


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) 42-12-65

ЗАТВЕРЖУЮ:
Директор НДІ МЗПУ,
чл.-кор. НААНУ, д.т.н., проф.
В.Т. Надикто
«12» _____ 2018р.



ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
ЗА 2018 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 С.В.

2018 р.

Результати роботи розглянуті НТР
Протокол № 9 від «25/12» 2018 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник підпрограми 2, д.т.н., професор кафедри МВЗ	Михайлов Є.В. (реферат, вступ, розділи 1, 2, висновки)
аспірант	Афанасьєв О.О. (розділ 1)
інженер	Задосна Н.О. (вступ, розділ 2)
к.т.н., доцент кафедри МВЗ	Чорна Т.С. (розділ 2)
к.т.н., доцент кафедри МВЗ	Мовчан В.Ф. (розділ 2)
к.т.н., доцент кафедри МВЗ	Мітін В.М. (розділ 2)
к.т.н., асистент кафедри МВЗ	Ігнат'єв Є.І. (розділ 2)
студент 22 – МБ АІ	Мордар'єв П.С. (розділ 2)
д.т.н., професор кафедри ТМ	Леженкін О.М. (вступ, розділ 3)
к.т.н.	Леженкін І.О. (розділ 3)
аспірант	Головльов В. А. (розділ 3)

РЕФЕРАТ

Звіт з НДР: 57 сторінок, 30 рисунків, 21 посилання.

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 та теорії ймовірностей. Перевірка гіпотез і обробка експериментальних даних виконані за стандартними та розробленими програмами.

У даному звіті пропонуються:

- теоретичні передумови процесу псевдозрідження зернового вороху в лабораторно-виробничому стенді попереднього очищення зерна;
- результати експериментальних досліджень жалюзійного повітрярозподільника лабораторно-виробничого стенду попереднього очищення олійної сировини соняшнику;
- теоретичні основи розробки робочого органу для сепарації обчісаного вороху зерна.

ПОПЕРЕДНЄ ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА, ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ, ОЛІЙНА СИРОВИНА СОНЯШНИКУ, СЕПАРАЦІЯ ОБЧІСАНОГОВОРОХУ ПШЕНИЦІ.

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Теоретичні передумови процесу псевдозрідження зернового вороху в лабораторно-виробничому стенді попереднього очищення зерна	6
2 Результати експериментальних досліджень жалюзійного повітрярозподільника лабораторно-виробничого стенду попереднього очищення олійної сировини соняшнику	15
3 Теоретичні основи розробки робочого органу для сепарації обчісаного вороху зерна	39
Загальні висновки	53
Література	55

ВСТУП

Попереднє очищення зерна є одною з найважливіших технологічних операцій післязбирального обробітку зерна в системі підготовки насінневого матеріалу. Зерновий матеріал після його збирання і виділення з вороху представляє собою суміш зерна основної культури та до 20 % зернових домішок - пошкодженого і недозрілого, що є більш вразливим до дій різних шкідливих організмів, сторонніх культурних рослин, бур'янів, а також різноманітних домішок мінерального і органічного походження [1, 2, 3].

На початковому етапі очищення найбільш часто розподіл складових вороху насіння соняшнику відбувається з урахуванням його натури, засміченості та аеродинамічних властивостей.

Високопродуктивні машини попереднього очищення зерна, як правило, використовують принцип поділу частинок на решетах і в повітряному потоці.

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

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 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЦЕСУ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ ЗЕРНОВОГО ВОРОХУ В ЛАБОРАТОРНО-ВИРОБНИЧОМУ СТЕНДІ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА

Актуальність дослідження

У 2017 році Україна виробила 64 млн тонн зернових, в тому числі 26 млн тонн пшениці. Понад 60 відсотків цього зерна в 2017-2018 маркетинговому році було експортовано в регіони Європи, Азії та Північної Африки, а також в інші країни світу.

Попереднє очищення зерна є одною з найважливіших технологічних операцій після збирання зерна в системі підготовки насінневого матеріалу. Зерновий матеріал після його збирання і виділення з вороху представляє собою суміш зерна основної культури та зернових домішок – пошкодженого і недозрілого, що є більш вразливим до дій різних шкідливих організмів, сторонніх культурних рослин, бур'янів, а також різноманітних домішок мінерального і органічного походження [1, 2, 3]. Окремі домішки в партіях зерна мають вищу вологість, ніж саме зерно, до того ж вони часто уражаються мікроорганізмами. Це призводить до швидшого зігрівання забруднених партій зерна і вищих втрат від дихання. Крім того, домішки призводять до утворення ущільнених слоїв в штабелі зерна, які при недостатньому вентиляванні швидко псуються. Попереднє очищення зерна дозволяє виділити з зернового вороху грубі солонисті домішки, повітрявідокремлюємі домішки, бур'яни, що мають високу вологість, та знизити вологість зерна до сушки на 1...2 %. Тому інтенсифікація процесів попереднього очищення зерна є актуальною задачею.

Мета дослідження – підвищення продуктивності машини попереднього очищення зерна із замкненою повітряною системою шляхом визначення параметрів і режимів процесу псевдозрідження зернового вороху

Програма досліджень

Теоретичним шляхом визначити параметри та режими процесу псевдозрідження зернового вороху в лабораторно-виробничому стенді попереднього очищення зерна із замкненою повітряною системою

Методика досліджень

Лабораторно-виробничий стенд (рис. 1.1) містить встановлений під кутом 60° - 70° до горизонтальної площини діаметральний вентилятор 2, до вихідної горловини якого приєднано повітряроздавальний канал 3, який у верхній частині перекрито лотком-інтенсифікатором 8.

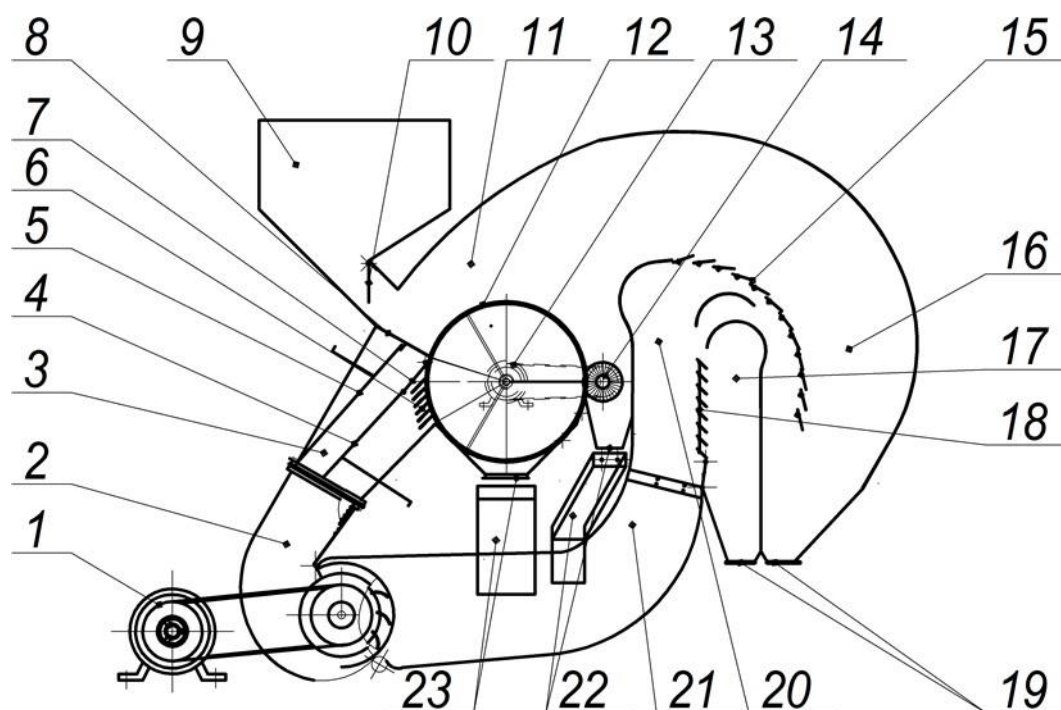


Рис.1.1 Схема технологічна лабораторно-виробничого стенду

1 – електродвигун постійного струму; 2 – вентилятор діаметральний; 3 – повітряроздавальний канал; 4 – стінка середня рухома; 5 – стінка задня рухома; 6 – блок жалюзі повітрярозподільного каналу; 7 – стінка середня нерухома; 8 – лоток-інтенсифікатор; 9 – завантажувальний бункер; 10 – заслінка завантажувального бункера; 11 – пневмосепаруюча камера; 12 – решето циліндричне; 13 – мотор-редуктор; 14 – очисник щітковий; 15 – жалюзі I ступеня осадової камери; 16 – I ступень осадової камери; 17 – II ступень осадової камери; 18 – жалюзі поверхні II ступеню осадової камери;

19 – клапани виводів легких домішок I і II ступеню осадової камери; 20 – горловина всмоктуючого каналу; 21 – всмоктуючий канал вентилятора; 22 – клапан виводу та лоток сходу крупних домішок; 23 – клапан виводу та лоток сходу очищеного зернового матеріалу.

Середня стінка має нерухому частину 7 та рухому 4, що дозволяє розділити повітряний потік між лотком-інтенсифікатором 8 та блоком жалюзі повітрярозподільника 6. Стінка задня рухома 5 з'єднана шарнірно із задньою стінкою. Лоток-інтенсифікатор 8 має перфоровану поверхню, а блок жалюзі повітрярозподільника 6 має можливість змінювати «живий перетин» та кут нахилу жалюзі. Для очищення зовнішньої поверхні циліндричного решета 12 встановлена очисна щітка 14 з горизонтальною віссю обертання. Простір зверху циліндричного решета 12 та очисної щітки 14, обмежений обичайкою 15, створює пневмосепаруючу камеру 11. Знизу циліндричного решета 12 та очисної щітки 14 встановлено клапан виводу фракції очищеного зерна 23 та клапан виводу крупних домішок 22. Продовження пневмосепаруючої камери 11 повільно переходить у двоступеневу осадову камеру 16 і 17, які відділяються жалюзі 15,18. В верхній частині осадової камери встановлено горловину 20 зворотного всмоктуючого каналу 21, з'єданого з діаметральним вентилятором 2.

Робочий процес здійснюється наступним чином.

Повітряний потік, створений діаметральним вентилятором 2, направляється до повітряроздавального каналу 3, де перерозподіляється до блоку жалюзі повітрярозподільника 6 та циліндричного решета 12, або до лотка-інтенсифікатора 8, середньою рухомою 4 і нерухомою 7 стінками. Стінку задню рухому 5 з'єднано шарнірно з задньою стінкою в зоні з'єднання останньої з діаметральним вентилятором 2. Стінка задня рухома 5 змінює своє положення та дає змогу змінювати робочу довжину лотка інтенсифікатора 8, тим самим змінюючи його робочу площу, що дає змогу регулювати процес псевдозрідження. Зерновий ворох, що надійшов до лотка-інтенсифікатора 8, під дією повітряного потоку переводиться у

псевдозріджений стан, за рахунок чого пил, полова, збоїна та деякі великі домішки, що мають значно більшу площу опору ніж повноцінне зерно, а також легкі і повітрявідокремлюючі домішки переміщуються у верхній шар, а повноцінне зерно і дрібні важкі домішки – в нижній. Великі домішки відокремлюються решето 12, поверхня якого очищується очисником щітковим 14. Зерно та дрібні важкі домішки просипаються крізь решето і виводяться із машини через клапан 23. Крупні домішки (солома, недомолочений колос, та інші) за рахунок обертання циліндричного решета переміщуються в зону щіткового очисника 14 і через клапан 22 виводяться з машини.

Повітряний потік проходить крізь блокжалюзі повітрярозподільного каналу 6 та циліндричне решето 12, підхоплює легкі і повітрявідокремлюючі домішки, переміщуючи їх до пневмосепаруючої камери 11, а далі – у двоступеневу осадову камеру 16, 17. Повітрявідокремлюючі домішки осаджуються в осадових камерах 16, 17 та виводяться з неї пристроєм виводу легких домішок 19. За рахунок зменшення робочого тиску повітряного потоку у осадових камерах 16, 17, повітряний потік має умови перетворюватися на зворотній і надходить в зону горловини 20 всмоктуючого каналу 21, направляючи його додіаметрального вентилятора 2.

Оцінювання переходу зернового вороху над лотком-інтенсифікатором у псевдозріджений стан здійснюється на початковому етапі на основі збільшення швидкості потоку до деякого критичного значення $V_{кр}$, де частки переміщуються інтенсивніше, щільність зменшується, шпаруватість і висота шару продовжують зростати при практично постійному гідравлічному опорі.

Результати досліджень

Для переводу зернового матеріалу в псевдозріджений стан під перфорований лоток-інтенсифікатор подається стиснене повітря при визначеній подачі Q і тиску P (Рис. 1.2) [1]. Зернова суміш рухається із

середньою швидкістю V_c і висотою h . Поверхня лотка-інтенсифікатора нахилена до горизонталі під кутом α .

Аналізуючи умови переходу зернового вороху у псевдозріджений стан приймемо наступні допущення:

- висота псевдозрідженого шару зернового вороху в перерізі, де знаходиться точка M , постійна;
- взаємодія часток, що надійшли на поверхню лотка, не враховується;
- частки зернового матеріалу є абсолютно твердими тілами;
- коефіцієнт тертя точки об поверхню лотка-інтенсифікатора постійний і не залежить від швидкості її руху і тиску повітря;
- швидкість виходу струменів повітря з отворів лотка-інтенсифікатора постійна по довжині і ширині лотка.

При потраплянні зернової суміші у зону струменя повітря, що виходить із щілини лотка-інтенсифікатора, на її частку M будуть діяти сили (Рис. 1.2):

F – сила впливу повітряного потоку; $F_{оп}$ – сила опору повітряному потоку; $F_{тр}$ – сила тертя шару зерна об бічні стінки лотка; G – сила тяжіння.

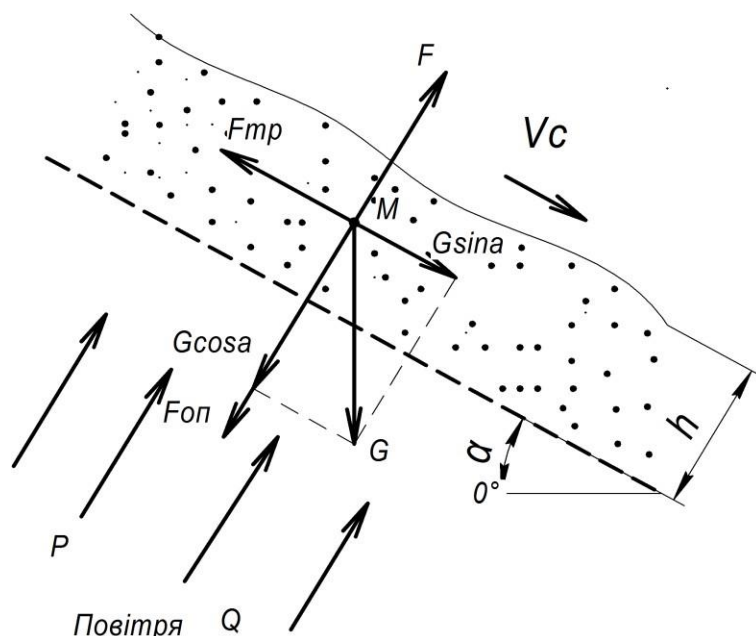


Рис. 1.2 Схема сил, діючих на частку зернової суміші при переході в псевдозріджений стан

Багато вхідних параметрів є випадковими і модель функціонування досліджуваного очисника вороху виявляється досить складною для аналізу, синтезу й оптимізації технологічного процесу попереднього очищення зерна.

При проходженні повітря через шар зернового матеріалу його гідравлічний опір збільшується із збільшенням швидкості повітря, одночасно збільшується сила впливу повітряного потоку на частинки F . При певній швидкості повітря сила F зрівноважить зведену силу тяжіння частини ($G - A$), тобто:

$$F = G - A, \quad (1.1)$$

де: G – вага твердих частинок зернистого матеріалу, Н;

A – Архімедова сила, Н.

