

Одеська державна академія харчових технологій

На правах рукопису

Гросул Леонід Гнатович

УДК 664.726.9.002.6

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСІВ ТА АГРЕГАТНОГО
УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КРУП**

Спеціальність: 05.18.12 - Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та
фармацевтичних виробництв

Автореферат дисертації на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук

Одеса
2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській державній академії харчових технологій Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор **Малежик Іван Федорович**,
Національний університет харчових технологій (м. Київ),
завідуючий кафедрою “Процеси і апарати харчових виробництв
та технологія консервування”;

доктор технічних наук, професор **Заплетніков Ігор Миколайович**,
Донецький державний університет економіки і торгівлі ім. М.Туган-
Барановського, завідуючий кафедрою “Обладнання харчових
виробництв”;

доктор технічних наук, професор **Мерко Іван Тимофійович**,
Одеська державна академія харчових технологій, професор
кафедри “Технологія переробки зерна”;

Провідна установа:

Харківська державна академія технологій і організації харчування,
кафедра “Устаткування підприємств харчування”. Міністерство
освіти і науки України.

Захист відбудеться “ 24 ” жовтня 2002 р о 10.30 год на засіданні
спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 Одеської державної академії харчових
технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул Канатна 112.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеської державної академії
харчових технологій за адресою: 65039, м. Одеса, вул Канатна 112.

Автореферат розісланий “ 17 ” вересня 2002 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., професор

О.І. Гапонюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Забезпечення населення продовольчими товарами першої необхідності визначає головні напрямки розвитку зернопереробної галузі України. Одною з умов ефективного задовільнення ринкового попиту що до обсягів хлібопродуктів та вимог споживачів до їх якості та асортименту є децентралізація як борошномельного, так і круп'яного виробництва. Її проведення шляхом створення малих переробних підприємств та цехів фермерських господарств суттєво стримується відсутністю відповідного технологічного забезпечення та технічного оснащення. Особливо гострою є проблема розробки процесів та агрегатного устаткування для автономного виготовлення крупів безпосередньо в регіонах вирощування зернової сировини та споживання готової продукції.

Відсутність комплексного підходу до вирішення проблеми технологічного забезпечення та технічного оснащення автономних круп'яних виробництв та недостатнє наукове обґрунтування засад для їх створення вимагає теоретичного обґрунтування компактних технологій та технічних засобів для їх реалізації і визначає актуальність розробки механіко-технологічних основ процесів та агрегатного устаткування для виробництва круп, як єдиної системи теоретичних положень та практичних розробок по вирішенню загальних питань технічного забезпечення галузі децентралізованої переробки зерна.

Перспективним напрямком розв'язання поставленої проблеми є використання системного підходу до визначення структури та послідовності виконання технологічних операцій, об'єктивного вибору раціональних принципів дії обладнання та оптимізації його режимів, обґрунтованого прийняття технічно доцільних конструктивних рішень робочих органів і компоновки функціональних елементів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові дослідження та проектно-пошукові роботи проведені згідно Програми №26 “Малогобаритна техніка і безвідходна технологія переробки сільськогосподарської сировини для фермерських і колективних підприємств України”, затвердженої наказом Міністра освіти України “Про участь вузів у вирішенні найважливіших проблем науки, техніки і освіти” № 68 від 31 березня 1992р, Координаційних планів НДР і виконаних під керівництвом автора в ПНДЛ науково-дослідних робіт за темами: №6/92-П; №3/95-П (Держреєстрація №0196V004195); №11/97-П (Держреєстрація №0197V016063); №5/2000-П “Системний аналіз та механіко-технологічні основи створення універсальних агрегатів для переробки в крупу зерна районуваних на території України культур” та інших тем.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є механіко-технологічні основи процесів та агрегатного устаткування і розробка технологічного забезпечення та технічного оснащення системи автономного виробництва круп безпосередньо в регіонах вирощування зерна та споживання готової продукції.

