

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра загальнотехнічних дисциплін

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Підвищення ефективності роботи лушильних машин шляхом
інтенсифікації процесів обробки поверхні зерна»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 1
Біліченко Юрій Вадимович
Керівник: Флегантов Л. О.
Рецензент: Келемеш А. О.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Одним з напрямків раціонального використання проблемного зерна є застосування нової техніки і технології обробки його поверхні з забезпеченням послідовного пошарового виборчого відділення покривних структур у процесі лушення в машинах безперервної дії. У зв'язку з цим попереднє високоефективне лушення, сепарування оболонок зерна злакових і інших культур здобуває особливу значимість і актуальність.

У сформованій ситуації організація випуску сучасного високопродуктивного устаткування для зернопереробних підприємств, а також підвищення технічного рівня мукомельно-круп'яної і комбікормової промисловості на базі застосування високопродуктивного устаткування і передової технології відносяться до найважливіших напрямків державної технічної політики України.

Задачами інтенсифікації лушильних технологій є: зниження енергетичних витрат, забезпечення екологічної безпеки високої якості крупи і комбікормів, розробка високоефективних лушильних комплексів. Їхнє рішення здійснюється удосконалюванням існуючих, розробкою нових комплексних способів, засобів, режимів обробки зерна. Однак можливості зниження енерговитрат, підвищення якості лушення не вичерпані - тут мається ряд невикористаних резервів.

Основний резерв зниження енерговитрат у даний час отримується в сполученні абразивного відділення оболонок з аеродинамічним способом очищення поверхні ядра зерна і віднесення продуктів лушення. Застосування комплексних зернопереробних систем дозволить усунути ефект самозараження (ефект сухого змащення) лушильних машин і тим самим організувати і забезпечити рівномірну обробку поверхні зерна, екологічну чистоту крупи.

Розробка лушильних пневмосепаруючих комплексів дозволить вирішувати проблеми зниження енергетичних витрат, екологічної безпеки. У

цьому зв'язку, розвиток наукових представлень про механізм абразивного лушення, пневмосепарування, транспортування продуктів лушення, створення на їхній основі методик обґрунтування раціональних режимних і конструктивних параметрів облушувальних комплексів є доцільним і актуальним.

Мета і задачі дослідження – підвищення ефективності роботи облушувальних комплексів шляхом інтенсифікації процесів обробки поверхні зерна й аеросепарування, пневмотранспортування продуктів лушення.

Основна мета досліджень – створення енергоефективних схем і установок абразивно-ударного лушення зерна і методів їхнього розрахунку.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- виявити резерви підвищення ефективності лушення зерна в основних елементах облушувальних комплексів;
- розробити нові принципи обробки зерна, пневмосепарування, пневмотранспортування продуктів лушення;
- провести дослідження механіки переміщення, обробки і лушення зерна;
- обґрунтувати структурні схеми, раціональні конструктивні і технологічні параметри нових облушувальних комплексів по енергетичних і технологічних показниках.

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Структурно-механічні властивості зерна та способи їх зміни

Вибір оптимальних умов процесу попереднього відділення оболонок і обґрунтування конструктивних і кінематичних параметрів облущувальних машин повинний базуватися на вивченні деформуючих, фрикційних властивостей зерна, його анатомічних частин та властивостей міцності.

Важливими показниками оцінки деформуючих властивостей оболонок, що характеризують їхнє поведіння в процесі обробки поверхні зерна, є пружність і твердість. Ці показники залежать від вологості, структури і хімічного складу оболонок. Сухі оболонки вологістю 11,7...12,5 % мають найбільшу твердість і пружність, а зі збільшенням до 47,5...48,0 % відбувається їхнє зниження [1].

Поряд з вологістю і температурою на пружно-кінетичні властивості зерна істотний вплив робить швидкість наростання деформації. При здрібнюванні у вальцових верстатах при великих відносних швидкостях робочих органів час руйнування дуже короткий й у зерні не встигають порушитися міжмолекулярні зв'язки, релаксувати пружні напруження і розвинути пластична деформація [2]. У цьому випадку зерно поводить як пружне тіло. Мала швидкість деформування приводить до того, що напруги і деформації ростуть повільно, релаксаційний процес встигає розвинути далі і напруги ростуть у міру їхнього виникнення, у результаті чого зерно здобуває властивості пружного-пластичного тіла.

Для непрямої характеристики опірності ендосперму і зовнішніх покривів пластичним деформаціям рекомендується застосовувати показник мікротвердості. Чим більше мікротвердість зерна, тим більше його опірність деформації і навпаки, чим вона менше, тим менше опір зерна зміні його форми.

Найбільшою твердістю володіє алейроновий шар, а найменшою насінна оболонка. При зростанні вологості від 10 до 50 % в алейронового шару спостерігалось відносне зниження мікротвердості в 6...10 разів.

Для визначення границь силового навантаження зерна, що забезпечує ефективне відділення покривних тканин у процесі лущення при мінімальному руйнуванні ендосперму і здрібнюванні оболонок, необхідно враховувати характеристики міцності зерна і його анатомічних частин.

Середні руйнівні зусилля змінюються в межах 14,7...78,5 Н, а зі збільшенням вологості ці величини зменшуються. При цьому те саме зерно, у залежності від вологості, може піддаватися пружному руйнуванню або пластичному здавлюванню [3].

Визначено, що найбільшою міцністю володіє сукупність усіх шарів оболонок, а найменшої - насінна, унаслідок наявності в ній шару, що набухає.

Фізико-механічна природа розриву оболонок складається в подоланні розтяжними зусиллями міжмолекулярних сил зчеплення, що діють у площині розриву. Межі міцності зерна пшениці складають для налущеного зерна 8,5...14,0 МПа, а для облущеного 7,6...12,0 МПа, тобто на 10...14 % нижче. Підвищення вологості з 12 до 24 % обумовлює зниження межі міцності відповідно до 2,5...6,8 МПа і 2,4...4,9 МПа [3].

З підвищенням швидкості зрушення значення коефіцієнтів тертя зростають. Підвищення вологості зерна пшениці також обумовлює зростання коефіцієнта опору зрушенню, у результаті чого при його облущуванні з постійним питомим навантаженням між шарами, що зрушуються, виникають великі по модулю сили тертя.

Так, як зерна злакових культур характеризуються відповідними властивостями, на процес відділення оболонок істотний вплив робить комплекс факторів, що включають умови підготовки до обробки його поверхні, властивості міцності анатомічних структур і їхніх зв'язків, кінематика і динаміка зернового шару в процесі лущення і фрикційні властивості при змінюваних величинах міжзернових тисків і щільності

укладання зерна в робочій зоні облущувальної машини.

На поверхні 90...95% зернівок у результаті попередньої обробки в процесі збирання і збереження створюються різні по розмірах мікротріщини, що підвищують вологопровідну здатність покривних тканин. При зволоженні вода проникає через тріщини оболонок або їхні ушкоджені місця в зовнішні шари, у результаті чого відбувається набрякання кліток. У результаті заповнення вологою міжклітинного простору і капілярів відбувається відносний зсув кліток, збільшення проміжків між ними й ослаблення взаємних зв'язків. Різна вологоємність окремих шарів оболонок і умови підведення вологи приводять до появи значних напруг як між шарами, так і на окремих ділянках їх при нерівномірному зволоженні.

Спрямована зміна структурно-механічних властивостей зерна пшениці і ячменя може бути досягнуте в результаті впливу на них різними технологічними прийомами.

При загальній оцінці волопоглинаючій здатності анатомічних частин зернівок, структурні елементи яких виконують роль адсорбенту, що сприймають своєю поверхнею процеси адсорбції вологи і регулюють швидкість її дифузії, важливими є фактори набрякання, а також швидкості проникнення і поглинання вологи. При контакті з водою в перші кілька секунд зерно поглинає 3...5 % вологи, а далі, протягом деякого періоду, його вологість залишається незмінною. Це первісне захоплення води здійснюється оболонками, що мають велика кількість пор і капілярів, що значно збільшують активну поверхню зерна й забезпечують швидке поглинання, нагромадження і поширення вологи зі значною швидкістю.

У залежності від кількості вологи зерно отримує властивості пружного-пластичного або пластичного тіла. При вологості 12% зерно пшениці поводить себе як пружний матеріал, а при вологості 17 % спостерігається розвиток пластичних деформацій, що складають 40 % від повних [3].

1.2. Способи і засоби відділення оболонки зерна

Розглянемо способи і засоби лушення зернових матеріалів.

До першої групи можна віднести машини з ударним принципом дії, у яких відділення оболонки відбувається, головним чином, під дією ударних імпульсів, багаторазово прикладених до зерен і миттєвих сил тертя, обумовлених ковзанням їхньої по шорсткуватих поверхнях робочих органів.

До другої групи віднесені облушувальні машини фрикційної дії з поділом на дві підгруп.

У першій підгрупі машин відділення оболонки досягається інтенсивним зовнішнім тертям зерна об робочі органи різної шорсткості, що може створюватися штучно, шляхом нанесення лицьовальної абразивної маси, або є природною.

У процесі переміщення зерен від прийому до випуску до них неодноразово додаються нормальні і дотичні зусилля, і попутно відбувається часткове взаємотертя оброблюваних зерен.

В другій підгрупі машин використовується інтенсивний вплив на зерно нормальних і дотичних зусиль, як у результаті взаємодії зерен, так і тертя їх об елементи робочих органів. Частоту й інтенсивність таких впливів визначають структурно-механічні властивості зерна ячменя і міцність зв'язків квіткових плівок з нижчележачими покривними тканинами.

До машин ударної дії варто віднести конструкцію фірми Roskamp "Challenger" особливостями якої є [1]: - наявність облушувальної камери, з якої суміш лушених дроблених і нелушених зерен, подається в ячеєвий трієрний ротор для поділу лушених і дроблених зерен з очищенням у вбудованій аспіраційній камері для відділення аеродинамічно легких часток у виді лузги і мучки.

У облушувальній машині фірми "Oscim" FMD-714 для інтенсифікації лушення зерна ячменя створені місцеві звуження, утворені закріпленими на внутрішній поверхні обичайки подовжніми ребрами квадратного перетину;

бічевий барабан працює як вентилятор низького тиску, послідовно сполучений з вентилятором середнього тиску аспіраційної мережі, що в результаті створює розрідження в осаджуючій камері, що сприяє гравітаційному осадженню аеродинамічно легких часток.

Технологічні показники роботи облушувальних машин ударної дії приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технологічні показники роботи облушувальних машин ударної дії при обробці зерна ячменя

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Назва машин			
		Комбінований "Ctlltnger"	Облушувальна машина А1-ДШО	Двух-роторний FMD-714	Машина ЗОН-5
Конструктивна продуктивність	кг/год	3200	2800	2200	6000
Питома витрата енергії	кВт/год т	4,6	7,10	7,50	8,30
Питома площа	т/год/м ²	1,76	1,51	0,43	0,83
Подрібнення	%	18,49	27,40	0,38	21,30
Лузга	%	14,68	11,85	4,50	12,10
Мучка	%	5,08	2,3	0,50	2,40
Коефіцієнт лущення	%	37,52	37,64	53,55	93,34
Коефіцієнт цільності ядра	%	0,03	0,07	0,98	0,71
Ефект лущення	%	1,13	2,63	52,48	66,27

Із зіставлення даних випливає, що показники, що характеризують технологічний ефект облушувальних машин ударної дії не можуть бути

визнані прийнятними через значне утворення дроблених зерен, що досягають 27% низьких значень коефіцієнтів лушення і цілісності ядра.

Підгрупу машин фрикційної дії з переважаючим впливом на зерно зовнішнього тертя про поверхні робочих органів складають облущувальні машини типу А1-ЗШН-3, у яких регулювання процесу досягається зміною тривалості перебування зерна в робочій зоні.

Особливостями цієї машини є: можливість зміни тривалості обробки зерна в робочій зоні шляхом дроселювання сипучого потоку, зміни щільності укладання зерна й інтенсивності лушення; переміщення турбульованих повітряних потоків через порожній вал з отворами на його поверхні сприяють охолодженню абразивних дисків, запобігає їхній "засолюванню" і сприяє віднесенню через отвори перфорованої обичайки аеродинамічно легких часток в аспіраційну мережа.

В другу групу машин фрикційної дії, у яких процес лушення здійснюється, в основному, за рахунок внутрішнього тертя між зерновками, утворює лінтер осьовий і облущувальна машина ШМД.

Установка двох послідовно і незалежно діючих лопатевих барабанів, що дозволяє здійснювати диференційований динамічний режим обробки зерна, а інтенсифікація процесу досягається зміною міжзернового тиску під дією випускного дроселюючого пристрою.

Порівняльні результати роботи облущувальних машин фрикційного принципу дії приведені в таблиці 1.2.

Аналізуючи результати виробничо-технологічних досліджень розглянутих машин слід зазначити, що найбільший ефект лушення досягається в машинах типу А1-ЗШН-3 (перша група) і типу В1-БШР (друга група). Однак їм властивий ряд конструктивних недоліків. Так, у машині А1-ЗШН-3 не цілком використовується робоча поверхня абразивних кіл, а в машині В1-БШР застосоване складне по конструкції дроселюючий випускний пристрій, зайва наявність шнека, що виводить, для відходів лушення, геометрія лопаток вимагає уточнення для зниження зруйнованих

зерен у процесі обробки за рахунок ударного впливу на нього гострих крайок плоских прямокутних лопаток.

Таблиця 1.2 - Результати лушення зерна ячменю машинами фрикційного принципу дії

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Найменування облушувальних машин			
		Джі-ей-джі	А1-ЗШН-3	Лінтер осьовий	ШМД
Конструктивна продуктивність	кг/год	1700	1700	2000	6000
Нелушенні зерна	%	70,00	72,00	77,80	7,48
Подрібненні зерна	%	2,26	2,00	2,42	3,30
Лузга	%	5,89	3,96	4,80	13,20
Мучка	%	4,57	2,84	2,20	0,22
Коефіцієнт лушення	%	28,42	26,84	21,26	92,45
Коефіцієнт цільності ядра	%	0,71	0,80	0,73	0,96
Коефіцієнт лушення	%	20,18	21,43	15,52	88,35

Повноцінна обробка зерна характерна для часток, що знаходяться на периферії зернового шару робочої зони. У свою чергу мінімальне відділення покривних часток властиво центральній частині продуктового потоку. Як показали дослідження Р.Я. Бак [2], диференційований характер обробки зернової маси визначений так називаним ефектом "сухого змащення". Наявність дрібнодисперсних часток покривних продуктів лушення в робочій зоні знижує величину сили внутрішнього тертя, зчеплення між зернівками, коефіцієнта внутрішнього тертя зернової маси.

1.3. Сучасні проблеми в області пневмосепарування продуктів лущення зерна

Резерви підвищення ефективності пневмосепарування продуктів

По класифікації І. Весселя [3,4] повітряні сепаратори розділяються на чотири системи:

- 1) система, що відхиляє;
- 2) рівноважна система;
- 3) система з циркулюючими вихрами;
- 4) поворотна система, зустрічних потоків.

Розглянуті відцентрові повітряні сепаратори в основному знайшли застосування для поділу полідисперсних однорідних матеріалів, таких, як цемент, порошки феросплавів, вугільний пил, абразиви й ін. У свою чергу до готової продукції крупозаводів пред'являються високі вимоги по змісту лузги і мучки. Так, наприклад, у гречаній і рисовій крупі вищого сорту зміст лузги і мучки не допускається. У вівсяній крупі вищого сорту зміст лузги і мучки не повинне перевищувати відповідно 0,05 і 0,3%. Тому при повітряному сепаруванні продуктів переробки круп'яних культур стоїть задача максимального відділення лузги і мучки. Разом з тим через невисокий технологічний ефект існуючих повітряних сепараторів після кожної облущувальної системи і при контролі крупі або лузги пропускати через них продукт не тільки двічі, але іноді і тричі, що передбачено Правилами організації і ведення технологічного процесу на круп'яних підприємствах [5].

Найбільш повні дослідження [6] проведені А.Я. Малісом і А.Р. Демидовим. Авторами стосовно до очищення зерна пшениці були встановлені раціональні конструктивні розміри вертикального робочого каналу для різних зернових навантажень, виявлені залежності ефекту сепарування від швидкості уведення вихідної суміші в робочий канал і від середньої швидкості повітряного потоку в ньому, запропоновані способи зменшення нерівномірності повітряного потоку в робочому каналі.

Вивчення робіт в області пневмосепарування зернопродуктів у вертикальному робочому каналі, показало, що до числа факторів, що роблять найбільш істотний вплив на результати процесу сепарування, відносяться наступні:

- розходження в аеродинамічних властивостях поділюваних компонентів;
- середня швидкість повітряного потоку в робочому каналі;
- ступінь нерівномірності повітряного потоку в каналі;
- питома навантаження продукту;
- швидкість і кут введення суміші в робочий канал;
- форма домішок у суміші (або співвідношення важких і легких компонентів);
- стабільність і рівномірність подачі суміші в зону сепарування й ін.

Вплив зазначених факторів на ефективність процесу сепарування вивчено, головним чином, стосовно до очищення зерна пшениці від аеровідділимих домішок. Деякі з зазначених факторів вивчені недостатньо.

До спроб аналітично визначити ефективність процесу пневмосепарування відноситься робота [9], у якій ефективність підраховується на основі ймовірних характеристик компонентів поділюваної суміші по їхній аеродинамічній ознаці. Однак, пропонована методика не враховує змін основних параметрів процесу і заснована лише на теоретичному факторі - ступеня поділу компонентів.

