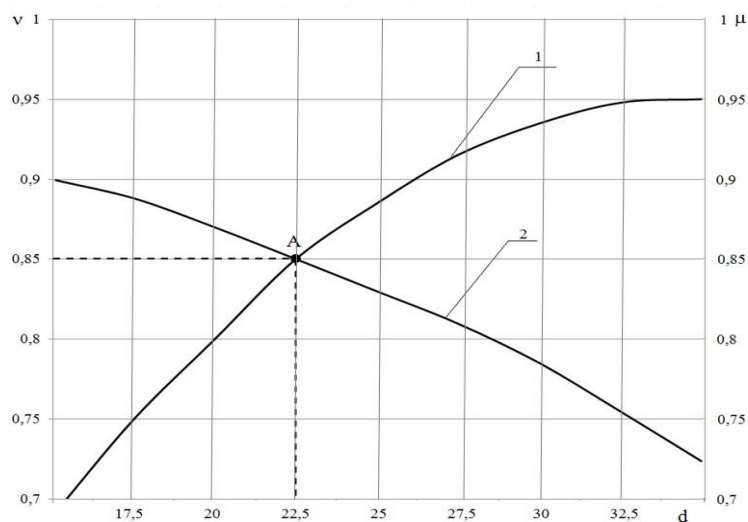


Рис. 3.9. Графік залежності якісних показників роботи решіт від діаметра їх отворів

Таким чином, при діаметрі отворів решіт рівному 22,5 мм коефіцієнт сепарації дорівнює 0,85 і коефіцієнт ефективності виділення домішок дорівнює також 0,85.

Висновки

1. Аналіз літературних джерел та проведених пошукових досліджень дозволив розробити технологічну схему робочого органу для сепарації обчісаного вороху пшениці, який складається з сегрегатору та решета.

2. У результаті експериментальних досліджень робочого органу отримана регресійна модель, яка встановлює залежність якісних показників його функціонування від параметрів і режимів роботи, аналіз якої дозволив виявити раціональні їх значення:

- діаметр отворів решіт 23 мм;
- питому подачу обчісаного вороху $2,1 \text{ кг/с}\cdot\text{м}^2$;
- частоту коливань решіт 45с^{-1} .

Загальні висновки

1. Опис функціонування системи ПЗОЗ здійснюється за допомогою побудови графа станів і системи лінійних алгебраїчних і диференціальних рівнянь, в результаті чого отримують лістинг програм в пакеті MathCad - рішення системи рівнянь методом Рунге - Кутта і визначаються ймовірності функціонування системи. Це дозволяє обґрунтувати параметри технічної оснащення післязбиральної обробки зерна і підвищити її ефективність.
2. Впровадження в конструкцію пневмосепаратора циліндричного решета з горизонтальною віссю обертання і діаметрального вентилятора дозволило обґрунтувати технологічну схему і процес роботи пневморешітного сепаратора з замкненою повітряною системою.
3. Розроблена методика встановлення і визначення параметрів і режимів роботи пневморешітного сепаратора олійної сировини соняшнику.
4. За рахунок визначення режимів подачі олійної сировини соняшнику, повітряного потоку, коефіцієнта живого перетину жалюзійного повітрярозподільника і кута нахилу задньої і середньої стінок повітрярозподільника, забезпечення створення псевдозрідженого стану та сегрегації шару насінневого вороху над лотком-інтенсифікатором, можливо забезпечити підвищення ефективності роботи пневмосепаратора.
5. Аналіз літературних джерел та проведених пошукових досліджень дозволив розробити технологічну схему робочого органу для сепарації обчісаного вороху пшениці, який складається з сегрегатору та решета.
6. У результаті експериментальних досліджень робочого органу отримана регресійна модель, яка встановлює залежність якісних показників його функціонування від параметрів і режимів роботи, аналіз якої дозволив виявити раціональні їх значення:
 - діаметр отворів решіт 23 мм;
 - питому подачу обчісаного вороху 2,1 кг/с м²;
 - частоту коливань решіт 45с⁻¹.