Для досягнення поставленої мети визначені головні задачі дослідження:

узагальнення стану галузі круп'яного виробництва, аналіз існуючих технологій, синтез компактних технологічних процесів переробки зерна злакових і бобових культур та оптимізація режимів виготовлення крупів на малих підприємствах та в цехах фермерських господарств;

пошук технічно раціональних принципів дії та технологічно доцільного складу обробних операцій, визначення структури блоків і теоретичне обґрунтування параметрів функціональних елементів агрегатного устаткування для автономного виробництва круп;

обґрунтування показників рівня продовольчого використання анатомічних частин, біополімерів та зерна в цілому при виготовленні крупів і вибір показників технологічної, технічної та енергетичної ефективності обробних операцій, устаткування і процесів автономної переробки його в умовах сільського господарства;

проведення експериментальних досліджень на основі розроблених методичних підходів і технічного оснащення для визначення механічних властивостей анатомічних частин і цілого зерна, аналіз його геометричних ознак і встановлення умов ефективної реалізації обробних операцій сепарування, обрушування або луцення зерна, шліфування ядра та круповідділення;

аналіз головних напрямків розвитку відомих технічних рішень, удосконалення параметричного ряду та класифікація обладнання для переробки зерна, теоретичне обґрунтування і експериментальна перевірка раціональності будови, геометрії та кінематики робочих органів функціональних елементів і конструкції устаткування для автономного виготовлення крупів;

створення проектно-технологічних та компоновочно-функціональних рішень основних блоків агрегатних установок, проведення виробничих випробувань устаткування при переробці зерна та визначення ефективності їх експлуатації з метою перевірки основних положень та висновків дисертаційної роботи;

розробка рекомендацій по використанню результатів роботи і впровадженню процесів та агрегатного устаткування для виробництва круп у систему технічного забезпечення агропромислового комплексу України.

Об'єктом розробки є наукові основи створення процесів та агрегатного устаткування, компактні технології і мало-, міні- та мікрогабаритне обладнання для автономного виготовлення крупів і показники оцінки їх ефективності.

Предметом дослідження є технологічні процеси переробки зерна, склад і режими обробних операцій, обладнання для їх реалізації та фізико-технологічні властивості зернопродуктів.

Методи досліджень передбачають системний підхід до узагальнення технічних та технологічних вимог, аналіз, синтез і оптимізація компактних технологій і фізичне та математичне моделювання статички і кінетики процесів для обґрунтованого вибору принципів дії, пошуку технологічно доцільних режимів обробних операцій, прийняття технічно раціональних конструктивних рішень робочих органів, розрахунку параметрів функціональних елементів та компоновки блоків агрегатного устаткування для автономного виготовлення крупів.

Наукова новизна одержаних результатів: вперше розглянуто і теоретично обґрунтовано закономірності пропорціонального перерозподілу наявних у зерні

анатомічних частин, біополімерів та інших хімічних речовин між продуктами його переробки і доведено, що відношення кількостей цих компонентів у готовій продукції до вмісту їх у зерні є показниками для оцінки рівня продовольчого використання конкретних складових частин та зерна в цілому і визначення ефективності обробних операцій при виготовленні крупів;

вперше на основі теорії графів виконано розширення інформаційного насичення схем існуючих процесів, запропоновано логотипи аналізу структури операцій і режимів їх реалізації за розвиненими технологіями та формалізовано процедуру синтезу компактних технологічних процесів для виробництва круп на агрегатному устаткуванні;

дістав подальшого розвитку аналіз об'єднаної послідовності продуктивностей технологічного обладнання зернопереробних підприємств, встановлена можливість її розширення і, на основі одержаної геометричної прогресії, запропоновано вибірковий параметричний ряд існуючого та нового агрегатного устаткування і виконано класифікацію технічного оснащення галузі переробки зерна в крупи;

вперше складено математичні моделі кінетики компактних технологічних процесів та статистики циклічної і рециркуляційної переробки зерна в крупи, як послідовностей стану, змін властивостей та структурного складу проміжних продуктів, і створено теоретичні основи їх оптимізації за енерговитратами та аналітичного обґрунтування технологічних параметрів головних функціональних елементів і агрегатного устаткування в цілому;

удосконалена на прикладі зерна пшениці математична модель його форми, встановлені геометричні параметри тіла у просторі, вперше визначені відношення периметру перерізів до площі перетинів і площі зовнішньої поверхні до об'єму та проведено їх співставлення з аналогічними показниками для круга і кулі. Такі відношення покладено в основу оцінки досконалості форми зерна і аналітичного визначення добротності та виповненості, як кількісних показників його якості;

вперше виконано аналіз фрикційних зв'язків та рухомості часток сипкого матеріалу в довільних точках поля безпосередньої обробки зернопродуктів, удосконалені наукові основи створення фізичних і математичних моделей операції луцення-шліфування (обрушування) та встановлено аналітичні залежності геометрії поля обробки, кінематичних характеристик потоків, динамічного навантаження часток та витрат енергії для відділення покривних тканин з поверхні зерна від технічних параметрів робочих органів функціональних елементів. На основі цих закономірностей створено методику розрахунків продуктивностей і потужностей технологічних блоків на стадії розробки агрегатного устаткування.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені механіко-технологічні основи процесів та агрегатне устаткування для виготовлення крупів спрямовані на децентралізацію зернопереробної промисловості, створення технічного забезпечення системи автономного виробництва хлібопродуктів та зміцнення і удосконалення матеріальної бази переробної галузі агропромислового комплексу України.