У пневмосепараторних установках зерноочисного відділення борошномельних заводів застосовують дві групи пневмосепараторів. У машинах першої групи для очищення зерна від аеровідділимої домішки використовується повітря, що звільнилося після операції транспортування продукту. У машинах другої групи до транспортуючого повітря для здійснення процесу сепарування додається повітря, що підсмоктується з робочого приміщення. Низький технологічний ефект пневмосепараторів першої групи є наслідком протиріччя, що полягає в тім, що для

транспортування й ефективного пневмосепарування зерна потрібно різна питома витрата повітря (відповідно - $200 \text{ м}^3/\text{т}$ і - $400 \text{ м}^3/\text{т}$), тобто фактична витрата повітря приблизно вдвічі менше витраті, необхідної на сепарування. Пневмосепаратори другої групи, забираючи повітря з приміщення, створюють у ньому підвищене розрідження і, як наслідок, - підвищений повітрообмін. При цьому погіршується санітарно-гігієнічний стан робочих приміщень, збільшується енергоємність і металоємність пневмотранспортної установки, збільшуються викиди забрудненого повітря в атмосферу.

Головний недолік усіх зазначених вище пневмосепараторів - відносно мала кількість повітря, використовувана для цілей сепарування. Тому для збільшення швидкості повітря в робочому каналі його перетин змушені зменшити, що приводить до створення стиснутих умов для сепарування і, як наслідок, знижує технологічний ефект пневмосепаратора.

Аналітичний огляд показав, що в існуючих пневмосепараторах для сепарування використовуються тільки транспортує повітря або транспортує повітря з додаванням до нього значної кількості повітря з робочого приміщення. При використанні тільки транспортуючого повітря його кількість недостатня для ефективного процесу сепарування. При додаванні до нього повітря, підсмоктованого з приміщення, збільшується вакуум і повітрообмін у робочому приміщенні, підвищуються витрати електроенергії.

Удосконалювання пневмосепарування систем повинне бути спрямоване на обґрунтування раціональних режимних параметрів, конструктивних характеристик приймально-розподільного пристрою і робочого каналу, спрощене регулювання швидкості повітряного потоку в робочому каналі. Це обумовлено тим, що приймально-розподільний пристрій, де відбувається звільнення транспортуючого повітря від продукту, виконує роль первинної осадової камери, від ефективності якої залежить загальний технологічний ефект пневмосепаратора, тому що транспортує повітря далі в робочому каналі здійснює процес сепарування і його чистота

визначає результати очищення зерна від домішок. Робочий канал повинний мати раціональні параметри при постійній ширині, а регулювання швидкості повітря в ньому може бути здійснене за рахунок простого дроселювання циркулюючого потоку. Через малий обсяг приймально-розподільного пристрою поліпшення його осаджуючої здатності може бути досягнуте за рахунок кращої організації повітряного режиму усередині пристрою.

При зміні зернового навантаження змінюється гідравлічний опір його мережі, що викликає зміни продуктивності вентилятора і, отже, швидкості повітряного потоку в робочій зоні. Зміна швидкості приводить до відхилення показників процесу сепарування (коефіцієнта виділення легкого компонента) від значень, які необхідно підтримувати за умовами ведення технологічного процесу.

Тому обґрунтування аеродинамічних характеристик вентиляторів стабілізуючі режими переміщення повітряних потоків у випадку коливання аеродинамічного опору зернових потоків робочій зоні є актуальному і доцільним у створенні агрегатних комплексів.

Напрямки підвищення енергетичної ефективності пневмосистем.

Надійність роботи пневмоустановок в експлуатації, найчастіше важливіше ряду інших показників, у тому числі й енергетичних. Для забезпечення надійної роботи установки звичайно здійснюють процес зі швидкостями повітря, що значно перевищують мінімально можливі. Методи регулювання, покликані забезпечити транспортування з високою надійністю і мінімальними енерговитратами, досить обмежені і теоретично слабо обґрунтовані. Питання стійкості транспортування в часі в спеціальній літературі практично не розглянуті, хоча в багатьох роботах відзначаються тимчасові фактори, що обурюють, викликані зміною продуктивності, утворенням пробок і агломератів, збільшенням (зменшенням) кількості матеріалу.

На енергетичні показники роботи пневмотранспортної установки основний вплив робить швидкість повітря; причому зниження її веде до зменшення енерговитрат на процес. Однак, зниження швидкості повітря нижче визначеної величини приводить до порушення стійкості і припиненню пневмотранспортування. Тому за критерій стійкості роботи пневмотранспортної установки приймають швидкість (витрата) повітря. Якщо у визначений момент часу витрата повітря в матеріалопроводі $Q_{\text{вт}}$ буде менше якогось припустимого значення $Q_{\text{вт min}}$, процес припиниться.

Причинами зміни параметрів пневмотранспортування, у тому числі швидкості (витрати) повітря, є коливання продуктивності живильного пристрою або технологічної лінії, що подає продукт на пневмотранспортер, утворення агломератів матеріалу, зміна положення робочих органів регулюючих пристроїв і т.д. Вищевказані фактори впливають на опір мережі, від величини якого залежать продуктивність повітрорудної машини, витоку повітря з устаткування установки і т.п., що приводить до зміни швидкості (витрати) повітря в матеріалопроводі і концентрації матеріалу в аеросуміші.

Таким чином, простежується взаємовплив параметрів пневмотранспортування і зміна їх у часі.

Аналіз дозволив установити напрямки удосконалювання процесу пневмотранспортування, збільшення ступеня використання твердими частками енергії повітряного потоку і можливості переміщення сипучого матеріалу при менших видаткових швидкостях повітря може бути досягнуте з використанням наступних заходів і способів удосконалювання форми перетину матеріалопроводів:

- 1) ступінчаті матеріалопроводи;
- 2) матеріалопроводи кільцевого і не круглого поперечного перетину;
- 3) удосконалювання конструкції прийомних пристроїв.

1.4. Напрямки удосконалювання облушувальних комплексів

Проведений аналіз способів лушення зернових матеріалів свідчить як про можливість подальшого удосконалювання режимів обробки, так і про необхідність знаходження нових підходів і прогресивних прийомів відділення покривних тканин, створення сучасних технологічних засобів для реалізації основних технологічних операцій комбікормових і круп'яних виробництв [6].

Ефективним шляхом рішення проблем енергетики забезпечення високої якості обробки зерна є використання комбінованих способів відділення покривних оболонкових поверхонь з аеросепаруванням. Нові принципи конструювання облушувальних комплексів повинні бути засновані на використанні переваг устаткування багатофункціонального призначення й агрегатів автономного використання, розширення їхніх технологічних можливостей.

Природа зв'язків оболонок зерна різних круп'яних культур обумовлює можливість їхнього поділу різними способами при істотно різних умовах механічного навантаження ударними чи розтиральними впливами. Дослідженнями впливу умов навантаження на ефективність процесу лушення встановлена складна залежність комбінованих способів обробки не тільки від принципу реалізації напруг зрушення, сил зв'язку, способів підготовки зерна, але і фізико-механічних властивостей зернової маси - її структурних характеристик.

Аналіз способів впливу на сипучі матеріали дозволить установити найбільш технічно раціональні і технологічно доцільні способи лушення і принципи їхньої реалізації з застосуванням роторно-дискових машин, що сполучають абразивно-ударне з аеродинамічним впливом на зернову масу.

Одним з можливих напрямків рішення поставленої задачі є удосконалювання конструктивно-функціональних характеристик робочих органів абразивних облушувальних машин. Їхня реалізація може бути досягнута шляхом збільшення активного обсягу робочої зони за рахунок

сполучення силових полів фрикційного ударного й аеродинамічного впливу, що дозволяє збільшити довжину шляху і час перебування зерна в робочій зоні, створити умови повнокровного контакту всієї поверхні зерна як з торцевої, так і з бічними поверхнями дисків за рахунок усунення ефекту "сухого змащування".

Підтверджена можливість інтенсифікації процесів луцення, зменшення кількості етапів обробки зерна за рахунок усунення ефекту "сухого змащення" способом пневмосепарування. Разом з тим реалізація аеродинамічного способу сепарування шляхом створення спрямованих повітряних потоків, створюваних відцентровими крильчатками обмежена числом оборотів абразивного ротора на якому вони жорстко фіксуються. Через низьке число оборотів вмонтованих вентиляторів (до 1000 хв^{-1}), спрямовані повітряні потоки характеризуються величиною повного тиску не достатньої для подолання сумарного аеродинамічного опору зернового шару і ситової обичайки при якому має місце стійкий ефект пневмосепарації. Усунення цього недоліку припускає використання зовнішніх пневмотранспортних систем при використанні вентиляторів високого тиску. Однак спільна робота зовнішніх і внутрішніх вмонтованих вентиляторів здійснюється в "критичній області" сумарної характеристики аеродинамічної системи, у якій вентиляторні крильчатки абразивного ротора є аеродинамічним опором. Такого роду ефект характерний для послідовної роботи високо- і низьконапірних вентиляторів, коли характеристики вентилятора середнього тиску знаходяться не в I-му, а в IV-му квадранті системи координат. У цьому зв'язку правилами проектування аеродинамічних систем спільна робота високонапірних і низьконапірних вентиляторів не рекомендується. Більш доцільним, на наш погляд, представляється використання зовнішніх напірних систем, що дозволить усунути ефект "сухого змащення" при більш низьких енерговитратах і спростити конструкцію облущувальних систем.

Другий напрямок інтенсифікації процесів лушення, засноване на усуненні ефекту "сухого змащення" [10]. В роботі доводиться можливість удосконалювання процесу перемішування (міграції зернівок у рамках обсягу робочої зони з периферії в центральну частину і назад) за рахунок зміни геометричних характеристик зони обробки зерна. Зокрема, установлено, що використання дискової периферії абразивних кіл дозволяє за рахунок створення радіальних направляючих сил тертя динамічно змінювати структуру зернового потоку по напрямку руху зернового середовища в міждисковому просторі. Разом з тим у розширювальних поверхнях міждискового простору утворюються застійні зони, де має місце надлишкова обробка зерна, що у свою чергу приводить до надлишкового утворення мучки, засолюванню торцевої поверхні абразивних кіл, росту енергоємності процесу лушення. У цьому зв'язку актуальним є обґрунтування геометрії робочої зони міждискового простору, що ліквідує виникнення застійних зон.

Як відомо зернопереробне устаткування, у тому числі й абразивні машини, аеродинамічні сепарувальні пристрої мають значні коливання продуктивності. До напрямків удосконалювання облушувальних комплексів варто віднести задачі стабілізації подачі зерна в робочу зону агрегатів для лушення і аеродинамічних сепараторів.

Висновки

1. Існуючі облушувальні комплекси мають разом з недоліками і відносно невисокий технологічний ефект. Їхнє подальше удосконалювання повинне бути спрямоване на виявлення і реалізацію резервів підвищення ефективності лушення, пневмосепарування на основі теоретичних і експериментальних досліджень у всіх складних елементах облушувальних систем робочих органів, внутрішньої і зовнішньої пневмосепараційних систем пневмоустановки.

2. Очевидно, що інтенсифікація пневмосепарування дрібнодисперсних продуктів лущення, обґрунтування раціональної геометрії робочої зони фрикційної обробки зерна, є перспективним напрямком мінімізації операцій, енергоємності процесів крупотворення. Методи розрахунку конструктивних і технологічних параметрів таких конструкцій комплексних систем лущення відсутні.

3. Стабілізація технологічної ефективності, мінімізація поопераційності процесів лущення, можуть бути забезпечені сполученням фрикційного відділення оболонок з аеродинамічним пневмосепарування і пневмотранспортування зернових сумішей, усуненням ефекту «сухого змащення».

4. Обґрунтування необхідних і достатніх умов комбінованих процесів лущення - впливу на зернові матеріали обмежено відсутністю комплексних досліджень - фрикційних, аеродинамічних, силових впливів з боку енергетики, якості обробки поверхні зерна, аеромеханіки повітряних потоків.

2 МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальна характеристика експериментальних досліджень процесу лушення. Програма досліджень

При складанні моделі процесу лушення був зроблений ряд допущень, справедливості яких необхідно перевірити експериментально. Дослідження математичної моделі робочої зони облушувальної машини дозволили одержати вираження для визначення продуктивності процесу лушення і затрачуваної енергії. Разом з тим, виявити аналітичні залежності між продуктивністю, кількістю відходів, змістом битих зерен і потужності електроспоживання облушувальної машини від керуючих параметрів процесу і конструктивних особливостей машини не вдається через складність і різноманіття явищ, що відбуваються при цьому. Одержати такі залежності можна на основі аналізу експериментальних даних. У сполученні з аналітичними вираженнями вони дозволяють прогнозувати процес, доповнити й уточнити методику інженерного розрахунку.

Відповідно до задач роботи була складена програма експериментальних досліджень процесу лушення зерна ячменя і пшениці (табл. 2.1). На підставі аналізу робіт в області обробки сипучих зернових матеріалів запропонована параметрична схема процесу, у якій виділені вхідні керуючі, а також вихідні керовані і параметри, що спостерігаються, визначальну результативність процесу лушення зерна з досягненням рівномірності обробки його поверхні (рис. 2.1). Стосовно до конструкції абразивно-дискової облушувальної машини безперервної дії в якості керуючих параметрів процесу, що рекомендуються, лушення з досягненням рівномірної обробки поверхні зернівок і відділенням оболонок можуть бути обрані: окружна швидкість обертання абразивних дисків, кут нахилу направляючого конуса α , радіальний зазор абразивного диска δ і ситової

обичайки, коефіцієнт заповнення зерном робочої зони f .

Таблиця 2.1 - Програма експериментальних досліджень

Напрямок досліджень	Параметри	
	Постійні	Змінні
Попередні експериментальні дослідження процесу лушення зерна пшениці і ячменя. Експериментальне визначення залежності продуктивності облушувальної машини, кількості відходів лушення, вмісту битих зерен і потужності електропривода від технологічних параметрів процесу лушення.	$D, D_{об}, h, n, H, v$	$\alpha, \delta, \omega, f$
Дослідження процесу лушення зерна в абразивно-дисковій машині: а) визначення залежності продуктивності машини від режимних параметрів; б) визначення залежності, кількості відходів лушення від режимних параметрів; г) визначення залежності, потужності споживаної облушувальної машиною від режимних параметрів	$D, D_{об}, h, n, H, v$	$\alpha, \delta, \omega, f$

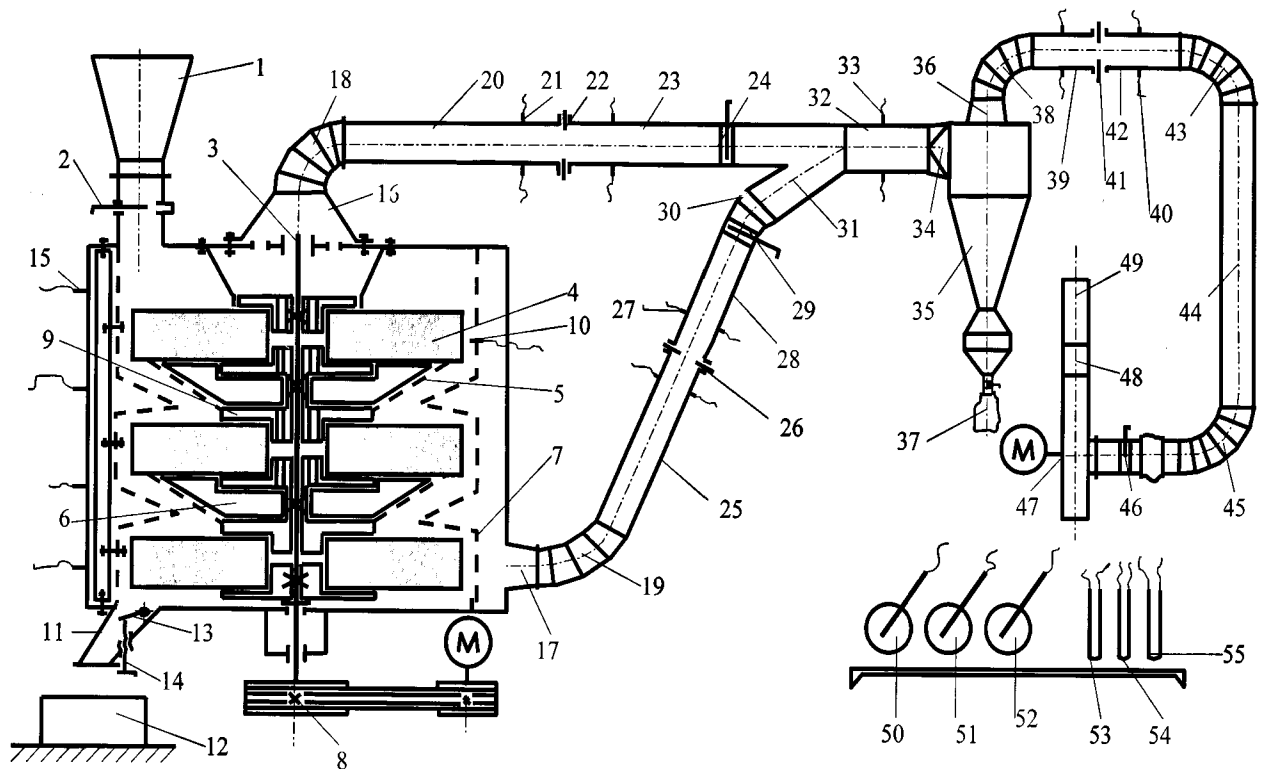


Рисунок 2.1 - Схема експериментальної установки абразивно-дискової лущильної машини: 1 - завантажувальний пристрій; 2- засувка регулювання ступеня заповнення робочої зони; 3 - вал ротора; 4 - абразивні диски; 5 - ситова обичайка; 6 - випускний пристрій; 7 - клапан регулювання міжзернового тиску в робочій зоні; 8 - пневмоприймач; 9 - пневмоколонка; 10 - шлюзовий затвор; 11 - ваги; 12,13 - відповідно ємності для збору продуктів лущення відносів; 14 - вентилятор; 15 - циклон; 16 - регулювальні засувки; 17 - мікроманометри, диференціального і стаціонарного виду; 18,19,30,38,43,45 - відводи; 20,23,25,28,32,39,42,44,49 - повітрепроводи; 22,26,41 - діафрагми з центральним отвором; 24, 29,46 - засувки; 31 - трійник; 35 - циклон; 37 - збірник відходів лущення; 47 - вентилятор з електроприводом; 50,51,52 - рідинні мікроманометри ММН-250; 53,54,55 - U - образні манометри.