При цьому втрата тиску при переході зернового матеріалу у псевдозріджений шар буде дорівнювати [4]:

$$\Delta P = \rho \cdot S \cdot v^2, \quad (1.2)$$

де S – площа поперечного перерізу псевдозрідженого шару, m^2 .

Тобто втрата тиску ΔP дорівнює сумарній вазі шару, віднесений до площі поперечного перерізу S , незалежно від величини швидкості повітря. Ця властивість ілюструється графіком, (Рис. 1.3).

У випадку, коли зріджується матеріал, між часточками якого існує зчеплення, спостерігається раптове збільшення перепаду втрати тиску ΔP^* (крива 3, рис.1.3). Для сипких матеріалів його величина не перевищує 1,5-5,0 %. В апаратах переріз яких збільшується по висоті величина ΔP^* може в 2-3 рази перевищувати втрату тиску ΔP в стані псевдозрідження. При цьому можливе утворення фонтануючого шару [5].

При швидкості більше швидкості початку псевдозрідження опір шару зберігає практично постійне значення, що пояснюється збільшенням порозності шару, меншим числом контактів частинок один з одним, великим перемішуванням по всім напрямкам [6].

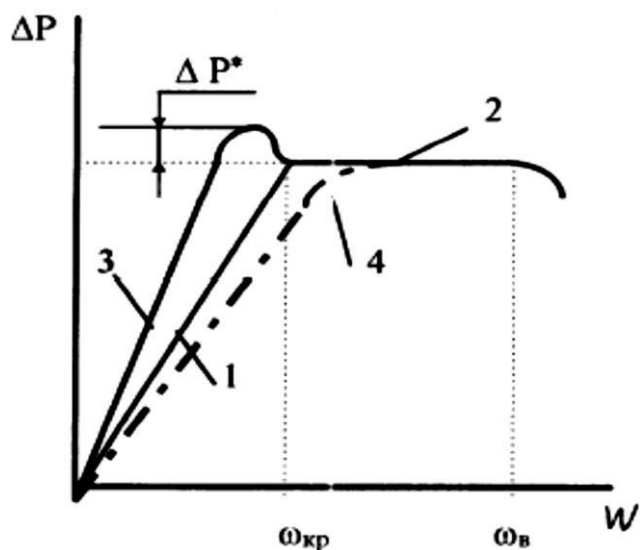


Рис. 1.3 Криві псевдозрідження псевдозрідженого матеріалу [4]:

1 – крива, яка відповідає фільтрації крізь стаціонарний шар гладких сухих кульок; 2 – псевдозріджений стан; 3 – перехід у псевдозріджений стан шару з часточками між якими існує зчеплення; 4 – перехід у псевдозріджений стан полідисперсного матеріалу.

З урахуванням архімедових сил перепад втрати тиску:

$$(1.3)$$

де ϵ_0 – порозність шару;

g – прискорення вільного падіння, m/s^2 ;

H_0 – висота нерухомого шару часток, m ;

ρ_{fl} – щільність зріджуючого агента, kg/m^3 ;

ρ_s – щільність твердих часток, kg/m^3 .

Для зваженого шару твердих часток порозність визначається наступним виразом [6]:

$$\epsilon = \frac{V_{sh} - V_s}{V_{sh}}, \quad (1.4)$$

де V_{sh} і V_s – об'єм зваженого шару і об'єм, зайнятий безпосередньо твердими частками, відповідно.

З критеріальної залежності [7]:

$$\left[\frac{\rho_s}{\rho_{fl}} \right], \quad (1.5)$$

де $n = 0,21$ – при однорідному псевдозрідженні;
 $n = 0,1 \dots 0,2$ – при неоднорідному псевдозрідженні;
 Re – критерій Рейнольдса;
– критерій Архімеда.

$$\text{---} \text{---} , \tag{1.6}$$

де d – еквівалентний діаметр несферичної частки, м;
– кінематична вязкість повітря.

Еквівалентний діаметр несферичної частки розраховується з формули [8]:

$$\text{---} , \tag{1.7}$$

де $d_{ш}$ – діаметр умовного шару, м,
 φ – фактор форми.

$$\sqrt{\text{---}} , \tag{1.8}$$

$$\text{---} , \tag{1.9}$$

де f – коефіцієнт несферичності.

В апаратах змінного по висоті перерізу швидкість псевдозрідження досягається в різних перерізах неодноразомно. Під швидкістю псевдозрідження розуміють таку її величину, при якій зріджуються часточки в усіх перерізах апарату.

Швидкість початку псевдозрідження розраховується за формулою [7]:

$$\sqrt{\text{---}} , \tag{1.10}$$

де λ – коефіцієнт тертя.

Також можливо розрахувати $W_{пн}$ через критерій Рейнольдса:

$$\text{---} . \tag{1.11}$$

$$\text{---} \sqrt{\text{---}} . \tag{1.12}$$

Межі існування псевдозрідженого шару є обмеженими швидкістю початку псевдозрідження і швидкістю винесення часток. Коли відбувається зростання швидкості газу, псевдозріджений шар зернового матеріалу поступово розширюється, його висота збільшується і втрати тиску при цьому залишаються практично постійними.

Критерій Рейнольдса для визначення швидкості виносу частинок розраховується так [8]:

$$\frac{W_{\text{ф}}}{\sqrt{g}} \cdot \quad (1.13)$$

Відношення робочої (фіктивної) швидкості газу $W_{\text{ф}}$ до критичної швидкості псевдозрідження $W_{\text{пз}}$ називають числом псевдозрідження [9]:

$$\frac{W_{\text{ф}}}{W_{\text{пз}}} \cdot \quad (1.14)$$

Дійсна робоча швидкість потоку газу $W_{\text{д}}$ у вільному перерізі між частками псевдозрідженого шару, або швидкість фільтрації, визначається виразом:

$$\frac{W_{\text{д}}}{W_{\text{пз}}} \cdot \quad (1.15)$$

На практиці використовується сепарація зернистих матеріалів, заснована на виносі з псевдозрідженого шару часток з більш низькими швидкостями витання. Процес проводиться при робочій швидкості повітря, проміжної між швидкостями витання компонентів.

Висновки

1. При переході в псевдозріджений стан на частинки зернової суміші будуть діяти: сила тяжіння G , сила тертя шару зерна о бічні стінки лотка-інтенсифікатора $F_{\text{тр}}$, сила опору повітряного потоку $F_{\text{оп}}$ та сила впливу повітряного потоку на частинки F .

2. Визначені параметри процесу псевдозрідження зернового вороху (швидкість початку псевдозрідження $W_{\text{пз}}$, швидкість фільтрації $W_{\text{д}}$, порозність, число псевдозрідження K), які впливають на підвищення продуктивності процесу попереднього очищення зернового вороху.

2 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЖАЛЮЗІЙНОГО ПОВІТРЯРОЗПОДІЛЬНИКА ЛАБОРАТОРНО- ВИРОБНИЧОГО СТЕНДУ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЧИЩЕННЯ ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ СОНЯШНИКУ

Актуальність дослідження

Отримання високоякісного насінневого матеріалу та олійної сировини соняшнику для переробної промисловості неможливо без їх якісної післязбиральної обробки. Тому важливого значення набуває необхідність очищення та сортування вихідного матеріалу, що дає можливість розділяти олійну сировину соняшнику на фракції і зменшити втрати повноцінного насіння та олійних домішок.

Високопродуктивні машини попереднього очищення зерна, як правило, використовують принцип поділу частинок по геометричних розмірах та у повітряному потоці. Незважаючи на широке використання явища руху матеріальних частинок в сучасних зерноочисних машинах, пов'язаних з сепарацією складових олійної сировини, кількісні закономірності руху тіл з урахуванням опору повітряного середовища і сьогодні потребують досліджень. Особливо це відноситься до вороху насіння соняшнику та його складових, вивченість яких за останні 30 років недостатня.

Існуючі технології і технічні засоби сепарування сировини олійних культур, не дають можливості якісно здійснювати розділення насінневого вороху, так як фізико-механічні та аеродинамічні властивості соняшнику та інших фракцій дуже схожі. Попередні дослідження показали, що найпростіше і найефективніше це здійснювати на пневморешітному сепараторі скальператорного типу із замкненою повітряною системою [11-13, 15].

Дослідження таких технічних засобів, способів сепарування та складових олійної сировини соняшнику є актуальними в південного регіону України.

Мета дослідження – підвищення ефективності процесу попередньої очистки олійної сировини соняшнику шляхом обґрунтування параметрів та

режимів роботи жалюзійного повітрярозподільника пневморешітного сепаратора зі замкненою пневмосистемою.

Програма досліджень

Визначити статистичні характеристики швидкостей повітряного потоку у зоні жалюзійного повітрярозподільника.

Визначити залежності швидкостей повітряного потоку у робочій зоні циліндричного решета від основних керованих параметрів жалюзійного повітрярозподільника.

Методика досліджень

Описання конструкції лабораторно-виробничого стенду машини попереднього очищення зерна

Для дослідження технологічного процесу роботи жалюзійного повітрярозподільника, було виготовлено лабораторно-виробничий стенд, відповідно договору про творчу співпрацю ТДАТУ на дочірньому підприємстві "Гуляйпільський механічний завод" "ВАТ Мотор Січ" (м. Гуляйполе) (рис.2.1).



а)

б)

а – фронтальний вид; б – зворотний вид

Рисунок 2.1– Лабораторно-виробничий стенд машини попереднього очищення олійної сировини соняшнику

Лабораторно-виробничий стенд складається з основних частин: рами, вентилятора діаметрального типу, повітрярозподільного каналу, жалюзійного повітрярозподільника, лотка-інтенсифікатора, циліндричного решета з горизонтальною віссю обертання та зовнішньою робочою поверхнею, щітка очисна з секційним набором ворси, осадова камера має 2 ступеня очистки та блоки з рухомою частиною, дозволяючи змінювати «живий» перетин та структуру повітряного потоку.

Основні параметри та конструктивні розміри установлені на основі результатів теоретичних досліджень та попередніх пошукових опитів.

1. Стенд складається з основних частин: рами, яка має габарити: $L=3695\text{мм}$, $h = 2725\text{мм}$, та ширина $b = 1000\text{мм}$.

2. На рамі закріплена задня стінка з фанери товщиною $t = 16\text{мм}$, фронтальна лицева стінка виготовлена з оргскла $t = 5\text{мм}$;

3. Вентилятор діаметрального типу має 12-ти лопатевий ротор . Привід вентилятора здійснюється від двигуна з фазовим ротором і управляється трансформатором, який дозволяє змінювати обороти ротора від $0-1200\text{ об.хв}^{-1}$ (рис. 2.2(а));

4. У верхній частині жалюзійного повітрярозподільника встановлений лоток-інтенсифікатор(рис. 2.2(б)), з «живим» перетином 43-45%, довжину якого можливо змінювати від 240-80мм за рахунок переміщення задньої рухомої стінки. Жалюзійний повітрярозподільник має блок з 10-ма нерухомими та 10-ма рухомими жалюзі, довжина яких складає 80 і 40 мм. Рухомі жалюзі можуть змінювати своє положення відносно нерухомих від 0-45 з кроком 5

Стінка задня рухома має кут відхилення від положення стінки задньої нерухомої -15° . Стінка середня рухома має кут відхилення від положення стінки середньої нерухомої -15° .

5. Бункер складається з 2-х частин. Нижня – стаціонарна ємністю 70дм^3 ; верхня зміна має ємністю 130дм^3 . Подача вихідного матеріалу здійснюється заслінкою, яка відкриває вивантажувальне вікно, на висоту до 150мм.

6. Циліндричне решето (РЦ) має на якому закріплена тканина металева сітка з квадратними отворами розміром 12×12 , «живим»

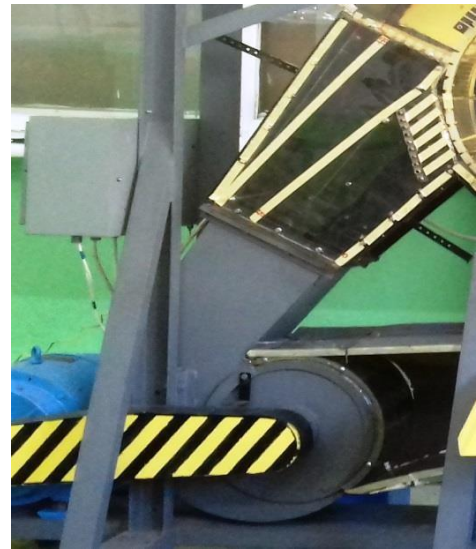
перетином 78-80% (рис. 2.2(в)). Циліндричне решето має привод від мотор-редуктору з електродвигуном $N= 180$ Вт, забезпечує частоту обертів 18об.хв^{-1} (рис. 2.2(с)).

7. Щітка очисна з секційним набором ворси, має частоту обертання 75об.хв^{-1} . Привід здійснюється РЦ за допомогою ланцюгової передачі.

8. Осадова камера має 2 ступеня очистки та блоки з рухомою частиною, дозволяючи змінювати «живий» перетин та структуру повітряного потоку.



а)



б)



в)



с)

а – пульт керування з електродвигуном постійного струму; б – вентилятор діаметральний з жалюзійним повітрярозподільником; в – циліндричне решето з очисною щіткою; с – мотор-редуктор приводу циліндричного решета

Рисунок 2.2– Робочі органи стенду

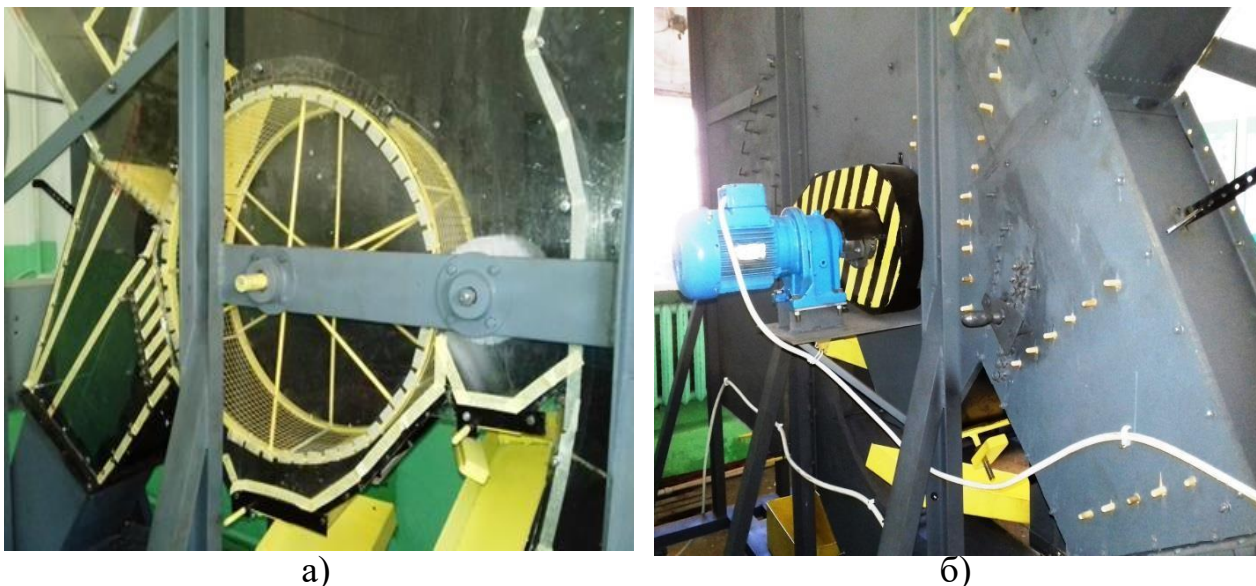
Засоби контролю вимірювального комплексу проведення експериментальних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень використовувалось наступне технологічне та вимірювальне обладнання:

- ваги лабораторні SF – 400 D (0,01 гр.);
- ваги електроні DGC (20000 гр.);
- решета лабораторні – 1 комплект;
- тахометр годинниковий механічний ТЧ-10Р (50-1000 об.хв⁻¹);
- секундомір С-1-2а;
- мікроманометр ММН-240 з трубкою Піто-Прандтля;
- дифманометр МР 200 з трубкою Піто-Прандтля 2- шт.;
- лінійки, шпателі, кисті.

