

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра Технології та обладнання переробних і харчових виробництв

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

на тему: «Підвищення функціональних та експлуатаційних показників машини для
лушення зерна»

Виконав: здобувач вищої освіти
за ступенем «магістр» групи 2
(магістр)

ОПП технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Назва ОПП

спеціальності 208 Агроінженерія
шифр та назва спеціальності

Влізько В.С.

прізвище та ініціали студента

Керівник:

Скрипник В.О.

прізвище та ініціали керівника

Рецензент:

прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

Актуальність теми. Незадовільний стан ґрунтів деяких регіонів України, зумовлений забрудненням хімічними й радіонуклідними компонентами призводить при збиранні врожаю до одержання зернової продукції сільськогосподарського виробництва із значним перевищенням у ній нормованих гранично допустимих концентрацій цих речовин. Однак, у цей час не розроблена комплексна програма освоєння і рекультивації забруднених ґрунтів, а, також, створення спеціалізованої техніки й технології переробки екологічно прийняттого по чистоті зерна в харчові продукти. Попередні дані свідчать, що в деяких регіонах України зараженість оболонок зерна в 1,5 – 2 рази більше, ніж у ядрі, у цьому сенсі необхідність розробки й застосування нової техніки й технології лущення зерна стає життєво важливою.

Одним з напрямків раціонального використання проблемного зерна є застосування нової техніки й технології обробки його поверхні із забезпеченням процесу лущення в машинах безперервної дії. У зв'язку із цим попереднє вискоєфективне лущення, сепарування оболонок зерна злакових і інших культур набуває особливого значення і актуальності.

У ситуації, що склалася організація випуску сучасного високопродуктивного устаткування для зернопереробних підприємств, а, також, підвищення технічного рівня борошномельно-круп'яної й комбікормової промисловості на базі використання високопродуктивного обладнання й передової технології ставляться до найважливіших напрямків державної технічної політики України.

Удосконалення лущильних машин дозволить вирішувати проблеми зниження енергетичних витрат, екологічної безпеки. У цьому сенсі, розвиток наукових принципів про механізм абразивного лущення, створення на їхній основі методик обґрунтування раціональних режимних і конструктивних параметрів лущильних машин є доцільним і актуальним.

Мета та завдання досліджень: підвищення ефективності роботи машини для відокремлення квіткових плівок ячменю шляхом інтенсифікації процесів обробки поверхні зерна.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- виявити резерви підвищення ефективності машини для лушення зерна ячменю;
- розробити математичні моделі абразивної обробки зерна в машині для лушення зерна ячменю;
- провести дослідження механіки переміщення, обробки зерна ячменю;
- обґрунтувати структурні схеми, раціональні конструктивні й технологічні параметри машини для лушення зерна ячменю по енергетичних і технологічних показниках.

Об'єкт дослідження є технологічний процес лушення зерна.

Предмет дослідження є характер зміни енергетичних та якісних показників роботи машини для лушення зерна ячменя, що безпосередньо впливає на її конструктивні параметри.

Методика досліджень теоретичні дослідження процесів взаємодії, механіки переміщення, обробки й відокремлення квіткових плівок ячменю з використанням механіко-математичного моделювання на підставі основних положень вищої математики, теоретичної й аналітичної механіки, опору матеріалів та абразивної механіки. Ефективність механізованої технології відокремлення квіткових плівок ячменя обґрунтовано за критерієм витрати коштів.

Теоретична та практична значущість. Робота виконувалася згідно планів науково-дослідної діяльності кафедри «Технології та обладнання переробних і харчових виробництв» (2020 – 2021 р.р.) Інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету.

Запропонована модернізована конструкція машини для лушення дозволяє мінімізувати енергоспоживання в технологічному процесі виготовлення лушеного зерна ячменю:

- доведено, що поєднання комбінованого абразивного впливу на зернове середовище із конструктивними параметрами лушильника зерна ячменю дозволить покращити енергоефективні характеристики машини, що гарантує якість продуктів;

- установлений взаємозв'язок конструктивних характеристик робочих органів лущильної машини для вибору їх раціональної комбінації з урахуванням фізико-механічних властивостей зерна.

Запропонована технологія пройшла експериментальну виробничу апробацію і дозволить отримати річний економічний ефект після модернізації машини для лущення зерна в розмірі 26250 грн., при фактичній продуктивності 100 кг/год..

Особистий внесок претендента. У публікаціях у співавторстві авторові належать: Результати проведених досліджень процесу абразивно-фрикційного лущення, сепарування зерна ячменю [1]. Дослідження способів зміни структурно-механічних властивостей зерна [2].

Апробація результатів магістерської дипломної роботи. Влізько В.С., Сівцов О.В. Результати проведених досліджень процесу абразивно-фрикційного лущення, сепарування зерна ячменю. *Новітні технології в агроінженерії: проблеми та перспективи впровадження (присвячена 55-й річниці заснування інженернотехнологічного факультету Полтавського державного аграрного університету)*: матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., 1-2 червня 2021 р. Полтава : ПДАУ, 2021. С. 25-27

Влізько В.С. Дослідження способів зміни структурно-механічних властивостей зерна. *Техніка та технології в агропромисловому виробництві (присвячена 55-й річниці заснування інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету)*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 7-8 жовтня 2021 р. Полтава : ПДАУ, 2021. 200 с.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз досліджень в області лущення зерна.

Комплексне дослідження будови зерна, установлення матеріального балансу кормових компонентів і оцінка їх структурно-механічних властивостей спрямовані на вдосконалювання, вибір і побудову раціональних технологічних процесів, режимів підготовки й обробки зерна для харчових і кормових цілей і розробку нової конструкції устаткування.

Високий рівень науково-технічних досягнень в аналітичному обґрунтуванні процесів підготовки й переробки зерна й практичної реалізації їх у виробничих умовах виконаний вітчизняними авторами робіт [1...14] Н.В. Роменського, П.П. Тарутиного, Я.Н. Куприца, Г.А. Егорова, В.Я. Гиршсона, І.А. Наумова, А.В. Лыкова, І.Р. Дударева, А.Б. Демського, І.В. Настагунина, В.В. Трубова, Л.І. Гросула й роботами закордонних вчених [15...26] Бейли, Бакши, Бекера, Бурдета, Висса, Пфоста, Кранка, Моргана, Русява, Мюллера, Чирча, Стенверта.

Технологічні властивості зерна значною мірою залежать від його структури, анатомічної будови, умов підготовки, що є визначальним в організації й веденні технологічних процесів виготовлення готової продукції високої якості. Квіткові оболонки, що покривають зерно ячменя, міцно з'єднані з ядром і на відміну від оболонок рису, вівса й проса вимагають більших зусиль для їхнього відокремлення [27]. Залежно від району вирощування зерно ячменя ділиться на три групи: тонко плівкові сорти із вмістом квіткових плівок від 8 до 11 %, середньо плівкові сорти із вмістом від 11 до 13% і товсто плівкові сорти із вмістом до 15% [28].

Співвідношення ваги анатомічних частин у відсотках до сухої ваги зерна ячменя визначається межами вмісту: квіткові плівки (8,0...15,0)%; плодові оболонки (3,4...4,0)%; насінневі оболонки (2,0...2,5)%; алейроновий шар (12,0...13,0)%; ендосперм (63,0...68,5)%; зародок (2,5...3,0)%. Хімічний склад ячменя наведено в таблиці 1.1. [29].

Таблиця 1.1. – Хімічний склад зерна ячменя й відходів лущення

Продукт	Вміст у % на суху речовину				
	Золи	Жиру	Білка	Клітковини	Крохмалю й ін. вуглеводів
Ячмінь	2,7-3,1	1,9-2,6	10,5-14,6	4,5-7,2	68,0-78,0
Мучка	4,7	5,1	12,3	6,0-8,0	68,2
Лузга	7,63	0,9	3,75	66,1	20,0

Підвищений вміст клітковини в раціонах при відгодівлі, наприклад, свиней, знижує перетравлюваність живильних речовин і при збільшенні клітковини на 1% знижує їхні середньодобові прирости [29]. Тому, для згодовування молодняку тварин і птахам, рекомендаціями [30] регламентований вміст клітковини до 3,5%, що досягається шляхом лущення. У результаті лущення зерна ячменя знижується його зольність і підвищується відносний вміст всіх живильних речовин.

Узагальнення даних досліджень по анатомічній будові й хімічному складу зерна ячменя приводить до висновку про раціональність розробки й застосування техніки й технології попереднього відокремлення їх оболонок при переробці в крупу й стартові комбікорми.

Враховуючи те, що зерна злакових культур характеризуються мінливими властивостями, на процес відокремлення оболонок зерна істотний вплив має комплекс факторів, що включають умови підготовки до обробки його поверхні, межу міцності на стиск, властивості анатомічних структур і їх зв'язків, кінематика й динаміка зернового шару в процесі лущення й мінливість фрикційних властивостей при перемінних величинах між зернових навантажень і щільності завантаження зерна в робочу зону луцильної машини.

Дослідженнями І.Р. Дударева [40,41] і співавторів робіт фізичних властивостей зерна ячменя, пшениці й кукурудзи визначено, що найбільшою міцністю в зерна пшениці має сукупність усіх шарів оболонок, а найменшої – оболонка насінини. У зерна ячменя найбільшу міцність на розрив має квітова оболонка [42].

У роботі З.Д. Гончаровой [43] наведені середні результати руйнуючих зусиль, які склали відповідно для зерен кукурудзи, ячменю, жита, пшениці, вівса й гречки.

Дослідженнями П.П. Тарутиного [2] встановлено, що на поверхні 90...95% зернівок у результаті попередньої обробки в процесі збирання та зберігання створюються різні по розмірах мікротріщини, що підвищують волого пропускну здатність покривних тканин. При зволоженні вода проникає через тріщини оболонки або їх ушкоджені місця в зовнішні шари, у результаті чого відбувається набрякання клітин. У результаті заповнення вологою міжклітинного простору й капілярів відбувається відносний зсув клітин, збільшення проміжків між ними й ослаблення взаємних зв'язків. Різна вологоємність окремих шарів оболонки і умови подачі вологи приводять до появи значної напруги як між шарами, так і на окремих ділянках їх при нерівномірному зволоженні.

Спрямована зміна структурно-механічних властивостей зерна ячменю може бути досягнута в результаті впливу на них різними технологічними прийомами.

При загальному оцінюванні волого поглинальної здатності анатомічних частин зернівок, структурні елементи яких виконують роль адсорбенту, що брали участь своєю поверхнею в процесі адсорбції вологи й регулюючого швидкості її дифузії, важливими є фактори набрякання, а також швидкості проникнення й поглинання вологи. Г.А. Егоров [5] експериментально встановив, що при контакті з водою в перші кілька секунд зерно поглинає 3...5 % вологи, а далі, протягом деякого періоду, його вологість залишається незмінною. Це початкове поглинання води здійснюється оболонками, які мають велику кількість пор і капілярів, що значно збільшують активну поверхню зерна, що й забезпечує швидке поглинання, нагромадження й поширення вологи із значною швидкістю.

Залежно від кількості вологи зерно набуває властивості пружно-пластичного або пластичного тіла. За даними В.П. Малаховцева [44] при вологості 12 % зерно поводить як тендітний матеріал, а при вологості 17 % спостерігається розвиток пластичних деформацій, що становлять 40 % від повних.

1.2. Способи та засоби луцення зерна

Безліч способів і засобів луцення зернових матеріалів можуть бути повно охарактеризовані з використанням класифікації.

У першій групі виділені машини з ударним принципом дії, у яких відокремлення оболонок відбувається, головним чином, під дією ударних імпульсів, багаторазово прикладених до зерна і миттєвих сил тертя, зумовлених ковзанням їх по шорсткуватих поверхнях робочих органів.

До другої групи віднесені луцильні машини фрикційної дії з поділом на дві підгрупи.

У першій підгрупі машин відокремлення оболонок досягається інтенсивним зовнішнім тертям зерна по робочому органі різної шорсткості, яка може створюватися штучно, шляхом нанесення облицювальної абразивної маси, або є природною.

У процесі переміщення зерна від приймального бункера до випускного отвору до них неодноразово прикладаються нормальні й дотичні зусилля, і одночасно відбувається часткове взаємне тертя оброблюваних зерен.

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

До машин ударної дії слід віднести конструкцію фірми Roskamp «Challenger» (див. рисунок 1.1) особливостями якої є: - наявність луцильної камери, з якої суміш обрушених та подрібнених і необлушених зерен, подається в трієрний ротор для поділу обрушеного і подрібненого зерна з очищенням у вбудованій аспіраційній камері для відокремлення аеродинамічно легких часток у вигляді лузги й мучки.



Рисунок 1.1. – Машин ударної дії фірми Roskamp «Challenger»

У луцильній машині фірми «Oscim» FMD-714 для інтенсифікації лушення зерна ячменя створені місцеві звуження, утворені закріпленими на внутрішній поверхні обичайки повздожніми ребрами квадратного перетину; бичевий барабан працює як вентилятор низького тиску, послідовно сполучений з вентилятором середнього тиску аспіраційної мережі, що в результаті створює розрідження в камері осідання матеріалу, що сприяє гравітаційному осіданню аеродинамічно легких часток (див. рисунок 1.2).



Рисунок 1.2. – Луцильна машина фірми «Oscim» FMD-714

Технологічні показники роботи лушильних машин ударної дії наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. – Технологічні показники роботи лушильних машин ударної дії при обробці зерна ячменя

Найменування показників	Одиниця виміру	Найменування лушильних машин			
		Комбінований лушильник "Ctlltnger"	Лушильна машина А 1-ДШО	Лушильник Двох роторний FMD-714	Оббивальна 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/ч/м ²	1,76	1,51	0,43	0,83
Подрібнені зерна	%	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 цілісності ядра	%	0,03	0,07	0,98	0,71
Ефект лущення	%	1,13	2,63	52,48	66,27

Після порівняння даних впливає, що показники, які характеризують технологічний ефект лушильних машин ударної дії не можуть бути визнані прийнятними через значну кількість подрібненого зерна, що досягають 27% низьких значень коефіцієнтів лущення й цілісності ядра.