Вхідними конструктивно-установочними параметрами машини можуть бути: діаметр абразивного диска D , внутрішній діаметр ситового циліндра $D_{об}$, радіальний зазор a , висота диска h , кількість абразивних дисків

n , висота усічено-конічної лійки H і зазор b між нижньою підставою конуса і поверхнею абразивного диска.

Ефективність обробки залежить від збурюючих параметрів: значень вологості зерна W , зольності Z_3 , кількості клітковини K_3 . До вихідних параметрів можна віднести вихід обробленого зерна C_{03} ; вміст битих зерен ΔB , відходів лушення $C_{0ш}$ і залишковий вміст клітковини K_{03} , зольність Z_{03} і питома витрата енергії на процес N_{Π} .

Вихідні параметри (рис. 2.2) можуть бути використані для загальної оцінки процесу й умов оптимізації оброблювальної операції шляхом використання даних інтенсивності обробки поверхні зернівок, установлення технологічної продуктивності машини і визначення раціональної витрати енергії на процес обробки одиниці маси продукту.

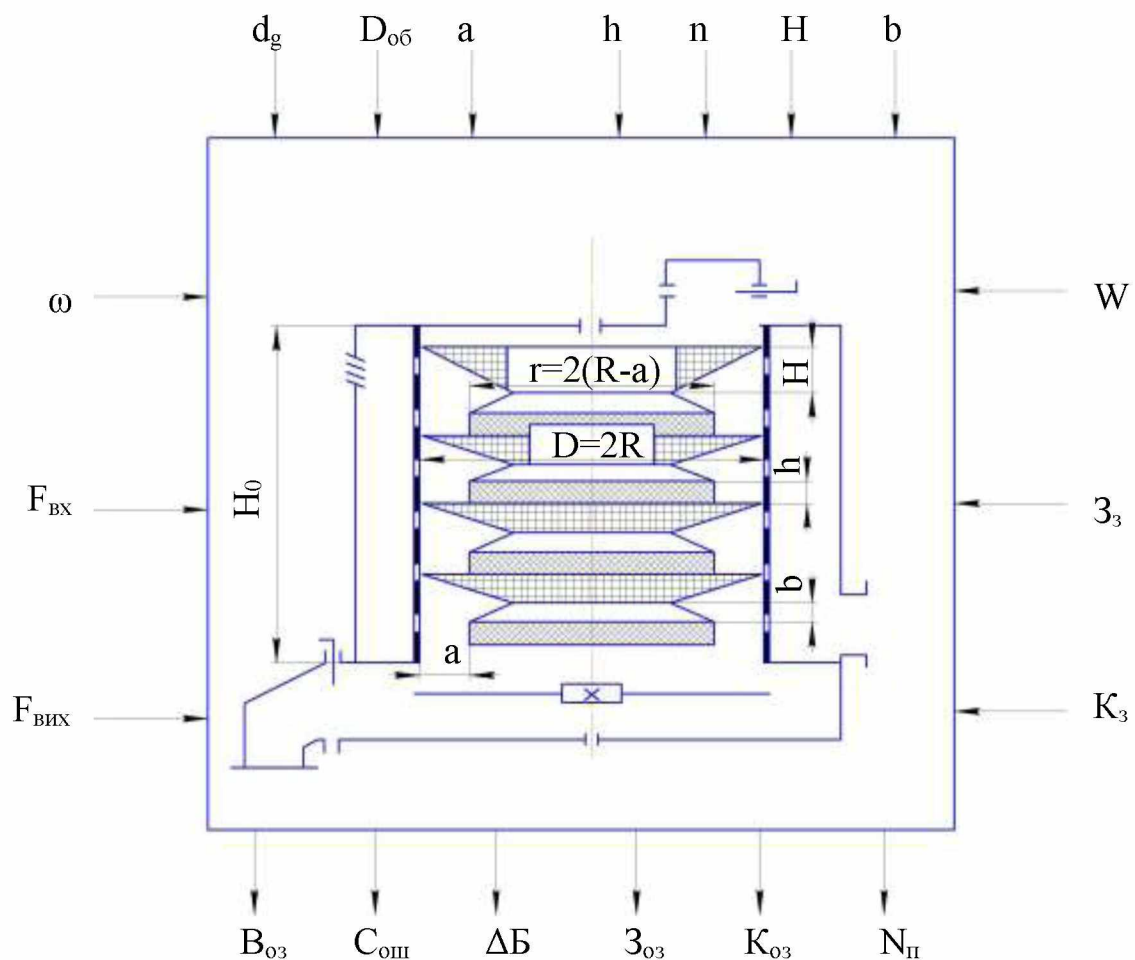


Рисунок 2.2 – Параметрична схема процесу лушення

2.2. Методика експериментальних досліджень

Для комплексної оцінки якості продуктів лушення використовували розрахункові вираження, отримані відповідно до рекомендацій [14].

Для більш повного опису процесу лушення використаний експериментально-статистичний метод. Не вникаючи у внутрішню структуру, розглянутий процес, як єдине ціле, і змодельований зв'язок між вхідними і вихідними параметрами. Така модель буде характеризувати властивості при визначених діапазонах зміни вхідних і вихідних параметрів. Використано прямий спосіб обчислення коефіцієнтів регресійних моделей, тому що ефективність використання кореляційного аналізу зв'язана з дотриманням ряду умов, що важко здійсненні в обстановці реального виробництва [15].

Досліджуваний процес дозволяє провести активний експеримент, заснований на використанні штучних збурювань, що вводяться по заздалегідь спланованій програмі. Активний підхід до експерименту в сполученні з методом планування дозволяє одержати необхідні результати, затративши мінімальні засоби і час на проведення досліджень. Таким чином, для побудови математичної моделі процесу лушення використаний регресійний аналіз, а для одержання експериментальних даних - активний експеримент.

Вибираємо наступну стратегію експериментальних досліджень: формулювання мети, висування гіпотези, планування експериментів, проведення експериментів, обробка й аналіз результатів, перевірка правильності висунутої гіпотези, висування нової гіпотези, перевірка умов закінчення експерименту, проведення при необхідності повторних експериментів.

Характер протікання процесу лушення зерна в абразивно-дисковій машині детермінованим чином залежить від величини кута при підставі усіченого конуса робочої зони машини - α , радіального зазору між диском і ситом - δ , частоти обертання вала - n і ступеня дроселювання зернового

поток - k .

Основними вихідними параметрами або характеристиками процесу є продуктивність по зерну - Q , кількість відходів лушення - $C_{\text{оп}}$, вміст битих зерен - ΔB і потужність електроспоживання - N .

Вивчення процесів лушення зерна проводили в наступній послідовності: зразок зерна досліджуваної культури завантажували в бункер 1, потім робили його обробку в машині з установленими геометричними, механічними, а також аеродинамічними характеристиками пневмоприймальних пристроїв. Кінцевий продукт виводився в короб 12, після чого проводили зачищення машини, визначали матеріальний баланс продуктів лушення, розділяли їх на ситах і в аспіраційному стовпчиківі і відбирали зразки для аналізу.

Моделювання різних режимів роботи пневмоприймачів різних схем руху потоків здійснювали за допомогою системи повітропроводів, приєднаних до машини.

Моделювання різних величин витрат повітряного потоку проводили за допомогою дросельних засувки 24, 29, 46 (рис.2.1). Герметизацію фланцевих з'єднань виконували з застосуванням прокладок з листової гуми з наступною шпаклівкою усіх видів нещільностей.

При проведенні експериментальних досліджень зразок масою 10 кг засипали в прийомну лійку і піддавали лушенню в машині з установленими геометричними і кінематичними параметрами, проводили виміри.

Основні параметри повітряного потоку визначали відповідно до методики [16], причому враховувалися похибка на температуру і тиск навколишнього середовища, у випадку їхнього відхилення від нормативних на 4%.

Установку перевіряли на герметичність шляхом створення розрідження в машині і пневмотранспортній системі і контролю показань манометрів, що були підключені до штуцерів добору тиску в різних місцях на

корпусі машини й аспіраційній системі. Відсутність перепаду тисків свідчила про герметичність машини.

Частоту обертання ротора вимірювали строботометром 2ТСТ32-456 з паспортною погрішністю $\pm 0,5$.

Колову швидкість абразивних дисків розраховували по формулі:

$$V = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{2 \cdot 30}, \quad (2.1)$$

де D - діаметр абразивного диска, м; n - частота обертання ротора машини, хв^{-1} .

Витрата енергії визначали за допомогою переносного комплексу К50 з паспортною погрішністю $\pm 0,5$.

Витрата повітря, що відсмоктується вентилятором пневмоприймача, вимірили з використанням діафрагм, попередньо відтарованих по колекторах, по дузі окружності $R=0,3D$ і установленими у вхідному перетині повітропроводів, відєднаних від машини.

Продуктивність повітряного потоку, що проходить через пневмосепараційну колону, визначали за допомогою діафрагми, попередньо таровану по колекторі установленому у вхідному перетині прямолінійної ділянки.

Повний тиск у характерних місцях визначали як суму статичного $H_{\text{ст}}$ і динамічного $H_{\text{д}}$ тисків:

$$H = H_{\text{ст}} + H_{\text{д}}. \quad (2.2)$$

Величину $H_{\text{д}}$ визначали по залежності:

$$H_{\text{д}i} = 1/2 \rho_e V_i^2, \quad (2.3)$$

де V_i - швидкість повітряного потоку в i -м перетині повітропроводу.

Значення аеродинамічного опору пневмоприймача визначили по залежності:

$$\sum_{i=1}^n \zeta = \frac{2H_{nm}}{\rho_A Q^2} F^2, \quad (2.4)$$

де H_{nm} - витрати тиску при переміщенні повітряного потоку з навоколишнього середовища.

При розробці методики експериментів і обробці експериментальних даних враховувалися вимоги стандартів, а також рекомендації, приведені в літературних джерелах.

При визначенні необхідного числа повторностей експериментів виходили з основного правила: якщо систематична помилка є визначальною, тобто її величина істотно більша величини випадкової помилки, властивому методіві, то досить виконати вимір один раз, якщо випадкова помилка є визначальною, то вимір варто робити кілька разів. Перевірку здійснювали за критеріями Ω і W згідно стандартів. Визначення числа повторностей експериментів робили за загальноприйнятою методикою за допомогою розподілу Стюдента, а також по таблиці Романовського В.И. [15] при рівні надійності $y = 0,95 - 0,99$ і припустимій помилці 5%.

При обробці експериментальних даних розраховували середнє значення ознаки і виправлене середнє квадратичне відхилення.

Для перевірки точності експерименту розраховували систематичні і статистичні помилки. Систематичні помилки, що показують міру точності експерименту, визначали для безпосередніх вимірів з урахуванням точності методу і приладів.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Теоретичне обґрунтування режимних, конструктивних параметрів облушувальних комплексів

Процес лущення зерна з відділенням оболонок в абразивно-дисковій машині відбувається в кільцевому шарі, утвореному поверхнями абразивного диска і направляюче-роздільного усічено-конічного пристрою, де створюються умови, при яких обробка зерна ячменя, пшениці й інших культур відбувається в обсязі з трапециїдальною формою перетину цього шару в радіальному перетині ротора машини.

Для теоретичного обґрунтування процесу в радіальному перетині (рис 3.1) розглядаються вхідний і вихідний зазори, що формують і забезпечують обробку зернового шару в складному полі під дією сил руху і фрикційного опору при допущенні нерівності коефіцієнтів зовнішнього і внутрішнього тертя. Специфічні особливості дії робочих органів, що складаються з набору швидкообертаючих дисків, забезпечують зв'язок контактуючих шарів сипучого матеріалу на основі факторів зовнішнього тертя щодо поверхні абразивних дисків і зовнішнього тертя про поверхні усічено-конічних нерухомих елементів, що забезпечують відділення покривних структур від ядра. У зв'язку з розходженнями форм і міри силових факторів тертя зернового потоку в середній силовій зоні діють зсувні процеси зі зміною напрямку швидкостей шарів зерна на основі внутрішнього фрикційного зв'язку, що характеризується коефіцієнтом внутрішнього тертя. При цьому спостерігається складна динамічна формозміна і деформування кістяка укладання зерен під дією комплексу внутрішніх і зовнішніх сил, що обумовлюють цю складну деформацію з результируючим процесом відділення оболонок від ядра. Зазначені умови обробки під дією напруженого стану шару зерна викликало необхідність аналізу плоскої силової задачі.

$$N_B = \frac{N_H \operatorname{tg} \varphi_H}{\sin \alpha + \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi_\partial}. \quad (3.4)$$

Підстановкою в (2.2) одержимо:

$$m \frac{dv_y}{dt} = P_u - 2N_H \operatorname{tg} \varphi_H. \quad (3.5)$$

Так как $v_{x \max} = v_y \operatorname{tg} \alpha$ і $v_{x \min} = 0$.

Тоді

$$v_x = \frac{v_y}{2} \operatorname{tg} \alpha. \quad (3.6)$$

Підставивши (3.6) у (3.1) одержимо:

$$\frac{m \operatorname{tg} \alpha}{2} \frac{dv_y}{dt} = N_B (\cos \alpha - \sin \alpha \operatorname{tg} \varphi_H) - N_H + mg. \quad (3.7)$$

Підстановкою значення N_B з (3.4) і (3.7), а значення $m \frac{dv_y}{dt}$ з (3.5) після перетворення одержимо:

$$P_u \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2} - N_H \operatorname{tg} \varphi_H \operatorname{tg} \alpha = N_H \frac{(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \varphi_H}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \varphi_\partial} - N_H + mg. \quad (3.8)$$

Тоді після перетворень одержимо вираження для N_H :

$$N_H = \frac{\left(P_u \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2} - mg \right) \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_\partial)}{(\operatorname{tg} \varphi_H \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_H)) + \operatorname{tg} \varphi_H - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_H)}, \quad (3.9)$$

позначивши $A = \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_\partial)}{(\operatorname{tg} \varphi_H \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_H)) + \operatorname{tg} \varphi_H - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_H)},$

одержимо:

$$N_H = A \left(P_u \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2} - mg \right). \quad (3.10)$$

Виразення для визначення потужності:

$$N = \frac{2}{3} A \pi^2 f \omega_\partial (0,5 \omega_\partial^2 \rho \operatorname{tg} \alpha + g) (R^2 + r_0^2) (R^3 + r_0^3), \quad (3.11)$$

де

$$A = \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi_\partial)}{(\operatorname{tg} \varphi_H \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_\partial)) + \operatorname{tg} \varphi_H - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_H)}.$$

Таким чином, потужність є функція:

$$N = \Phi(\alpha, \varphi_{\partial}, \varphi_H, f, \rho, R, r_0),$$

де R, r_0 - конструктивні параметри;

$\varphi_{\partial}, \omega_{\partial}$ - кінематичний параметр;

φ_H, ρ, f - фізичні параметри продукту.

Отримані дані дозволяють визначити техніко-економічну ефективність, показники питомої витрати енергії.

3.2. Аналітична оцінка ефективності пневморозділення

Основу принципу пневмосепарування складає відмінність аеродинамічних властивостей частинок компонентів, що розділяються. У спрощеному вигляді процес розділення частинок в повітряному потоці із швидкістю v_{Π} можна представити таким чином. Якщо у висхідному потоці повітря знаходяться дві частинки – перша із швидкістю витання $v_{\text{вит.1}} < v_{\Pi}$, а друга – з швидкістю $v_{\text{вит.2}} > v_{\Pi}$, то перша частинка нестиметься потоком вгору, а друга – випадати з нього вниз. Проте, в реальній суміші швидкість витання для кожного компоненту сипкого матеріалу є випадковою безперервною величиною, яка може приймати будь-яке значення в певному діапазоні. Тому поділ двокомпонентної сипкої суміші повітряним потоком визначається по кривим (або полігонам) розподілу швидкості витання легкого і важкого компонентів.

Повітряний потік в робочому каналі, де відбувається розділення, нерівномірний. Отже, швидкість повітряного потоку в будь-якому перетині робочого каналу, також як і швидкість витання компонентів, є випадковою безперервною величиною, яка може приймати будь-яке значення між мінімальною і максимальною величинами. Тому, навіть коли між кривими розподілу є розрив, найбільш сприятливий з погляду поділу суміші, в реальних процесах не відбувається повного розділення компонентів.