Реалізація роботи. Сформульовані і оформлені за результатами виконаної роботи "Рекомендації по обґрунтуванню технологічних основ створення агрегатного обладнання для переробки зерна в фермерських господарствах та на

малих переробних підприємствах” впроваджені Вінницьким ПКТІ Консервпромкомплекс, Тернопільською філією ПКТІ Львівпромбудпроект, Хорольським механічним заводом і т.д. За результатами виконаних проектно-конструкторських робіт крупорушальні агрегати виготовлено: - Вінницьким виробничим об’єднанням “Спектр”; Одеським експериментальним ремонтно-механічним заводом; Міжкафедральною лабораторією машин автоматів і автоматизованих ліній ОДАХТ. Промислові зразки передані замовникам і впроваджені в постійну експлуатацію.

За розрахунками техніко-економічної ефективності впровадження одного малогабаритного крупорушального агрегата для виготовлення пшеничних та горохових крупів щорічний ефект складає відповідно 89,6 та 84,7 тис. грн і дозволяє відшкодувати витрати підприємства протягом 3,5 місяців.

Особистий внесок здобувача полягає в розробці основної концепції роботи, виборі і обґрунтуванні теми, створенні методик, проведенні аналітичних та експериментальних досліджень у лабораторних і виробничих умовах та прийнятті конструктивних рішень. Заявлені в дисертації наукові положення, теоретичні розробки, винаходи мікрогабаритних агрегатних установок та випробування виконані особисто автором. Винаходи функціональних елементів і мало- та мінігабаритних агрегатних установок створені визначеними в публікаціях колективами наукових співробітників за безпосередньою участю здобувача.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи доповідались і обговорювались на: щорічних Наукових конференціях професорсько-викладацького складу ОДАХТ в період з 1970 по 2002 роки; Всесоюзних конференціях “Науково-технічний прогрес в зернопереробній промисловості”, Одеса, 1977 р та “Механіка сипких матеріалів-ІУ”, Одеса, 1984 р; Республіканській науково-технічній конференції “Інтенсифікація технологій та удосконалення обладнання переробних галузей АПК”, Київ, 1989 р; Міжгалузевій науково-практичній конференції “Перспективні напрямки розвитку екології, економіки, енергетики”, Одеса, 1999 р; Національних науково-практичних конференціях “Хлібопродукти”, Одеса, 1994, 1997 та 2000 рр; Шостій міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми та перспективи створення і впровадження нових ресурсо- енергоощадних технологій, обладнання в галузях харчової і переробної промисловості”, Київ, 2000 р.

Публікації. Матеріали дисертації, одержані результати та рекомендації по їх використанню опубліковані в 64 роботах, в тому числі в: 1-й монографії, 10-ти статтях у наукових журналах, 12-ти збірниках та 1-му віснику наукових праць, 18-ти авторських свідоцтвах, 11-ти патентах України, 2-х патентах Росії та 4-х матеріалах і 5-ти тезах наукових конференцій.

Структура і об’єм роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, 6 розділів, висновків, бібліографій і додатків. Повний зміст виконаної роботи викладено на 472 сторінках, включаючи 53 рисунки (31 стор.), 54 таблиці (36 стор.), 9 додатків (87 стор.). Список використаних бібліографічних джерел включає 330 найменувань (31 стор.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** дисертації обґрунтована актуальність теми, наведена загальна

характеристика роботи і вказані мета, головні задачі та наукова новизна досліджень.

У **першому розділі** наведено результати аналізу напрямків розвитку галузі переробки зерна в Україні, стану процесів та структури операцій виробництва круп і перспектив технічного забезпечення малих круп'яних підприємств та удосконалена методика оцінки технологічної, технічної і енергетичної ефективності переробки зерна в крупи.