Підгрупу машин фрикційної дії з переважаючим впливом на зерно зовнішнього тертя по поверхні робочих органів становлять лушильні машини типу А1 ЗШН-3, у яких регулювання процесу досягається зміною тривалості перебування зерна в робочій зоні (див. рисунок 1.3).

Особливостями цієї машини є: можливість зміни тривалості обробки зерна в робочій зоні шляхом дроселювання сипучого потоку, зміни щільності укладання зерна й інтенсивності лущення; переміщення турбулентних повітряних потоків через

порожній вал з отворами на його поверхні сприяють охолодженню абразивних дисків, запобігає їх «залоювання» і сприяє відведенню через отвори перфорованої обичайки аеродинамічно легких часток в аспіраційну мережу.



Рисунок 1.3. – Луцильна машини типу А1 ЗШН-3

Друга група машин фрикційної дії, у яких процес луцення здійснюється, в основному, за рахунок внутрішнього тертя між зернівками, утворює лінтер-осьова і луцильна машина «Каскад».



Рисунок 1.4. – Луцильно-шліфувальна машина «Каскад»

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

Порівняльні результати роботи лушильних машин фрикційного принципу дії наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. – Результати лушення зерна ячменя машинами фрикційного принципу дії

Найменування показників	Одиниця виміру	Найменування лушильних машин			
		Джи-агов-Джи	А1 ЗШН-3	Лінтер-осьова	«Каскад»
Конструктивна продуктивність	кг/год	1700	1700	2000	6000
Не облущені зерна	%	70,00	72,00	77,80	7,48
Подрібнені 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 цілісності ядра	%	0,71	0,80	0,73	0,96
Ефективність лушення	%	20,18	21,43	15,52	88,35

Аналізуючи результати виробничо-технологічних випробувань 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 повністю використовується робоча поверхня абразивних кіл, а в машині В1-БШР застосоване складне по конструкції дросильно - випускне обладнання, зайва наявність вивідного шнека для відходів лушення, геометрія лопаток вимагає уточнення для зниження зруйнованого зерна у процесі обробки за рахунок ударного впливу на нього гострих з плоскими краями прямокутних лопаток.

Дослідженнями І.Р. Дударева, О.І. Гапонюка, А.А.Бакуменко, а також інших дослідників встановлено, що спосіб абразивного лушення має загальний недолік – відсутність рівномірної обробки поверхні зерна. Ступінь відокремлення покривних структур у лущильних машинах безперервної дії коливається від 10 до 70 %.

Повноцінна обробка зерна характерна для часток, що перебувають на периферії зернового шару робочої зони. У свою чергу мінімальне відокремлення покривних часток до 10% притаманно центральній частині продуктового потоку. Як показали дослідження О.І. Гапонюк [45], диференційований характер обробки зернової маси визначений так званим ефектом «сухого змащення». Наявність дрібно дисперсних часток покривних продуктів лушення в робочій зоні знижує величину сили внутрішнього тертя, зчеплення між зернівками, коефіцієнта внутрішнього тертя зернової маси. Властивості дрібнодисперсної оболонки, що перебувають між зернівками, зменшують площу плями контакту оброблюваних поверхонь зерна, що призводить до зниження твердості шару укладання зернового потоку.

Відмінність природи зв'язків між оболонками зерна, характеристик міцності різних круп'яних культур припускає їхній поділ при суттєво відмінних умовах механічного навантаження, що зрушують під впливами тертя. У цьому напрямку, спроби створення підвищених напруг у зоні утворення зводів, без обліку структурно-реологічних властивостей, пружно-пластичних характеристик зернової маси, приводять до підвищеного числа битого, дробленого зерна погіршенню якості готової продукції, підвищеному зношуванню робочих органів.

1.3. Напрямки вдосконалювання лущильних машин

Проведений аналіз способів лушення зернових матеріалів свідчить як про можливість подальшого вдосконалювання режимів обробки, так і про необхідність використання підходів і прогресивних рішень у питанні відокремлення покривних тканин, створення сучасних технологічних засобів для реалізації основних технологічних операцій комбікормових і круп'яних виробництв [46].

Ефективним шляхом вирішення проблем енергетики забезпечення високої якості обробки зерна є використання комбінованих способів відокремлення покривних оболонкових поверхонь із аеросипаруванням. Нові принципи удосконалення луцильних машин повинні бути засновані на використанні переваг устаткування багатофункціонального призначення й агрегатів автономного використання, розширення їх технологічних можливостей [47].

Природа зв'язків оболонок зерна різних круп'яних культур обумовлює можливість їх поділу різними способами при суттєво відмінних умовах механічного навантаження удару, що зрушують, впливом сили тертя. Дослідженнями впливу умов навантаження на ефективність процесу луцення встановлена складна залежність комбінованих способів обробки не тільки від принципу реалізації напруг зрушення, сил зв'язку, способів підготовки зерна, але й фізико-механічних властивостей зернової маси – її структурно-реологічних характеристик.

Аналіз способів впливу на сипучі матеріали дозволить встановити найбільш технічно раціональні й технологічно доцільні способи луцення й принципи їх реалізації із застосуванням роторно-дискових машин, що сполучають абразивно-ударний з аеродинамічним впливом на зернову масу.

Одним з можливих напрямків розв'язання поставленого завдання є вдосконалювання конструктивно-функціональних характеристик робочих органів абразивних луцильних машин. Їхня реалізація може бути досягнута шляхом збільшення активного обсягу робочої зони за рахунок поєднання силових полів фрикційного ударного й аеродинамічного впливу, що дозволяє збільшити довжину шляху й час перебування зерна в робочій зоні, створити умови повного контакту всієї поверхні зерна як з торцевими, так і з бічними поверхнями дисків за рахунок усунення ефекту «сухого змащування».

У якійсь мірі нові підходи до удосконалювання устаткування з усуненням ефекту «сухого змащування», запропоновані в рамках робіт [48]. І.М. Шипко довів можливість удосконалювання процесу перемішування (міграції зернівок у рамках обсягу робочої зони з периферії в центральну частину й назад) за рахунок зміни геометричних характеристик зони обробки зерна. Зокрема,

дослідженнями [49] встановлено, що використання дискової периферії абразивних кіл дозволяє за рахунок створення радіальних напрямних сил тертя динамічно змінювати структуру зернового потоку по напрямку руху зернового середовища в між дисковому робочому просторі. Разом з тим у розширювальних кишнях між дискового простору утворюються застійні зони, де має місце надлишкова обробка зерна, що у свою чергу призводить до надлишкового утворення мучки, залююванню торцевої поверхні абразивних кіл, росту енергоємності процесу лущення. У цьому сенсі актуальним є обґрунтування геометрії робочої зони між дискового простору, що ліквідує виникнення застійних зон.

Як відомо зернопереробне устаткування, у тому числі й абразивні лущильники, аеродинамічне обладнання, що сепарують, мають значні коливання продуктивності. До напрямків удосконалювання лущильних машин слід віднести завдання стабілізації подачі зерна в робочу зону лущильників і аеродинамічних сепараторів.

1.4 Висновки за розділом 1

1. Існуючі лущильні машини мають ряд істотних недоліків, і мають відносно невисокий технологічний ефект. Їх подальше вдосконалення має бути спрямоване на виявлення й реалізацію резервів підвищення ефективності лущення, на основі теоретичних і експериментальних досліджень.

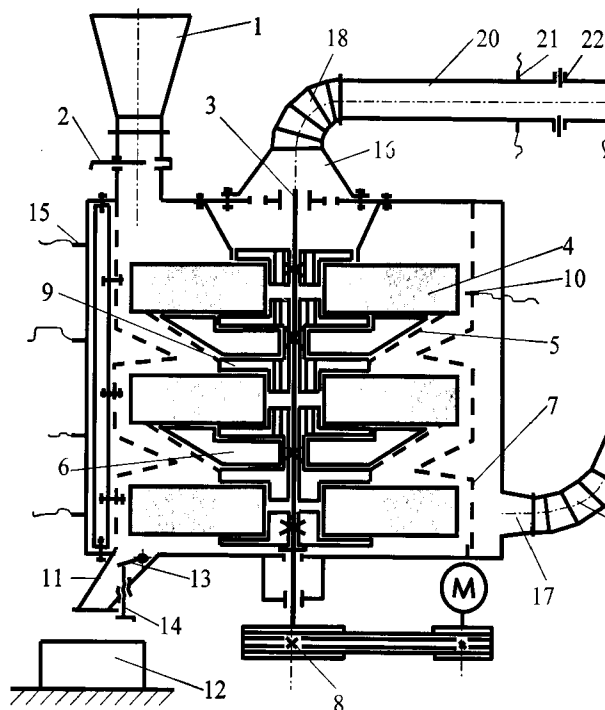
2. Очевидно, що інтенсифікація виробництва продуктів лущення, обґрунтування раціональної геометрії робочої зони фрикційної обробки зерна, є перспективним напрямком мінімізації по стадійності, енергоємності процесів крупо утворення. Методи розрахунків конструктивних і технологічних параметрів таких конструкцій комплексних систем лущення відсутні.

3. Стабілізація технологічної ефективності, мінімізація по стадійності процесів лущення, можуть бути забезпечені сполученням фрикційного відокремлення оболонок з аеродинамічним пневмосепаруванням і пневмотранспортуванням зернових сумішей, усуненням ефекту «сухого змащення».

2 МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Загальна характеристика експериментальних досліджень процесу луцення.

Відповідно до завдань роботи була складена програма експериментальних досліджень процесу луцення зерна ячменю (табл. 2.1). На підставі аналізу робіт в області обробки сипучих зернових матеріалів запропонована параметрична схема процесу, в якій виділені вхідні керуючі, що збурюють, а, також, вихідні керовані й спостережні параметри, що визначають результативність процесу луцення зерна з досягненням рівномірності обробки його поверхні (рис. 2.1).



1 – завантажувальний пристрій; 2 – засувка регулювання ступені заповнення робочої зони; 3 – вал ротора; 4 – абразивні диски; 5 – ситова обичайка; 6 – випускний пристрій; 7 – клапан регулювання між зернового тиску в робочій зоні; 8 – шків вала; 9 – пневмо-колонка; 10 – шлюзовий затвор; 11 – ваги; 12, 13 – відповідно ємності для збору продуктів луцення; 14 – шток; 15 – мікроманометри, диференціального й стаціонарного виду; 16 – вакуумний трубопровід; 17 – нагнітальний трубопровід; 18 – відводи; 20 – повітряні канали; 22 – діафрагми із центральним отвором.

Рисунок 2.1. – Схема абразивно-дискової луцильно-шліфувальної машини

Стосовно конструкції абразивно-дискової лушильної машини безперервної дії А1 ЗШН-3 в якості рекомендованих керуючих параметрів процесу лушення з досягненням рівномірної обробки поверхні зернівок і відокремленням оболонок можуть бути вибрані: колова швидкість обертання абразивних дисків, кут нахилу напрямного конуса, радіальний зазор абразивного диска і ситової обичайки, коефіцієнт заповнення зерном робочої зони.

Вхідними конструктивно-настановчими параметрами, що визначають робочу зону машини можуть бути: діаметр абразивного диска D , внутрішній діаметр ситового циліндра $D_{об}$, радіальний зазор α , висота диска h , кількість абразивних дисків n , висота усічено-конічного заглиблення H та зазор b між нижньою частиною конуса й поверхнею абразивного диска.

Таблиця 2.1 – Програма експериментальних досліджень

№ серії дослідів	Напрямок досліджень	Параметри	
		Постійні	Змінні
1.	Попередні експериментальні дослідження процесу лушення зерна ячменю. Експериментальне визначення залежності продуктивності лушильної машини, кількості відходів лушення, вмісту битих зерен і потужності електропривода від технологічних параметрів процесу лушення.	$D, D_{об}, h, n, H, b$	$\alpha, \delta, \omega, f$
2.	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, яку споживає лушильна машина від режимних параметрів	$D, D_{об}, h, n, H, b$	$\alpha, \delta, \omega, f$

Ефективність обробки залежить від параметрів, що впливають: значення вологості вхідного зерна W , зольності $z_{із}$, кількості клітковини K_B . До вихідних

2.2. Методика експериментальних досліджень

В якості об'єкта дослідження було обрано зерно ярого ячменю сорту «Воевода» урожаю 2019 року, вирощеного на сортодільницях Полтавської ДСГДС ім. М.І. Вавилова м. Полтава.

Для комплексної оцінки якості продуктів лушення використовували розрахункові рівняння, отримані відповідно до рекомендацій [50].

Показники якості зерна й продуктів лушення визначалися за стандартами методиками: відбір зразків, наважок і проб – ДЕРЖСТАНДАРТ 10839-64; вага 1000 зернин – ДЕРЖСТАНДАРТ 10842-76; об'ємна вага – ДЕРЖСТАНДАРТ 13496.3-70; вміст подрібненого зерна – ДЕРЖСТАНДАРТ 10939-64; вологість – ДЕРЖСТАНДАРТ 3040-55; скловидність – ДЕРЖСТАНДАРТ 10987-76; зольність – ДЕРЖСТАНДАРТ 10847-74; клітковина – ДЕРЖСТАНДАРТ 13496.7-75; крохмаль – ДЕРЖСТАНДАРТ 10845-76.