Сумісний аналіз функції розподілу швидкостей витання $\Phi_L(v)$ легкого і $\Phi_m(v)$ важкого компонентів, а також повітряного потоку $\Phi_n(v)$ в робочому каналі і обчисленні ефекту виділення легких домішок (легкого компоненту) – η_L , вміст важкого компоненту в понесеній повітряним потоком легкої фракції – Z_{om} по формулах дозволяє провести оцінку процесів сепарацій:

$$\Psi_T = \int_{V_{T1}}^{V_{T2}} \Phi_T(V) \cdot f_n(V) dv, \quad (3.12)$$

$$\eta_L = \Phi_L(V) f_n(V) dV, \quad (3.13)$$

$$Z_{om} = \frac{\varepsilon_u \Psi \tau}{\varepsilon_u \Psi \tau + \eta_L} \cdot 100\%, \quad (3.14)$$

де Ψ_T - коефіцієнт виносу важкого компоненту;

ε_u - відношення маси важкого компоненту до маси легкого компоненту ($\varepsilon_u = m_T/m_L$) в вхідній суміші.

Умови сепарації обмежуються наступними допущеннями:

- через одиницю площі перетину каналу в межах будь-якої крапки в одиницю часу проходять постійні кількості легкого і важкого компонентів;
- однаковою є щільність розподілу швидкостей витання компонентів, що потрапили на будь-яку елементарну частинку перетину розділення.

З метою застосування в розрахунках залежностей (3.12), (3.13), (3.14) методів математичної статистики, криві розподілу замінені емпіричними розподілами швидкостей витання компонентів і повітряного потоку. В цьому випадку значення η_L и Ψ_T визначається сумою твору функції розподілу $\Phi_L(v_i)$ і приростом $\Phi_n(v_i)$ для кожного класового проміжку Δv . Вказані параметри можуть бути визначені по наступних формулах:

$$\eta_L = \sum_{i=1}^n \Phi_L(V_i) [\Phi_n(V_i) - \Phi_n(V_{i-1})], \quad (3.15)$$

$$\Psi_T = \sum_{i=1}^n \Phi_n(V_i) [\Phi_n(V_i) - \Phi_n(V_{i-1})] \quad (3.16)$$

Тут варіанту $i = 1$ відповідає початку полігону розподілу $\Phi_n(v)$, варіанту $i = n$ відповідає кінцю полігону розподілу $\Phi_n(v)$, n – число

класових проміжків Δv . у розмаху емпіричного розподілу повітряного потоку $R = v_n - v_1$. Залежності (3.15) і (3.16) враховують головні: аеродинамічні властивості компонентів, що розділяються, середню швидкість повітряного потоку в робочому каналі і ступінь нерівномірності потоку, концентрацію домішок в суміші. Що стосується решти чинників, то вони можуть бути враховані відповідними коефіцієнтами, які можна отримати емпіричним шляхом.

Використання комплексних коефіцієнтів K_n і K_T для кожного компоненту, що враховують зернове навантаження $q_{уд}$, умови введення суміші, що розділяється, в робочий канал (попереднє розшарування, швидкість і кут введення) і інші чинники, рівняння (3.15) і (3.16) приймають наступний вигляд:

$$\eta_n = K_n \sum_{i=1}^n \Phi_n(V_i) [\Phi_n(V_i) - \Phi_n(V_{i-1})], \quad (3.17)$$

$$\Psi_T = K_T \sum_{i=1}^n \Phi_m(V_i) [\Phi_n(V_i) - \Phi_n(V_{i-1})]. \quad (3.18)$$

Враховуючи, що $\Delta\Phi_n(V_i) = \Phi_n(V_i) - \Phi_n(V_{i-1}) = f_n(V_i)$, формули (3.17) і (3.18) перетворюються в систему:

$$\eta_n = K_n \sum_{i=1}^n \Phi_n(V_i) f_n(V_i); \quad (3.19)$$

$$\Psi_T = K_m \sum_{i=1}^n \Phi_m(V_i) f_n(V_i). \quad (3.20)$$

Зростання значення η_n при одночасному зменшенні значення Ψ_T є суперечністю, для часткового дозволу якого зазвичай нормують значення $z_{ом}$. У виробничій практиці зернопереробних підприємств значення змісту основного зерна або повноцінного продукту в отношениях обмежують значенням $z_{ом.н} = 2\%$.

Для забезпечення кращих показників ефективності пневмосепарування даної суміші в даному робочому каналі, необхідно встановити оптимальну

середню швидкість повітряного потоку $V_{\text{к.опт}}$. Практично це забезпечується регулюванням повітряного потоку в робочому каналі.

Кращий ефект може бути досягнутий при меншому ступені нерівномірності повітряного потоку, тобто при меншому розмаху емпіричного розподілу повітряного потоку $R = v_n - v_1$.

Отримані залежності дозволяють аналітично по відомому полю швидкостей повітряного потоку в перетині розділення або поблизу нього і по відомих ймовірнісним характеристиках компонентів суміші за швидкістю витання при відомому співвідношенні компонентів розраховувати приблизно показники ефективності пневмосепарування, не проводячи самого процесу. Це дозволяє прогнозувати можливі показники технологічної ефективності.

3.3 Визначення граничних деформацій зернових матеріалів

Властивості зерна визначають можливості інтенсивного відділення покривних тканин з його поверхні при максимальному збереженні цілого ядра в процесі лущення. Вони роблять вирішальний вплив на характер подрібнення оболонок зерна. Цими властивостями встановлюється співвідношення великих частинок, що отримуються при подрібненні зерна в ідентичних умовах. Від них залежать і питомі витрати енергії на здійснення технологічних процесів лущення і подрібнення зерна.

Поєднання методів обробки експериментальних даних і математичного аналізу отриманих результатів дозволило скласти математичні залежності досліджуваних параметрів від вказаних чинників. Аналітичні дослідження отриманих математичних моделей покладені в основу висновків про характер вивчених залежностей і напрями їх практичного використання.

Для експериментальних досліджень деформативних властивостей відбиралися зразки зерна пшениці і ячменю відповідної склоподібності C (40, 60 і 80%). Зразки зберігалися в ексикаторі і перед випробуваннями

піддавалися контрольній перевірці на вологість B (12,6,15,0 і 18,0%). В процесі випробувань одиночні зерна піддавалися вимірюванню найменшого розміру ($c_{н,мм}$) і навантажувалися стискаючими зусиллями (P , Н) з кроком 2,5Н. При кожному навантаженні реєструвався поточний розмір зерна ($c_{0,мм}$). Унаслідок незначних відмінностей в результатах вимірювань виявилось доцільним збільшити крок зусиль вантаження до 5Н і здійснювати вимірювання до появи видимих ознак руйнування зерна. За наслідками вимірювань обчислювалися величини відносних деформацій:

$$\Delta C_i = \frac{C_{ni} - C_{oi}}{C_{ni}} \quad (3.21)$$

і встановлювалися залежності відносних значень повних деформацій $\Delta C = f(P, B, C)$ від вантаження, вологості і склоподібності зерна. Після відповідних вимірювань навантаження знижувалося і проводилися вимірювання залишкових (пластичних) деформацій. Розраховані по прийнятій формулі значення $\Delta C_{п}$ використовувалися для отримання математичних залежностей відносних значень пластичних деформацій $\Delta C_{п} = \varphi(P, B, C)$ від вантаження, вологості і склоподібності зерна. Відносні значення пружних деформацій обчислювалися виходячи з припущення про рівність повної деформації сумі пластичної і пружної деформацій:

$$\Delta C_y = \Delta C - \Delta C_{п} = f(P, B, C) - \varphi(P, B, C).$$

Порівняння отриманих результатів вимірювання відносних деформацій зерна пшениці (при $B=12,6\%$ і $C=50\%$) і ячменю (при $B=12,6\%$ і $C=40\%$) показало їх повну ідентичність і підтвердило можливість використання отриманих залежностей для обох культур (табл. 3.1).

Результати вимірювань і обчислень (табл.4.1) дозволили встановити величини середніх квадратичних відхилень σ розрахункових значень від фактичних результатів вимірювань і коефіцієнтів варіації v , які свідчать про достатнє їх наближення і можливість вивчення закономірностей зміни відносних величин пластичної, пружної і повної деформацій від умов проведення випробувань.

Таблиця 3.1 - Експериментальні і розрахункові значення відносних деформацій зерна при стисненні

Умовн. навантаж.	Повна деформація, ΔC		Пластична деформація, $\Delta C_{\text{п}}$		Пружна деформація, ΔC_{y}	
Стат. парам.	фактична	розрахун- кова	фактична	розрахун- кова	фактична	розрахун- кова
Зерно пшениці вологістю $B=12,6\%$ і склоподібністю $C=50\%$						
5	0,07	0,08755	0,02	0,0154	0,05	0,07215
10	0,10	0,14548	0,03	0,03210	0,07	0,11338
15	0,16	0,17441	0,05	0,04910	0,11	0,12531
20	0,20	0,18850	0,06	0,06640	0,14	0,12219
25	0,24	0,19728	0,08	0,08390	0,16	0,11338
Сер. кв. відх. σ	0,03014		0,00406		0,03194	
Коеф.вар. ν		19,57		8,46		30,13
Зерно ячменю вологістю $B=12,6\%$ і склоподібністю $C=40\%$						
5	0,11	0,10197	0,04	0,0299	0,07	0,07207
10	0,16	0,17366	0,06	0,0711	0,10	0,10256
15	0,18	0,22199	0,07	0,1181	0,11	0,10389
20	0,24	0,26444	0,12	0,1692	0,12	0,09524
25	0,29	0,30853	0,19	0,2236	0,10	0,08493
30	0,36	0,35627	0,28	0,2808	0,08	0,07547
Сер. кв. відх. σ	0,02224		0,03185		0,01229	
Коеф.вар. ν		9,96		25,15		12,72

Аналізом відносних деформацій зерна різної вологості при різних зусиллях стиснення (табл.4.2) встановлено, що збільшення останніх сприяє зростанню пластичних і повних деформацій. Пружні деформації при зростанні навантажень зменшуються. Основною складовою повних деформацій при високих вологостях є пластичні деформації, які в 2...7 разів

перевищують пружні. Для низьких вологостей основну складову повних деформацій формують пружні деформації, які в 1,5...4 рази перевищують пластичні.

3.4 Дослідження режимних параметрів лушення

Для обґрунтування технологічних режимів процесу лушення зерна необхідно заздалегідь визначити основні закономірності поєднання процесів що протікають в комбінованій облушувальній машині.

Для визначення впливу на лушення зерна різних чинників проводили попередні дослідження на експериментальній установці. Для цього проводили пробні пропуски зерна через абразивно-дискову дробарку і встановлювали вплив початкових даних зерна на показники якості готової продукції і енергетичні показники процесу.

Залежність продуктивності Q (а), кількості битих зерен B (б), відходів лушення $C_{ш}$, (в), потужності електроприводу N (с) від кута усіченого конуса робочої зони α і, радіального зазору δ в облушувальній машині для ячменю (1_я, 2_я) і пшениці (1_п, 2_п) приведена на рис. 3.2 і рис. 3.3.

Аналіз графічних результатів показує, що в процесі лушення зерна ячменю підвищення радіального зазору в межах 5...25 мм приводить до підвищення пропускної спроможності машини від 0,75 до 1,5 т/год. Проте вихід відходів лушення ячменю при цьому знижується від 8 до 5,5 % при одночасному зниженні кількості зруйнованих зерен від 3,0 до 2,5% і зниженню витрат енергії на процес від 28 до 16 кВт.

Збільшення кута нахилу створюючої конуса в межах 20...40град. зумовило незначне підвищення пропускної спроможності машини від 0,7 до 0,9 т/год. При цьому знімання оболонок $C_{ш}$, практично залишався незмінним і складав близько 7 %. Кількість зруйнованих зерен змінювалася в межах $2,9 \pm 0,1\%$, а зміна потужності N на процес склала $23 \pm 2,5$ кВт і характеризувало стабільну роботу машини. Аналогічні закономірності

отримані в процесі лушення зерна пшениці.

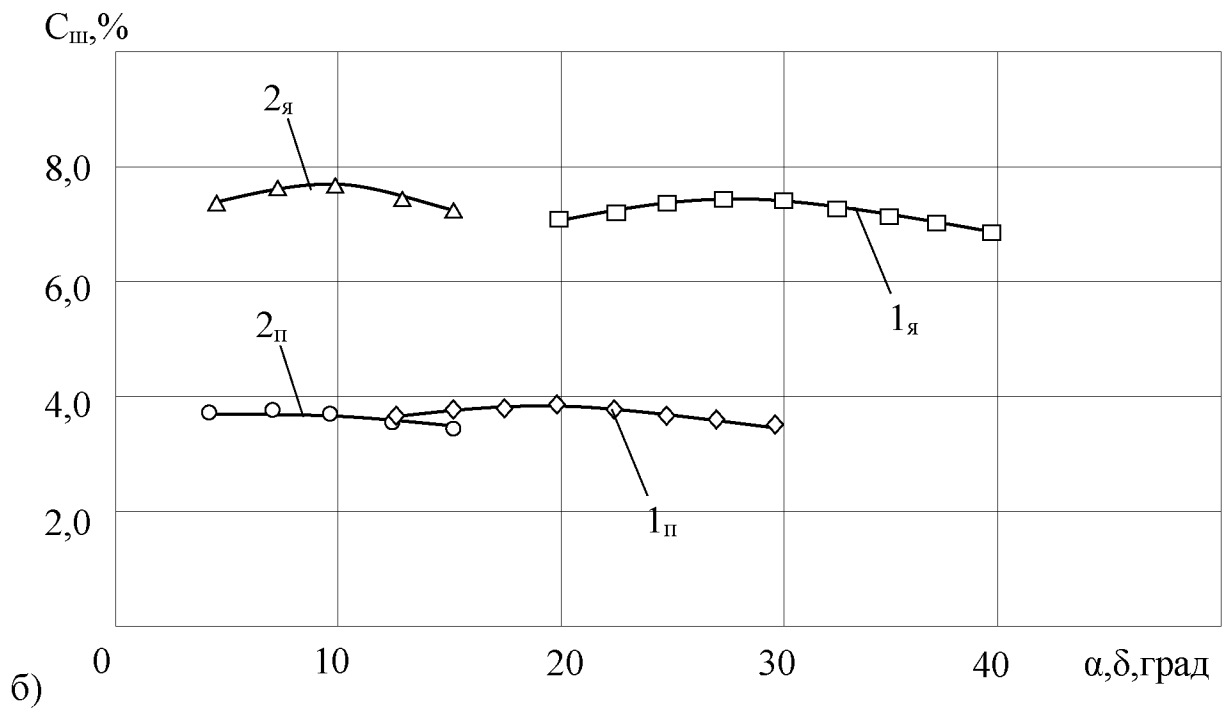
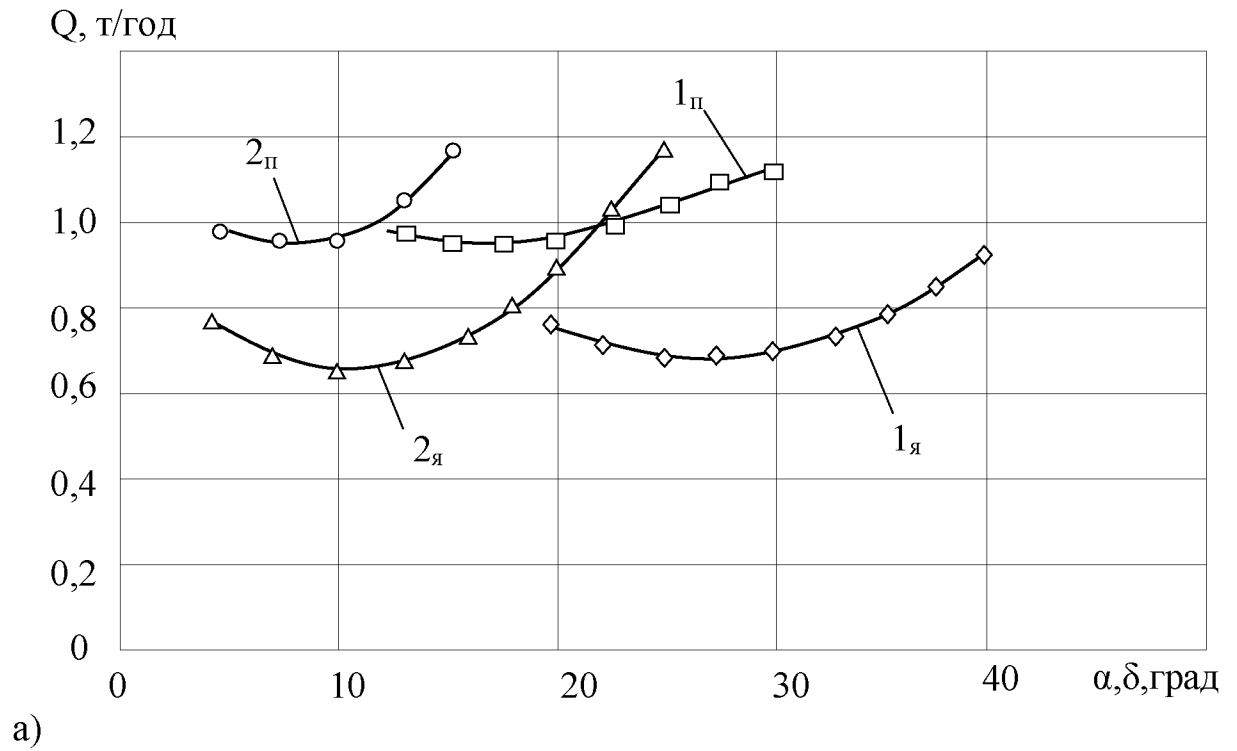
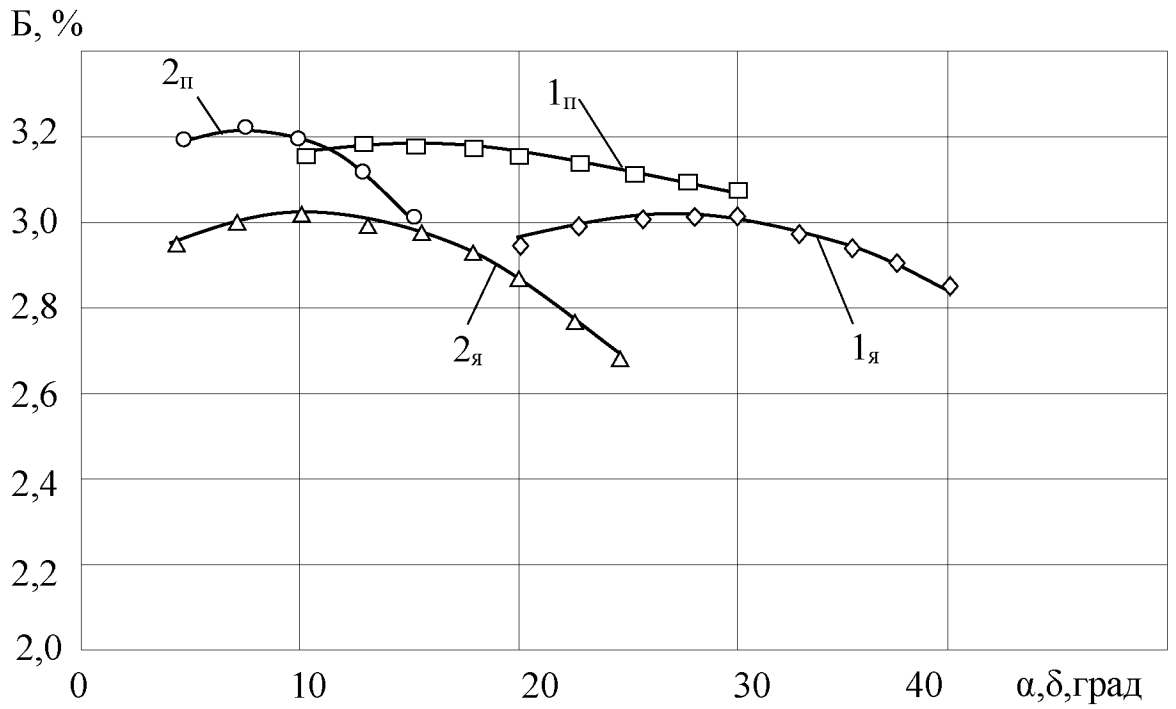