Аналізом недоліків та переваг існуючої системи централізованої переробки зерна встановлено необхідність децентралізації виробництва хлібопродуктів на основі створення малих переробних підприємств і цехів у фермерських господарствах. Доповнення галузі системою підприємств для автономної переробки зерна забезпечить підвищення рівня його продовольчого використання, розширення асортименту та оперативного задовільнення попиту споживачів. Це підтверджує актуальність поставленої проблеми технічного забезпечення малих зернопереробних підприємств, підіймає її до рівня першочергових завдань сучасного розвитку агропромислового комплексу України і вимагає розробки та впровадження механіко-технологічних основ створення процесів та агрегатного устаткування.

Узагальненням принципів дії, будови, технічного рівня та призначення існуючого комплектного обладнання для переробки зерна в крупи за розвиненими технологіями встановлено обмежені можливості їх використання в автономних умовах та підтверджена необхідність створення нового агрегатного обладнання для малих переробних підприємств та цехів.

На підставі проведеного аналізу публікацій за темою дисертації у науково-технічній літературі, узагальнення фундаментальних робіт відомих учених у галузі технологій та техніки для виробництва круп, Я.Н.Куприця, М.Є.Гінзбурга, Є.Н.Грінберга, М.В.Роменського, І.Т.Мерко, Є.М.Мельникова, Г.О.Єгорова, В.А.Бутковського, О.Я.Соколова, В.В.Гортинського, Я.М.Жисліна, В.М.Цециновського, А.Б.Демського, І.Р.Дударєва і реального стану галузі круп'яного виробництва визначені головні напрямки проведення наукових та експериментальних досліджень, розроблена програма їх реалізації (рис. 1) та визначені основи практичного застосування результатів у проектно-конструкторських рішеннях.

Підтверджена необхідність удосконалення існуючих показників ефективності та розробки нових оцінок рівня продовольчого використання зерна для порівняння існуючого обладнання і мало-, міні та мікрогабаритного устаткування. Відношення кількості одержаної лузги до наявних оболонки у зерні, фактичного виходу ядра до його кількості у зерні та затрат енергії на виконання корисної роботи до загально необхідних для виготовлення крупів покладені в основу показників відповідно технологічної (E_m), технічної ($E_{\text{т}}$), енергетичної (E_e) та загальної $E_{\text{п}}=E_m E_{\text{т}} E_e$ ефективності технологічного процесу, як комплексної оцінки виробництва. Випадкові варіації показника $E_{\text{п}}$, при прийнятій точності вимірювання впливових факторів, знаходяться в інтервалі від -5,13 до +1,89%.

У **другому розділі** визначені науково-методичні основи проведення теоретичних та експериментальних досліджень по темі роботи. Відповідно до призначення механіко-технологічних основ у вирішенні проблеми технічного забезпечення галузі децентралізованого виробництва круп проведено обґрунтування

параметричного ряду продуктивностей обладнання для переробки зерна та запропонована класифікація технологічного устаткування для виробництва круп, розроблені методичні основи аналізу розвинених технологій виготовлення крупів та синтезу компактних технологічних процесів і закладено теоретичні основи визначення рівня продовольчого використання зерна.

Для обґрунтування параметричного ряду продуктивностей зернопереробних машин, врахування необхідності взаємозамінності, забезпечення вимог до уніфікації та скорочення кількості типорозмірів до оптимальних значень використано вибірковий ряд переважних чисел $R40/12(7...199)$, в основу якого покладена геометрична прогресія $Q_i=10^{i/R}$ із знаменником $q=10^{1/40}$. Ряд складено з кожного дванадцятого члена прогресії, починаючи з сьомого $i=7$ і закінчуючи $i=199$. По розрахованим продуктивностям утворено систематизовані групи: існуючого крупногабаритного (100; 50 и 24 т/г) і середньогабаритного (12; 6; 3 і 1,5 т/г) обладнання для великих та середніх підприємств централізованої переробки зерна; запропонованого: малогабаритного (0,75; 0,375 і 0,2 т/г) - для малих зернопереробних підприємств та об'єднань фермерських господарств; мінігабаритного (100; 50 і 24 кг/г) - для переробних цехів фермерських господарств та мікрогабаритного (12; 6 і 3 кг/г) - для індивідуальних господарств, торгівельної мережі та спеціальних установ.

Аналіз розвинених технологічних процесів та підвищення інформативності їх схем на основі теорії графів підтвердили можливості постадійної реалізації окремих етапів і скорочення виробничих ліній для виготовлення крупів шляхом зменшення кількості технологічних, транспортних та інших головних і допоміжних операцій і встановили необхідність компоновки обладнання в агрегатне устаткування.