Для більш повного опису процесу лушення використаний експериментально-статистичний метод. Не заглиблюючись у внутрішню структуру, розглянутий процес, як єдине ціле, і змодельований зв'язок між вхідними й вихідними параметрами. Така модель буде характеризувати властивості при певних діапазонах зміни вхідних і вихідних параметрів. Використаний прямий спосіб обчислення коефіцієнтів регресійних моделей, тому що ефективність використання кореляційного аналізу пов'язана з дотриманням ряду умов, які важко здійснити в умовах реального виробництва [51].

Досліджуваний процес дозволяє провести активний експеримент, заснований на використанні штучно збурюючих факторів, що вводяться по заздалегідь спланованій програмі. Активний підхід до експерименту в комбінації з методом планування дозволяє отримати необхідні результати, витративши мінімальні засоби й час на проведення досліджень [51]. 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 усіченого конуса робочої зони машини – α , радіального зазору між диском і ситом – δ , частоти обертання вала – n і ступеня дроселювання зернового потоку – k . Це підтверджує попередній технічний, технологічний і економічний аналіз роботи лушильних машин для злакових культур [42].

Основними вихідними параметрами або характеристиками процесу є продуктивність по зерну – Q , кількість відходів лушення – $C_{\text{ов}}$, вміст подрібненого зерна – ΔB і потужність електроспоживання – N .

2.3. Експериментальне устаткування

Установка для дослідження процесу лушення. Дослідження процесу лушення в удосконаленій абразивно-дисковій машині, умовах виробництва на базі крупоцеху господарства. Схема стендової установки представлена на рис. 2.1. Експерименти проводилися відповідно до програми й методикою викладеної в п. 2.1, 2.2.

Вивчення процесів лушення зерна проводили в наступній послідовності: зразок зерна досліджуваної культури завантажували в бункер 1, потім робили його обробку в машині із установленими геометричними, механічними, а також аеродинамічними характеристиками пневмо приймальних пристроїв. Кінцевий продукт виводився в короб 12, після чого проводили очищення машини, визначали матеріальний баланс продуктів лушення, по фракціях розподіл виконували на ситах і в аспіраційній колонці й відбирали зразки для аналізу.

Протягом проведення експериментальних досліджень зразок вагою 10 кг засипали в приймальний бункер та піддавали лущенню в машині із установленими

геометричними й кінематичними параметрами, проводили виміри, після чого робили їх очищення, визначали матеріальний баланс продуктів лушення, розділяли їх на пневмо сепарувальній колонці й відбирали зразки для аналізу.

Лабораторний стенд дозволяв при варіювальних вхідних факторах, що включають колову швидкість абразивних дисків, зазор, продуктивність, і перемінних у прийнятих діапазонах, визначити величину споживаної питомої потужності $N_{\text{тут}}$, кількість відходів, що утворюються в результаті процесу лушення з робочої зони машини; технологічні показники роботи машини: зниження зольності $\Delta z\%$; кількість знятих оболонки $\Delta z_{\text{об}}$, %; збільшення подрібненого зерна ΔB .

Після модернізації установку перевіряли на герметичність шляхом створення розрідження в машині й пневмотранспортній системі й контролю показників манометрів, які були підключені до штуцерів відбору тиску в різних місцях на корпусі машини й аспіраційній системі. Відсутність перепаду тиску свідчила про герметичність машини.

Частоту обертання ротора вимірювали стробо-тахометром 2ТСТ32-456 з паспортною похибкою $\pm 0,5$.

Колову швидкість абразивних дисків розраховували за формулою:

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

Де D – діаметр абразивного диска, м;

n – частота обертання ротора машини, об/хв.

Витрату енергії визначали за допомогою переносного комплексу ДО50 з паспортною похибкою $\pm 0,5$.

Масову витрату оброблюваного матеріалу вимірювали ваговим способом з використанням медичних ваг по залежності:

$$G = \frac{M_i}{t_a}, \quad (2.2)$$

де M_i – вага матеріалу;

t_a – час подачі.

В ході експериментальних досліджень процесу лушення зерна ячменю використовували наступну контрольно-вимірвальну апаратуру (див. таблиця 2.2)

Таблиця 2.2 – Контрольно-вимірвальна апаратура, використана для дослідження процесу лушення

Найменування	Параметри вимірів	Межі вимірів
1. Аспіраційний психрометр	Температура і відносна вологість	-20...+50° С 20...100%
2. Строботахометр 2ТСт32-45б	Частота обертання ротора	0...150 Гц
3. Електровимірвальний комплект ДО-50	Потужність	0...50кВт
4. Термоанемометр	V	до 5 м/с
5. Ваги медичні	Вага	0,1...100 кг
6. Ваги електронні SCOUT	Вага	0-200 гр
7. Мілівольтметр цифровий, В7-21Ф, №Л020047	Сила струму, опір Напруга	
8. Зерновий вологомір AQUASEARCH-600, модель РМ-6004-1S, фірми Kett Electric Laboratory (Японія)	Вологість	до35%
9. Секундомір	Час	0...120с

2.4. Методика обробки експериментальних даних.

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

При визначенні необхідного числа повторень експериментів виходили з основного правила: якщо систематична помилка є визначальною, тобто її величина суттєво більша величини випадкової помилки, властивої методу, то досить виконати вимір один раз, якщо випадкова помилка є визначальною, то вимір слід робити кілька раз. В останньому випадку розрахунки числа повторень експерименту проводили після перевірки відповідності достовірності розподілу нормальному. Перевірку здійснювали за критеріями Ω і W згідно стандартів «Прикладна статистика. Правила перевірки узгодження достовірності розподілу з теоретичним». Визначення числа

повторень експериментів робили за загальноприйнятою методикою за допомогою розподілу Стюдента, а також по таблиці Романовського В.І. [52,53,54] при рівні надійності 0,95 - 0,99 і при допустимій похибці 5%.

При обробці експериментальних даних розраховували середнє (або середньозважене) значення й середнє квадратичне відхилення [54].

Для перевірки точності експерименту розраховували систематичні й статистичні помилки. Систематичні помилки, що показують межу точності експерименту, визначали для безпосередніх вимірів з урахуванням точності методу й приладів; помилки непрямих величин розраховували за відомими формулах [53,54]. Статистичні помилки для вимірюваних нами величин (стандарт, імовірна помилка, коефіцієнт варіації) показують не тільки межу точності (тобто систематичні помилки), але й межу мінливості ознаки, тому що у всіх випадках це були змінні величини.

2.5 Висновки за розділом 2

1. При розробці методики експериментів і обробці експериментальних даних враховували вимоги стандартів, а також рекомендації, наведені в літературних джерелах.

2. Характер протікання процесу лушення зерна в абразивно-дисковій машині детермінованим чином залежить від величини кута усіченого конуса робочої зони машини – α , радіального зазору між диском і ситом – δ , частоти обертання вала – n і ступеня дроселювання зернового потоку – k . Це підтверджує попередній технічний, технологічний і економічний аналіз роботи луцильних машин для злакових культур.

3. Враховуючи вхідні фактори, що включають колову швидкість абразивних дисків, зазор, продуктивність у прийнятих діапазонах, необхідно визначити величину споживаної питомої потужності N_{min} , кількість відходів, що утворюються в результаті процесу лушення; технологічні показники роботи машини: зниження зольності $\Delta 3\%$; кількість знятих оболонки $\Delta 30\%$; збільшення подрібненого зерна ΔB .

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Режимні параметри лушення зерна в абразивно-дисковій машині.

Для обґрунтування технологічних режимів процесу лушення зерна необхідно попередньо визначити основні закономірності процесів, що протікають у комбінованій лущильній машині [55].

Для визначення впливу на лушення зерна різних факторів проводили попередні дослідження на виробничій експериментальній установці (розділ 2, рис.2.2). Для цього проводили пробні пропуски зерна через абразивно-дискову машину й установлювали вплив вихідних даних зерна на показники якості готової продукції й енергетичні показники процесу.

Результати серії попередніх експериментів наведені в Додатку А, а їх графічні залежності на рис. 3.1, 3.2, 3.3.

Залежність продуктивності Q (а), кількості подрібненого зерна B (б), відходів лушення $C_{ш}$, в), потужності електроприводу (с) і кута нахилу усіченого конуса робочої зони α й, радіального зазору δ у лущильної машини для ячменя ($1_{я}$, $2_{я}$) наведена на рис. 3.1.

Аналіз графічних результатів, наведених на рис. 3.1, 3.2 (а) показує, що в процесі лушення зерна ячменю підвищення радіального зазору δ у межах 5...25 мм. призводить до підвищення пропускної здатності машини від 0,75 до 1,5 т/год. Однак, вихід відходів лушення ячменя при цьому знижується від 8 до 5,5 % при одночасному зниженні кількості пошкодженого зерна від 3,0 до 2,5% і зниженню витрат енергії на процес від 28 до 16 кВт.

Збільшення кута нахилу усіченого конуса α в межах 20...40 град. Обумовило незначне підвищення пропускної здатності машини від 0,7 до 0,9 т/год. При цьому, відокремлення оболонок $C_{ш}$, практично залишалось не змінним і становило близько 7 %. Кількість пошкодженого зерна змінювалася в межах $2,9 \pm 0,1\%$, а зміна потужності N на процес знаходилася в межах $23 \pm 2,5$ кВт.

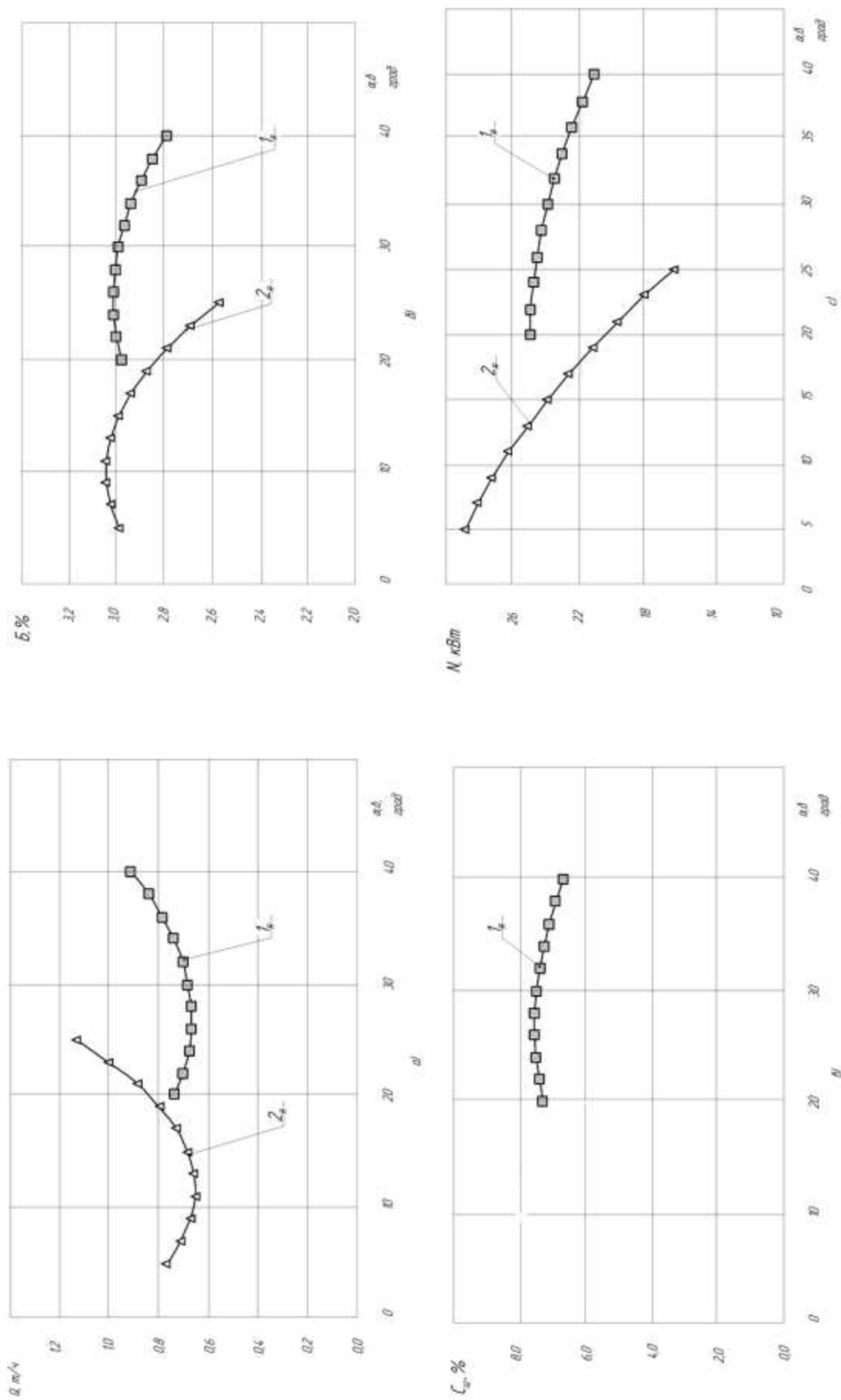


Рисунок 3.1. – Залежність продуктивності Q (а), кількості подрібненого зерна B (б), відходів лущення $C_{\text{п}}$ (в), потужності електропривода N (с) від кута підстави усіченого конуса робочої зони α і радіального зазору δ у лущильній машині для ячменя (Z_{α} , Z_{β})