Методика встановлення режимів роботи лабораторно-виробничого стенду

Для встановлення та визначення параметрів і режимів роботи ПРС використано лабораторно-виробничий стенд (Рис. 2.3).

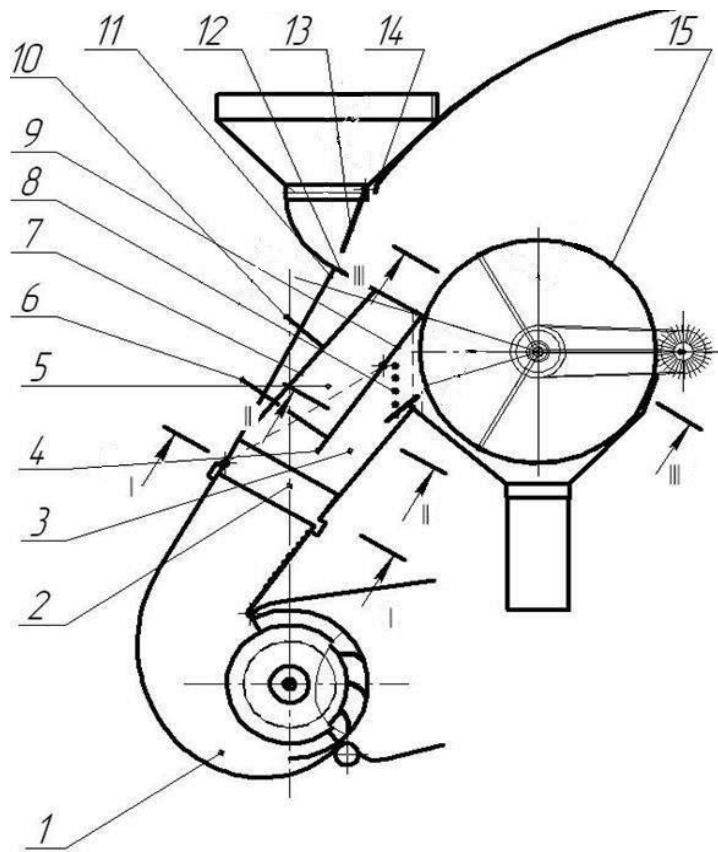


а) – фронтальний вид; б) – зворотний вид

Рисунок 2.3 – Розміщення перетинів для вимірювання параметрів повітряного потоку у пневморешітному сепараторі

ПРС в своєму складі має діаметральний вентилятор 1, привод якого здійснюється від електродвигуна постійного струму, що дозволяє змінити

частоту обертання вентилятора, і тим самим подачу повітряного потоку. Повітряний потік направляється в повітророзподільний пристрій 2, який в свою чергу перерозподіляється в сепаруючу 3 і живлячу 5 складові повітрярозподільника (рис. 2.4).



I--I – перетин заміру динамічного тиску на вході в повітророзподільник;

II--II – перетин заміру динамічного тиску під жалюзійним повітрярозподільником;

III--III – перетин заміру динамічного тиску в сепаруючій зоні циліндричного решета.

Рисунок 2.4 – Схема розміщення перетинів для вимірювання параметрів повітряного потоку у ПРС

1 – вентилятор діаметральний; 2 – пристрій повітрярозподільний; 3 – сепаруюча складова повітророзподільника; 4 – середня рухома стінка; 5 – живляча складова повітророзподільника; 6 – регулятор зміни кута нахилу середньої рухомої стінки; 7 – стінка рухома 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 устрій; 14 – бункер; 15 – решето циліндричне.

Повітряний потік, що направлений у живлячу складову повітрярозподільника, проходить між задньою рухомою стінкою 7,

середньою рухомою стінкою 4 та її нерухомою частиною 9 та крізь лоток-інтенсифікатор 12. За рахунок регулятора зміни кута нахилу 6 середньої рухомої стінки 4, а також за рахунок регулятора зміни кута нахилу 10 задньої рухомої стінки 7, що дозволяє змінити коефіцієнт живого перетину лотка-інтенсифікатора, забезпечується інтенсивність впливу повітряного потоку на лоток-інтенсифікатор, а відповідно і на ворох, що знаходиться на ньому.

Методикою передбачається визначення області раціональних значень основних параметрів і режимів роботи жалюзійного повітрярозподільника за рахунок (Рис. 2.5):

- подачі насінневого матеріалу (приведена товщина шару насіння над лотком-інтенсифікатором, h , мм., за рахунок зміни заслінкою величини робочої щілини b мм);
- подачі повітряного потоку (частоти обертання ротора вентиляторів);
- кута нахилу середньої рухомої стінки γ_1 , γ_2 повітророзподільного пристрою;
- кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої α .

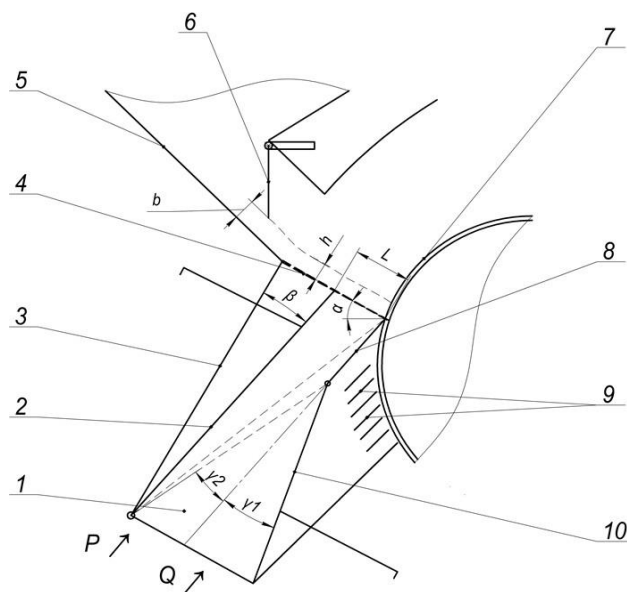


Рисунок 2.5 Схема повітророзподільного пристрою лабораторно-виробничого стенду

1 – повітророзподільник; 2 – стінка задня рухома; 3 – стінка задня; 4 – лоток-інтенсифікатор; 5 – бункер; 6 – заслінка; 7 – циліндричне решето;

8 – стінка середня нерухома; 9 – жалюзі; 10 – стінка середня рухома; α – кут нахилу лотка-інтенсифікатора відносно горизонталі; β – кут нахилу задньої рухомої стінки; γ – кут нахилу середньої рухомої стінки.

За рахунок зміни нахилу середньої рухомої стінки 10, забезпечується інтенсивність впливу повітряного потоку на лоток-інтенсифікатор, а відповідно і на ворох, що знаходиться на ньому. Відносно нульового положення він становить: до задньої нерухомої стінки $\gamma_1=16,32^\circ$; до середньої стінки $\gamma_2=18,15^\circ$.

Методикою встановлення та визначення параметрів і режимів роботи пневморешітного сепаратора зернового вороху передбачено визначення(Рис.2.4):

- значення динамічного тиску P_1 і розходу повітря Q_1 на вході в повітродозподільник в перетині I – I;
- значення динамічного тиску P_2 і розходу повітря Q_2 під жалюзійним повітродозподільником II – II;
- значення динамічного тиску P_3 і розходу повітря Q_3 в сепаруючій зоні циліндричного решета, перетині III – III.

Перед початком проведення експериментальних досліджень встановлюємо певну закономірність підготовки, яка полягає в наступному:

- проведенні обкатки лабораторно-виробничого стенду в холостому та робочому режимах з контролем стабільності встановлених параметрів;
- проведенні налагодження і регулювання робочих органів і допоміжних устроїв;
- підготовці до роботи вимірювального обладнання;
- вибір часу на проведення досліду та відпрацювання методики досліджень;
- визначенню часу на встановлення стаціонарності технологічного процесу;

- визначенню діапазону досліджуваних факторів.

Критерії оцінки ефективності робочого процесу пневморешітного сепаратора

Якість роботи машини попередньої очистки і їх робочих органів определяють наступними показниками:

- повнота виділення сміттєвих домішок;
- втрати повноцінного насіння.

У процесі попередньо виконаних досліджень подрібнення насіння не відзначалося, а частинки шириною більш 20мм виділялися повністю. В зв'язку з цим, якісну оцінку ефективності робочого процесу ПРС проводили по наступним критеріям:

1. Повнота виділення сміттєвих домішок Z , %:

$$\text{—} \quad (2.1)$$

де z – кількість виділення сміттєвих домішок, %;

M – вміст сміттєвих домішок у початковому та очищеному насіннєвому матеріалі, %.

2. Втрати повноцінного насіння у відходи $V_{\text{пн}}$, %:

$$\text{—} \% \quad (2.2)$$

де W – маса насіння основної культури у відходах, кг;

M – маса насіння основної культури у відходах з крупними домішками та з легкими домішками, кг;

M – маса насіння основної культури у початковому матеріалі, кг.

Визначення економічної ефективності показників досліджуваного процесу проводили по наступним показникам:

1. Питома продуктивність робочого органу q , т.год.дм⁻¹:

$$\text{—} \quad (2.3)$$

де Q – продуктивність ПРС;

маса матеріалу обробленого за дослід, кг;

час взяття проби, с;

ширина решета, дм.

2. Питома витрата енергії , кВт·год·т⁻¹:

————— (2.4)

де витрата повітря, м³/с;

повний тиск повітря у повітропідвідному каналі, Па;

продуктивність установки, т/год.

2.4.5 Методика визначення основних параметрів повітряного потоку

При визначенні основних параметрів повітряного потоку отримані дослідні дані обробляли за допомогою наступних розрахункових співвідношень [10, 14, 16]:

1. Повний тиск повітряного потоку

, Па (2.5)

2. Статичний тиск повітряного потоку

, Па (2.6)

3. Динамічний тиск повітряного потоку

Па (2.7)

де показники шкали мікроманометрів для замірів, відповідно повного і статичного тиску;

коефіцієнт тарировки шкали,

де α – кут нахилу трубки мікроманометра, град;

щільність спирту, кг/м³;

поправковий коефіцієнт, який служить для приведення повітря до стандартних умов (абсолютна температура $T = 293\text{K}$, барометричному тиску $V_0 = 0,101\text{ МПа}$ і відносної вологості $\varphi_0 = 0,5$);

поправковий коефіцієнт на питому масу спирту;

ρ – щільність повітря, кг/м³;

таріровачний коефіцієнт трубки.

4. Швидкість повітряного потоку у вирівнюючому каналі

$$\sqrt{P}, \text{ м/с} \quad (2.8)$$

5. Витрати повітря

$$, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.9)$$

де S – площа поперечного перерізу вирівнюючого каналу, м^2 .

6. Швидкість фільтрації

$$- , \text{ м/с} \quad (2.10)$$

де S – площа повітрярозподільної перегородки, м^2 .

Середні величини визначали по для кожної точки заміру.

Розрахунки здійснювали по формулах [11]:

$$\frac{\sqrt{P_1} + \sqrt{P_2} + \dots + \sqrt{P_n}}{\sqrt{n}} \text{ Па} \quad (2.11)$$

$$\frac{\sqrt{P_1} + \sqrt{P_2} + \dots + \sqrt{P_n}}{\sqrt{n}} \text{ Па} \quad (2.12)$$

де P_i – динамічний та статичний тиск в окремих точках, Па;

n – кількість точок заміру.

Середню величину повного тиску P визначали з вираження

$$\text{Па} \quad (2.13)$$

Величину питомої витрати енергії N_p по формулі

$$, \text{ кВт}\cdot\text{год/т}, \quad (2.14)$$

де N_{p1} – питома витрата енергії на привод вентилятора, $\text{кВт}\cdot\text{год/т}$;

N_{p2} – питома витрата енергії на привод циліндричного решета і очисної щітки.

Результати досліджень

Визначення статистичних характеристик швидкостей повітряного потоку у зоні жалюзійного повітрярозподільника

При використанні псевдозрідженого слою здійснюється аерогравітаційне переміщення та збагачення потоку насінневого вороху методом сегрегації, створюються приємні умови для виділення довгих стеблових домішок циліндричним решетом з зовнішньою робочою поверхнею. Однак при цьому значно знижується ймовірність виділення вегетативної сухої сміттевої фракції за рахунок виносу повітрявідокремлюємих домішок.

Для збільшення експозиції повітряної обробки потоку насінневого вороху, що надходить у внутрішню порожнину циліндричного решета, встановлено жалюзійний повітрярозподільник. Це дозволило зорієнтувати напрямок струменів повітряного потоку, які виходять із жалюзійного повітрярозподільника та змінювати коефіцієнт «живого» перетину блока жалюзі повітрярозподільника.

Робочий процес при цьому виконувався наступним чином. Струмені повітряного потоку, які виходять з повітрярозподільника впливали на насінневий матеріал, що надходить у внутрішню порожнину циліндричного решета, в результаті чого частина повітрявідокремлюваних домішок виносилась з робочої зони решітного сепаратора і потрапляла у відходи.

Епюри швидкостей повітряного потоку знімали у перетинах I–I, II–II, III–III (Рис. 2.6, 2.7, 2.8). Заміри виконували згідно методики, описаними в п.п.2.4.3.

На першому етапі встановлювали потрібний напрямок течії струменів повітряного потоку, при цьому виходили з конструктивних можливостей експериментальної установки та наступних умов. Необхідно забезпечити пронизування повітряними струменями верхнього сектору циліндричного решета, обмеженого площиною, яка проходить діаметрально вище очисної щітки. Епюри швидкостей всередині циліндричного решета знімали при

найбільш раціональних режимах повітряного потоку, відповідно методики викладеної у п.п. 2.4.3.

У результаті виконаних експериментів було задовільнена умова по організації необхідного напрямку руху повітряного потоку всередині циліндричного решета. Характер течії струменів повітряного потоку при нерухомому та рухомому решеті практично не відрізнявся. Слід зазначити позитивний вплив решітної поверхні сепаратора, яка, несумнівна, сприяє вирівнюванню поля швидкостей повітряного потоку.

При виконанні робочого процесу очистки насінневого вороху від крупних домішок вивчали вплив коефіцієнта «живого» перетину жалюзійного повітря розподільника на питому продуктивність стенду, втрати насіння, повноту виділення довгих стеблових та сміттєвих домішок (Рис. 2.6 - 2.14).

Зростання втрат повноцінного насіння відзначається внаслідок збільшення швидкості повітряного потоку, який може виносити крізь решітну поверхню частину повноцінного насіння в відходи. Подальше збільшення коефіцієнта «живого» перетину не призводить до значного покращення якості очистки, мабуть через збільшення опору решета, «живий» перетин якого зменшується внаслідок проходження крізь нього винесеного з внутрішньої порожнини повноцінного насіння. Слід думати, що по тій же причині повнота виділення довгих стеблових домішок змінюється незначно і знаходиться в межах агрономіог.

Епюри швидкостей (Рис. 2.6, 2.7, 2.8) показують, що обмежений прибіками стенду повітряний потік можливо розглядати як затоплений струмінь, початок якого характеризується яскраво вираженим факелом.