Рисунок 3.2 – Залежність продуктивності Q (а) і відходів лушення $C_{\text{ш}}$ від кута конуса робочої зони α і радіального зазору δ в луцильній машині для ячменю ($1_{\text{я}}$, $2_{\text{я}}$) і пшениці ($1_{\text{п}}$, $2_{\text{п}}$).



а)

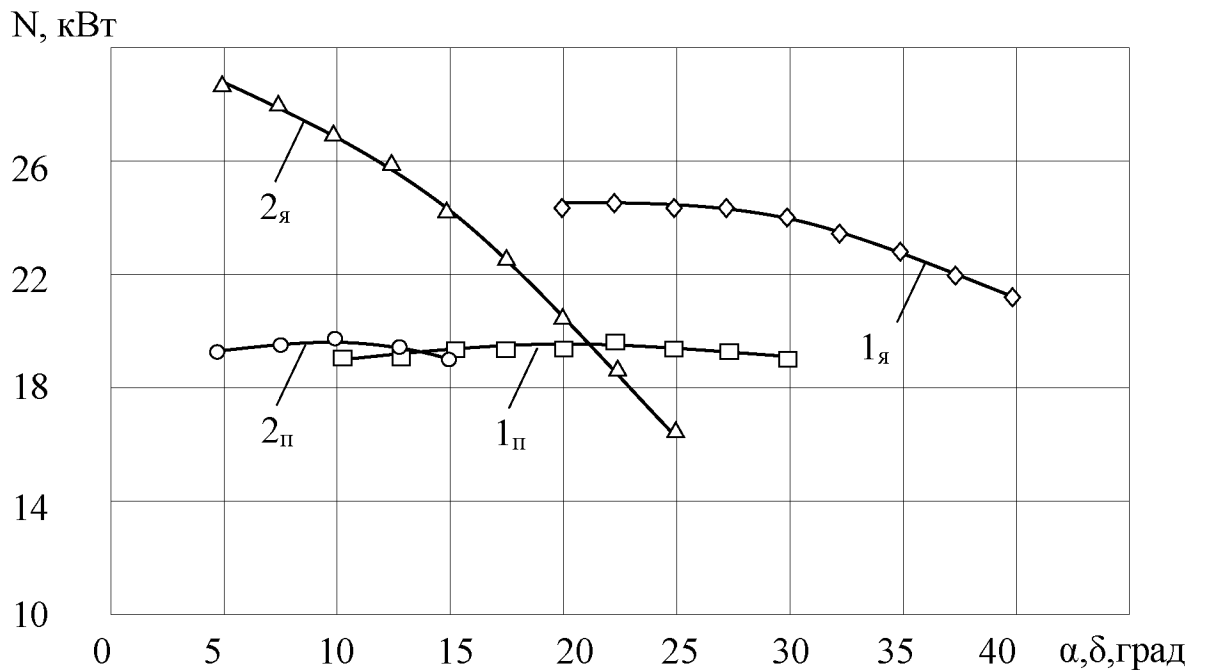


Рисунок 3.3 – Залежність кількості битих зерен B (а) і потужності електродвигуна N від кута конуса робочої зони α і радіального зазору δ в лущильній машині для ячменю (1_я, 2_я) і пшениці (1_п, 2_п).

Залежність продуктивності Q (а), кількості битих зерен B (б), відходів лушення $C_{ш}$, (в), потужності електроприводу N (с) від частоти обертання робочого валу ω і відкриття заслінки f для ячменю приведена на рис.3.4 і рис. 3.5.

Аналіз отриманих при обробці зерна пшениці в процесі лушення показує, що при збільшенні радіального зазору продуктивність машини Q збільшується до 1,2 т/год, а вихід відходів $C_{ш}$, знижується до 3,6%, при загальному зниженні кількості битих зерен B_u від 3,2 до 2,9%. Проте витрата енергії на процес практично не змінювалася.

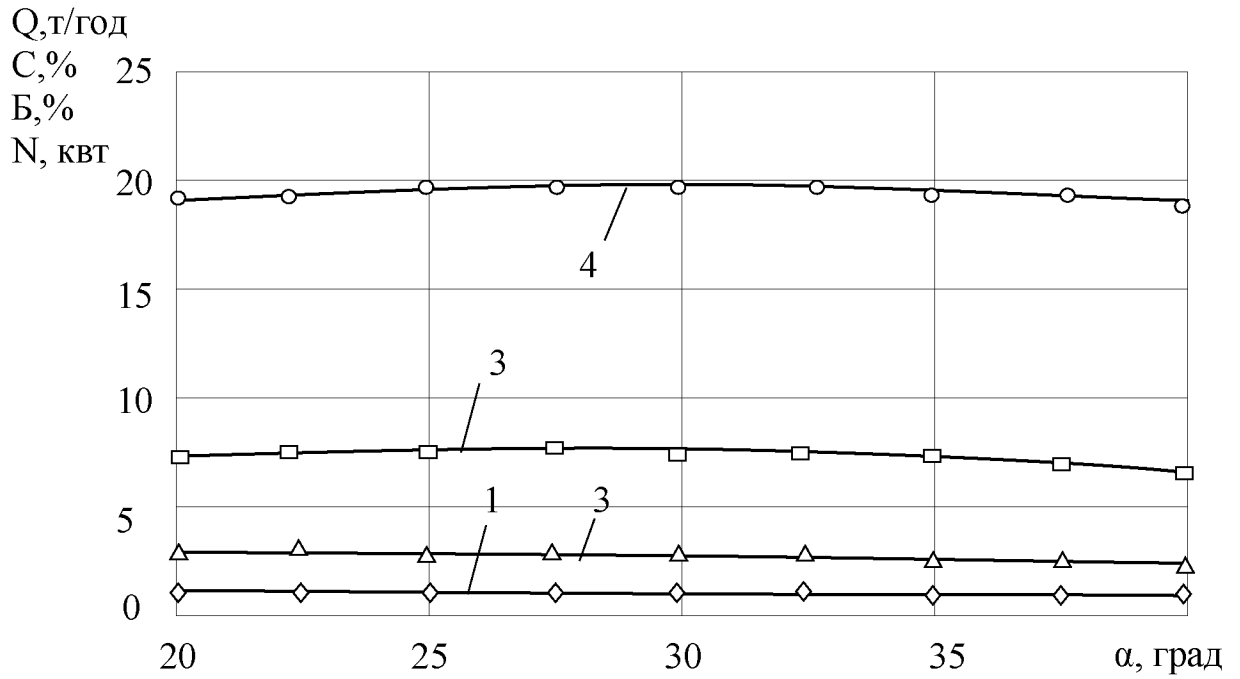
Збільшення кута нахилу α від 20 до 40° при обробці пшениці привело до підвищення пропускної спроможності машини від 1,0 до 1,1 т/год при стабільному виході відходів лушення в межах 3,8% і зниженні кількості битих зерен від 3,2 до 3,0%; при незмінній витраті енергії.

При лушенні зерна ячменю із збільшенням кутової швидкості обертання абразивних дисків продуктивність машини збільшується від 0,5 до 2,8 т/год, проте вихід відходів лушення при цьому підвищився з 4,5 до 8,0 % при одночасному збільшенні кількості битих зерен від 2,0 до 3,7%, що супроводжувалося зниженням витрати енергії від 30 до 12 кВт.

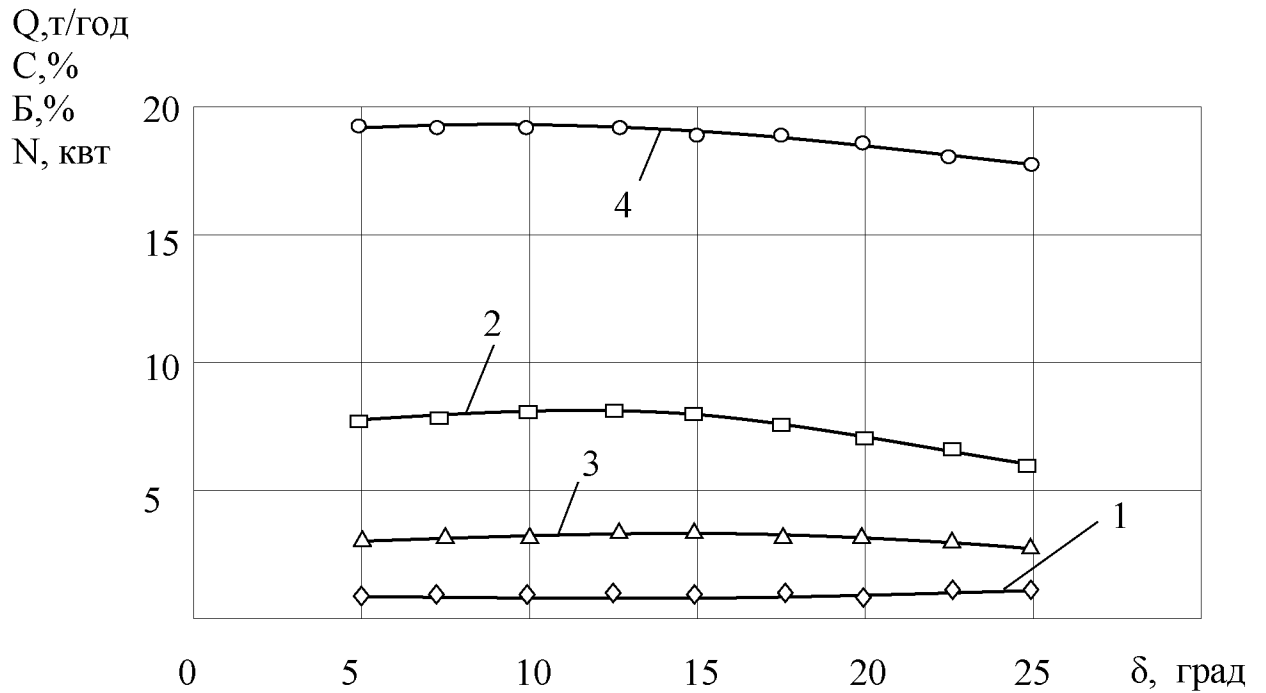
При відкритті випускного клапана f , при обробці ячменю, від 50 до 100% продуктивність машини збільшилася від 0,5 до 1,75 т/год при загальному зниженні виходу відходів лушення, кількості битих зерен і витрати енергії.

Підвищення кутової швидкості від 700 до 1500 хв⁻¹, при обробці пшениці, привело до збільшення продуктивності з 1,0 до 1,3 т/год і до збільшення виходу відходів, при незначному збільшенні кількості битих зерен при витраті енергії до 20 кВт.

Відкриття випускного клапана f , при обробці пшениці, до 100% привело до підвищення продуктивності в 1,5 разу при зниженні виходу відходів в 1,4 разу, незначному зниженні кількості битих зерен і витрати енергії.

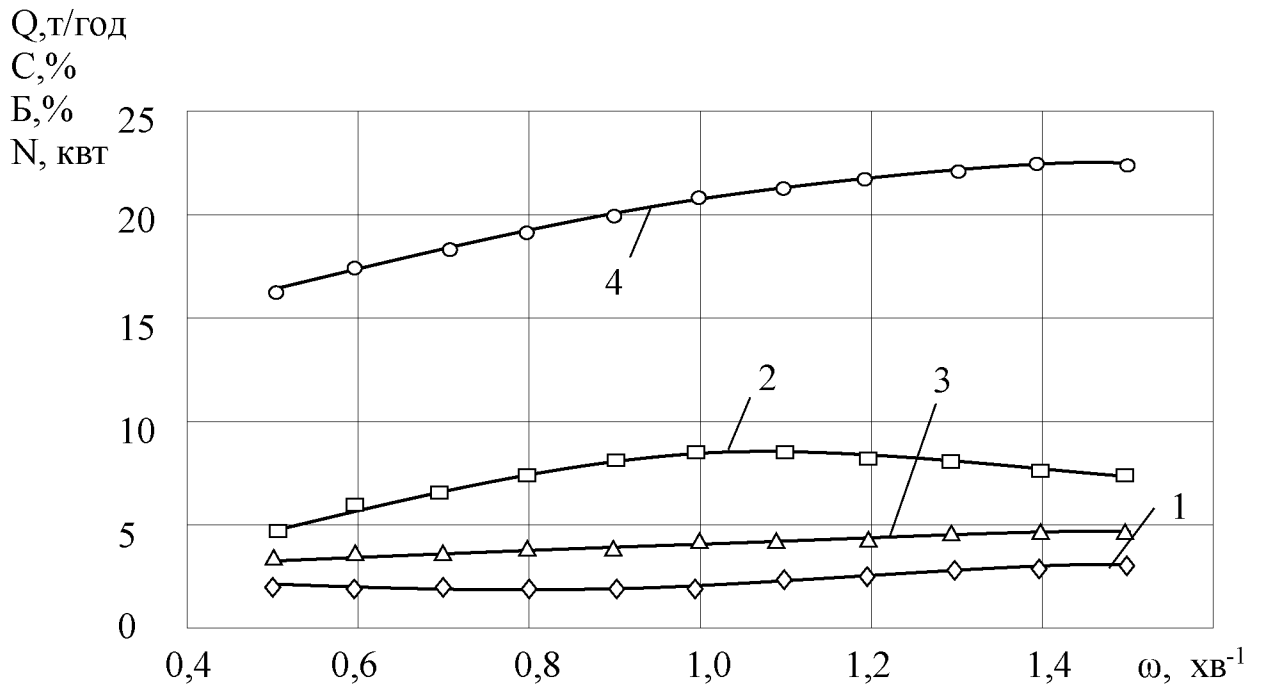


а)



б)

Рисунок 3.4 – Залежність продуктивності дробарки (1), кількості відходів (2), битих зерен (3) і потужності електроприводу (4) від кута конуса робочої зони α (а) і радіального зазору δ (б) в лушильній машині для ячменю.



a)

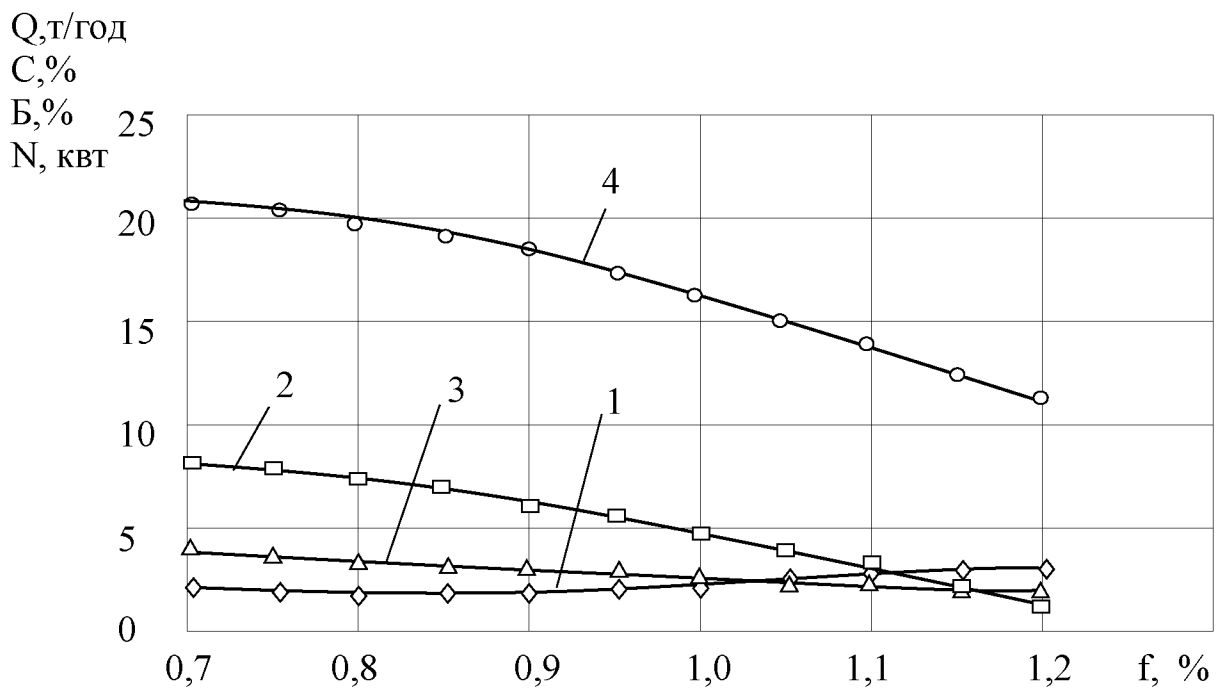


Рисунок 3.5 – Залежність продуктивності дробарки (1), кількості відходів (2), битих зерен (3) і потужності електроприводу (4) від частоти обертання валу ω (а) і відкриття заслінки f (б) в луцильній машині для ячменю.