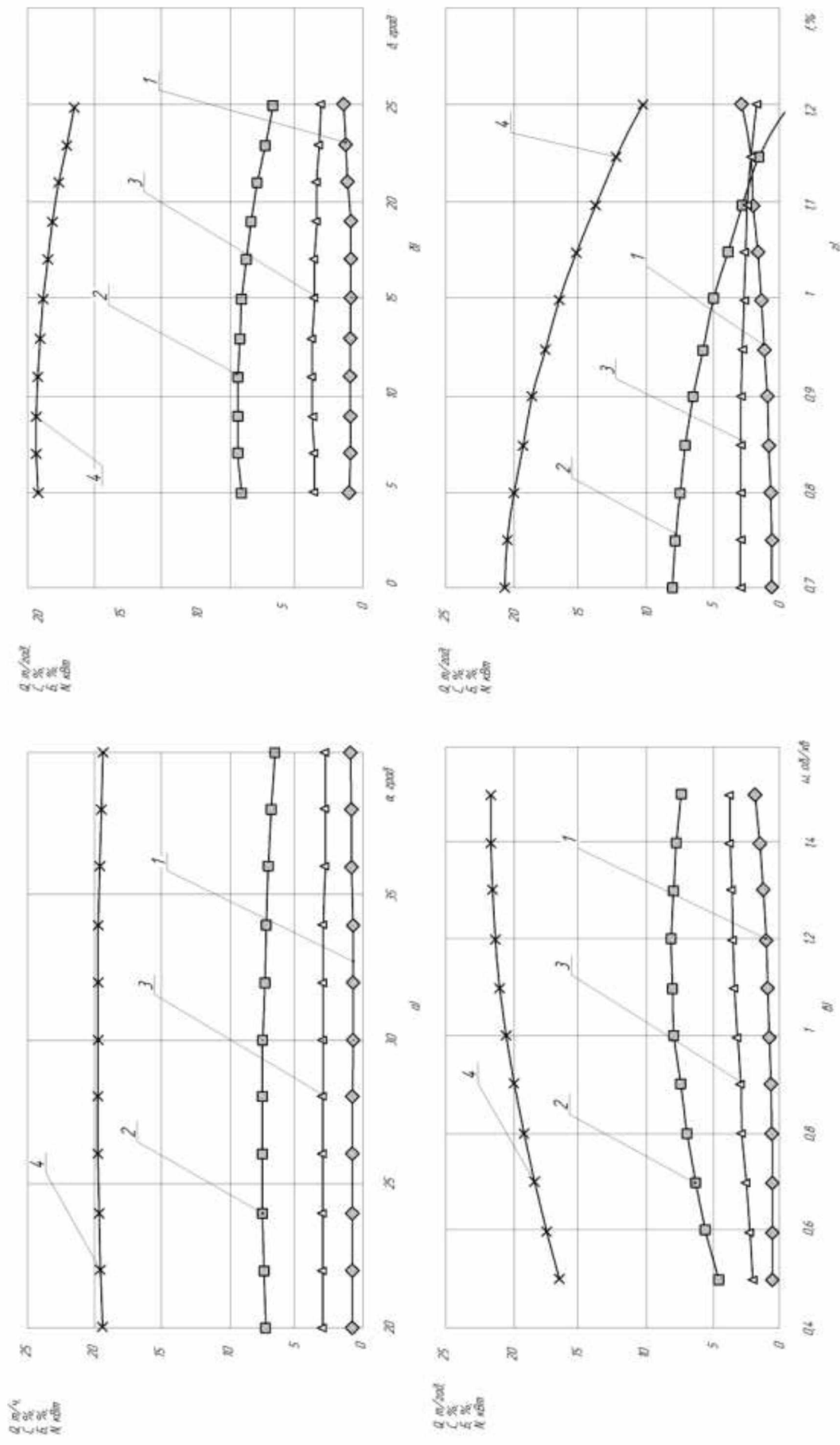


Рисунок 3.2. – Залежність продуктивності луцильної машини (1), кількості відходів (2), подрібненого зерна (3) і потужності електропривода (4) від кута нахилу усіченого конуса робочої зони а (а) і радіального зазору б (б), частоти обертання робочого вала ω (в) і відкриття заслінки f (г) для ячменя

При луценні зерна ячменю із збільшенням кутової швидкості обертання абразивних дисків ω продуктивність машини збільшується від 0,5 до 2,8 т/год, однак вихід відходів лушення при цьому підвищився з 4,5 до 8,0 % при одночасному збільшенні кількості подрібненого зерна від 2,0 до 3,7%, що супроводжувалося зниженням витрати енергії від 30 до 12 кВт (рис. 3.3).

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 подрібненого зерна і витрати енергії.

3.2 Результати дослідження раціональних параметрів лушення зерна

Відомі форми закономірностей процесу лушення [56] для розв'язку завдань оптимізації не прийнятні, оскільки не враховують необхідні зв'язки між основними параметрами машини для лушення і зерна, що впливають на кінцеві характеристики якості процесу. Їх застосування вимагає спеціальних перетворень або введення додаткових математичних зв'язків, для яких немає теоретичного обґрунтування, тобто, визначення цих характеристик аналітично або неможливо, або викликає відомі складності, а експериментальне визначення цих зв'язків у загальному випадку є трудомістким. У загальному випадку математичний опис процесу лушення можна представити, як функцію параметрів, обумовлених конструкцією машини (кут нахилу напрямного конуса α , зазор між абразивними дисками δ) керуючих параметрів (частота обертання ротора ω , ступінь дроселювання потоку зерна f) від таких показників якості як продуктивність Q , кількість відходів C_o , кількість подрібненого зерна B , потужність електропривода N .

$$Q = f(\alpha, \delta, \omega, f), \quad (3.1)$$

$$C_o = f(\alpha, \delta, \omega, f), \quad (3.2)$$

$$A = f(\alpha, \delta, \omega, f), \quad (3.3)$$

$$N = f(\alpha, \delta, \omega, f), \quad (3.4)$$

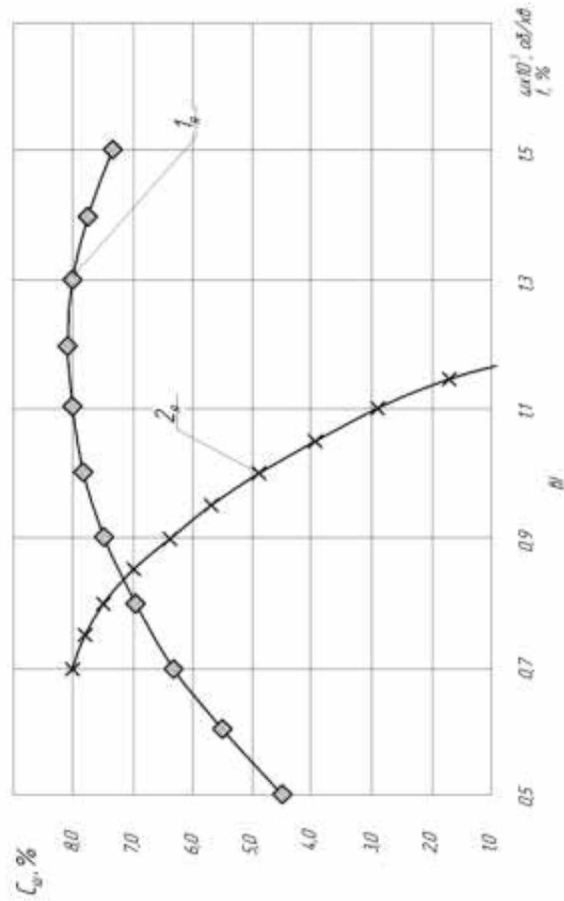
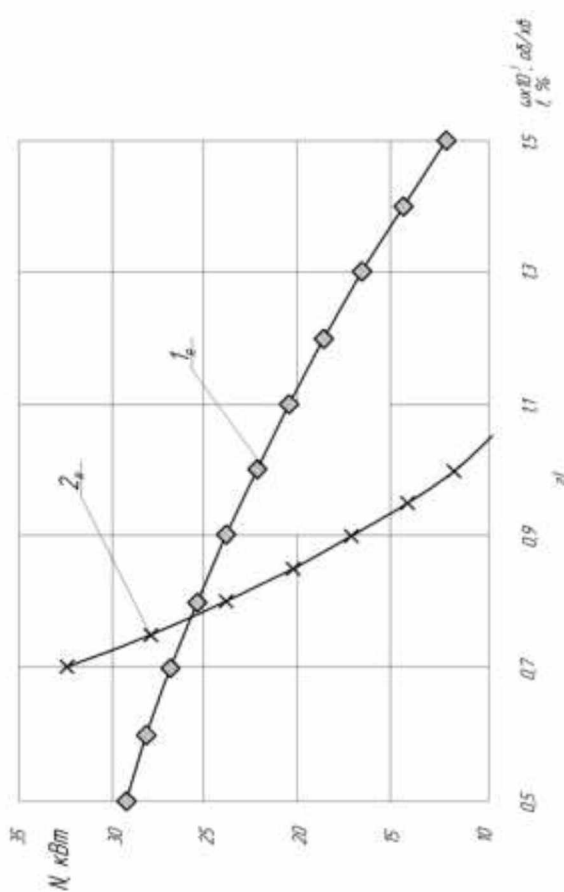
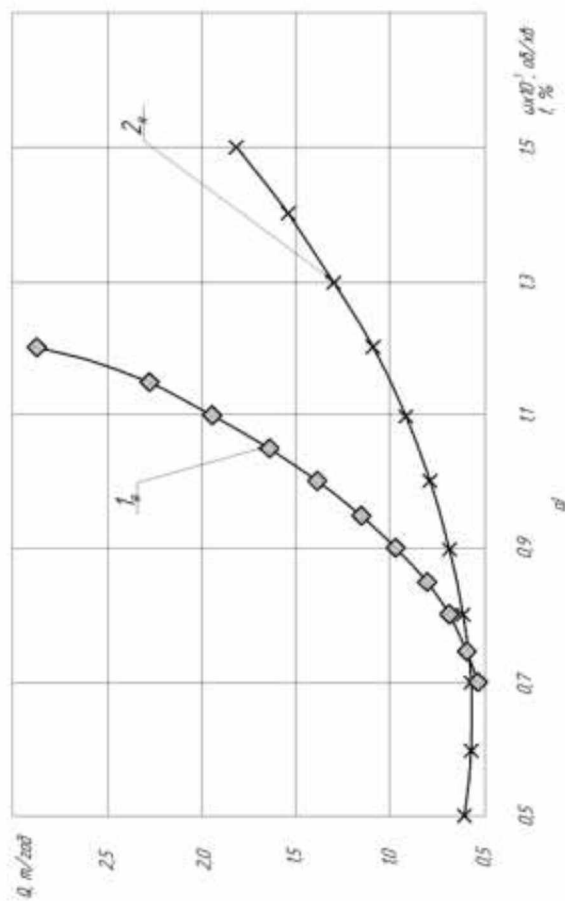
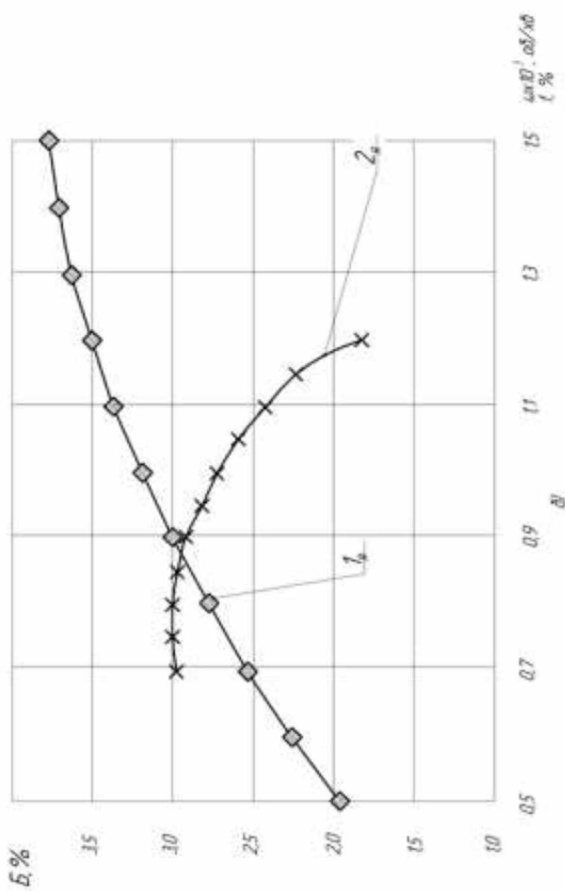


Рисунок 3.3. – Залежність продуктивності Q (а), кількості подрібненого зерна B (б), відходів лушення $C_{\text{ш}}$ (в), потужності електроприводу N (с) від частоти обертання робочого вала ω і відкриття заслінки f для ячменя (1_{ω} , 2_{ω})

Такі залежності дозволяють при заданих $(\alpha, \delta, \omega, f)$, розрахувати значенню $D, D_{\infty}, h, n, H, b$, і вибрати оптимальний технологічний процес.

Для одержання кількісних закономірностей процесу лушення зерна ячменя була проведена серія дослідів.

Для складання багатофакторного плану експериментів визначили діапазон варіювання досліджуваних факторів на підставі апріорної інформації про технологічний процес і попередніх дослідів.

У результаті обробки експериментальних даних згідно з матрицею планування наведених у додатку Б, Приймаємо, що вихідні величини залежать від чотирьох незалежних змінних x_1, \dots, x_4 , які представлені вектором:

$$X = (x_1, x_2, x_3, x_4)^T. \quad (3.5)$$

За допомогою експериментальних досліджень визначаємо наближений опис функції:

$$Y = y(x). \quad (3.6)$$

Враховуючи очевидну не лінійність залежності (3.6), описуємо квадратичними рівняннями загального виду [47]:

$$t(a, x) = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n + a_{n+1} x_1^2 + \dots + a_{2n} x_n^2 + a_{2n+1} x_1 \cdot x_2 + \dots + a_k x_{n-1} \cdot x_n, \quad (3.7)$$

де

$$k+1 = \frac{(n+2) \cdot (n+1)}{2}.$$

У векторній формі рівняння (3.7) матиме вид:

$$y^{(\mu)} = a^{(\mu)T} \cdot f(x), \quad \mu = 1, 2, 3. \quad (3.8)$$

де $a^{(\mu)} = (a_0^{(\mu)}, a_1^{(\mu)}, \dots, a_k^{(\mu)})^T$ і $f(x) = [f_0(x), f_1(x), \dots, f_k(x)]^T$ – відповідно вектор невідомих коефіцієнтів моделі та вектор заданих функцій вхідних параметрів процесу.