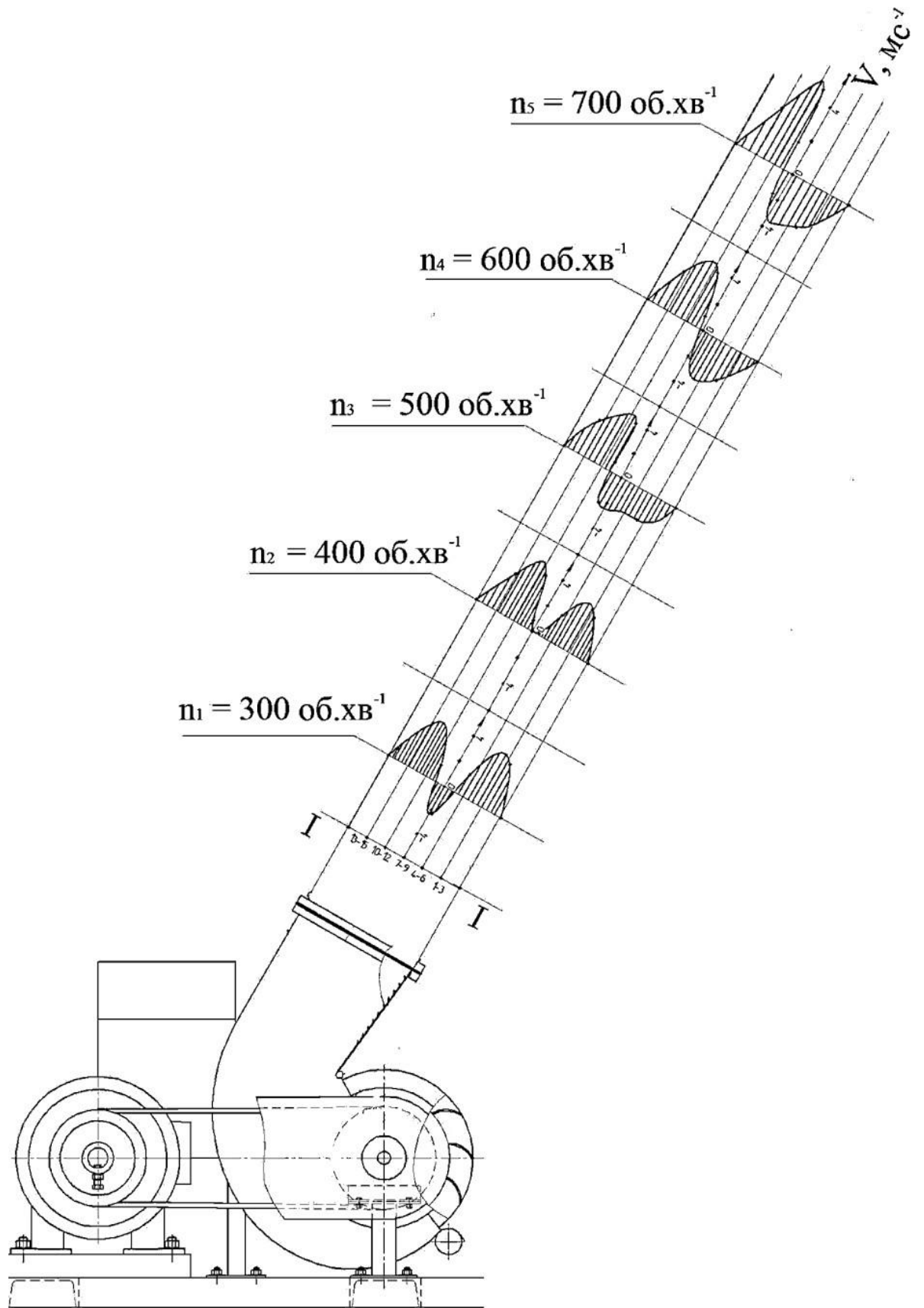


Рисунок 2.6 – Епюри швидкостей повітряного потоку у перетині I – I при зміні частоти обертання ротору вентилятора та їх статистичні характеристики

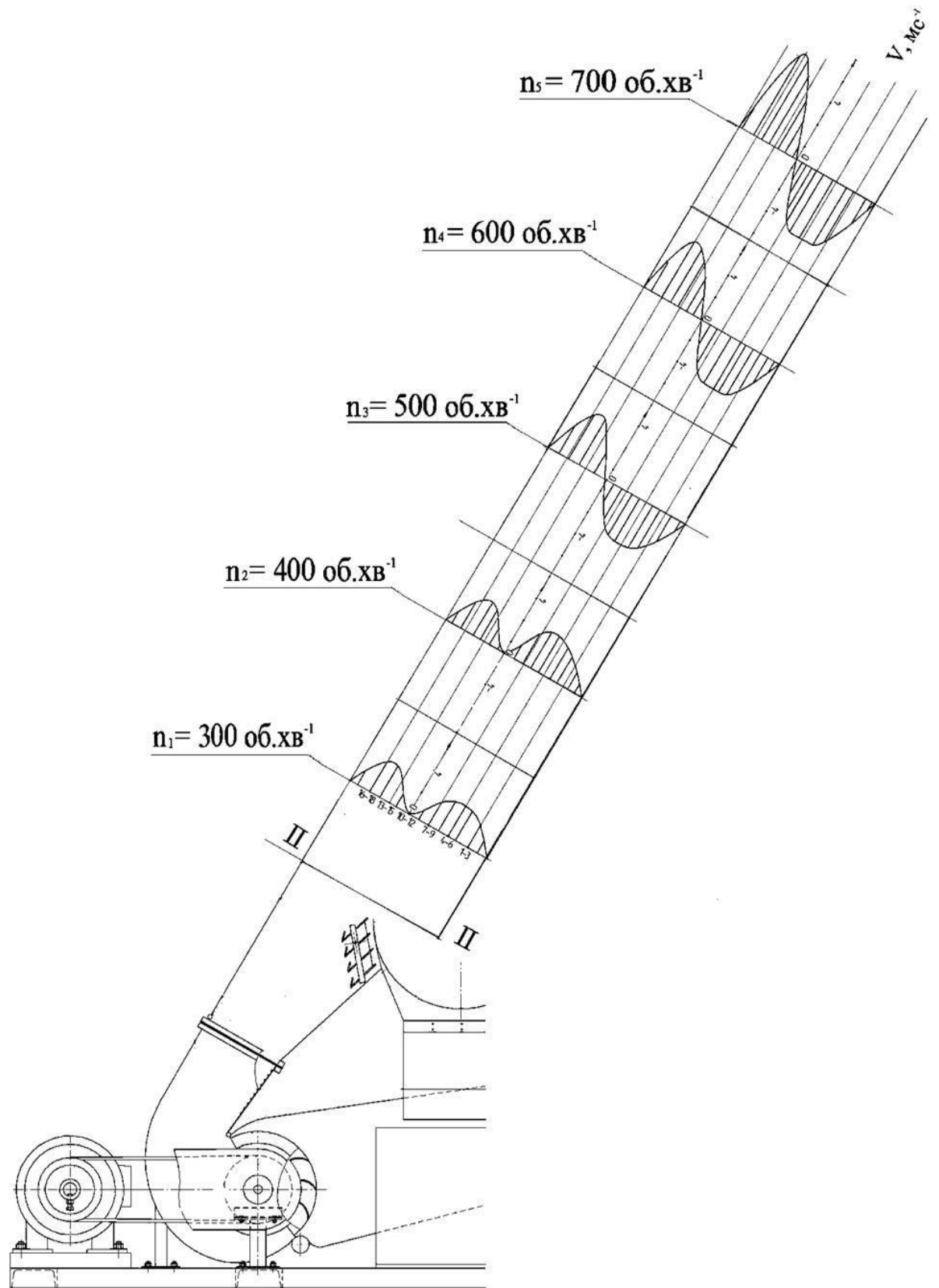


Рисунок 2.7 – Епюри швидкостей повітряного потоку у перетині II –II при зміні частоти обертання ротору вентилятора та їх статистичні характеристики

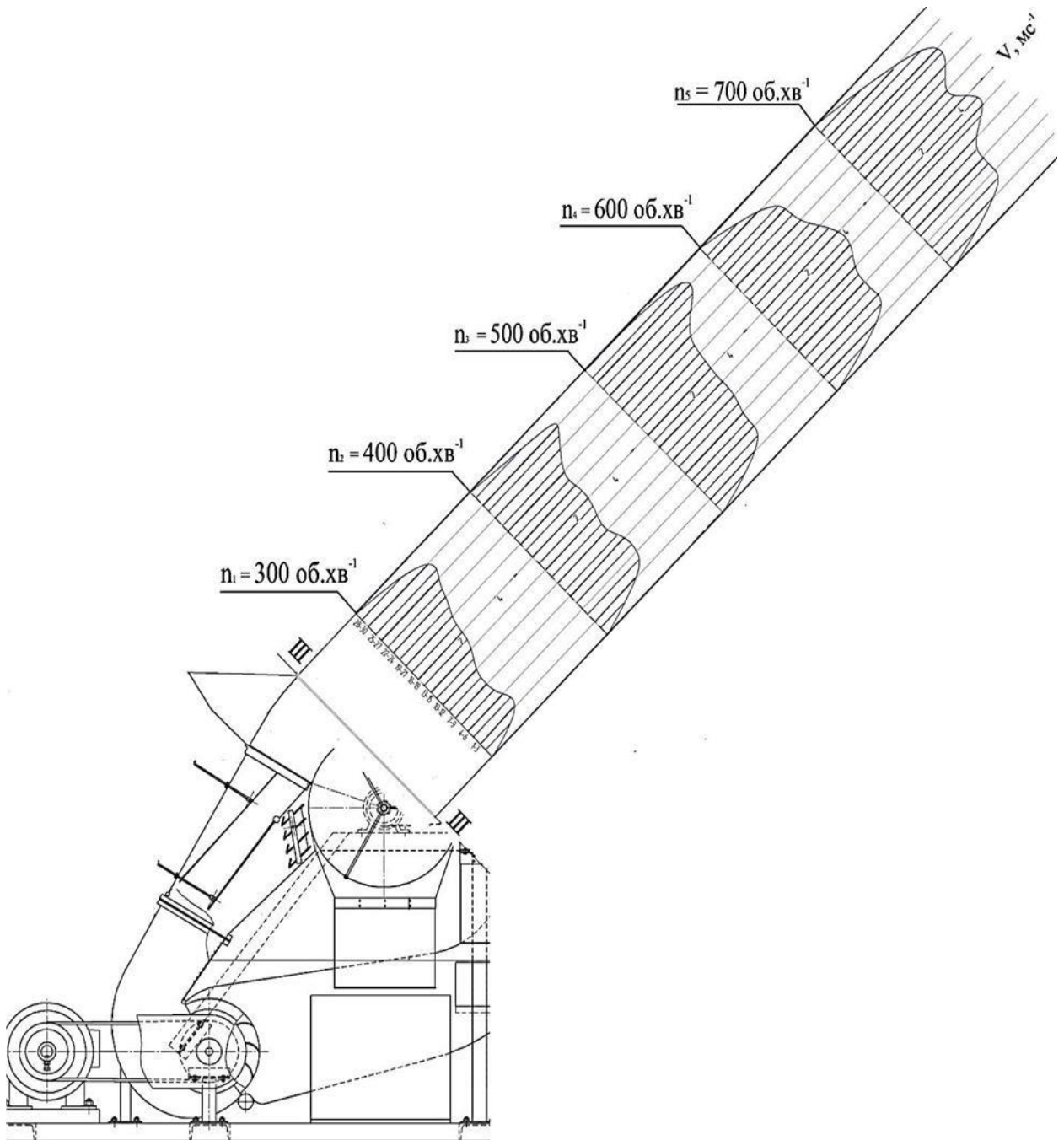


Рисунок 2.8 –Епюри швидкостей повітряного потоку у перетині III–II Іпри зміні частоти обертання ротору вентилятора та їх статистичні характеристики

Проте, проведений аналіз свідчить про доцільність включення у робочий процес циліндричного решета з зовнішньою робочою поверхнею діаметрально пронизаного повітряного потоку, що дозволить в умовах експерименту підвищити ефективність відділення повітрявідокремлюваємих

домішок. При цьому значно поліпшуються умови очистки поверхні решета від виділених вегетативних домішок.

Залежності швидкостей повітряного потоку у робочій зоні циліндричного решета від основних керованих параметрів жалюзійного повітрярозподільника

Відповідно теоретичним дослідженням параметрів та режимів роботи жалюзійного повітрярозподільника та апріорному аранжуванню факторів були визначені найбільш значущі:

- частота обертання ротору вентилятору, n , об.хв⁻¹;
- кут нахилу рухомої жалюзі до нерухомої α , град.;
- кути відхилення рухомої середньої стінки від положення середньої нерухомої стінки γ_1, γ_2 , град.

На підставі них були проведені експериментальні дослідження взаємодії слідувачі параметрів та режимів роботи ПРС:

- залежності швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від частоти обертання ротору вентилятору при $\alpha=0^\circ$ та $\beta=15^\circ$ (рис. 2.9);
- залежності швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої α при $n=400$ об.хв⁻¹ (рис. 2.10);
- залежності швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від кута відхилення рухомої середньої стінки від положення середньої нерухомої стінки γ при $n=400$ об.хв⁻¹ (рис. 2.11);
- залежність максимальної швидкості повітряного потоку V (точки замірювання 10-12) в перетині I-I від частоти обертання ротора вентилятора n (рис. 2.12);

- залежність максимальної швидкості повітряного потоку V (точки замірювання 16-18) в перетині II-II від частоти обертання ротора вентилятора n (рис. 2.13);
- залежність максимальної швидкості повітряного потоку V (точки замірювання 25-27) в перетині III-III від частоти обертання ротора вентилятора n (рис. 2.14).

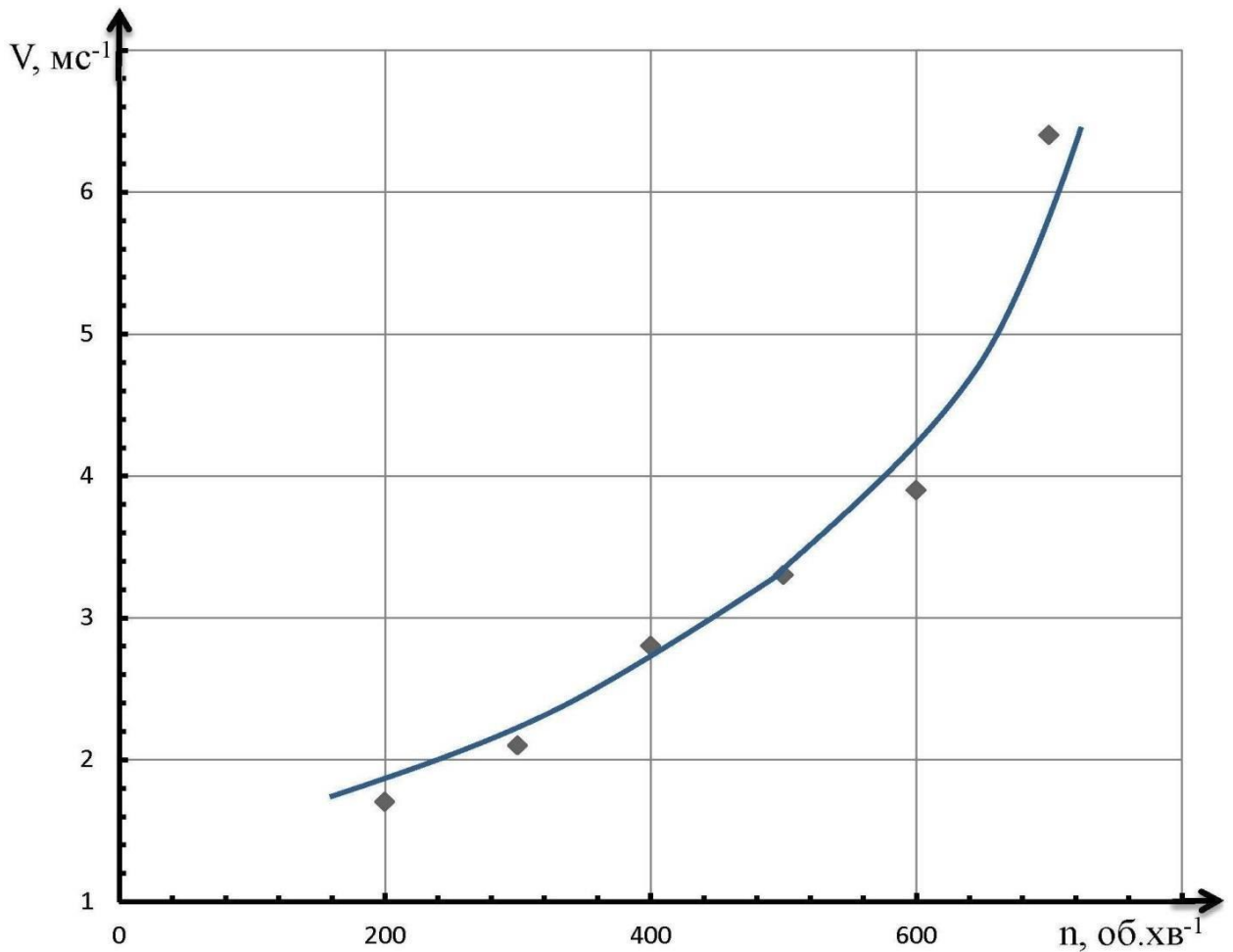


Рисунок 2.9– Залежність швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від частоти обертання ротору вентилятору n при $\alpha=0^\circ$ та $\beta=15^\circ$

Аналізуючи Рис. 2.9., залежність швидкості повітряного потоку V першому квадранті циліндричного решета від частоти обертання ротору вентилятору n при $\alpha=0^\circ$ та $\beta=15^\circ$, визначено збільшення швидкості повітряного потоку в діапазоні 200-400 об.хв⁻¹ з 1,7 мс⁻¹ до 2,8 мс⁻¹.