3.5. Режимні, конструктивні характеристики пневмокамер

Основним способом усунення ефекту "сухого змащення" абразивного лущення є аспірація аеродинамічно легких виносів. Дослідженнями встановлено з усієї маси дрібнодисперсних продуктів не більш 40% відбирається традиційним методом, що залишилися 60% знову утворених часток приводять до "залоювання", "самозараження" облушувальних машин. Низька ефективність аспіраційних установок - (АУ) абразивних облушувальних машин - (АОМ) визначена відсутністю в "Правилах проектування аспірації ..." обґрунтованих конструктивних і режимних характеристик пристроїв видалення продуктів лущення. Аналіз літературних джерел не дозволив виявити рекомендацій з конструкції й аеродинаміки убудованих пневмоприймачів АОМ.

Для усунення перерахованих проблем були проведені дослідження з рішення задач спрямованих на забезпечення: - високої надійності пневмосистем (гарантований виніс дрібнодисперсних продуктів лущення); - мінімізація енерговитрат пневмоустановок. Методологія створення оптимальних аеромеханічних систем, зокрема створення раціональної конструкції пневмоприймачів ґрунтується на аналізі залежностей - продуктивності часток - G , від швидкості повітряного потоку - v і гідравлічного опору - H , від швидкості - v . Причому перша функція дає представлення про надійність, а друга характеризує енергоємність пневмосистеми.

Обґрунтування конструкції прийомного пристрою абразивної облушувальної машини, ґрунтується на порівнянні характеристик приймача - АУ рис.3.6 (б) з базовим прототипом горизонтального пневмоприймача рис. 3.6 (а). Порівняльний аналіз (рис. 3.7) транспортних можливостей - АУ і пневмомережі, указує на значне (більш ніж 2 рази) перевищення їхньої енергоємності. При однаковій видатковій швидкості повітря ступінь використання енергії повітряного середовища твердими

частками залежить від епюри швидкості потоку пневмопристрої. Деформований "розтягнутий" вид епюр, наявності вихрів, є основною причиною зниження рушійних аеродинамічних сил, величина яких визначається не вільною по перетині швидкістю робочої зони, а швидкісною динамічною напругою локальних швидкостей обтікання частки.

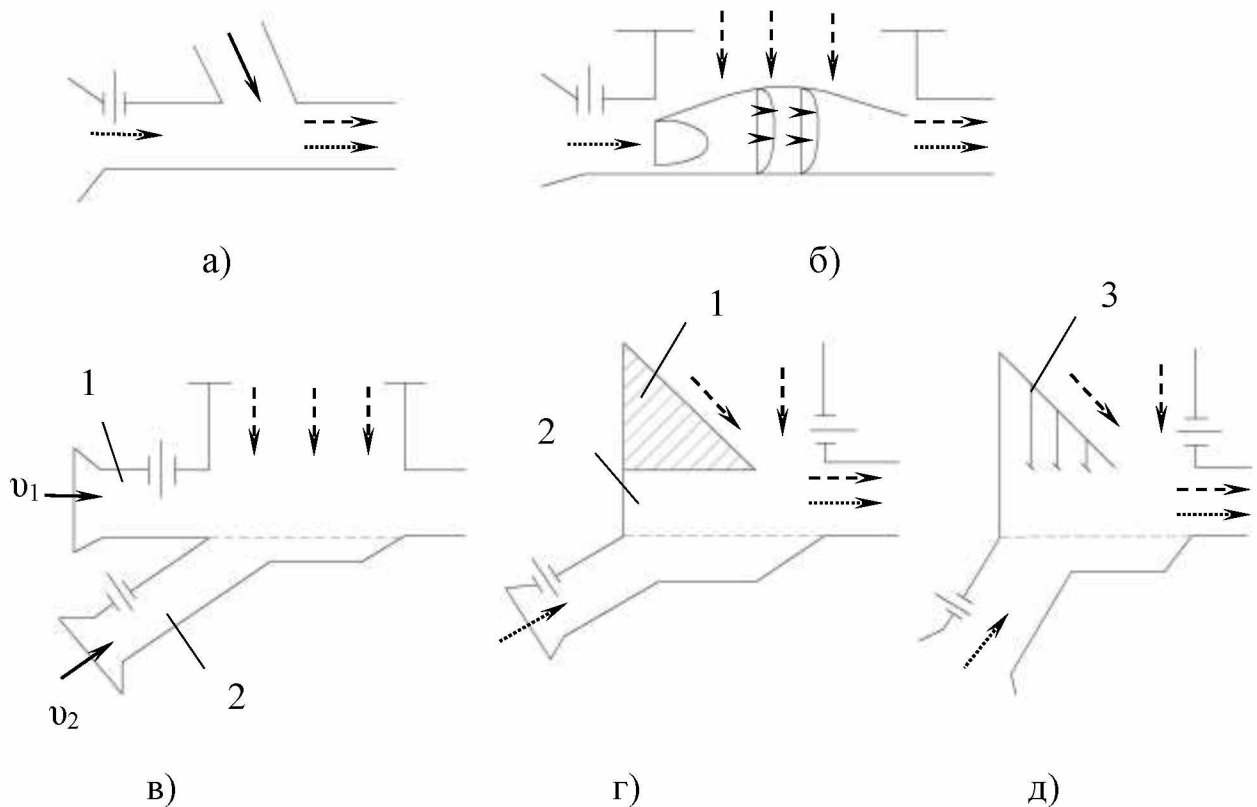


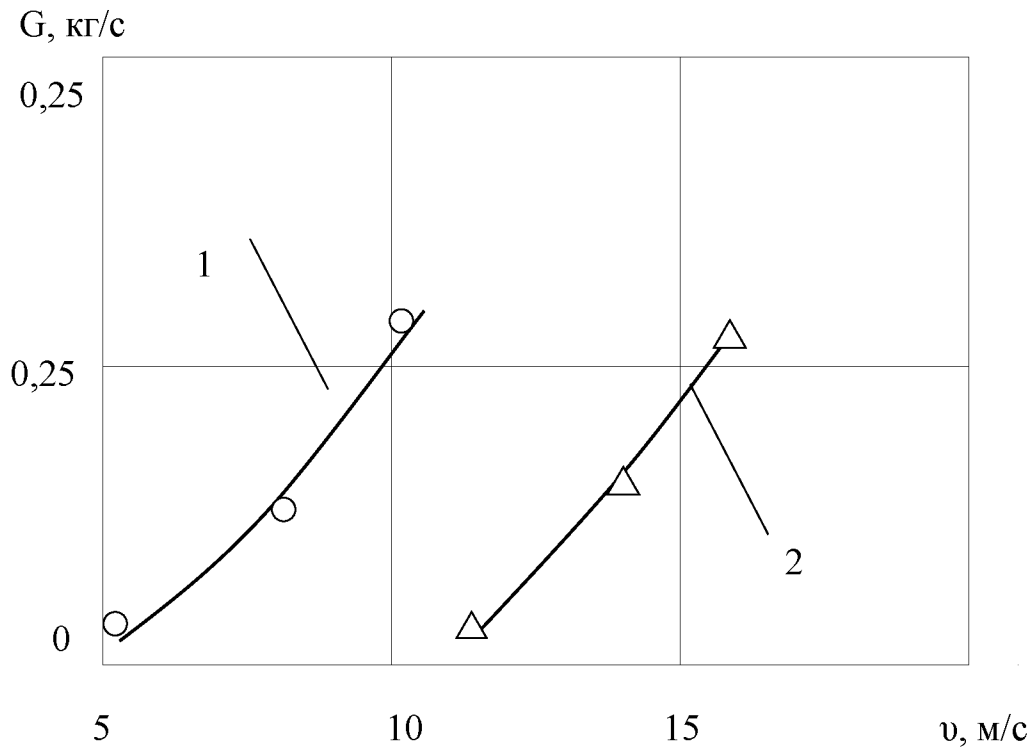
Рисунок 3.6 - Схеми пневмоприймачів абразивних облушувальних машин

Попередні дослідження аеромеханічних особливостей, різних способів видалення відносів з абразивних облушувальних машин, дозволили обґрунтувати напрямок інтенсифікації силової взаємодії, збільшення ступеня використання твердими частками аеродинамічної енергії: - формування ефективних епюр середовища; - створення раціональної схеми подачі

дрібнодисперсних продуктів лущення в робочу зону змішування пневмоустройства циліндричного пристрою лущильника.

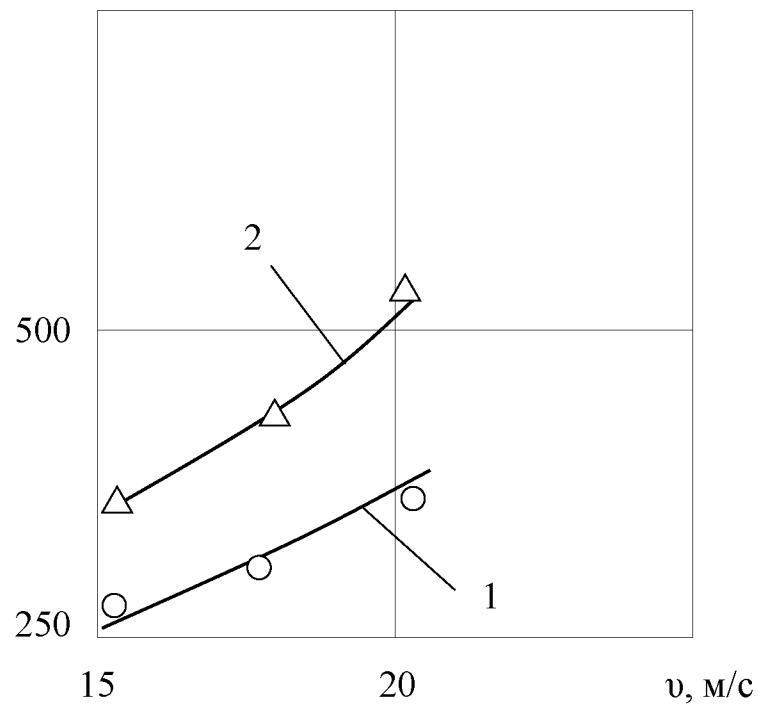
Перший етап рішення задачі оптимізації пневмопристрої - АШМ припускав сполучене інтегроване транспортування горизонтальними і похилим повітряними потоками через перфоровану перегородку рис. 3.6 (в). Приймач такого роду дозволив забезпечити широкий діапазон різновекторного накладення аеродинамічних сил. Результати досліджень рис. 3.7, 3.8, 3.9 вказують на переваги нижнього підведення повітряного середовища. Більш низькі питомі втрати тиску пневмокамери - H визначені ефектом "повітряної подушки", завдяки якому сипучі частки не контактують із днищем пневмоприймачів "зважується вертикальної складової тим самим, зменшуючи сили тертя. Вивчення оптимального співвідношення - напрямку сумарного вектора дії сил, дозволило прийти до висновку - ріст кількості повітря подаваного через пористе днище приводить до мінімізації опору пневмозбірника. Граничний, мінімальний опір - $H_{\min}$ досягається при усуненні лінійного, горизонтального потоку.

Рішення задачі обґрунтування раціональної схеми подачі дрібнодисперсних продуктів лущення в робочу зону проводилося шляхом вивчення функцій втрат тиску (енергоємності) пневмомережі. Як була показано раніше розосереджена подача дрібнодисперсних часток унаслідок деформування епюр швидкостей рис. 3.6 (б) має істотні недоліки енергообміну. На рисл. 3.7, 3.8, 3.9 приведені порівняльні дослідження пневмопристроїв - АУ традиційної рис. 3.2 (в) і локалізованого завантаження рис. 3.6 (г) по залежності . Їхній аналіз указує на перевагу пневмоприймача зосередженої подачі часток, надійна швидкість транспортування якого в 1,5 - 2 рази менше приймачів - АУ. Висока енергоефективність пневмосистеми рис. 3.6 (г) визначена відсутністю вихрових, застійних зон пневмоприймачів традиційних - АУ.



а)

Н, Па



б)

Рисунок 3.7 - Порівняльні характеристики пристроїв відбору продуктів лущення: а) $G=f(v)$, б) $H=f(v)$; 1 - пневмосистема; 2 - аспіраційний пристрій.

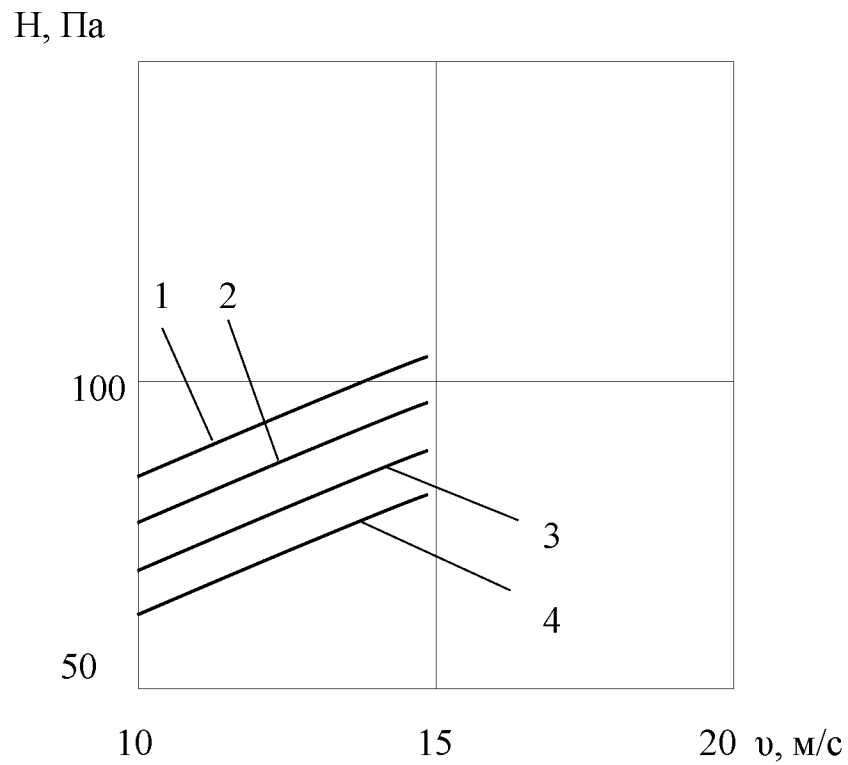


Рисунок 3.8 - Залежність $H=f(v)$, $G=0,1\text{кг/с}$ для різних способів подачі повітря 1 - $v_2=0\text{м/с}$; 2 - $v_1/v_2=1/2$; 3 - $v_1/v_2=1/5$; 4 - $v_1=0\text{м/с}$