Максимальний індекс вектора коефіцієнтів моделі $k=14$, а кількість змінних $n=4$. Враховуючи те, що рівняння моделі по кожному вихідному параметрі має однаковий вид, в подальшому індексом μ , що характеризує вихідний параметр,

будемо нехтувати. Для дійсних значень вектора коефіцієнтів a , які будемо позначати \bar{a} , необхідно знайти оцінку a , використовуємо для цього результати експерименту. Значення y розраховуємо за формулою:

$$y = \alpha^T \cdot f(x). \quad (3.9)$$

Для оцінювання коефіцієнтів моделі виду (3.8), що містить функцію незалежних змінних типу x_i^2 , незалежна змінна в плані повинна приймати принаймні три різних значення. Композиційний план для квадратичної моделі отримуємо шляхом додаванням до «ядра», що утворено планом для лінійної моделі, «зіркових» точок з координатами $(\pm\alpha, 0, \dots, 0), \dots, (0, \dots, 0, \pm\alpha)$. Отримаємо центральний композиційний план, запропонований Боксом с $\alpha = \pm 1,414$ [57]. При $n = 4$ в якості ядра ортогонального центрального композиційного плану може бути використано лише повно факторний експеримент з кількістю точок плану $N = 2^{n-p} + 2n + 1$, де 2^{n-p} – число точок ядра плану.

Таким чином, при $2^{n-p} = 16$, $N = 25$. Результати спостережень \tilde{y}_i в точці x_i представимо за допомогою вектора спостережень:

$$\tilde{Y} = (\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_N)^T. \quad (3.10)$$

В кожній точці x_i може бути виконано ν дослідів, результатами яких будуть $\tilde{y}_{i_1}, \tilde{y}_{i_2}, \dots, \tilde{y}_{i_\nu}$. У такому випадку в якості \tilde{y}_i використовуємо середнє значення спостережень в точці.

$$\tilde{y}_i = \nu^{-1}(\tilde{y}_{i_1} + \tilde{y}_{i_2} + \dots + \tilde{y}_{i_\nu}). \quad (3.11)$$

Задача в тому, щоб на основі результатів спостережень вхідних параметрів x_i та вихідного параметру \tilde{y} знайти значення a та y найкращі в сенсі мінімуму дисперсії оцінки a_i , тобто.

$$\sigma_i^2 = M\{(a_i - \bar{a}_i)^2\} = \min. \quad (3.12)$$

де M – символ математичного очікування.

Для вирішення поставленої задачі використовуємо метод найменших квадратів [57]. Цей метод дозволяє побудувати оптимальну модель та вирішити питання про те, чи є отримана модель адекватною, тобто, чи відповідає вона дійсності. Оцінювання

невідомих коефіцієнтів моделі у відповідності з методом найменших квадратів визначають за формулою:

$$a = (F^T \cdot F)^{-1} F^T \tilde{Y}, \quad (3.13)$$

де F – вибрана матриця спостережень вхідних параметрів розмірності $N \times (k+1)$

Позначимо через C дисперсійну матрицю:

$$C = (F^T \cdot F)^{-1}. \quad (3.14)$$

У рівнянні (3.26) матриця $F^T \cdot F$ повинна бути не вироджена, тобто $|F^T F| \neq 0$, що має місце, коли матриця F має ранг $(k+1)$.

Відповідно [123] дисперсійна матриця плану має вид:

$$C = \begin{bmatrix} C_0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_1 I_n & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_2 I_n & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_3 I_{\binom{n}{2}} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

де $C_0 = 0,04$, $C_1 = 0,05$, $C_3 = 0,125$, I_n = одинична матриця n ,

$\binom{n}{2}$ – число варіантів від n до 2.

Розрахунок оцінки регресійних коефіцієнтів моделі виконаємо за наступними формулами [123]:

$$\hat{a}_i = \begin{cases} C_1 \sum_{j=1}^N x^j \tilde{y}^j, i = 1, \dots, n; \\ C_2 \sum_{j=1}^N [(x_{i-n}^j)^2 - \beta] \tilde{y}^j, i = n+1, \dots, 2n; \\ C_3 \sum_{j=1}^N x_{\mu}^j \cdot x_{\lambda}^j \cdot \tilde{y}^j, \mu, \lambda = 1, 2, \dots, n; \mu \neq \lambda; \\ i = 2n+1, \dots, k; \end{cases} \quad (3.16)$$

$$\tilde{b}_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \tilde{y}^j; \quad (3.17)$$

$$a_0 = b_0 - \beta \sum_{i=1}^n a_{n+i}; \quad (3.18)$$

$$\beta = \frac{2^{n-p} \alpha^2}{N} = 0,8$$

Оцінювання дисперсії коефіцієнтів визначимо з рівняння:

$$S_i^2 = \begin{cases} S^2 \cdot C_0, i = 0; \\ S^2 \cdot C_1, i = 1, \dots, n; \\ S^2 \cdot C_2, i = n+1, \dots, 2n; \\ S^2 \cdot C_3, i = 2n+1, \dots, k; \end{cases} \quad (3.19)$$

де S^2 – оцінювання дисперсії похибки спостережень,

$$S^2 = \frac{S_e}{\nu\varphi_2}, \quad (3.20)$$

А сума квадратів помилок

$$S_e = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{\nu} (\tilde{y}^{ij} - \tilde{y}^i)^2,$$

з числом ступенів вільності для оцінювання дисперсії спостережень $\varphi_2 = N(\nu - 1)$

Суму квадратів S_D , що характеризує неадекватність моделі розраховуємо за формулою:

$$S_D = \sum_{i=1}^N \nu \cdot (\tilde{y}^i - \hat{y}^i)^2. \quad (3.21)$$

Визначимо $\varphi = N - K - 1$ – число ступенів вільності для остаточної дисперсії і величину F – критерію:

$$F = \frac{S_D / \varphi_1}{S_e / \varphi_2}. \quad (3.22)$$

Для заданої надійності $P = P\{F < F_{кр}\}$ за допомогою таблиць [123] визначимо значення $F_{кр}$. Якщо $F \leq F_{кр}$, то вважаємо модель адекватною, якщо $F > F_{кр}$, гіпотезу адекватності відхиляємо.

Потім перевіряємо значущість коефіцієнтів моделі. Будемо вважати їх значимими, якщо

$$|a_i| > h_i \cdot S, \quad (3.23)$$

де $S = \frac{S_e}{\nu\varphi_2}$, $h_1 = t_{кр} \sqrt{C_1}$, $h_2 = t_{кр} \sqrt{C_2}$, $h_3 = t_{кр} \sqrt{C_3}$, $t_{кр}$ – критичне значення розподілення Стюдента для заданого рівняння значимості $(1 - P)$ і φ_2 ступенів вільності.

Рівні варіювання факторів вказані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. – Фактори і рівні їх варіювання для ячменя

Фактори	Кодове значення	$X_i=-1,414$ (зіркова точка)	$X_i=-1$ (нижній рівень)	$X_i=0$ (основний рівень)	$X_i=1$ (верхній рівень)	$X_i=1,414$ (зіркова точка)
Кут встановлення конусу робочої зони дискової лушильної машини, $^{\circ}$	x_1	20	23	30	37	40
Радіальний зазор між абразивним диском і циліндричним ситом, мм	x_2	8	10	15	20	22
Частота обертання валу машини, об/хв	x_3	620	700	900	1100	1180
Ступінь дроселювання зернового потоку, %	x_4	70	75	85	95	100

План експерименту представлений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. – План експеримента

№ досліджу	x_0	Матриця х плану			
		x_1	x_1	x_1	x_1
1.	+1	-1	-1	-1	-1
2.	+1	+1	-1	-1	-1
3.	+1	-1	+1	-1	-1
4.	+1	+1	+1	-1	-1
5.	+1	-1	-1	+1	-1
6.	+1	+1	-1	+1	-1
7.	+1	-1	+1	+1	-1
8.	+1	+1	+1	+1	-1
9.	+1	-1	-1	-1	+1
10.	+1	+1	-1	-1	+1
11.	+1	-1	+1	-1	+1
12.	+1	+1	+1	-1	+1
13.	+1	-1	-1	+1	+1
14.	+1	+1	-1	+1	+1
15.	+1	-1	+1	+1	+1
16.	+1	+1	+1	+1	+1
17.	+1	-1,414	0	0	0
18.	+1	+1,414	0	0	0
19.	+1	0	-1,414	0	0
20.	+1	0	+1,414	0	0
21.	+1	0	0	-1,414	0
22.	+1	0	0	+1,414	0
23.	+1	0	0	0	-1,414

24.	+1	0	0	0	+1,414
25.	+1	0	0	0	0

Змінні в моделі входять в нормованому масштабі. В загальному вигляді перехід до нормованого масштабу може бути виконаний за наступним зразком.

$$x_i = \frac{x_i^* - \left(\frac{x_{i_{\max}}^* + x_{i_{\min}}^*}{2} \right)}{\frac{1}{2} \left(\frac{x_{i_{\max}}^* - x_{i_{\min}}^*}{1} \right)},$$

де x_i^* - значення i – тої змінної в натуральному масштабі вимірювань.

Отримані рівняння регресії для ячменя

$$Q = 5,8906 - 0,0892\alpha - 0,0861\delta - 2,6741\omega - 8,8542f + 0,0014\alpha^2 + 0,00275\delta^2 + 1,7187\omega^2 + 6,875f^2 + 0,0004\alpha\delta + 0,0089\alpha\omega + 0,0125\delta\omega \quad (3.24)$$

$$Z = -15,5678 + 0,2624\alpha + 0,1875\delta + 17,9687\omega + 30,2292f - 0,0049\alpha^2 - 0,0096\delta^2 - 7,5521\omega^2 - 23,9583f^2 \quad (3.25)$$

$$B = -4,7986 + 0,0566\alpha + 0,0733\delta + 5,1042\omega + 8,9583f - 0,0011\alpha^2 - 0,0021\delta^2 - 1,3021\omega^2 - 5,2083f^2 - 0,01255\alpha\delta - 0,025f\delta - 0,625\omega f \quad (3.26)$$

$$N = -13,4154 + 0,2349\alpha + 0,1195\delta + 29,8423\omega + 44,3571f - 0,004\alpha^2 - 0,0082\delta^2 - 5,4687\omega^2 - 3,0625f^2 - 0,0014\alpha\delta - 0,0357\alpha\omega + 0,0714\alpha f - 0,1375\delta\omega + 0,225f\delta - 13,125\omega f \quad (3.27)$$

3.3 Результати дослідження ефективності лушення зерна

У результаті лушення зерна ячменя, що надходить у машину, утворюються два продукти - облушене зерно й відходи лушення (лузга, мучка, що включає оболонки ендосперму й подрібнені зерна).

Чим більша вага відділених оболонок, нижче вміст клітковини в облушеному зерні й менше втрати ендосперму (крохмалю у відходах лушення) і подрібненого ядра, тим вище ефективність процесу.

Застосовувані критерії для оцінки ефективності процесу лушення [42,58,50], що

включають відносний вихід лущеного зерна, відносний вміст цілих ядер у продукті, мають істотні недоліки, що полягають у тому, що як основу побудови оцінюючої системи прийняті зернівки, не облущені й різні по крупності продукти, позбавлені покривних тканин. При лущенні зерна з міцним зв'язком оболонок, можливе відокремлення оболонок, яке наведеними вище критеріями, не може бути враховане. До того ж, мучка, що утворюється в процесі лущення не може бути безпосередньо відібрана без підсушування продуктів обробки [59].

У роботі [60] в критерій ефективності входить показник вологості відходів лущення, який тільки побічно свідчить про втрати ендосперму (крохмалю) у відходах лущення.

Для повної й достовірної оцінки ефективності лущення були прийняті наступні безпосередньо обумовлені й розрахункові показники: відносний вихід відходів лущення в перерахуванні на абсолютно суху речовину – C_{ou} , % відносний приріст маси ушкоджених зернівок у продуктах обробки – ΔB , % і питома витрата енергії на процес N_{mm} .

Для об'єктивної оцінки технологічної ефективності процесу лущення зерна ячменю нами запропонований комплексний критерій, що враховує продуктивність лущильної машини Q .

$$K = \frac{N_{mm}}{Q \cdot C_{ou}}, \quad (3.28)$$

У результаті обробки експериментальних даних відповідно до цільової функції ($DO = (\alpha, \delta, \omega, f)$) отримане рівняння множинної регресії, що описує поверхню відгуку обраного критерію оптимальності для ячменю

$$\begin{aligned} DO = & 62,5643 - 0,4998\alpha - 0,9163\delta - 26,3863\omega - 70,003f + 0,0018\alpha^2 + \\ & + 0,004\delta^2 + 3,9766\omega^2 + 19,6562f^2 + 0,0042\alpha\delta + 0,0692\alpha\omega + 0,3223\alpha f + 0,1081\delta\omega \\ & + 0,6637f\delta + +13,6562\omega f \end{aligned} \quad (3.29)$$

На рис. 3.4 наведена графічна інтерпретація залежності.