Література

1. Михайлов Є. В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах півдня України / Є. В. Михайлов.- Мелітополь: Люкс. 2012. - 260 с.
2. Испытания сельскохозяйственной техники // С. В. Кардашевский, Л. В. Погорельый, Г. М. Фудиман, П. И. Лобко, В. В. Брей. - М.: Машиностроение, 1979. - 288 с.
3. Погорельый Л. В. Инженерные методы испытания сельскохозяйственных машин / Л. В. Погорельый. - К.: Техника, 1981. - 185 с.
4. Елизаров В. П. Предприятия послеуборочной обработки и хранения зерна (расчет на ЕОМ) / В. П. Елизаров.- М.: Колос, 1977. - 216 с.
5. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко.- М.: Наука, 1968. - 365 с.
6. Еникеев В. Г. Вопросы совершенствования технической оснащенности сельского хозяйства / В. Г. Еникеев // Науч. труды ЛСХИ. - Л., 1976. - Т. 301. - С. 16-27.
7. Пашичев П. Л. Оценка качества технической оснащенности сельскохозяйственного производства с учетом вероятностных параметров / П. Л. Пашичев // Науч. труды ЛСХИ. - Л., 1980. - Т. 388. - С. 27 - 29.
8. Лурье А.Б. Основы теории зффективности функционирования рабочих процессов сельскохозяйственных машин и их систем управления / А. Б. Лурье // Науч. труды ЛСХИ. - Л., 1981. - Т. 415.- С. 3 - 6.
9. Бусленко В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / В.Н. Бусленко. - М.: Наука, 1977. - 249 с.
10. Михайлов С.В. Методология обоснования состава и функпиональньтх параметров технических средств послеуборочной обработки зерна (на примере Юга Украины): дис...докт. техн.. наук/ Е.В.Михайлов. - Мелітополь, 2014 - 413с.
11. Михайлов Є. Рекомендації щодо обґрунтування комплексу технічних засобів післязбиральної обробки зерна в умовах Півдня України /Є. Михайлов, Є. Сербій, Н. Задосна, М. Рубцов // Науковий журнал

«Техніка і технології АПК». Наукове фахове видання. - № 5(80), Київ, 2016. - С. 28-30.

12. Михайлов Є.В., Задосна Н.О., Мордарьов П.С. Показники роботи підприємств олійно - переробної галузі Запорозької області і напрямки підвищення її ефективності. / Є.В. Михайлов, Н.О. Задосна, П.С. Мордарьов// Вісник Сумського національного аграрного університету. - Суми, 2016. – Вип.10, т. 2. – С. 118 - 122.

13. Михайлов Є.В., Афанасьєв О.О., Задосна Н.О. Удосконалення пневмосепаруючої камери пневморешітного сепаратора із замкненою повітряною системою. / Є.В. Михайлов, О.О. Афанасьєв, Н.О. Задосна// Вісник Сумського національного аграрного університету. - Суми, 2016. – Вип.10, т. 2. – С. 96 - 99.

14. Михайлов Є.В., Афанасьєв О.О., Задосна Н.О. Пневморешітний сепаратор із замкненою повітряною системою. / Є.В. Михайлов, О.О. Афанасьєв, Н.О. Задосна// Сучасні проблеми землеробської механіки: XVII Междунар. наук. конф. 17 - 18 жовтня 2016 р. – Суми , 2016. - С. 56 - 58.

15. Аблогин Н. Н. Обоснование технологической схемы и параметров устройства для сепарации очесанного вороха риса: дис... канд. техн. наук / Н. Н. Аблогин. – Мелитополь, 1997. – 215 с.

16. Vox G. E. P. Home New. The Level for the Study ob Quantitative Variables / G. E. P. Vox, D. W. Behnken // Technometrics. – 1960. – V. 2. – №4. – P. 127-132.

17. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – Л.: Колос, 1980. – 165 с.

18. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 60 с.