Більш інтенсивно змінюється швидкості повітряного потоку при $n=400 - 600 \text{ об.хв}^{-1}$. При цьому вона має значення $2,8-3,9 \text{ мс}^{-1}$.

Відповідно, аеродинамічної характеристики діаметрального вентилятора діапазон частоти обертання ротора $600-700 \text{ об.хв}^{-1}$ супроводжується значеннями швидкостей повітряного потоку від $3,9$ до $6,4 \text{ мс}^{-1}$. Це треба враховувати з метою забезпечення плавного регулювання швидкості повітряного потоку та запобігання втрат повноцінної сировини соняшнику у сміття.

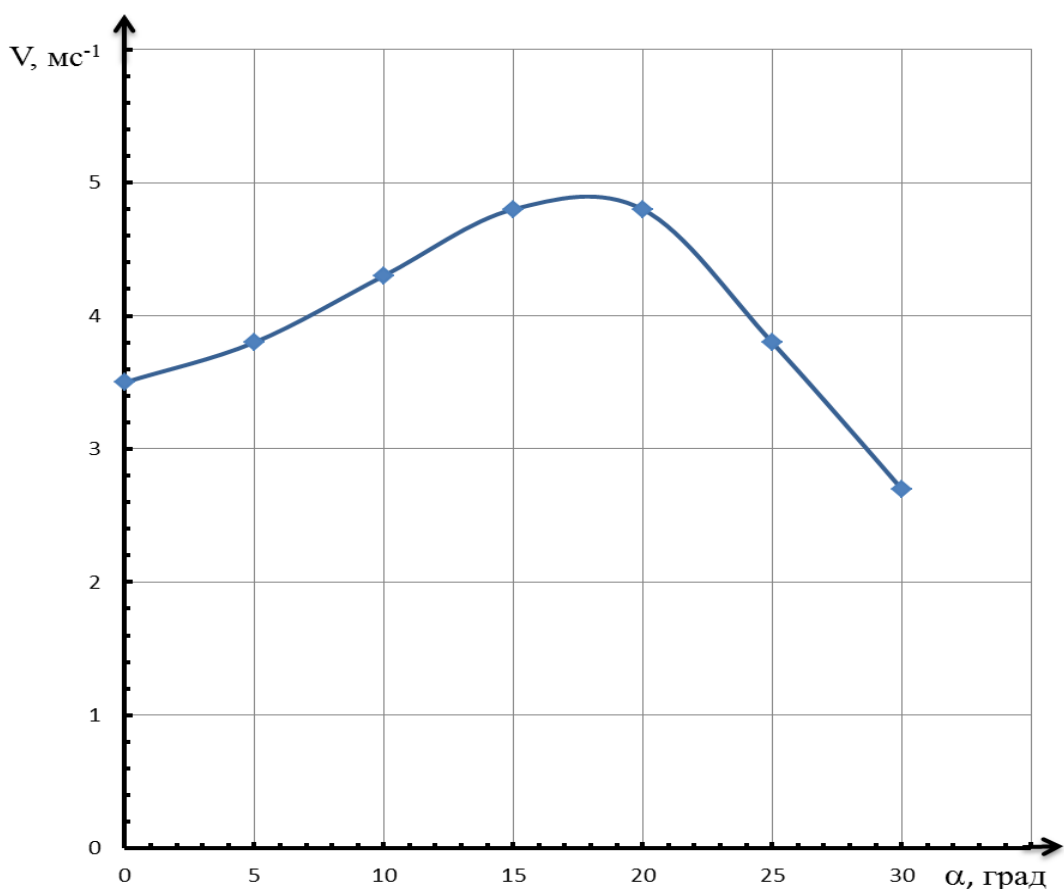


Рисунок 2.10– Залежність швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої α при $n=400 \text{ об.хв}^{-1}$

Аналізуючи Рис. 2.10, залежність швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої α при $n=400 \text{ об.хв}^{-1}$, визначено збільшення швидкості повітряного потоку в діапазоні зміни кута α від 0 до 20° у межах $3,5-4,8 \text{ мс}^{-1}$. При

подальшому збільшенню кута α від 20° до 30° швидкість повітряного потоку зменшується з $4,8$ до $2,7$ мс^{-1} , що обумовлено зміною гідравлічного опору системи та коефіцієнта «живого» перетину жалюзі. Доцільно кут α утримувати у діапазоні $0-20^\circ$.

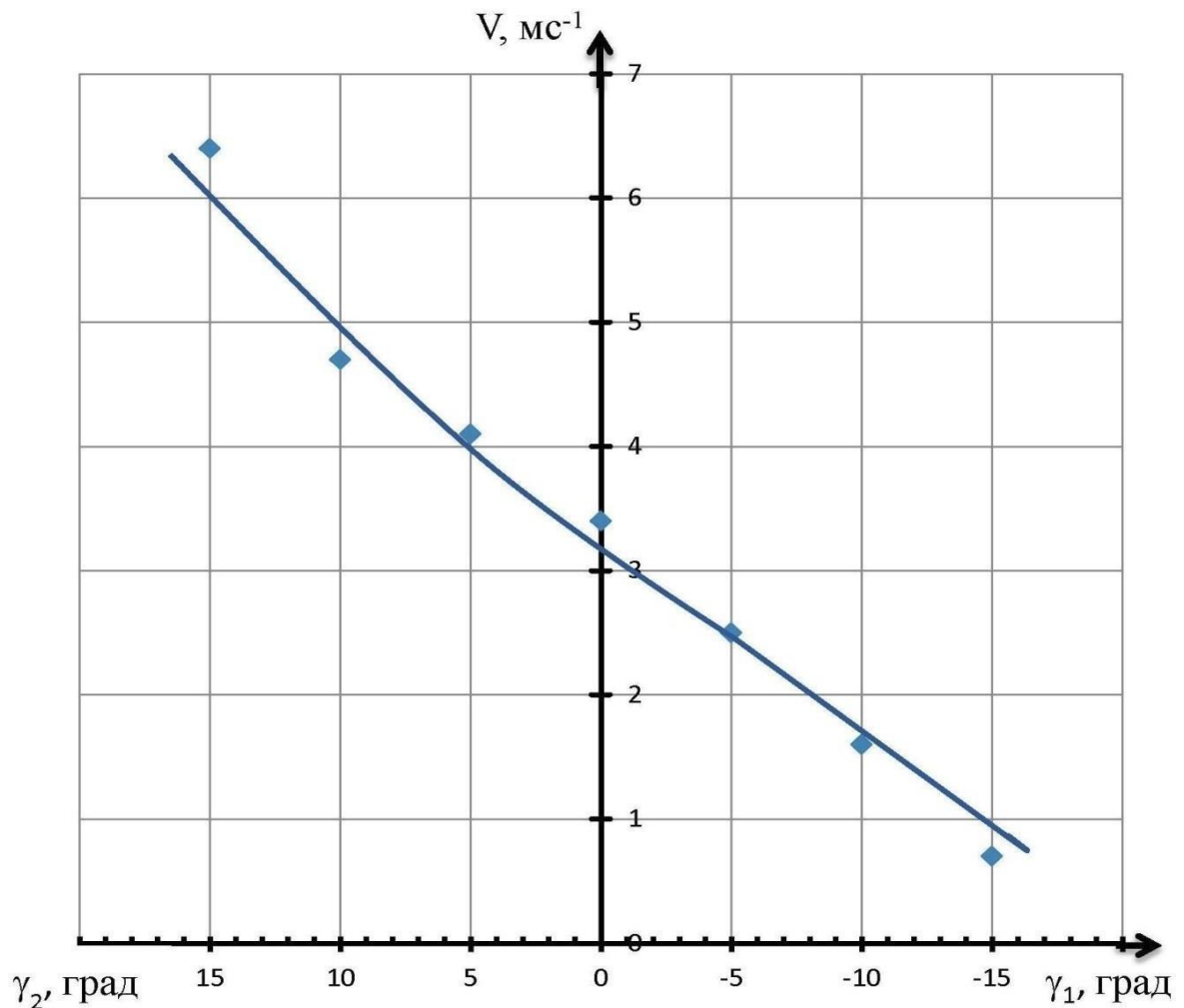


Рисунок 2.11– Залежність швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від кута відхилення рухомої середньої стінки від положення середньої нерухомої стінки γ при $n=400$ об.хв $^{-1}$

Аналізуючи рис. 2.11, залежність швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від кута відхилення рухомої середньої стінки від положення середньої нерухомої стінки γ при $n=400$ об.хв $^{-1}$, визначено зміна швидкості повітряного потоку від $6,4$ до $0,7$ мс^{-1} . Залежно від зміни кута $\pm\gamma$ має місце перерозподіл повітря, яке виходить з

випускного вікна діаметрального вентилятора до лотка-інтенсифікатора до жалюзійного повітрярозподільника.

Найбільш обґрунтованим є значення кута γ_1 , γ_2 у межах $+15 - -5^\circ$, що відповідає запропонованим аеродинамічним властивостям олійної сировини соняшнику ($3,5-6,5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$).

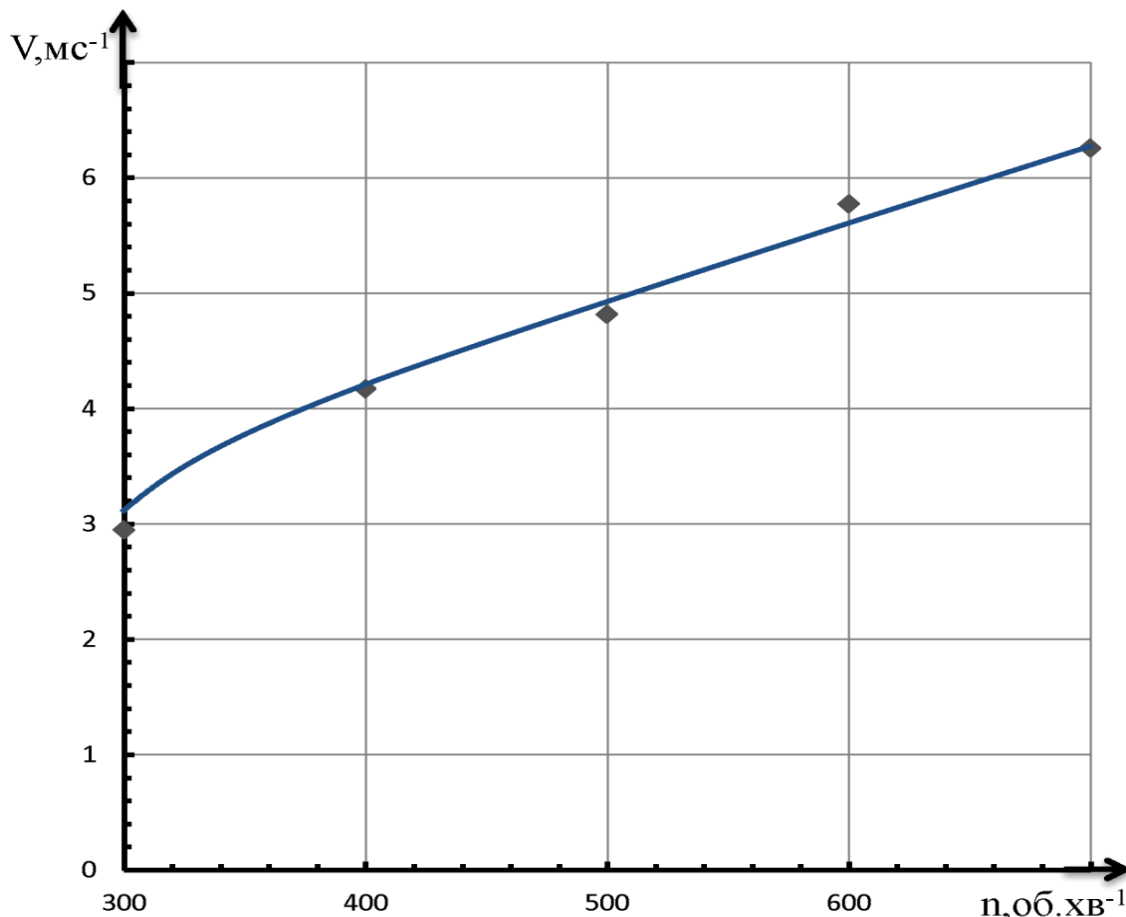


Рисунок 2.12–Залежність максимальної швидкості повітряного потоку V (точки замірювання 10-12) в перетині I-I від частоти обертання ротора вентилятора n

Значення частоти обертання ротора вентилятора n має значний вплив на формування повітряного потоку при надходженні повітря з вентилятора до блоку рухомих та нерухомих жалюзі.

У свою чергу це впливає на епюри швидкостей повітря, як у робочій зоні ЦР так і у пневмосепаруючої камері.

Так, відповідно зміни частоти обертання ротора з 300 до 700 об.хв $^{-1}$ максимальна швидкість повітряного потоку V збільшується з 2,95 до 6,225 мс $^{-1}$. При цьому, у відмінності від Рис. 2.6 у точках замірювання (10-12)

завихрень не відзначається, і це сприяє підвищенню ефективності пневмосепарації.