Аналіз графіків показує що оптимальним режимом обробки є:

Для ячменю $\alpha = 30^\circ$; $\delta = 15\text{мм}$; $\omega = 900\text{об/хв}$; $f = 85\%$;

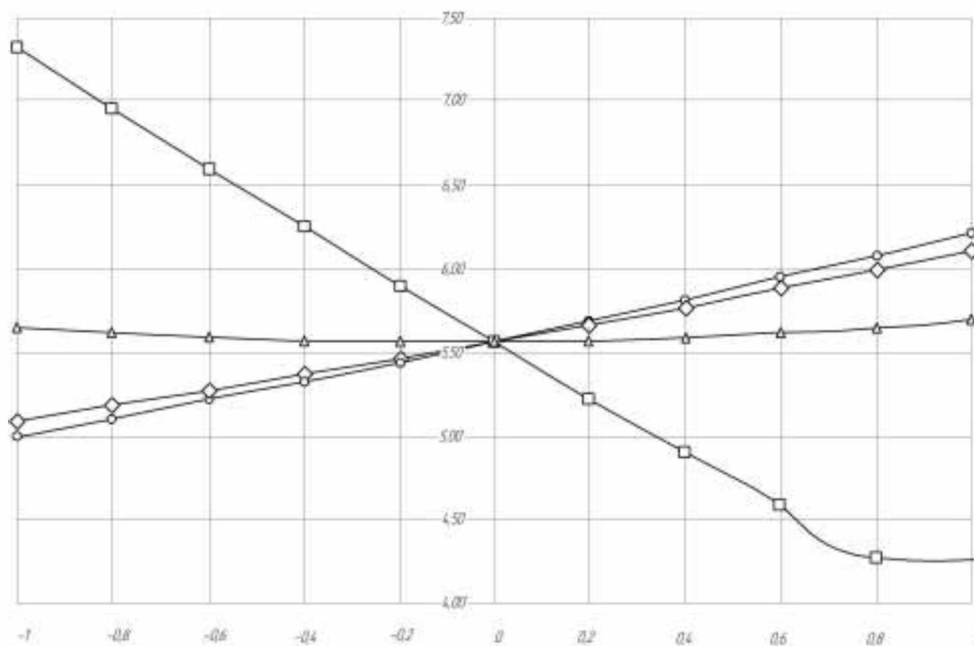


Рисунок 3.4. – Залежність коефіцієнта ефективності процесу лушення від кута підстави усіченого конуса робочої зони α (1) і радіального зазору δ (2), частоти обертання робочого валу ω (3) і відкриття заслінки f (4) для ячменя

3.5 Висновки за розділом 3

1. Представлено результати абразивного лушення, які поєднують фазові зміни однорідності й рівномірності обробки зерна, кінетику й статику лушення з динамічною формозміною й деформуванням кістяка укладання зернового потоку при сумісництві внутрішніх і зовнішніх сил комплексної деформації.

2. Визначено характеристики енергетичних витрат на процес лушення, розроблена аналітична методика оцінки рівномірності обробки поверхні зернівок, яка дозволяє обґрунтувати тривалість раціонального часу для заданої якості лушення ячменя.

3. Обґрунтована схема робочої зони й область раціональних значень частоти обертання абразивних дисків $\omega = 900 \dots 1300 \text{ об/хв}$, радіальний зазор $\delta = 10 \dots 15 \text{ мм}$, схема подачі – кути напрямних конусів $\alpha = 20 \dots 30^\circ$, а також розроблені рекомендації з модернізації лущильних комплексів.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

На базі проведених досліджень процесів абразивно-фрикційного лущення, сепарування, був знайдений технічний розв'язок робочих органів нового абразивно-лущильної машини, й розроблені вихідні вимоги на удосконалення промислового зразка установки. Вони містять принципову схему й технічну характеристику.

Основою для удосконалення конструкції робочих органів лущильної машини, з'явилися конструктивні параметри, оптимальні значення яких визначені за результатами дослідження. Основні вимоги до конструкції зводяться до наступного. Робоча область повинна складатися з п'яти зон, розділених проміжними напрямними конусами (рис. 4.1 і 4.2).

Довжина зони $L = 0,12\text{ м}$, прийомний фронт $D = 450\text{ мм}$, ширина розвантажувальної лінії $B = 550\text{ мм}$. Кут нахилу робочої зони напрямних конусів 60° .

Діапазон регулювання режимних параметрів повинен становити: зазор $0,1\text{ м} < \delta < 0,25\text{ м}$, швидкість руху абразивних дисків $0,2\text{ м/с} < V < 0,3\text{ м/с}$.

У просвіті між горизонтальними поверхнями абразивних дисків 8 установлені усічено-конічні направляючі-розподільні обладнання 13 і перфоровані кільця із закріпленими на них профільними клиноподібними обтічниками 15 зернових потоків (рис. 4.1, 4.2).

Конструкція верхнього усічено-конічного обладнання 13 виконана із сита з кутом розкриття утворюючої конуса більше кута зовнішнього тертя сипучого матеріалу для рівномірної подачі й розподілу продукту по поверхні диска 8. На поверхні конічного кільця 14 з кутом розкриття конуса менше кута тертя закріплені клиноподібні елементи 14, для силового заклинювання матеріалу їх поверхня. Між елементами 13 і 14 закріплені обтічники 15 зернових потоків. Кільцеве обладнання 14 має радіальні профільні елементи. Конічне відцентрове випускне обладнання закріплено на валу 5 ротора, включає диск 16, корпус 17, розпушувачі 18 для відцентрового видалення обробленого зерна з робочої зони машини через патрубок 4, обладнаний вантажним клапаном 19.

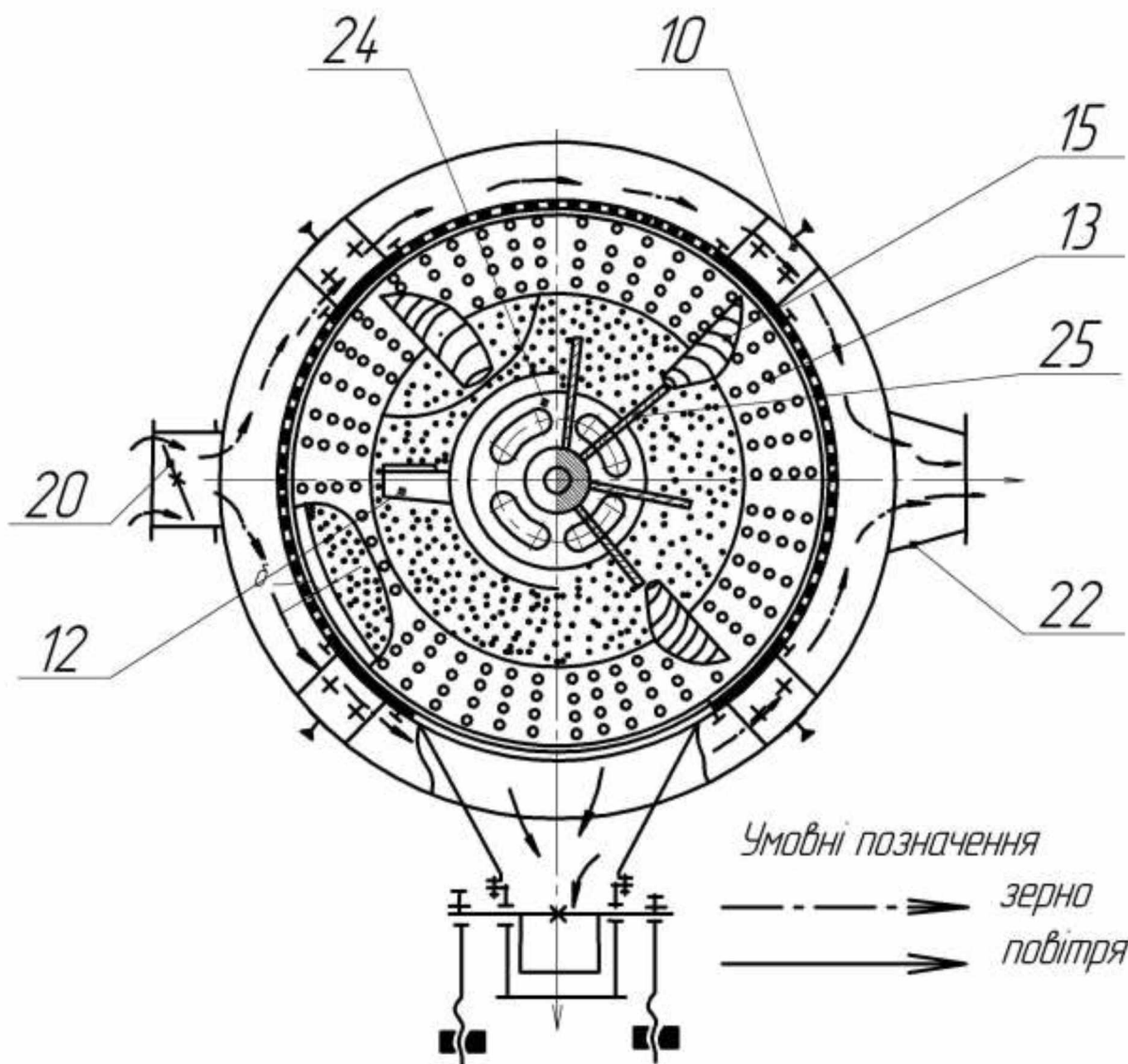


Рисунок 4.1. – Принципова схема абразивно-дискової машини

Аспіраційне обладнання включає патрубок із заслінкою 20 для надходження зовнішнього повітря в кільцеву камеру 21, проходження його через ситові елементи конусів 13 і видалення через патрубок 22. По коловому контуру корпусу підшипника 6 розташовуються отвори 23 для рівномірної осьової подачі повітря в отвори фланців 24, між якими вбудовані відцентрові вентилятори 25 для видалення повітря через ситові поверхні 13. При роботі машини вихідне зерно подається через живильний патрубок 3 на лопатевій розподільник 12 потоку по контуру робочої зони машини. Зерновий потік, що набігає на клиноподібні обтічники 15, розділяється пропорційно по напрямку руху зерна нагору й униз для контакту його як з нижньою, так і верхньою робочими площинами суміжних дисків 8 ротора машини.

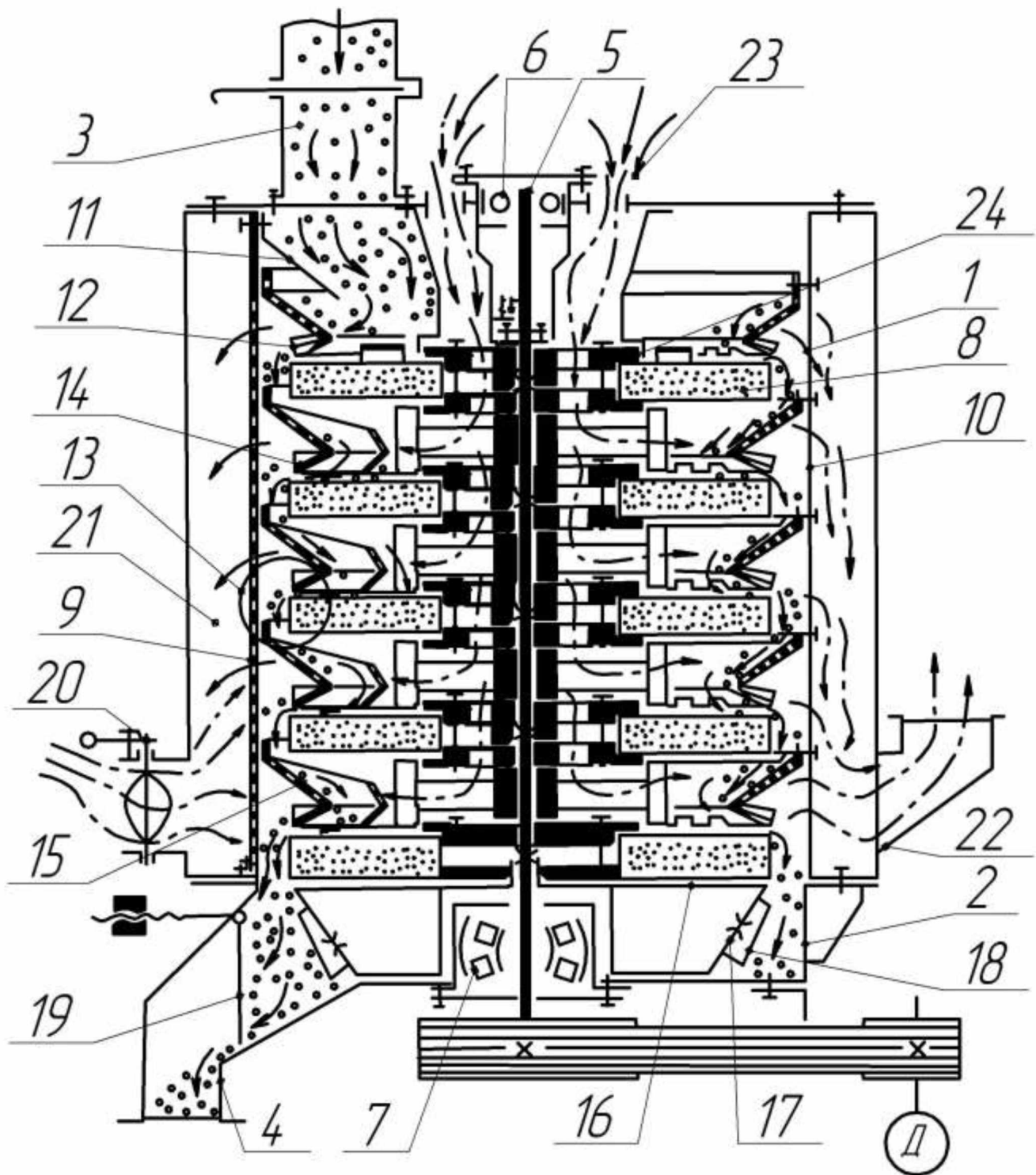


Рисунок 4.2. – Принципова схема абразивно-дискової машини

Такий розподіл сипучого матеріалу на два потоки дозволяє знизити питоме навантаження на одиницю корисної площі робочих поверхонь дисків і в максимальній мірі використовувати нормальні й дотичні напруження в шарі зерна для підвищення ефективності й рівномірності обробки його в процесі лушення, або

шліфування.