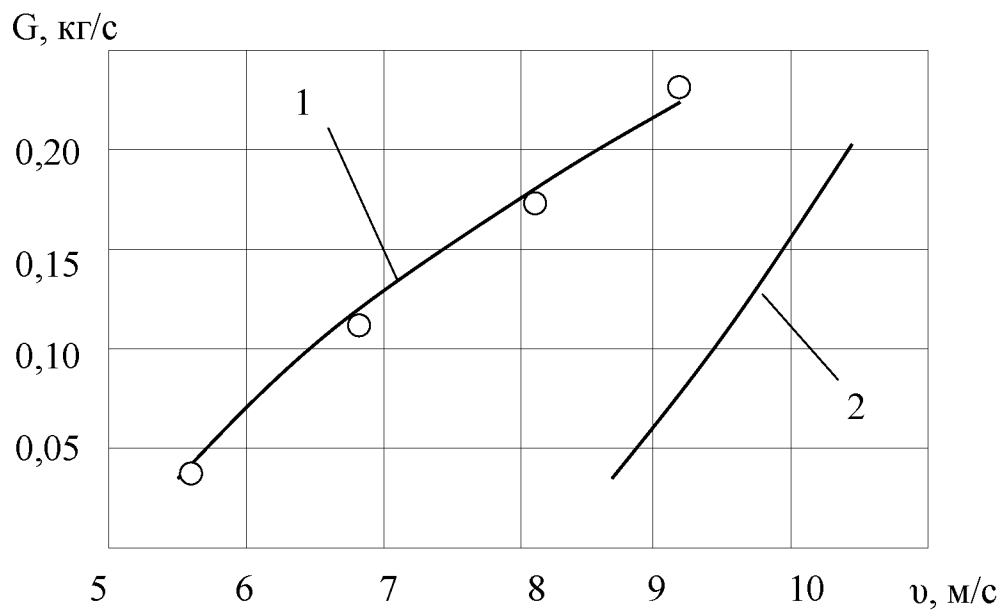


Рисунок 3.9 - Аеродинамічні характеристики пневмосистем: 1 – пневмоприймач рис. 3.2 (а); 2 – пневмоприймач рис.3.2 (г)

Разом з тим пневмоприймач рис. 3.6 (г) при усіх своїх безперечних аеродинамічних перевагах має визначений недолік - наявність "мертвої" зони - 1, утвореною положистою площадкою - 1 з кутом нахилу - α перевищуючий кут внутрішнього тертя дрібнодисперсного матеріалу ϕ ($\alpha > \phi$) і горизонтальної направляючої - 2, що стабілізує епюри швидкості пневмоприймача. Горизонтальна площадка - 2 ускладнює вільну подачу оболонок у робочу зону пневмоприймача. Для удосконалювання висновку дрібнодисперсних часток зони - 1, горизонтальна полиця замінюється вертикальними напрямними - 3, що забезпечують вільний прохід оболонок через ситову обичайку "мертвої" зони при одночасній стабілізації аеродинамічної схеми руху потоків, епюр швидкості.

Проведені дослідження дозволяють прийти до висновків: - надійне транспортування дрібнодисперсних продуктів, забезпечується нижнім підведенням повітряного потоку через пористе днище; - раціональний енергообмін, формування аеросуміші припускає зосереджену подачу аеродинамічно легких продуктів лущення в робочу камеру пневмоприймача.

Одній з проблем, від вирішення якої багато в чому залежить технологія лущення зерна, є інтенсифікація сепарації продуктів лущення. Проблемними питаннями роботи існуючих пневмосепараторов є суперечність в режимах аеродинамічного очищення і пневмосепарування отходів. Співвідношення їх раціональних значень витрат повітря різняться до двох разів. Вимушена синхронізація характеристик повітряних потоків, приводить або до завищеної енергоємності пневмоустановок, або до недостатньої технологічної ефективності.

Інтенсифікація роботи облущувальних комплексів припускає розробку заходів щодо зниження: питомих витрат повітря по очищенню продуктів лущення від відходів лущення; аеродинамічного опору пневмопристроїв.

Рішення першої задачі припускає обґрунтування необхідних і достатніх умов процесу сепарації, визначення режимних, технологічних і конструктивних параметрів робочих каналів: швидкість і кут введення

продуктового потоку; питоме навантаження суміші, середня швидкість повітряного потоку; конструкційно-геометричні характеристики каналу і так далі. Вивчення впливу на ефективність сепарації умов введення продукту в робочий канал було виконане шляхом порівняння традиційної схеми завантаження пневмоколонок (кут взаємодії потоків $50-60^{\circ}$) з системою подачі характерною для вертикальних пневмопристроїв (кут взаємодії близький до 90°) при питомому навантаженні $q = 105 \text{ кг/см} \cdot \text{год}$ - широко поширеною в практиці круп'яних виробництв. Дослідження проводили з використанням суміші 92% зерен і 8% домішок, отриманою в результаті лущення зернових матеріалів. Початкові фізико-механічні властивості сировини приведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Фізико-механічні властивості сировини

Культура	Розмір, мм			Щільність 10^3 кг/м^3	Об'ємна вага, кг/м^3	Відносний вміст оболонки в т.ч зародка, %	Зусилля стиснення, Н	Коефіцієнт внутрішнього тертя
	Довжина	Ширина	Товщина					
Ячмінь	6,9-8,1	2,0-5,1	1,1-4,6	1,15- 1,43	640	10,9	115- 180	0,5
Пшениця	4,7-8,1	1,5-3,9	1,4-3,4	1,2-1,45	770	11,8	120- 285	0,46
Горox	3,9-9,0	3,9-8,9	2,9-9,0	1,3-1,5	890	10,1	175- 245	0,54

Залежності пневмосепарування продуктів лущення підтверджують закономірності енергообміну двокомпонентних аеродисперсних потоків характерні для випадку пневмотранспортування. Зокрема, оптимальна взаємодія повітряного і дисперсного середовищ при перпендикулярному взаємоперетненні потоків рівнорозподілених епюр швидкостей (кут атаки – 90°). Саме горизонтальна подача суміші у висхідний потік ($\alpha \rightarrow 90^{\circ}$) дозволяє понизити різність і тим самим зменшити вірогідність зіткнення, зчеплення аеродинамічний легких частинок компонентів, що розділяються.

Обґрунтування раціонального питомого навантаження – (q) ґрунтувалося на вивченні закономірностей ступеня віднесення $\varepsilon=f(q)$, а також ступеню витягання $\varphi=f(q)$ при сепарації продуктів лущення пшениці повітряним потоком (середня витратна швидкість $V \approx 6$ м/с, кут атаки близький до 90° і швидкість введення суміші від 0,2 – до 0,4 м/с). Діапазон зміни навантаження знаходився в межах від 60 – до 120 кг/см·год. Аналіз графіків рис. 3.3 показує, із зростанням навантаження – q ефективність витягання лушпиння падає, а віднесення зерна – збільшується. При одній і тій же витратній швидкості повітря $V \approx 6$ м/с ступінь використання енергії дисперсним середовищем залежить від кількості частинок і розташування їх в поперечному перетині матеріалопровода. Проведені дослідження показали на раціональну величину концентрації твердих частинок, навантаження – q , швидкість повітря в значно більшому ступені впливає епюру швидкостей в зоні введення сипкого матеріалу, чим в пневмоканалі. В зв'язку з цим діапазон ефективного питомого навантаження $q \leq 85,3$ кг/см·год обмежується нормативним змістом основного зерна пшениці в относах $e < 2\%$. Аналогічні граничні значення q – отримані для основних продуктів лущення абразивних облушувальних машин.

Рішення другої задачі інтенсифікації роботи облушувальних комплексів припускає обґрунтування режимів пневмотранспортування, конструкції пневмоустановки. У разі, коли повітряне середовище одночасно з технологічними завданнями виконує транспортні функції, виникають додаткові питання, пов'язані з швидкістю і витратою повітря пневмосистеми, а також епюрами швидкостей повітря що подається в пневмосепараційну колонку. Обґрунтування режимних і конструктивних параметрів, вибір виду пневмотранспорта передбачає комплексний облік енергетичних, технологічних, екологічних вимог. У зв'язку з цим виникає питання обґрунтування конструкції приймального пристрою пневмоколони, яка найбільшою мірою повинна відповідати перерахованим умовам.

Обґрунтування схеми пневмокамери було проведене шляхом

порівняння аеродинамічних характеристик, широко поширеною аспіраційною пневмоколони і вертикальних пневмоприймачів рівної продуктивності.

Проведені досліді показали, аеродинамічні параметри існуючих пневмоколон не дозволяють забезпечити роботу пневмосистеми в зоні мінімуму гідравлічного опору, їх енергоємність істотно перевищує показники традиційних пневмоприймачів.

З метою обґрунтування напрямів підвищення ефективності пневмотранспортування, збільшення ступеня використання твердими частинками енергії повітряного потоку, їх силової взаємодії, нами були проведені дослідження впливу способів підведення повітря в робочу зону. На рис. 3.10 представлені залежності втрат тиску стійкого пневмоприймача при різному співвідношенні – Q_1/Q_2 зустрічного – Q_2 , спутного повітряних потоків, – Q_1 пневмоколони відносно $G=300$ кг/г.

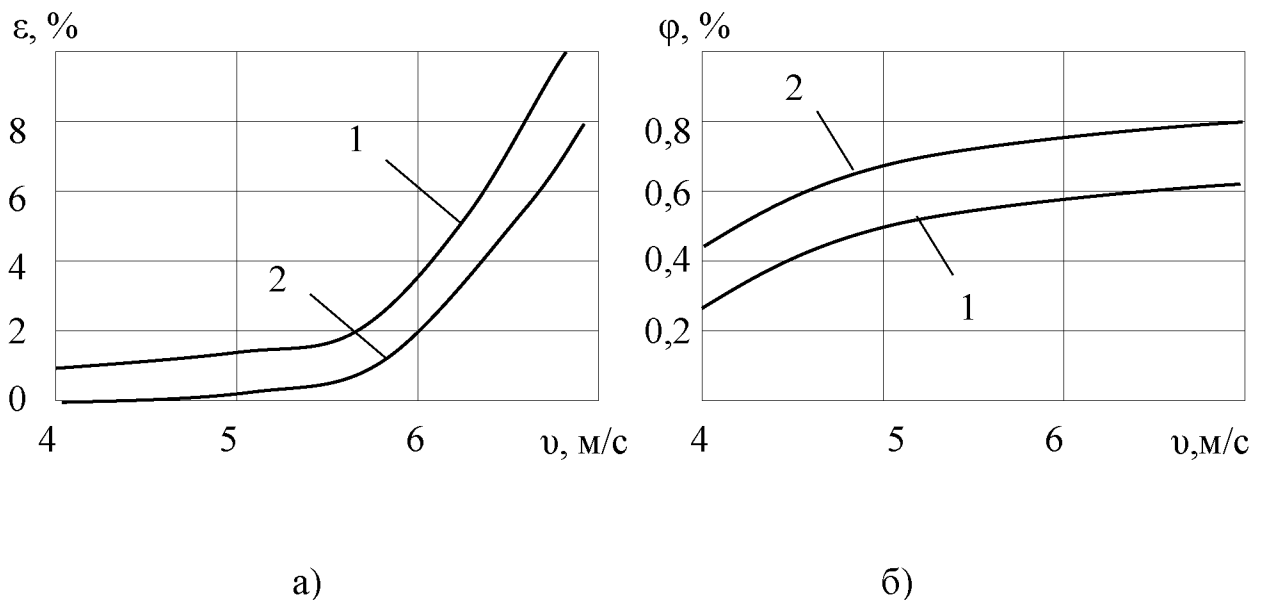


Рисунок 3.10 - Залежність виносу зерна повітряним потоком (а) і залежність виносу домішок (б); 1 – кут атаки 50° ; 2 – кут атаки 90°

Для запобігання попутного руху частинок і повітря передбачається установка пристрою вантажного клапана в патрубку подачі продукту, що

сприяє більш вирівняній епюрі швидкостей зернового матеріалу, мінімізації витрати – Q_1 , вдосконаленню структури і кінематики потоку – Q_2 .

Результати досліджень представлені у вигляді графіків (рис. 3.11, 3.12) показують, що ефект виділення лушпиння в робочому каналі будь-якої ширини B_k росте при збільшенні середньої швидкості повітря v_r від 4 до 5,7 м/с. У разі подальшого збільшення швидкості повітря ефект виділення лушпиння залишається майже постійним і достатньо високим, окрім каналу з шириною $B_k=100$ мм, в якому спостерігається деяке зниження.

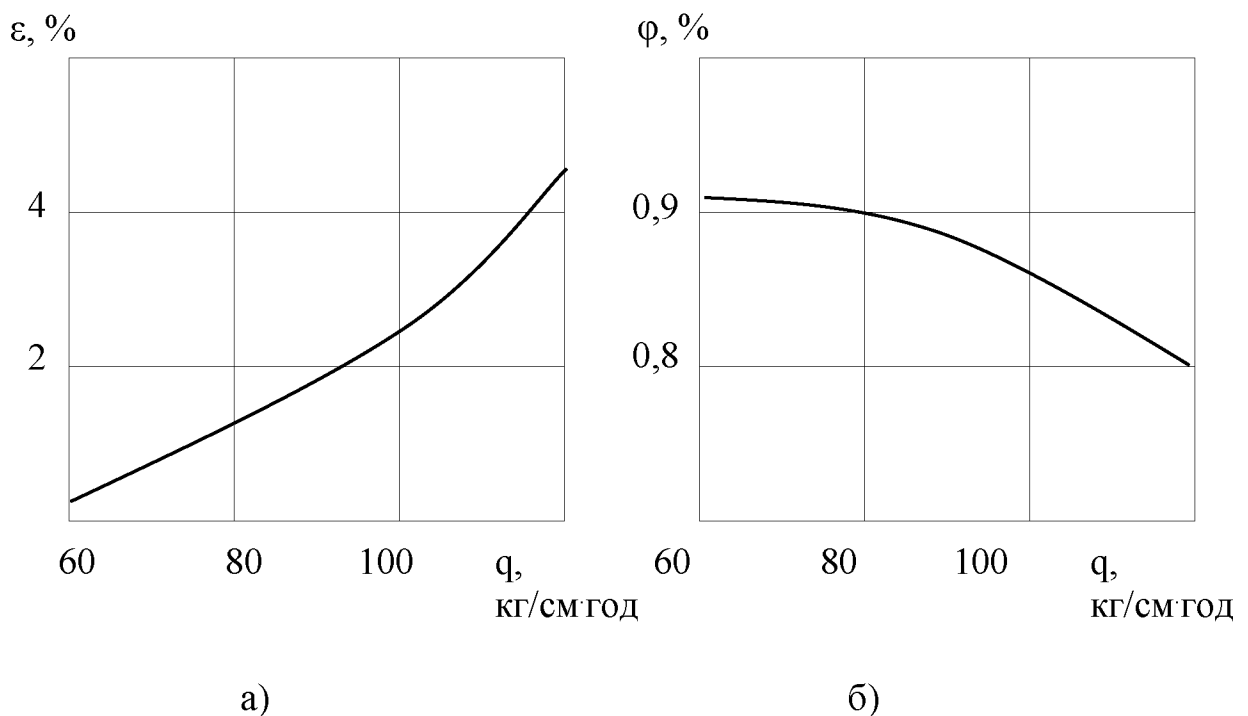


Рисунок 3.11 - Вплив питомого навантаження на ефективність пневмосепарування; а – залежність витягання зерна; б – залежність витягання домішок

Графік на рис. 3.10 і 3.11 дозволяє визначити граничну швидкість повітряного потоку по нормативному значенню вмісту повноцінного продукту в відносах $z_{om}(v_k)$ побудована залежність $v_{кр.}(B_k)$ при $z_{om,н}=2\%$ (рис.3.12). Залежність носить лінійний характер. При цьому із збільшенням ширини каналу гранична середня швидкість повітряного потоку збільшується.

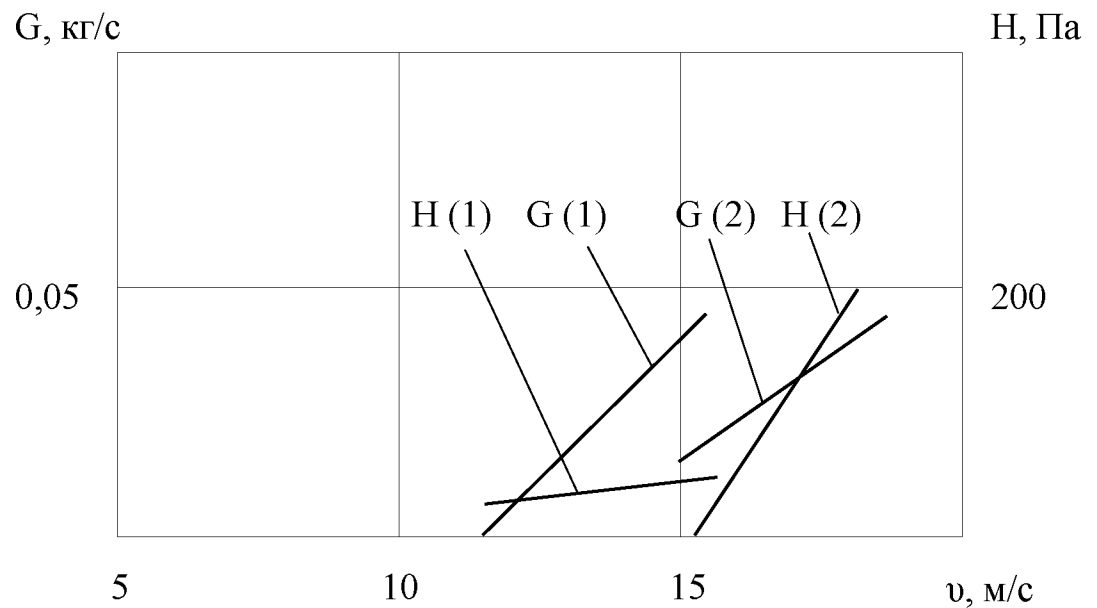


Рисунок 3.12 - Порівняльні характеристики пневмовідбору продуктів лущення; 1 – звичайна пневмомашинна, 2 – пневмотранспортний приймач

Пояснено це явище може бути тим, що при пневмосепаруванні повинна підтримуватися у всіх випадках однакова швидкість в міжзерновому просторі продукту, що знаходиться в зоні сепарації. Так при меншій ширині каналу буде більше зернове навантаження на одиницю площі поперечного перетину каналу і, отже, менший коефіцієнт перетину каналу в зоні сепарації і, навпаки, при більшій ширині – більший коефіцієнт перетину каналу. Середня ж швидкість в каналі розраховується без урахування навантаження. Таким чином, чим більший коефіцієнт перетину каналу в зоні сепарації, зайнятого продуктом, тим більше повинна бути середня швидкість. Це можна застосувати не тільки до каналів різної ширини при однакових зернових навантаженнях $q_{уд}$ кг/смгод, але і до одного каналу, але що працює при різних $q_{уд}$. Отже, із збільшенням навантаження $q_{уд}$ на канал гранична середня швидкість повинна зменшуватися.