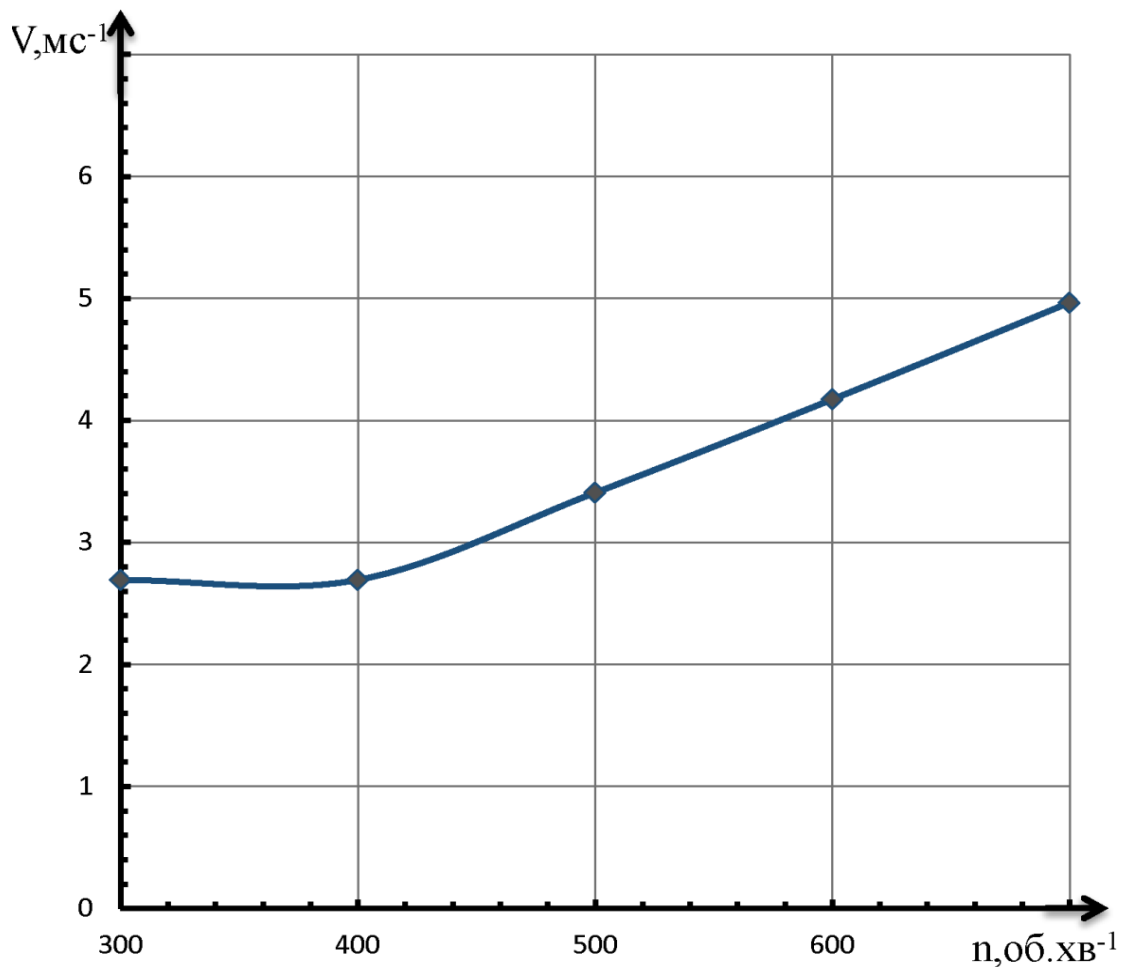


Рисунок 2.13—Залежність максимальної швидкості повітряного потоку V (точки замірювання 16-18) в перетині II-II від частоти обертання ротора вентилятора n

З аналізу в перетині II-II від частоти обертання ротора вентилятора n , відзначено також зростання максимальної швидкості повітряного потоку V у діапазоні $n=300-700$ об.хв⁻¹.

У відмінності від Рис. 2.12 максимальна швидкість в перетині II-II нижче ніж у перетині I-I і знаходиться в межах $2,75-5,01$ мс⁻¹. Це обумовлено перерозподілом повітряного потоку, що виходить з випускного вікна вентилятора, у зоні лотка-інтенсифікатора та блока жалюзі.

На підставі цього можна відзначити істотний вплив середньої рухомої стінки на формування структури повітряного потоку.

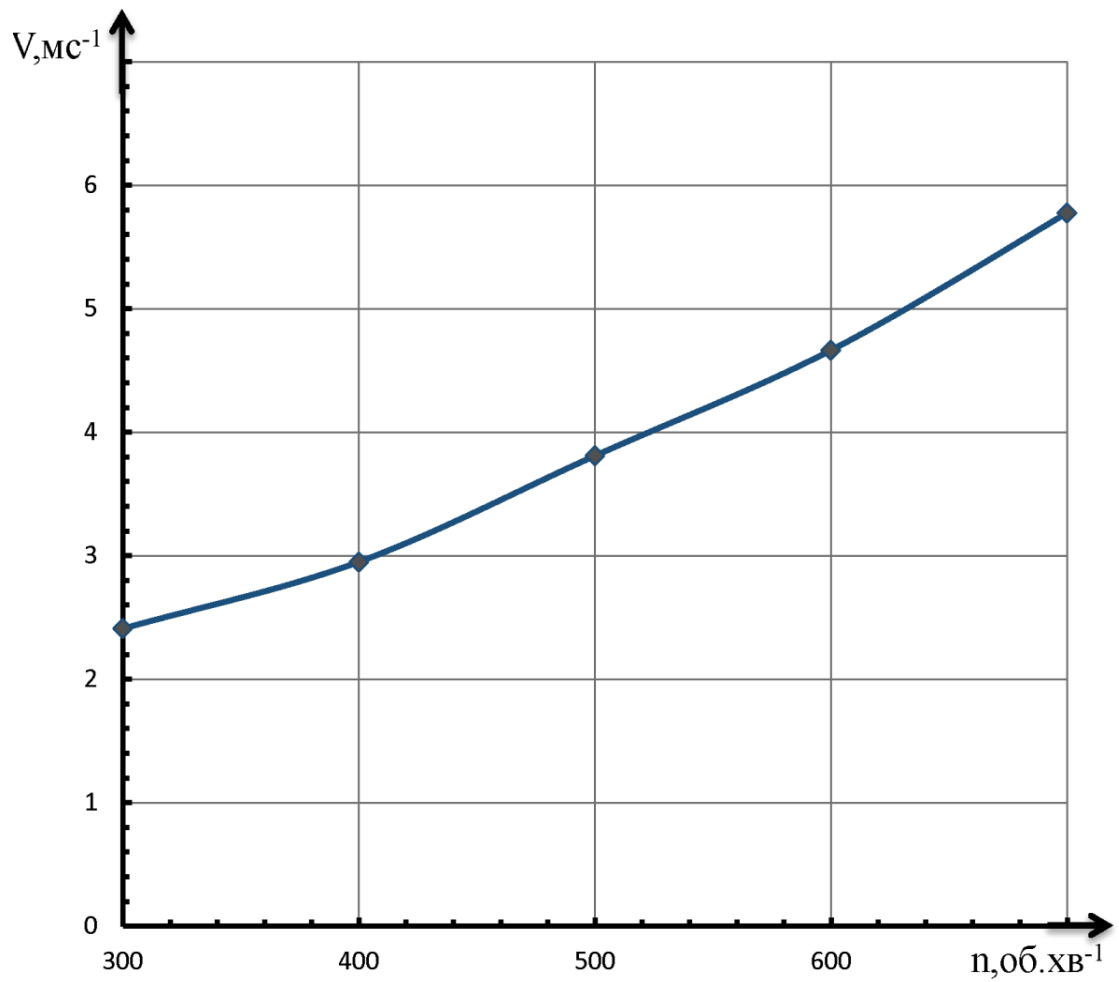


Рисунок 2.14–Залежність максимальної швидкості повітряного потоку V (точки замірювання 25-27) в перетині III-III від частоти обертання ротора вентилятора n

Аналіз в перетині III-III від частоти обертання ротора вентилятора n свідчить про зменшення максимальної швидкості повітряного потоку V , яка знаходиться у діапазоні 2,4-5,85 мс⁻¹. У даному випадку така закономірність зміни максимальної швидкості повітряного потоку сприяє здійсненню пневмосепарації фракцій олійної сировини соняшнику у робочій зоні ЦР у межах мінімальних втрат сировини у сміття.

Висновки.

1. Проведений аналіз свідчить про доцільність включення у робочий процес циліндричного решета з зовнішньою робочою поверхнею діаметрально пронизаного повітряного потоку, що дозволить в умовах

експерименту підвищити ефективність відділення повітрявідокремлюваних домішок. При цьому значно поліпшуються умови очистки поверхні решета від виділених вегетативних домішок.

2. Епюри швидкостей показують, що обмежений прибіками стенду повітряний потік можливо розглядати як затоплений струмінь, початок якого характеризується яскраво вираженим факелом.

Найбільш доцільне регулювання частоти обертання ротору вентилятора n у діапазоні $400-600 \text{ об} \cdot \text{хв}^{-1}$, що забезпечує швидкість повітряного потоку у межах $3,0 \dots 6,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і відповідає аеродинамічним характеристикам повноцінного насіння.

3. Аналізуючи залежність швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої α , визначено збільшення швидкості повітряного потоку в діапазоні зміни кута α від 0 до 20° у межах $3,5-4,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. При подальшому збільшенню кута α від 20 до 30° швидкість повітряного потоку зменшується з $4,8$ до $2,7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, що обумовлено зміною гідравлічного опору системи та коефіцієнта «живого» перетину жалюзі. Доцільно кут α утримувати у діапазоні $0 \dots 20^\circ$.

4. Аналізуючи залежність швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від кута відхилення рухомої середньої стінки від положення середньої нерухомої стінки γ , визначено зміна швидкості повітряного потоку від $6,4$ до $0,7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Залежно від зміни кута $\pm\gamma$ має місце перерозподіл повітря, яке виходить з випускного вікна діаметрального вентилятора до лотка-інтенсифікатора та до жалюзійного повітрярозподільника. Найбільш обґрунтованим є значення кута γ_1, γ_2 у межах $+15 \dots -5^\circ$, що відповідає запропонованим аеродинамічним властивостям олійної сировини соняшнику ($3,0 \dots 6,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$).

3 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ СЕПАРАЦІЇ ОБЧІСАНОГОВОРОХУ ЗЕРНА

Актуальність досліджень

За чверть століття парк зернозбиральних комбайнів 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 дозволяє стаціонарна технологія, в основі якої лежить метод обчісування рослин на корені. Однак впровадження цієї технології стримується відсутністю технічних засобів сепарації обчесаного вороху.

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

Розв'язання цієї народногосподарської проблеми неможливо без рішення відповідальної науково-технічної задачі, яка полягає в розробці та обґрунтуванні робочого органу для сепарації обчесаного вороху зернових, складовою частиною якої є виконання теоретичних досліджень процесу сепарації обчесаного вороху зернових.

Мета дослідження

Підвищення ефективності процесу сепарації обчесаного вороху зернових шляхом теоретичного обґрунтування принципу просіювання зернівок крізь шар обчесаного вороху зернових.

Програма досліджень

Розробити математичну модель сепарації зернових крізь шар обчесаного вороху.

Провести комп'ютерне моделювання процесу просіювання зернових крізь шар обчесаного вороху в залежності від взаємного розташування

соломин відносно один одного та відношення розмірів зернівки до відстані між соломонами;

Методика досліджень

У даному дослідженні використовувалися методи геометричного обчислення ймовірності, а саме розв'язування задачі Бюффона [17,18].

Результати досліджень

При просіюванні зернівок крізь дві соломони, можливі кілька випадків, які обумовлені взаємним розташуванням соломин і відношенням розмірів зернівки до відстані між соломонами. Перший випадок – відстань між соломинками більше суми довжини зернівки і діаметра соломони, другий випадок – відстань між соломонами менше суми діаметра соломони і довжини зернівки і більше суми діаметрів соломони і зернівки і третій випадок – відстань між соломонами менше суми діаметра соломони і зернівки.

Розглянемо перший випадок [19], коли відстань між соломинками більше суми довжини зернівки і діаметра соломони.

$$2\rho \geq 2l + 2r_c \rightarrow a \geq l, \quad (3.1)$$

де 2ρ – відстань між осями соломинок;

$2l$ – довжина соломони;

$2r$ – діаметр соломони.

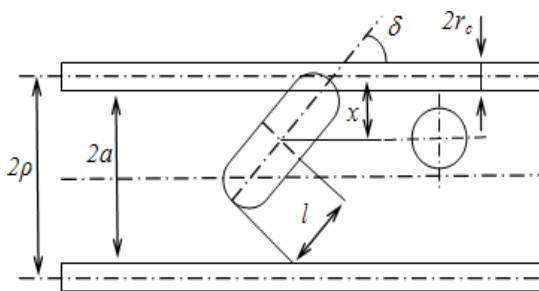


Рис. 3.1. Схема просіювання зернівки крізь дві паралельні соломони, для першого випадку

Введемо позначення $a = \rho - r$, тоді виходячи з нерівності (3.1) випливає, що $a \geq l$. Зобразимо графічно схему просіювання зерна при паралельному розташуванні соломони (рис. 3.1).

Припустимо, що

$$0 \leq x \leq r_c, \quad (3.2)$$

де x – відстань від центра ваги зернівки до осі соломони.

Таким чином, при таких значення x зерно після удару, або залишається на поверхні соломони, або відскочить і просіється. При зміні від δ від 0 до π

або x від 0, положення зерна щодо соломин змінюється таким чином, що ймовірність просіювання стає 100%. Доброю нагодою для непросіювання зерна є, виходячи з нерівності (3.1), значення відповідних величин, що дорівнює $\pi \cdot r$.

Тоді використовуючи визначення геометричної ймовірності, ймовірність непросіювання зерна при його горизонтальному розташуванні:

$$p_1^I = \frac{\pi \cdot r_c}{\pi \cdot \rho} = \frac{r_c}{\rho}, \quad (3.3)$$

де p_1^I – ймовірність непросіювання зерна, при горизонтальному його положенні для першого випадку.

При вертикальному розташуванні зерна, ймовірність непросіювання, виходячи з рис. 3.1, буде ідентичною:

$$p_2^I = \frac{r_c}{\rho} \quad (3.4)$$

де p_2^I – ймовірність непросіювання зерна, при вертикальному його положенні для першого випадку.

Загальна ймовірність непросіювання зерна для першого випадку $a \geq l$ при горизонтальному і вертикальному розташуванні зернівки складе [20]:

$$p^I = \frac{p_1^I + p_2^I}{2} = \frac{r_c}{\rho}. \quad (3.5)$$

Побудуємо графік залежності ймовірності просіювання від відстані між соломинами для першого випадку, коли $a \geq l$.

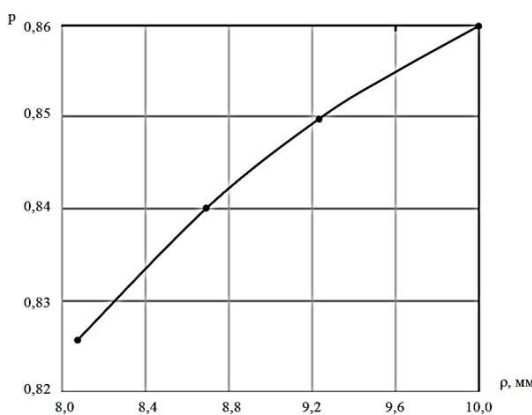


Рис. 3.2. Залежність ймовірності просіювання зернівки від відстані між соломинами для першого випадку при паралельному розташуванні соломин

При побудові графіка використовувалася ймовірність просіювання зернівки для отримання її значень від одиниці вираховувався результат (3.5).

На рис. 3.2 показаний випадок, коли соломини розташовані паралельно один одному, проте в реальній дійсності можливі різні випадки взаємного розташування соломин. Розглянемо

кілька найбільш часто зустрічаються випадків, а саме, коли одна соломину перебувати під нахилом до іншої (рис. 3.3) або коли соломини знаходяться під нахилом по відношенню один до одного (рис. 3.4) і нарешті, коли соломини перетинаються (рис. 3.5).

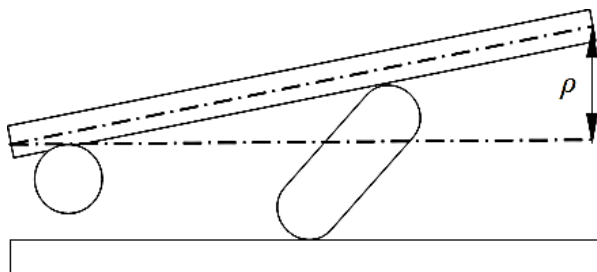


Рис. 3.3. Схема просіювання зернівки крізь дві соломини, коли одна з соломин знаходиться під нахилом до іншої

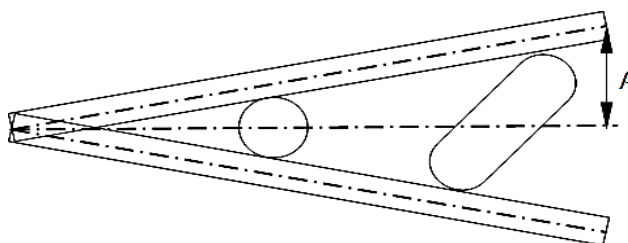


Рис. 3.4. Схема просіювання зернівки крізь дві соломини, коли обидві соломини знаходяться під нахилом по відношенню один до одного

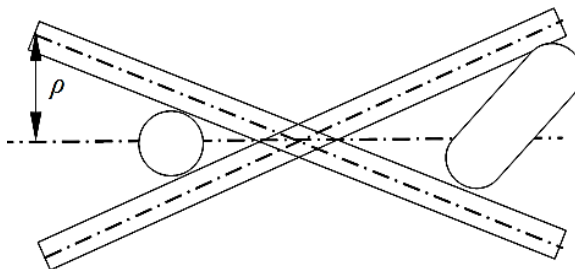


Рис. 3.5. Схема просіювання зернівки крізь дві соломини, коли соломини перетинаються

У всіх представлених випадках відбувається зміна міжцентрової відстані між соломинами.