Прийняте розташування обтічників 15 клиноподібної форми створює передумови найбільш раціонально використовувати суміжні поверхні абразивних дисків 8, що дозволяє при меншій кількості їх підвищити продуктивність машини.

Процес обробки багаторазово повторюється в міру транспортування зерна до обладнання, що видаляє продукти переробки, по складних траєкторіях, з видаленням його через клапан з вантажем-противагою 19, що забезпечує зміну величини між зернового тиску в її робочій зоні й тривалості обробки продукту.

При зміні конструктивних і кінематичних параметрів робочої зони машини стає можливим її універсальне застосування для луцення й шліфування різних видів зернових культур.

Технологічна ефективність процесу луцення при раціональних режимних і конструктивних технологічних параметрах повинна відповідати вимогам «Правил ведення технологічних процесів на крупозаводах» [50].

Експериментальний зразок луцильної машини представлений на рис. 4.1, 4.2.

При розробці конструкції принципового розв'язку потребували вузли комбінованого абразивно-фрикційного тертя.

Конструкція, принцип дії установки (рис. 4.1, 4.2).

Машина містить корпус 1, установлений на станині 2, із завантажувальним 3 і випускним 4 патрубками.

Усередині корпуса на вертикальному валу 5, установленому в підшипникових опорах 6 і 7, закріплені абразивні кругові диски 8, пов'язані з радіальним зазором у складену ситову обичайку 9 жорстко змонтовану на стійках 10 корпуса 1.

Живильно-розподільна будова машини розташовується над горизонтальною площиною верхнього абразивного диска й складається з нерухливого лотка 11 і лопатевих розподільників 12 зернового потоку по робочій поверхні диска 8.

Виробничі випробування луцильної машини у лінії виробництва крупи із зерна ячменю, відповідно до вимог стандартів при виробленні готової продукції проводилася на крупозаводі (див. рисунок 4.3, 4.4).



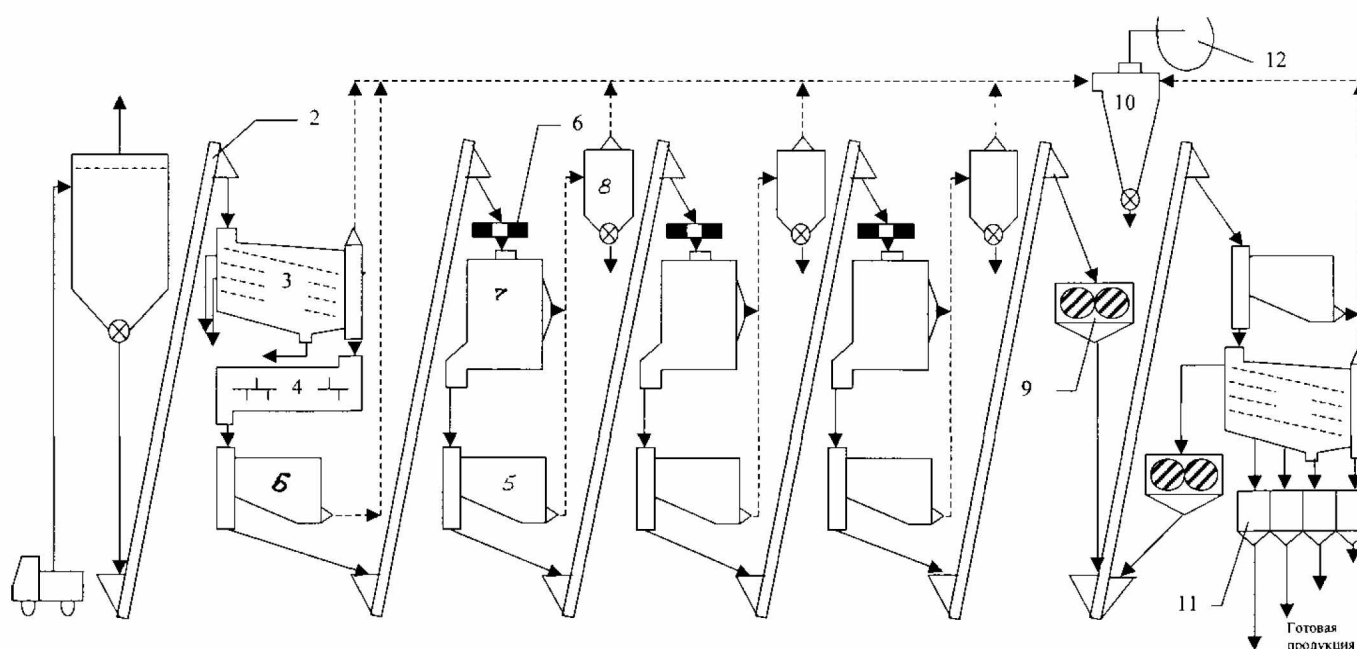
Рисунок 4.3. – Відбір зразків матеріалу під час виробничих випробувань



Рисунок 4.4. – Поділ продуктів лущення зерна ячменю

Універсальна лінія виготовлення готової продукції дозволяла забезпечити виготовлення лущеного ячменю для приготування корму для поросят – відлучених від свиноматки і птахів на ранній стадії розвитку. Лінією передбачене вироблення харчових і кормових продуктів при значному зниженні радіонуклідів, які зосереджуються в оболонках покривних структур [47].

До складу технологічної лінії вироблення крупи й кормів входить технологічне й транспортне устаткування. На рис. 4.5 наведена функціональна схема процесу. Вихідне зерно з автомобільного транспорту [61] перевантажується за допомогою пневмотранспорту в накопичувальний бункер 1 ємністю 5 т.



1 – бункер вихідного зерна; 2 – шнек; 3 – ситовий сепаратор; 4 – роторна лопатева машина; 5 – повітряний сепаратор; 6 – магнітний сепаратор; 7 – абразивно-дискова машина; 8 – збірник відходів; 9 – вальцьовий верстат; 10 – циклон; 11 – розвантажувальні бункери; 12 – вентилятор

Рисунок 4.5. – Технологічна схема виробництва крупи на крупозаводі:

Далі, похилим шнековим транспортером 2, воно подається в модернізований сито-повітряний сепаратор 3 типу БСХ-3. У сепараторі замість двох ситових очисників, у корпусі встановлені трьох ситові очисники, що забезпечують відділення домішок основного й дрібного зерна, а також суміші мінеральних і пилоподібних фракцій. Очищене зерно надходить у роторно-лопатеву машину 4, у якій виконується

ударно-фрикційна обробка покривних структур з видаленням зерна ячменя, через ситову обичайку. Подальша аеро-механічне очищення здійснюється в повітряному сепараторі 5.

Попередньо очищене зерно подається через магнітний сепаратор у першу абразивно-дисківу лушильну машину 7, конструкція якої удосконалена авторами. В абразивно-дисківій лушильній машині, на основі фрикційної обробки, відбувається відділення квіткових плівок ячменя, які видаляються з машини пневмотранспортом. Для вловлювання великих часточок оболонок обробленого зерна використовується пневмо-розвантажувач циклонного типу 8 обладнаний ситовою перегородкою. Вивантаження відходів проводиться через поворотний дросельний клапан у м'яку тару по мірі їх нагромадження.

У лінії передбачається послідовна трьох ступенева обробка поверхні зерна, з використання другого та третього ступеня обробки на аналогічних машинах, до одержання готової продукції. На заключному третьому ступені виходить готовий продукт у вигляді цільної перлової крупи.

Надалі технологічно процесом передбачається можливість одержання дробленої перлової крупи. Для цього гвинтовим конвеєром крупа подається на перший вальцьовий верстат з поздовжньою й поперечною нарізкою рифлення щільністю 5 рифлень на сантиметр довжини. Дроблений продукт подається шнековим транспортером у повітряний класифікатор, у якому відбувається відділення борошнистої фракції в систему пневмотранспортування.

Дроблена крупа сортується в ситовому класифікаторі нової конструкції з набором чотирьох решіт, розміри отворів яких, підбираються відповідно до рекомендацій технології виготовлення не шліфованої крупи різних розмірів. У класифікаторі відбувається відокремлення фракцій великої, середньої й дрібної крупи, а також мучки, яка виходить у результаті подрібнення на пальцевому верстаті. Технологічним процесом також передбачена можливість виділення сходового продукту великих фракцій, з передачею його на другий вальцьовий верстат із щільністю рифлення 7 рифлень на сантиметр довжини вальця. Отримані фракції у вигляді готових номерних круп направляються в бункер готової продукції 11.

Технологічний процес лінії супроводжується вилученням пилових фракцій у машинах з використанням пилового вентилятора ВЦП-6 із груповим циклоном 4БСШ 10. Пилоподібна фракція із циклону виводиться в окремий бункер.

Розміщення цеху виконане в окремо розташованому одноповерховому будинку 10+18 м. Отриману готову продукцію передбачено фасувати в окремі пакети масою 1 кг із використанням напівавтомата АР-5.

Виконана контрольна перевірка дозволила встановити стабільну працездатність наведеного складу устаткування, що підтверджується даними висновку підприємства на відповідність їх вимогам до якості харчових продуктів. Технологічна схема випробуваного стенда розроблена у відповідності до технологічної схеми крупозаводу потужністю 15 т/добу.

Вплив режимних і конструктивних параметрів на енергетичні, технологічні характеристики виробничого зразка луцильної машини наведені на рис. 4.3. Отримані залежності підтверджують правомірності прийнятих при моделюванні процесів припущень по: силових полях, структурі потоку робочої зони елементів луцильної машини.

При роботі машини з робочими дисками \varnothing 450 мм, досягнуто зниження загальної витрати енергії до 20% з 22 Квт до 17,7 Квт. Продуктивність виросла на 25% з 1,5 т/год до 1,9 т/год, кількість абразивних дисків у порівнянні із прототипом А1-ЗШН-3 зменшено з 7 до 4 штук. Коефіцієнт луцення зерна ячменя підвищився на 14% при зниженні на 1,3 – 2,1% кількості подрібненого зерна.

Значне зниження ваги і габаритів машини визначає можливість її використання в приміщеннях компактних розмірів.

Економічна ефективність застосування нового луцильного комплексу утворюється за рахунок збільшення виходу крупи й більш високих техніко-економічних показників нового обладнання. Збільшення виходу крупи, ступеня обробки поверхні зернових матеріалів, досягається за рахунок зниження питомого навантаження на робочу поверхню, поліпшення перемішування сипучого середовища.

4.1 Екологічна експертиза

Проведення екологічної експертизи передбачено Законами України «Про охорону навколишнього природного середовища» (від 25.06.1991 р.), та «Про екологічну експертизу» (від 09.02.1995р.) Закон передбачає (розділ 6, стаття 26, 27) обов'язкове проведення екологічної експертизи в процесі господарської, управлінської та іншої діяльності, що впливає на стан природного оточуючого середовища, а також проекти на будівництво, реконструкцію виробництв і об'єктів, які можуть мати негативний вплив на оточуюче середовище. [62]

Проведення екологічної експертизи діяльності сільськогосподарських комплексів базується на основі вимог «Водного» та «Земельного» кодексів України (від 6.06.95 р. та 13.03.92 р. відповідно), «Основ земельного законодавства», «Основ водного законодавства», Закону «Про охорону атмосферного повітря» (від 16.10.1992 р.) і т.д.

Оскільки дослідно-виробнича перевірка результатів роботи проводилася на крупозаводі.

Згідно санітарної класифікації «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів» крупозавод відноситься до підприємств 4 класу з СЗЗ 100 м. Відстань до найближчої забудови складає 1000 м, отже СЗЗ витримана.

На крупозаводі існує безліч джерел викидів забруднюючих речовин. Найбільші виробництва, на яких і утворюється найбільша кількість точок викиду ЗР є такими:

- котельня, працююча на природному газі та на відходах виробництва;
- елеватор зернових культур;
- цех по виготовленню круп.

При роботі котельні, яка здійснює опалення адміністративного корпусу, цехів, діляниць підприємства, в атмосферне повітря викидаються: нітроген (IV) оксид, карбон (II) оксид, нітроген (I) оксид, карбон (IV) оксид, меркурій, метан. (дж. 6).

При роботі елеватора зернових культур (очищенні, транспортуванні, сортуванні, сушці зернових) в атмосферне повітря викидаються: пил зерновий (дж. 7-43), продукти згорання, а саме: нітроген (IV) оксид, карбон (II) оксид

(дж. 44-49), які вивільняються під час сушки вологого зерна-газами від згорання природного газу трьома зерносушильними агрегатами СТЛ-6 Д, відбувається основне, більш шкідливе, ніж зерновим пилом, забруднення атмосфери.

Для пиловловлювання на всіх етапах технологічних процесів елеватор обладнаний аспіраційними системами одно - чи двоступеневого очищення.

При роботі круп'яного цеху (очищення, транспортування, лущення, сортуванні, фасування) у атмосферне повітря викидаються: пил зерна та пил зважених речовин. Під час сушки вологого зерна - газами від згорання природного газу зерносушильним теплогенератором, також відбувається викид шкідливих речовин, таких як і при сушці на елеваторі: нітроген (IV) оксид, карбон (II) оксид та пил зерновий.

Для покращення екологічного стану на крупозаводі ми передбачили:

1. Обладнати крупозавод, обладнанням та приладами для очистки викидів в атмосферу та засобами контролю за кількістю та складом забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу.

2. Очищення здійснювати за допомогою спеціальних газоочисних установок, які складаються із одного чи декількох газоочисних апаратів, допоміжного обладнання і комунікацій, які служать для уловлювання із вихідних газів та вентиляційного повітря шкідливих домішок.

3. Проводити постійний контроль хімічного складу викидів, на наявність забруднюючих речовин, хімічними та фізико-хімічними методами.