Гранично допустима середня швидкість повітряного потоку в каналі $v_{к.пр}=6,6$ м/с, отримана при розділенні продуктів лущення в каналі шириною $B_k = 140$ мм, відповідає забезпеченню вмісту повноцінного продукту в

відносах $z_{от.н} = 2\%$. Проте, при зниженні середньої швидкості v_k до 6 м/с ефект виділення лушпиння залишається на тому ж рівні 0,97, але $z_{от}$ знижується до 0,3%. Тому швидкість $v_k = 6$ м/с слід прийняти за оптимальну.

Висновки

1. Розроблена аналітична методика оцінки рівномірності обробки поверхні зернівок в процесі лущення і ймовірнісна модель визначення характеристик за енергетичними витратами на процес, що дозволяє визначити тривалість і якість обробки поверхні зерна і обґрунтувати критерії якості процесу.

2. Обґрунтований аналітичний опис двокомпонентних потоків для різних необхідних початкових умов роботи пневмосистеми.

3. Обґрунтована схема робочої зони і область раціональних значень частоти обертання абразивних дисків $\omega = 900 \dots 1300 \text{ хв}^{-1}$, міжзернового тиску в межах 15...18 кПа, схема подачі - кути направляючих конусів $\alpha = 20 \dots 30^\circ$ радіальний зазор $\delta = 10 \dots 15$ мм.

4. Надійне пневмотранспортування продуктів з робочої зони лущення забезпечується нижнім підведенням повітря потоку через пористу перегородку (гідравлічний радіус $R_r = 2$ мм), формування аеросуміші припускає зосереджену подачу аеродинамічних легких продуктів в робочу камеру. Основним чинником що визначає енергоємність пневмосистеми є щільність потоку.

5. Мінімальні втрати тиску максимальна ефективність пневмосепарування продуктів лущення отримуються при перпендикулярному взаємоперетині повітряного і продуктового потоків (кут $\alpha = 90^\circ$), горизонтальна подача суміші у вертикальний потік ($\alpha \rightarrow 90^\circ$), приводить до зменшення різності, вірогідності зіткнення, зчеплення аеродинамічних легких частинок компонентів, що розділяються.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Проведений аналіз дозволяє розробити рекомендації по забезпеченню екологічної стійкості підприємства, а також план ліквідації аварійних ситуацій і витоків нафтопродуктів, в який включають об'єкти і території, що підлягають особливому захисту від забруднень (водозабори, житлові масиви, зони відпочинку).

Повинна бути встановлена (обґрунтована) категорія екологічної небезпеки об'єкту. Для цього встановлюють структуру викидів і скидань забруднюючих речовин при експлуатації технологічного устаткування. На підставі екологічного аналізу джерел викидів роблять розрахунок «пріоритетного» викиду шкідливих речовин.

Залежно від категорії небезпеки вводиться періодичність звітності в системі держобліку викидів забруднюючих речовин в атмосферу.

Найбільша ефективність в захисті повітряного середовища від забруднюючих викидів досягається при поєднанні заходів щодо вдосконалення технологічних процесів, газоочистки, забезпечення загальних санітарно-гігієнічних вимог і правильних об'ємно-планувальних рішень.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення

чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий вплив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи Мінекоресурсів України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво.

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

4.2. Охорона праці

Охорона праці включає техніку безпеки, що запобігає травматизму, і виробничій санітарії, перешкоджає виникненню захворювань із-за дії шкідливих чинників. Впровадження раціонального комплексу заходів, направлених на поліпшення умов праці, може забезпечити приріст її продуктивності на 15...20%. Структура комплексу заходів наступна.

1. Аналіз стану охорони праці або безпеки технологічного процесу на

підприємстві.

2. Розробка організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних заходів щодо поліпшення стану охорони праці.

3. Розробка вимог (інструкцій) з охорони праці при роботі на технологічному (модернізованому) обладнанні або при використанні запропонованого пристосування.

4. Аналіз і оцінка пожежної безпеки підприємства, організація пожежної профілактики (визначення категорії виробництва по пожежній небезпеці, ступені вогнестійкості будівельних конструкцій, обґрунтування первинних засобів і витрати води для гасіння пожежі).

Аналіз стану охорони праці. Його проводять так, щоб можна було визначити передумови для розробки заходів щодо зниження травматизму і поліпшення умов праці.

При аналізі стану охорони праці при організації і технології ремонтно-обслуговуючих робіт враховують наступне:

- дотримання законодавства про режим праці і відпочинку працюючих;
- відповідність організації забезпечення охорони праці вимогам нормативних документів;
- планування заходів щодо охорони праці, виділення і використання грошових і матеріальних коштів на їх виконання;
- відповідність будівлі ремонтно-обслуговуючого підприємства (приміщення виробничої ділянки) вимогам санітарних і будівельних норм і правил;
- можливість появи шкідливих і небезпечних виробничих чинників, основні причини виробничих травм;
- дотримання вимог безпеки при використанні обладнання, вантажопідійомних машин і судин, що працюють під тиском;
- динаміку травматизму і захворюваності;
- санітарно-побутові умови працівників;

- пожежну безпеку (характеристика технологічних процесів пожежній небезпеці, наявність і готовність первинних і технічних засобів пожежогасіння, дотримання вимог пожежної безпеки, наявність і стан грозозахисних пристроїв і т. п.).

Розробка заходів щодо поліпшення стану охорони праці. Заходи щодо поліпшення стану охорони праці або безпеки технологічних процесів розробляють на основі аналізу. Вони повинні бути конкретними.

Заходами передбачають:

- поліпшення діяльності адміністрації (наймача) з дотримання трудового законодавства і виконання вимог нормативної документації з охорони праці;

- вдосконалення системи навчання працівників охорони праці відповідно до нормативних документів;

- поліпшення контролю і нагляду за дотриманням вимог охорони праці;

- застосування засобів наочної агітації з безпеки праці, поліпшення планування з охорони праці;

- заміну небезпечних технологічних процесів безпечними;

- розробку пристроїв, що забезпечують безпечну експлуатацію технологічного обладнання і систем, забезпечення електробезпеки;

- створення нормального повітряного середовища за рахунок вентиляції і опалювання;

- забезпечення гігієнічних вимог до природного і штучного освітлення;

- зниження рівнів шуму і вібрацій на робочих місцях;

- забезпечення пожежної безпеки;

- створення необхідних санітарно-побутових умов для працівників підприємства.

Для розробки вимог безпеки (інструкції) з охорони праці при експлуатації існуючого, проектного або модернізованого устаткування (пристосування) необхідно спочатку охарактеризувати можливі небезпечні і шкідливі виробничі чинники, які можуть виникнути під час роботи,

небезпечні зони, а потім описати методи їх ліквідації. Необхідно також обґрунтувати вимоги до персоналу, який експлуатуватиме обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації і обслуговування проектного устаткування передбачають захисні засоби, блокуючі і гальмівні пристрої, засоби сигналізації, захист від враження електричним струмом і ін. Робоче місце оператора організовують з урахуванням вимог ергономіки.

Крім того, при необхідності обґрунтовують санітарно-гігієнічні умови праці на проектованому обладнанні, передбачають заходи і засоби пожежної безпеки, розробляють інструкцію з техніки безпеки.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Собівартість виробництва продукції розраховуємо по формулі

$$C_B = Z + T + A + B_{\text{оп}} + E + O_n + O_x + O_v, \quad (4.1)$$

де Z – заробітна плата працівників, грн.;

T – витрати на технічні обслуговування та поточні ремонти, грн.;

A – амортизаційні відрахування, грн.;

$B_{\text{оп}}$ – витрати на опалення приміщення, грн.;

E – витрати на електроенергію, грн.;

O_n – інші прямі витрати, грн.;

O_x – загальногосподарські витрати, грн.;

O_v – витрати на закупку сировини, грн.

Заробітну плату розраховуємо по формулі

$$Z = Z_p \cdot n \cdot (1 + O), \quad (4.2)$$

де Z_p – річний фонд заробітної плати одного основного працівника, грн.;

n – кількість працівників, чол.;

O – коефіцієнт, що враховує соціальні відрахування.

$$Z = 18030 \cdot 3 \cdot (1 + 0,3809) = 75131 \text{ грн.}$$

Витрати на технічні обслуговування та поточні ремонти

$$T = \frac{B \cdot n}{100}, \quad (4.3)$$

де B – балансова вартість основних засобів, грн.;

n – норма відрахувань на ТО та поточні ремонти, %.

$$T = \frac{21000 \cdot 12,5}{100} = 2625 \text{ грн.};$$

Амортизаційні відрахування

$$A = \frac{B \cdot n}{100}, \quad (4.4)$$

де n – норма амортизаційних відрахувань, %.

$$A = \frac{21000 \cdot 18}{100} = 3780 \text{ грн.}$$

Витрати на опалення приміщення

$$B_{\text{оп}} = 3 \cdot T, \quad (4.5)$$

де 3 – площа опалюваного приміщення, м^2 ;

T – тариф ставка на опалення 1м^2 , грн.

$$B_{\text{оп}} = 252 \cdot 2,5 = 630 \text{ грн.}$$

$$B_2 = 15123 \cdot 2,2 + 15123 \cdot 0,75 = 44612 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію

$$E = C \cdot T, \quad (4.6)$$

де C – кількість використаної електроенергії, кВт/год.;

T – тариф на оплату 1 кВт·год. електроенергії, грн.

$$E = 30 \cdot 251,18 \cdot 2,6 = 1959,21 \text{ грн.};$$

Інші прямі витрати розрахуємо за формулою

$$O_n = \frac{(3 + A + T) \cdot n}{100}, \quad (4.7)$$

де n – відсоток витрат, %.

$$O_n = \frac{(75131 + 3780 + 2625) \cdot 50}{100} = 46394 \text{ грн..}$$

Загальні виробничі витрати знайдемо за формулою

$$O_x = \frac{(3 + A + T) \cdot k}{100}, \quad (4.8)$$

де k – відсоток витрат, %.

$$O_x = \frac{(75131 + 3780 + 2625) \cdot 25}{100} = 23197 \text{ грн.}$$

Витрати на купівлю всього об'єму сировини складають 378440 грн.

Підставимо всі отримані значення в формулу (4.1) і знайдемо собівартість виробляємої продукції

$$C_b = 75131 + 3780 + 2625 + 630 + 1959,21 + 46394 + 23197 + 378440 = 543408 \text{ грн.}$$

Собівартість виробництва одиниці продукції

$$C = \frac{C_o}{B}, \quad (4.11)$$

де B – об'єм виробленої продукції, т.

Для виробництва 187,5 т крупи потрібно заготовити 374 т сировини, що потребує капіталовкладення в сумі 300 тис. грн.

$$C = \frac{543408,21}{187,5} = 2898,1 \text{ грн. / т}$$

Рівень рентабельності

$$P = \frac{\Pi}{C} \cdot 100, \quad (4.12)$$

де Π – прибуток, грн.

$$P = \frac{(3500 - 2898,1)}{2898,1} \cdot 100 = 20,7 \%$$

Економічна ефективність

$$C_\phi = (C_o - C_p) \cdot 187,5, \quad (4.13)$$

де C_o – минулорічна собівартість виробництва одиниці продукції, грн./т;

C_p – собівартість виробництва одиниці продукції, грн./т.

$$C_o = (3500 - 2898,1) \cdot 187,5 = 112768 \text{ грн.}$$

Термін окупності

$$T = \frac{C_{\Phi}}{C_o}, \quad (4.14)$$

$$T = \frac{112768}{543408,21} = 0,2 \text{ років.}$$

Далі в розрахунку лущильна машина ДЛН порівнюється з абразивно-дисковою машиною ЗШН-3 разом з устаткуванням, необхідним для забезпечення їх роботи.

Порівняння ведеться по устаткуванню, пов'язаному тільки з процесом лущення зерна і використовуваному в порівнюваних схемах під час випробувань в ФГ «Гран». У розрахунку прийнято, що порівнювана кількість устаткування в обох випадках забезпечує роботу з однаковою продуктивністю.

Таблиця 4.1 – Кількість і вартість обладнання

Назва обладнання	Кількість	Балансова вартість, грн.	
		одиниці	всього
Лущення зерна з використанням машини ЗШН-3	3	13000	39000

Таблиця показує, що балансова вартість абразивно-дискових машин нижче на 18000 грн. вартості машин ЗШН-3.

Таблиця 4.2 – Розрахунок річного економічного ефекту

Назва витрат	ДЛН	ЗШН-3
Амортизаційні відрахування	2478	4602
Відрахування на поточний ремонт (50%)	1239	2301
Всього	3717	6903

Розрахунок показує, що при однаковій добовій продуктивності порівнюваного устаткування, тобто при зіставному об'ємі виробництва, річна сума експлуатаційних витрат при застосуванні облушувальних машин ДЛН зменшується на 3186 грн. або в 1,86 разу.

Застосування лушильних машин ДЛН забезпечує збільшення загального виходу крупи на 4%. Для розрахунку економічного ефекту прийнято, що загальний вихід крупи відповідає 72%. За базисний вихід прийнятий фактичний вихід 68%, отриманий при випробуваннях під час роботи машин ЗШН-3.

Розрахунок економічного ефекту заснований на визначенні вартості продуктів, отриманих з однієї тонни зерна, що переробляється:

$$E = (B_1 \cdot Ц)/100 - (B_2 \cdot Ц)/100,$$

де B_1, B_2 - вихід крупи, %

Ц - оптова ціна, грн./т.

$$E = (72 \cdot 900)/100 - (68 \cdot 900)/100 = 136 \text{ грн.}$$

Річний об'єм переробки зерна за 300 днів складає 187,5 т. Отже, річний економічний ефект від збільшення виходу крупи складе $187,5 \cdot 136 = 25500$ грн.

Застосування облушувальних машин ДЛН в порівнянні з машинами ЗШН-3 зменшують експлуатаційні витрати на 3186 грн./год.

Одночасно за рахунок збільшення виходу крупи забезпечується економічний ефект в сумі 25500 грн.

Отже, впровадження облушувальних машин ДЛН може створити підприємству економію в сумі $3186 + 25500 = 28686$ грн./рік.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Існуючі облушувальні комплекси мають разом з недоліками і відносно невисокий технологічний ефект. Їхнє подальше удосконалювання повинне бути спрямоване на виявлення і реалізацію резервів підвищення ефективності лушення, пневмосепарування на основі теоретичних і експериментальних досліджень у всіх складних елементах облушувальних систем робочих органів, внутрішньої і зовнішньої пневмосепараційних систем пневмоустановки.

2. Розроблена аналітична методика оцінки рівномірності обробки поверхні зернівок в процесі лушення і ймовірнісна модель визначення характеристик за енергетичними витратами на процес, що дозволяє визначити тривалість і якість обробки поверхні зерна і обґрунтувати критерії якості процесу.

3. Обґрунтована схема робочої зони і область раціональних значень частоти обертання абразивних дисків $\omega = 900 \dots 1300 \text{ хв}^{-1}$, міжзернового тиску в межах $15 \dots 18 \text{ кПа}$, схема подачі - кути направляючих конусів $\alpha = 20 \dots 30^\circ$ радіальний зазор $\delta = 10 \dots 15 \text{ мм}$.

4. Надійне пневмотранспортування продуктів з робочої зони лушення забезпечується нижнім підведенням повітря потоку через пористу перегородку (гідравлічний радіус $R_r = 2 \text{ мм}$), формування аеросуміші припускає зосереджену подачу аеродинамічних легких продуктів в робочу камеру. Основним чинником що визначає енергоємність пневмосистеми є щільність потоку.

6. Мінімальні втрати тиску максимальна ефективність пневмосепарування продуктів лушення отримуються при перпендикулярному взаємоперетині повітряного і продуктового потоків (кут $\alpha = 90^\circ$), горизонтальна подача суміші у вертикальний потік ($\alpha \rightarrow 90^\circ$), приводить до зменшення різності, вірогідності зіткнення, зчеплення аеродинамічних легких частинок компонентів, що розділяються.