Для подальших досліджень введемо параметр $\tau \in [0; 1]$, який характеризує зміну ρ . При використанні параметра τ , ймовірність буде представляти із себе середнє арифметичне ймовірностей, в тих формулах, в яких будуть використовуватися різні значення параметра τ . Точність такого

розрахунку буде прямо пропорційною до кроку параметра τ на всій області його визначення. Тобто, якщо $\tau \in [0; 1]$, то крок 0,1 і 10 значень параметра τ , при розрахунку дадуть менш точний результат, ніж крок 0,01 і 100 значень параметра. Тому, при обчисленні ймовірності з використанням формул, в яких застосовується параметр τ , слід використовувати обчислювальні потужності ПК через значний обсяг оброблюваних даних.

Для випадку, коли одна з соломин знаходиться під нахилом по відношенню до іншої (рис. 3.3) – відстань між соломими змінюється від ρ до 2ρ , а τ відповідно – від 0,5 до 1. Отже, ймовірність просіювання для цього випадку, буде виглядати:

$$p_{\tau_1}^I = \frac{r_c}{\tau \rho} \quad (3.6)$$

де $\tau \in [0,5; 1]$, а $\rho \in [\rho; 2\rho]$.

Побудуємо графік залежності ймовірності просіювання зернівки крізь дві соломими від відстані між ними в разі, коли одна соломима знаходиться під нахилом до іншої (рис. 3.6).

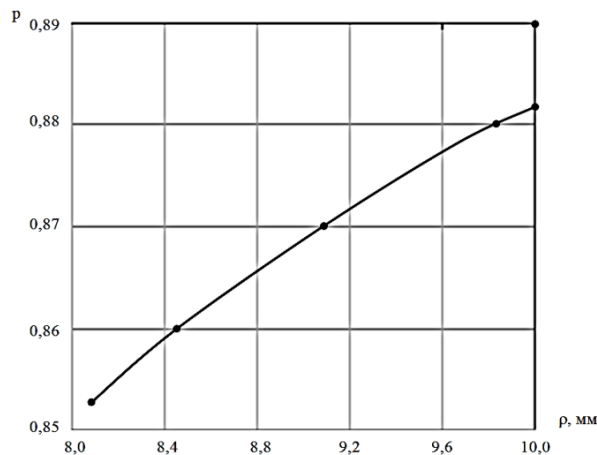


Рис. 3.6. Залежність ймовірності просіювання від відстані між соломими для першого випадку, коли одна соломима знаходиться під нахилом до іншої

Як видно, з рис. 3.6 зі збільшенням міжцентральних відстані ρ ймовірність просіювання зернівки збільшується.

Розглянемо випадок, коли соломими знаходяться під нахилом до одна одній (рис. 3.4).

Відстань між соломими змінюється від 0 до 2ρ , а τ від 0 до 1.

У точці перетину соломин ймовірність непросіювання 100%. Отже, загальна ймовірність непросіювання для цього випадку, буде виглядати:

$$p_{\tau_2}^I = \frac{r_c}{\tau\rho} \quad (3.7)$$

де $\tau \in [0; 1]$, а $\rho \in [0; 2\rho]$.

І для останнього випадку, коли соломини перетинаються (рис. 3.5) параметр τ буде зменшуватися від 1 до 0 на половині розглянутої ділянки і збільшуватися від 0 до 1 на іншій половині, тобто $\Gamma = 0,5\tau [1; 0) + 0,5\tau (0; 1]$.

Складові рівні між собою, отже:

$$p_{\tau_3}^I = \frac{r_c}{\tau\rho} \quad (3.8)$$

де $\tau \in (0; 1]$, а $\rho \in [0; 2\rho]$.

Для випадку, коли соломини перетинаються, побудуємо графік залежності ймовірності просіювання від відстані між соломинами (рис. 3.7).

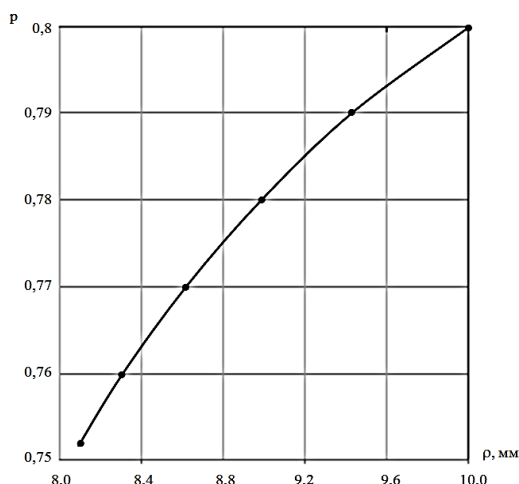


Рис. 3.7. Залежність ймовірності просіювання від відстані між соломинами для першого випадку, коли соломини перетинаються між собою

Графік показує, що так само, як в попередньому випадку зі збільшенням відстані між соломинами збільшується ймовірність проходження зернівки між ними.

Таким чином, ми отримали значення ймовірностей для всіх розглянутих випадків взаємного розташування соломин, а саме, коли соломини паралельні один одному (рис. 3.1), коли одна з соломин знаходиться під

кутом до іншої (рис. 3.3), коли обидві соломини знаходяться під кутом один до одного (рис. 3.4) і нарешті при перетині соломин (рис. 3.5). Загальна ймовірність виходячи з виразів (3.5), (3.6), (3.7) і (3.8) буде виглядати наступним чином:

$$p^I = \left(\frac{r}{\rho} + \frac{r}{\tau} + \frac{r}{\rho} + \frac{r}{\tau} \right) / 4 = \frac{r_c (\tau_{(0;1)} + 2\tau_{(0;1)} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{(0;1)} \rho} \quad (3.9)$$

Проведемо розрахунок згідно виразів (3.9) і визначимо ймовірність непросіювання, потім за висловом визначаємо ймовірність просіювання, і будуємо графік залежності повної ймовірності просіювання від відстані між соломинами (рис. 3.8).

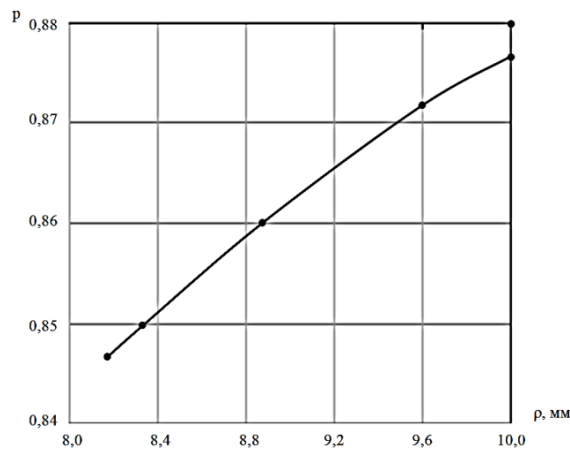


Рис. 3.8. Залежність повної ймовірності просіювання від відстані між соломинами для першого випадку

З рис. 3.8 видно, що повна ймовірність прокидання збільшується зі збільшенням відстані між соломинами.

II випадок. Відстані між соломинами менше суми діаметра соломи і довжини зернівки і більше суми діаметра соломи і ширини зернівки (рис. 3.9) [21].

$$2r + 2r_3 \leq 2\rho \leq 2l + 2r_c \rightarrow r_3 \leq a \leq l. \quad (3.10)$$

де r – радіус соломини;

$2r_3$ – ширина зернівки;

$2l$ – довжина зернівки;

2ρ – відстань між осями соломи.

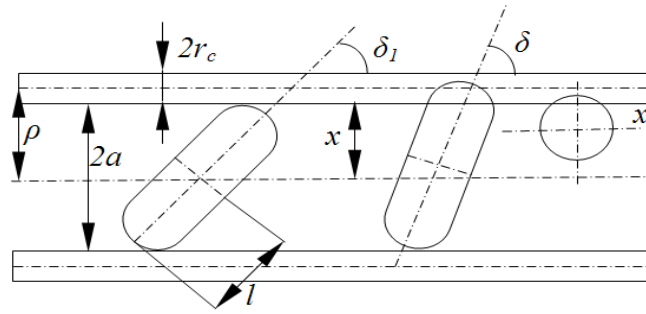


Рис. 3.9. Схема просіювання зернівки крізь дві паралельні соломини для другого випадку

Розглянемо випадки сприятливі непросіюванню зернівки. На рис. 3.10 показана заштрихована площа, що ілюструє сприятливі випадки непросіювання зерна. Залежно від співвідношень r , r_c , l або ρ , можна розглянути два підвипадка.

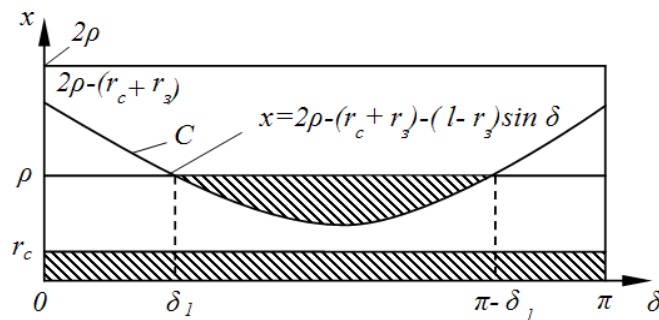


Рис. 3.10. Схема до розрахунку ймовірності непросіювання зернівки, якщо крива С не перетинає пряму $x = r$

1. Крива розподілу ймовірності непросіювання (крива С) не перетинає пряму $x = r$, тобто:

$$a < r_c + r_3 + (l - r_3) - \rho \leq \rho - r \text{ або } \frac{1}{2} \leq a \leq l, (n u \frac{l}{2} > r) \text{ та } \frac{1}{2} \leq a \leq l, (n u \frac{l}{2} \leq r).$$

З рис. 3.10 випливає, що ймовірність непросіювання при горизонтальному розташуванні зернівки буде:

$$P_1'' = \frac{\pi r_c + \int_{\delta_1}^{\pi - \delta_1} [\rho - 2\rho + r_c + r_3 + (l - r_3) \sin \delta] d\delta}{\pi \rho}. \quad (3.11)$$

Якщо прийняти, що $\delta_1 = \arcsin \frac{a-r_3}{l-r_3}$, а $\frac{a-r_3}{l-r_3} = \frac{\rho-r_c-r_3}{l-r_3} = \lambda^l$, то вираз (3.11)

приймає вид:

$$p_1^{II} = \frac{r_c}{\rho} + \frac{2(l-r_3)}{\pi\rho} \left[\sqrt{1-(\lambda^l)^2} - \lambda^l \arccos \lambda^l \right] \quad (3.12)$$

При $a=l$ або $\lambda^l=1$ вираз (3.12) переходить у вираз (3.3) тобто $p_1^{II} = \frac{r_c}{\rho} = \frac{p^I}{\rho}$

2. Крива С перетинає в точках δ_2 або $\pi - \delta_2$ (рис. 3.10) пряму $x=r_c$:

$$r_c + r_3 + (l - r_3) - \rho \geq \rho - r_c,$$

або

$$r_3 \leq a \leq \frac{l}{2} \quad (3.13)$$

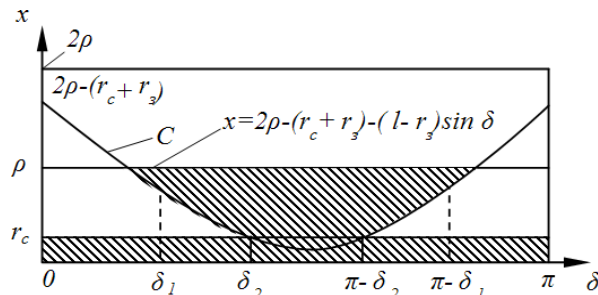


Рис. 3.11. Схема до розрахунку ймовірності непросіювання зернівки, якщо крива С перетинає пряму $x=r_c$

Як видно з рис. 3.11 з'являється область перетину ймовірностей непросіювання зерна. Тоді формула ймовірності непросіювання матиме такий вигляд:

$$p_1^{III} = \frac{\int_{\delta_1}^{\pi-\delta_1} [\rho - 2\rho + r_c + r_3 + (l - r_3) \sin \delta] d\delta}{\pi\rho} + \frac{\int_{\delta_2}^{\pi-\delta_2} [r_c - 2\rho + r_c + r_3 + (l - r_3) \sin \delta] d\delta}{\pi\rho}, \quad (3.14)$$

де p_1^{III} – ймовірність непросіювання зернівки для другого випадку, за умови що крива С перетинає пряму $x=r_c$ якщо зернівка розташована горизонтально.

$$\delta_1 = \arcsin \frac{a-r_3}{l-r_3} \quad \delta_2 = \arcsin \frac{2a-r_3}{l-r_3}$$

Зробимо в вираженні (3.14) заміни ідентичні заміни в залежності (3.12):

$$p_1''' = \frac{r_c}{\rho} + \frac{2(l-r_3)}{\pi\rho} \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^{II})^2} - \lambda^{II} \arccos \lambda^{II} \right] \quad (3.15)$$

де $\lambda^{II} = \frac{2a-r_3}{l-r_3}$.

При $2a=l$ або $\lambda^{II} = 1$, отримаємо $p_1''' = p_1''$.

Імовірність непросіювання при вертикальному розташуванні зернівки для обох підвипадків другого випадку буде:

$$p_2''' = p_2'' = \frac{r_c}{\rho} \quad (3.16)$$

Загальна ймовірність непросіювання p'' для другого випадку, коли крива С не перетинає пряму $x=r_3$ буде визначатися зі співвідношення:

$$p'' = \frac{p_1'' + p_2''}{2} = \frac{r_c}{\rho} + \frac{l-r}{\pi\rho} \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right] \quad (3.17)$$

Загальна ймовірність непросіювання p''' для другого випадку, за умови, що крива С перетинає пряму $x=r_3$ знаходимо з виразу:

$$p''' = \frac{p_1''' + p_2'''}{2} = \frac{r_c}{\rho} + \frac{2(l-r)}{\pi\rho} \times \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^{II})^2} - \lambda^{II} \arccos \lambda^{II} \right] \quad (3.18)$$

Розглянемо методику обчислення ймовірності непросіювання зернівки в разі паралельного розташування соломин між собою, для чого використовуємо формули 3.5...3.7. Зміна величини ρ буде аналогічним першому випадку. Запишемо формулу (3.17) виходячи з мінливої відстані між соломинами:

$$\begin{aligned} p'' &= \left(\frac{r_c}{\rho} + \frac{r_c}{\tau_{[0.5;1]}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1)}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1)}\rho} \right) / 4 + \\ &+ \left(\frac{l-r_3}{\pi\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{[0.5;1]}\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{(0;1)}\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{(0;1)}\rho} \right) \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right] / 4 = \\ &= \frac{r_c(\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]}\tau_{(0;1)}\rho} + \\ &+ \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]}\tau_{(0;1)}\pi\rho} \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right] \end{aligned} \quad (3.19)$$

Аналогічним чином формула (3.19) після відповідних підстановок набуває вигляду:

$$\begin{aligned}
 p''' &= \left(\frac{r_c}{\rho} + \frac{r_c}{\tau_{[0.5;1]}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1)}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1)}\rho} \right) / 4 + \\
 &+ \left(\frac{l-r_3}{\pi\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{[0.5;1]}\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{(0;1)}\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{(0;1)}\rho} \right) \times \\
 &\times \left[\sqrt{1-(\lambda')^2} - \lambda' \arccos \lambda' - \sqrt{1-(\lambda'')^2} - \lambda'' \arccos \lambda'' \right] / 4 = \\
 &= \frac{r_c(\tau_{[0.5;1]}\tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]}\tau_{(0;1)}\rho} + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]}\tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]}\tau_{(0;1)}\pi\rho} \times \\
 &\times \left[\sqrt{1-(\lambda')^2} - \lambda' \arccos \lambda' - \sqrt{1-(\lambda'')^2} - \lambda'' \arccos \lambda'' \right]
 \end{aligned} \tag{3.20}$$

Побудуємо графіки залежності ймовірності просіювання від відстані між соломинами для другого випадку за умови що крива розподілу ймовірності непросіювання (крива С) не перетинає пряму $x=r$ (рис. 3.12), і коли крива С перетинає пряму $x=r$ (рис. 3.13).