4. Виходячи з того, що всі апарати очистки повітря, типу циклон - є вловлювачами, лише, забруднюючих речовин фізичного походження, ми можемо судити про те, що всі інші речовини, які викидаються в атмосферне повітря, - є не очищеними взагалі, і мають високий клас небезпечності (2,3 та 4), а отже з'являється вірогідність виникнення напруженої екологічної ситуації, а вразі понаднормових викидів, і скупчення їх на незначній території за короткий проміжок часу - навіть екологічної катастрофи. Тому, щоб запобігти цьому, необхідно постійно здійснювати контроль за нормами цих викидів, і в жодному разі не допускати перевищення граничнодопустимих концентрацій.

5. З метою зменшення впливу на повітряне середовище котельні, яка

використовує як паливо лушпиння круп'яних культур, на якій встановлено котлоагрегат JNO-HD та електрофільтр іноземного виробництва, та яка здійснює викиди сульфур (IV) оксиду, потрібно якнайшвидше провести визначення та уточнення нормативів та обсягів ГДВ.

Отже перераховані основні заходи, для покращення екологічного стану на крупозаводі дозволять зменшити вплив шкідливих факторів на оточуюче середовище.

Висновком є виконання передбачених заходів які дадуть можливість зберегти навколишнє середовище, зменшивши вплив шкідливих факторів як на організм людини, так і на оточуюче його навколишнє середовище.

4.3 Охорона праці

Охорона праці та безпека з надзвичайних ситуацій в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить безпечні умови праці працівниками сільського господарства. Передбачаються наступні заходи: поліпшення і оздоровлення умов праці, широке впровадження сучасних засобів безпеки, усунення причин, що породжують травматизм, створення на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами

праці.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

Технічний регламент та вимоги безпеки під час роботи з машинами на крупозаводах.

Під час переробки, зернобобових та круп'яних культур необхідно виконувати наступні вимоги Правил:

- переробка зерна повинна проводитися у виробничих приміщеннях, які відповідають нормам технологічного проектування підприємств сільського господарства, вимогам санітарних та будівельних норм і правил;

- дозволяється проводити переробку зерна у приміщеннях, які мають окремі спеціальні відділення для, очищення, сушіння и зберігання зерна, оснащені системою аспірації і протипожежним інвентарем.

Безпека виробничих процесів післязбиральної доробки зерна повинна бути забезпечена:

- вибором технологічних процесів, прийомів, режимів роботи й порядку
- обслуговування виробничого устаткування;
- вибором виробничих приміщень;
- вибором виробничого обладнання;
- розміщенням виробничого обладнання і організацією робочих місць;
- застосуванням колективних та індивідуальних засобів захисту працюючих;
- виконанням діючих норм і правил, визначених вимогами до конструкції будівель, споруд, машин.

Технічний стан обладнання крупозаводів, зерноочисних агрегатів, зерноочисно-сушильних комплексів, цехів і дільниць з виробництва круп, повинен відповідати вимогам експлуатаційної документації.

При розміщенні обладнання на крупозаводі потрібно забезпечити зручність та безпеку обслуговування і можливість евакуації працівників в аварійних ситуаціях. Інтервал між обладнанням у зоні обслуговування повинен бути 0,8-1,0 м.

Візуальна й звукова сигналізація повинна забезпечувати надійний і зрозумілий зв'язок для безпечних сумісних дій обслуговуючого персоналу, в тому числі в темний час доби.

Під час проведення технічного обслуговування луцильних машин й обладнання необхідно зупинити їх і відключити напругу. На рубильниках і пускачах вивісити плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Захисні огороження після закінчення технологічних регулювань і технічного обслуговування машин і обладнання повинні бути встановлені на свої місця. Експлуатувати машини та обладнання без захисних огорожень не дозволяється.

Світильники повинні бути в герметичному виконанні, а електродвигуни - у вибухобезпечному, з відповідним захистом.

На розподільному щиті крупозаводу, агрегату, комплексу необхідно встановлювати загальні апарати, які відключають живлення усіх електроустановок.

Основні небезпеки, які виникають на виробництві приведені в таблиці 4.1

Висновки щодо підвищення стану охорони праці.

1. Збільшити кількість засобів пожежогасіння на крупозаводі.
2. Обладнати спеціальними попереджувальними табличками та знаками небезпечні вузли машини переробного підприємства.
3. Забезпечити робітників засобами індивідуального захисту.
4. Організувати вчасне проведення періодичних медичних оглядів працівників.
5. Забезпечити оптимальні мікрокліматичні умови в приміщеннях крупозаводу для відчуття теплового комфорту, та створити передумови для високого рівня працездатності.
6. Стежити та вчасно проводити змащування вузлів механізмів машин.
7. Забезпечити надійну та безпечну роботу світильників.

Таблиця 4.1 – Аналіз процесів формування травмонебезпечних ситуацій при роботі на машинах крупозаводу.

Вид робіт, робоче місце, виробниче обладнання	Виробнича безпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Ремонт Електропроводки	Виконання ремонту некваліфікованою особою (НУ)	Працівник доторкнувся до корпусу (НД)	Ураження електричним струмом (НС)	Травма (Т)	Заборонити працівнику самостійно проводити ремонт, роботу повинен виконувати лише електротехнічний персонал
НУ → НД → НС → Т					
Зупинка обладнання на ремонт	На рубильнику не вивішена табличка «Не вмикати працюють люди» (НУ)	Сторонній працівник самовільно ввімкнув рубильник (НД)	Травмування працівника, який здійснює ремонт (НС)	Травма (Т)	Провести інструктаж з питань охорони праці. При зупинці обладнання чи технічному обслуговуванні на рубильнику вивішувати табличку «Не вмикати працюють люди»
НУ → НД → НС → Т					
Переналагодження обладнання	Необхідність перевстановлення деталей (НУ)	Пошкодження струмовідвідних деталей (НД)	Ураження струмом працівник (НС)	Травма, нещасний випадок (Т)	Перевірка стану струмопідвідних механізмів і деталей робіт, провести інструктаж з ОП
НУ → НД → НС → Т					
Доторкання до працюючого обладнання	Необхідність контролю продуктів виробництва (НУ)	Відсутність заземлення. Недодержання правил з охорони праці (НД)	Проходження струму по деталях (НС)	Травма, нещасний випадок (Т)	Перевірка стану заземлення, проведення позапланового інструктажу з ОП
НУ → НД → НС → Т					
Робота з клинопасовими передачами електродвигунів	Працівник проводить огляд роботи при відкритій кришці (НУ)	Руки або частини одягу працівника потрапили в зону обертової частини (НД)	Захват рук працівника привідним механізмом (НС)	Травма (Т)	Заборонити проводити огляд частин механізму при ввімкненні його в мережу. Провести позаплановий інструктаж
НУ → НД → НС → Т					

4.3 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Розрахунки економічної ефективності від впровадження у виробництво удосконаленої луцильної машини виконували згідно «Методики визначення економічної ефективності капітальних вкладень і впровадження нової техніки на підприємствах по зберіганню й переробки зерна» економічна ефективність повинна визначатися на всіх стадіях проектування й впровадження нової техніки. Наведені нижче розрахунки виконані на основі результатів випробувань дослідного зразка й дійсні для даної стадії удосконалення луцильної машини А1 ЗШН-3.

У розрахунках луцильна машина А1 ЗШН-3 порівнюється з абразивно-дисковою машиною ДШН разом з устаткуванням, необхідним для забезпечення їх роботи.

Порівняння ведеться по устаткуванню, пов'язаному лише із процесом луцення зерна ячменя та використовується в порівняльних схемах під час випробувань на крупозаводі. У розрахунках прийнято, що порівнювана кількість устаткування в обох випадках забезпечує роботу крупозаводу з однаковою продуктивністю - 800 кг/год.

Таблиця 4.3. – Кількість і вартість устаткування

Найменування устаткування	Кількість	Балансова вартість, грн.	
		одиниці	усього
Луцення зерна з використанням машини А1 ЗШН-3	3	7000	21000
Луцення зерна з використанням машини ДШН	3	13000	39000

Вартість машин зазначена у відповідності з вартістю Дніпропетровського заводу «Продмаш» і виготовлення дослідного зразка.

Таблиця показує, що балансова вартість абразивно-дискових машин А1 ЗШН-3 нижче на 18000 грн. вартості машин ДШН.

Таблиця 4.4. – Розрахунки річного економічного ефекту від експлуатаційних витрат

Статті витрат	Використання машини А1 ЗШН-3	Використання машини ДШН
1. Амортизаційні відрахування	2478	4602
2. Відрахування на поточний ремонт (50% від амортизаційних)	1239	2301
3. Усього експлуатаційних витрат за рік	3717	6903

Розрахунки показують, що при однаковій добовій продуктивності порівнюваного устаткування, тобто при порівняльному обсязі виробництва, річна сума експлуатаційних витрат при використанні луцильних машин А1 ЗШН-3 зменшується на 3186 грн. або в 1, 86 рази.

Річний економічний ефект від збільшення виходу продукції. Випробуваннями встановлено, що використання луцильних машин А1 ЗШН-3 забезпечує збільшення загального виходу крупи на 4%. Для розрахунків економічного ефекту прийнято, що загальний вихід крупи відповідає 72%. За базисний варіант прийнятий фактичний вихід 68%, отриманий при випробуваннях під час роботи машин ДШН.

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

$$E = \frac{B_1 \cdot Ц}{100} - \frac{B_2 \cdot Ц}{100}, \quad (4.1)$$

де: B_1, B_2 – вихід крупи, %

$Ц$ – оптова ціна, грн/т.

$$E = \frac{72 \cdot 900}{100} - \frac{68 \cdot 900}{100} = 36 \text{ грн.}$$

Річний обсяг переробки зерна за 300 днів становить 5760 т. Отже, річний економічний ефект від збільшення виходу крупи складе $P = 5760 \cdot 36 = 207360 \text{ грн.}$

Загальна сума річного економічного ефекту

Застосування лушцильних машин А1 ЗШН-3 у порівнянні з машинами ДШН зменшують експлуатаційні витрати на 3186 грн./рік.

Одночасно за рахунок збільшення виходу крупи забезпечується економічний ефект у сумі 207360 грн.

Отже, впровадження лушцильних машин А1 ЗШН-3 може принести підприємству економію в сумі $3186 + 207360 = 210546$ грн./ рік.

Додаткові капітальні вкладення в сумі 21000 грн. за рахунок економії, що дорівнює 11826 грн. у рік, окупляться за термін:

$$T = \frac{21000}{210546} = 0,1 \text{ рік}$$

Враховуючи те, що галузевий нормативний термін - 5 років.

Таким чином, розрахунки економічної ефективності за результатами випробувань дослідного зразка показують, що впровадження у виробництво лушцильної машини А1 ЗШН-3 є економічно ефективним.

4.5 Висновки за розділом 4

1. Отримане підтвердження гіпотези про пропорційність інтенсивності лущення зерна квадрату швидкості абразивних кіл, встановлений зворотній зв'язок питомої витрати енергії лущення, кількості відокремлюваних оболонок від продуктивності абразивних лушцильних машин.

2. Обґрунтована схема робочої зони й область раціональних значень частоти обертання абразивних дисків $\omega = 900 \dots 1300 \text{ об/хв}$, схема подачі – кути напрямних конусів $\alpha = 20 \dots 30^\circ$, радіальний зазор $\delta = 10 \dots 15 \text{ мм}$, а також розроблені рекомендації з розрахунку лушцильних машин.

3. Результати наукового обґрунтування схеми й параметрів лушцильної машини реалізовані в експериментальному зразку, який випробуваний у виробничих умовах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Існуючі луцильні машини мають ряд істотних недоліків, і мають відносно невисокий технологічний ефект. Їх подальше вдосконалення має бути спрямоване на виявлення й реалізацію резервів підвищення ефективності лушення, на основі теоретичних і експериментальних досліджень.

2. Очевидно, що інтенсифікація виробництва продуктів лушення, обґрунтування раціональної геометрії робочої зони фрикційної обробки зерна, є перспективним напрямком мінімізації по стадійності, енергоємності процесів крупотворення. Методи розрахунків конструктивних і технологічних параметрів таких конструкцій комплексних систем лушення відсутні.

3. Стабілізація технологічної ефективності, мінімізація по стадійності процесів лушення, можуть бути забезпечені сполученням фрикційного відокремлення оболонок з аеродинамічним пневмосепаруванням і пневмотранспортуванням зернових сумішей, усуненням ефекту «сухого змащення».

4. Комплекс проведених аналітичних і експериментальних досліджень підтвердив можливість стабілізації технологічної ефективності, мінімізації по стадійності процесів лушення зерна ячменя.

5. Проаналізована математична модель абразивного лушення, яка пов'язує фазові зміни однорідності й рівномірності обробки зерна, кінетики й статички лушення з динамічною формозміною й деформуванням зернового потоку при суміщенні внутрішніх і зовнішніх сил комплексної деформації.

6. На підставі ймовірної моделі визначення характеристик енергетичних витрат на процес лушення зерна ячменю, розроблена аналітична методика оцінки рівномірності обробки поверхні зернівок, яка дозволяє обґрунтувати тривалість раціонального часу для заданої якості лушення ячменя.

7. Обґрунтована схема робочої зони й область раціональних значень частоти обертання абразивних дисків $\omega = 900 \dots 1300 \text{ об/хв}$, радіальний зазор $\delta = 10 \dots 15 \text{ мм}$, схема

подачі – кути напрямних конусів $\alpha = 20..30^{\circ}$, а також розроблені рекомендації з розрахунків лушительних машин.

8. Виробничими дослідженнями лінії луцення й виробництва круп з використанням розробленої нової абразивно-дискової машини на крупозаводі встановлено стабільну працездатність комплексу при фактичній продуктивності 100 кг/год з річним економічним ефектом 26,25 тис. грн.