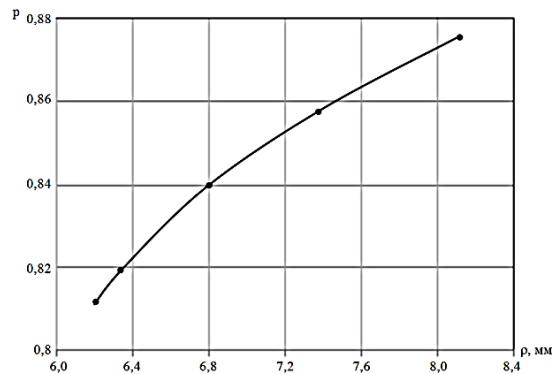


Рис. 3.12. Графік залежності ймовірності просіювання зернівки від відстані між соломинами для другого випадку при умові, що крива С не перетинає пряму $x=r$

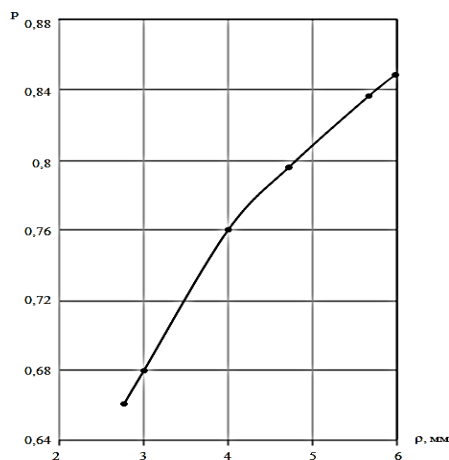


Рис. 3.13. Графік залежності ймовірності просіювання зернівки від відстані між соломинами для другого випадку при умові, що крива С перетинає пряму $x=r$

III випадок. Відстань між соломинами менше суми діаметра соломини і ширини зернівки:

$$2\rho < 2r_c + 2r_s \rightarrow a < r_s. \quad (3.21)$$

У цьому випадку, як при горизонтальному розташуванні зернівки, так і при вертикальному, ймовірність непросіювання дорівнює 1:

$$p_1^{IV} = p_2^{IV} = 1, \text{ а } p^{IV} = \frac{P_1^{IV} + P_2^{IV}}{2} = 1. \quad (3.22)$$

де p_1^{IV} – ймовірність непросіювання для третього випадку при горизонтальному розташуванні зернівки;

p_2^{IV} – ймовірність непросіювання для третього випадку при вертикальному розташуванні зернівки;

p^{IV} – загальна ймовірність непросіювання для третього випадку.

Виходячи з отриманих результатів можна обчислити загальну ймовірність непросіювання зерна крізь один шар соломи. Вона буде являти собою систему з чотирьох рівнянь.

$$p_e = \begin{cases} p^I = \frac{r_c(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} \\ p^{II} = p^I + \frac{(l-r)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} \times \\ \times \left[\sqrt{1 - (\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right] \\ p^{III} = p^I + \frac{(l-r)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} \times \\ \times \left[\sqrt{1 - (\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1 - (\lambda^{II})^2} - \lambda^{II} \arccos \lambda^{II} \right] \\ p^{IV} = 1. \end{cases} \quad (3.23)$$

$$\text{де } \lambda^I = \frac{a - r_s}{l - r_s}, \quad \lambda^{II} = \frac{2a - r_s}{l - r_s}.$$

Підсумкова ймовірність непросіювання буде залежати від ймовірності появи того чи іншого випадку і підвипадку взаємного розташування соломин. Якщо прийняти, що ймовірність появи цих випадків взаємного розташування соломин однакова, то загальна ймовірність непросіювання буде представляти

із себе середнє арифметичне всіх ймовірностей з системи (3.23).

$$\begin{aligned}
 p = & \frac{r_c(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} + \frac{r_c(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} + \\
 & + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \pi \rho} \sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \Big] + \\
 & \left[\frac{r_c(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \pi \rho} \right] \times \\
 & \times \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^II)^2} - \lambda^II \arccos \lambda^II \right] + 1) / 4 = \tag{3.24} \\
 = & \left(\frac{3r_c(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \rho} + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \pi \rho} \right) \times \\
 & \times \left[2\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - 2\lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^II)^2} - \lambda^II \arccos \lambda^II \right] + 1) / 4 = \\
 & = \frac{(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1)})}{16\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1)} \pi \rho} \times \\
 & \times (3\pi r_c + (l-r_3) \left[2(\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I) - \sqrt{1-(\lambda^II)^2} - \lambda^II \arccos \lambda^II \right] + 0,25.
 \end{aligned}$$

Як видно з отриманої моделі і подальшого моделювання основним критерієм ймовірності просіювання зернівки крізь шар соломи є відстань між соломинами, і чим воно більше, тим ймовірність просіювання вище, і тим самим сегрегація йде інтенсивніше.

Інтенсифікація процесу сегрегації обчисаноговороху зернових колосових може бути досягнута за рахунок коливального руху робочого органу. Прискорити переміщення зерносолومیстого матеріалу по поверхні робочого органу можна шляхом розташування його під кутом до горизонту. Таким чином має місце рух обчисаноговороху по похилій коливальній поверхні.

Висновки

1. Побудовано математичну модель просіювання зерна крізь шар обчисаноговороху, яка встановлює залежність між ймовірністю проходження зерна крізь солому і відстанню між соломинами з урахуванням взаємного розташування соломин і відношенням розмірів зернівки до відстані між соломинами.

2. В результаті проведеного моделювання виявлено:

– в разі, коли відстань між соломонами більше довжини зернівки і діаметра соломини ймовірність просіювання зернівки становить 0,875 за умови, що відстань між соломонами дорівнює 10 мм;

– якщо відстань між соломонами менше суми діаметра соломини і довжини зернівки і одночасно більше суми діаметра соломини і ширини зернівки, то ймовірність проходження зернівки крізь соломини знаходиться в межах 0,85 ... 0,877 при відстані між соломонами 6,0 ... 8,05 мм;

– за умови, що відстань між соломонами менше суми діаметра соломини і ширини зернівки ймовірність просіювання як при горизонтальному розташуванні зернівки, так і при вертикальному дорівнює нулю.

3. Для забезпечення необхідних умов, що дозволяють зернівці проходити крізь шари соломи необхідний робочий орган, який має можливість механічного впливу на ворох.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. При переході в псевдозріджений стан на частинки зернової суміші будуть діяти: сила тяжіння G , сила тертя шару зерна о бічні стінки лотка-інтенсифікатора $F_{тр}$, сила опору повітряного потоку $F_{оп}$ та сила впливу повітряного потоку на частинки F .

2. Визначені параметри процесу псевдозрідження зернового вороху (швидкість початку псевдозрідження $W_{пп}$, швидкість фільтрації W_d , порозність ϵ , число псевдозрідження K), які впливають на підвищення продуктивності процесу попереднього очищення зернового вороху.

3. Проведений аналіз свідчить про доцільність включення у робочий процес циліндричного решета з зовнішньою робочою поверхнею діаметрально пронизаного повітряного потоку, що дозволить в умовах експерименту підвищити ефективність відділення повітрявідокремлюваних домішок. При цьому значно поліпшуються умови очистки поверхні решета від виділених вегетативних домішок.

4. Епюри швидкостей показують, що обмежений прибіками стенду повітряний потік можливо розглядати як затоплений струмінь, початок якого характеризується яскраво вираженим факелом. Найбільш доцільне регулювання частоти обертання ротору вентилятора n у діапазоні $400 \dots 600 \text{ об} \cdot \text{хв}^{-1}$, що забезпечує швидкість повітряного потоку у межах $3,0 \dots 6,0 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і відповідає аеродинамічним характеристикам повноцінного насіння.

5. Аналізуючи залежність швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від кута нахилу рухомої жалюзі до нерухомої α , визначено збільшення швидкості повітряного потоку в діапазоні зміни кута α від 0 до 20° у межах $3,5 \dots 4,8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. При подальшому збільшенню кута α від 20 до 30° швидкість повітряного потоку зменшується з $4,8$ до $2,7 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, що обумовлено зміною гідравлічного опору системи та

коефіцієнта «живого» перетину жалюзі. Доцільно кут α утримувати у діапазоні $0...20^\circ$.

6. Аналізуючи залежність швидкості повітряного потоку V у першому квадранті циліндричного решета від кута відхилення рухомої середньої стінки від положення середньої нерухомої стінки γ , визначено зміна швидкості повітряного потоку від $6,4$ до $0,7 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$. Залежно від зміни кута $\pm\gamma$ має місце перерозподіл повітря, яке виходить з випускного вікна діаметрального вентилятора до лотка-інтенсифікатора та до жалюзійного повітрярозподільника. Найбільш обґрунтованим є значення кута γ_1, γ_2 у межах $+15...-5^\circ$, що відповідає запропонованим аеродинамічним властивостям олійної сировини соняшнику ($3,0...6,0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$).

7. Побудовано математичну модель просіювання зерна крізь шар обчесаного вороху, яка встановлює залежність між імовірністю проходження зерна крізь соломину і відстанню між соломинами з урахуванням взаємного розташування соломин і відношенням розмірів зернівки до відстані між соломинами.

8. В результаті проведеного моделювання виявлено:

– в разі, коли відстань між соломинами більше довжини зернівки і діаметра соломини ймовірність просіювання зернівки становить $0,875$ за умови, що відстань між соломинами дорівнює 10 мм ;

– якщо відстань між соломинами менше суми діаметра соломини і довжини зернівки і одночасно більше суми діаметра соломини і ширини зернівки, то ймовірність проходження зернівки крізь соломину знаходиться в межах $0,85...0,877$ при відстані між соломинами $6,0...8,05 \text{ мм}$;

– за умови, що відстань між соломинами менше суми діаметра соломини і ширини зернівки ймовірність просіювання як при горизонтальному розташуванні зернівки, так і при вертикальному дорівнює нулю.

9. Для забезпечення необхідних умов, що дозволяють зернівці проходити крізь шари соломи необхідний робочий орган, який має можливість механічного впливу на ворох.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пат. №129349 Україна, МПК В 07В4/03. Пневморешітний сепаратор із замкненою повітряною системою. Михайлов Є.В., Задосна Н.О., Афанасьєв О.О. (Україна). – № у 2018 05086; Заявл. 08.05.2018.; Опубл. 25.10.2018. Бюл. №20.
2. Пат. №126105 Україна, МПК В 07В4/03. Пневморешітний сепаратор із замкненою повітряною системою. Михайлов Є.В., Задосна Н.О., Аюбов А.М., Мордарьов П.С., Довгополий Ю.Б., Афанасьєв О.О., (Україна). – № у 201712113; Заявл. 08.12.2017; Опубл. 11.06.2018. Бюл. №11.
3. Пат. №116021 Україна, МПК В 07В4/03. Пневморешітний сепаратор із замкненою повітряною системою. Михайлов Є.В., Афанасьєв О.О., Задосна Н.О. (Україна). – № у 2016 09901; Заявл. 26.09.2016; Опубл. 10.05.2017. Бюл. №9.
4. Баскалов А.П. Расчеты аппаратов кипящего слоя. Справочник/А.П. Баскалов, Б.П. Лукачевский, И.П. Мухленов и др. – Л.: Химия, 1986. – 352с.
5. Ковенский Г.И. Управляемое псевдоожигение/Г.И. Ковенский// Минск: АНКІТМОНАНБ. 1999. – 144 с.
6. Нагорнов С.А. Техніка і технологи псевдоожигения: гидродинамика и теплообмен с погруженными телами. / С.А. Нагорнов, В.П. Таров, С.И. Дворецкий, В.Н. Королев и др. // Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. 168 с.
7. Бедарев С.В. Применение технологи кипящего слоя в энергетике. Магистерска ядиссертация, Барнаул, 2017.
8. Годес О.М., Цитович О.Б. Аппараты с кипящим зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы / О.М. Годес, О.Б. Цитович // Л.: Химия, 1981. – 296 с.
9. Корнієнко Я.М., Сачок Р.В. Процеси переносу в дисперсних системах. / Я.М. Корнієнко, Р.В. Сачок // [Електронне видання]. 2011. – 132 с.

10. Михайлов Є.В. Аспекти методики визначення параметрів повітряного потоку в пневмосистемі машини попереднього очищення зерна /Є.В. Михайлов, О.О. Білокопитов, М.П. Кольцов// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2010. Вип. 11, т. 1. – с.242-250.

11. Михайлов Є.В.. Аналіз пневматичних систем зерноочисних машин та удосконалення їх класифікації /Михайлов Є.В., Білокопитов О.О., Задосна Н.О., Д.В. Сердюк// Праці таврійського державного агротехнологічного університету. Вип.12.т.5.: - Мелітополь: ТДАТУ, 2012.- с. 50...61.

12. Валиев Х. Х. Высокопроизводительные рабочие органы для предварительной очистки влажного зернового вороха / Х. Х. Валиев, Ф. Н. Эрк, С. А. Вайнруб // Тракторы и сельскохозяйственные машины.-1990. .№6. - С.21 - 22.

13. Резниченко В. И. Исследование взаимодействия пневмоинерционной камеры и воздушно-решетной очистки сепаратора грубого вороха. / В.И. Резниченко, Ю. М. Помогаев // Совершенствование технологии и технических средств уборки, обработки и переработки зерна. - Воронеж: СХИ, 1990. - С. 33 - 44.

14. ОСТ 70.10.2-83. Зерноочистительные машины, агрегаты, зерноочистительно-сушильные комплексы. Программа и методы испытаний. – М., 1984 – 172 с.

15. Шафоростов В.Д. Моделирование процесса сепарирования семян подсолнечника в вертикальном пневмоканале решетных зерноочистительных машин /В. Д. Шафоростов, И.Е. Припоров // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – Краснодар, 2011.– Вып. 1, С. 146-147.

16. Михайлов Е. В., Задосная Н.А. Аспекты обоснования параметров и режимов работы пневмосепаратора масличного сырья подсолнечника / Е.В. Михайлов, Н. А. Задосная // MOTROL Commission of Motorization and

Powerindustry in Agriculture Polish Academy of Sciences Branch in Lublin, – Volume 17, № 9. –2015, – p. 43 – 49.

17. Кендол М. Геометрические вероятности: Пер. с англ. / М. Кендол, П. Моран. – М.: Мир, 1972. – 273 с.

18. Buffon G. Essaid'anthmetiquemorale. Supplement «l'histoireNaturelle», v. 4, 1977.

19. Леженкин И. А. Математическая модель сепарации зерна через слой очесанного вороха / И. А. Леженкин // Проблеми та перспективи сталого розвитку АПК: матер. міжнар. наук.-практ. конф., м. Мелітополь; 7-14 квітня 2015 року. – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Т. 4. Технічні науки (Ч. 2). – С. 47-49.

20. Леженкін І. О. Математичне моделювання ймовірності проходження зернівки крізь шар обчесаного вороху / І. О. Леженкін // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2017. – Вип. 17, т. 2. – С. 57-63.

21. Леженкін І. О. Теоретичний аналіз умов проходження зернівки крізь шар обчесаного вороху зернових / І. О. Леженкін // Загально-державний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – Вип. 47, ч. II. – С. 112-123.