Синтез компактних технологічних процесів виконано на основі властивостей графів шляхом видалення петель, зниження кількості циклів, вилучення подібних за параметрами вершин та ліквідації аналогічних за характеристиками дуг. Суміщенням однотипних основних операцій, об'єднанням подібних за властивостями потоків, перетворенням простих циклів у складні та усуненням другорядних операцій створено зразки придатних для реалізації на агрегатному устаткуванні компактних процесів автономного виготовлення крупів.

Упорядкуванням структури аналогічного за призначенням та суміщенням функцій подібного за принципом дії основного і допоміжного обладнання для виконання однотипних операцій обґрунтована блочна структура агрегатного устаткування та встановлена необхідність розробки нових універсальних машин або модернізації та використання резервних можливостей існуючих пристроїв.

Для встановлення залежності якості продуктів переробки від ефективності дії технологічних машин і потенційних можливостей зернової сировини запропоновано коефіцієнт використання її анатомічних частин - відношення вмісту, наприклад, ендосперму зерна пшениці (B_{ei}) в крупах (полтавська №1, 2, 3, 4 та артек) і мучці (при виходах B_i) до наявності його у зерні (B_e)

$$e_{12}=B_{12}B_{e12}/100B_e, \quad e_{34}=B_{34}B_{e34}/100B_e, \quad e_{Ap}=B_{Ap}B_{eAp}/100B_e \quad \text{та} \quad e_{mч}=B_{mч}B_{emч}/100B_e.$$

Відношення кількості біополімерів (крохмалю c_{ki} , білків c_{bi} , цукру c_{ci} , жирів c_{ji} або інших поживних чи біологічно активних речовин) у складі кожних $i=n$ крупів (при виходах B_i) до наявності їх у зерні (C) розглядається як рівень їх продовольчого

використання у готовій продукції

$$U = [\sum_{i=1}^n B_i c_{ki} + \sum_{i=1}^n B_i c_{oi} + \sum_{i=1}^n B_i c_{ui} + \sum_{i=1}^n B_i c_{жi}] / (C_k + C_o + C_u + C_{ж}).$$

У **третьому розділі** розроблені теоретичні основи визначення технологічних параметрів лушильно-шліфувальних машин, обрушувальних пристроїв та класифікаторів зернопродуктів для агрегатного устаткування і оптимізації режимів компактних технологічних процесів переробки зерна в крупи за умов мінімальних витрат енергії на їх реалізацію в агрегатному устаткуванні.

Кінетика процесів обробки зернопродуктів шляхом багаторазових пропусків та взаємодії поверхні часток з робочими органами, характеризується зміною в часі їх властивостей (анатомічного складу, розмірів, форми і т.д.), а відповідно - і характеру обробки - лущення, шліфування і таке інше. Згідно графа компактного процесу (рис. 2, а) призначена для переробки в крупи порція зерна G рівномірним у часі потоком $q_{0.1-1.1}$ з інтенсивністю q підіймається норією 0.1 до оперативної ємності 1.1, а далі його потік $q_{1.1-2.1}$ крізь магнітний сепаратор 2.1, надходить $q_{2.1-3.1}$ до лушильно-шліфувального пристрою 3.1. Одержана суміш продуктів обробки спрямовується $q_{3.1-4.1}$ до аспіраційної колонки 4.1 для сепарації на доброякісні (лущене $q_{я1}$ та нелущене $q_{н1}$ зерно) і побічні продукти лущення (оболонки q_{o1}). Після сепарації доброякісні продукти $q_{o1} = q_{4.1-0.1} = (q_{н1} + q_{я1})/q$ та оболонки $q_{н1} = q_{4.1-5.2} = q_{o1}/q$ за допомогою норії 0.1 надходять відповідно до ємності 1.1 для повторної обробки та до збірника побічних продуктів 5.2. При послідовних пропусках доброякісних продуктів крізь усі пристрої виконується паралельна обробка її складових. Частина нелущеного зерна - лушиться, а наявне лущене ядро - шліфується, частково перетворюючись у готову шліфовану крупу $q_{к1}$ та мучку $q_{м1} = q_{3.1-5.2}$.

Установлені на основі матеріального балансу кількісні та якісні перетворення поступаючих у будь-яку вершину зернопродуктів $q_i = q_{oi}/q$ дозволяють розрахувати загальні інтенсивності їх потоків у відносних одиницях $q_{oi} = (q_{нi} + q_{яi} + q_{кi})/q$, $q_{нi} = (q_{oi} + q_{ми})/q$ і визначити властивості одержаних продуктів. Послідовні пропуски порції зернопродуктів повторюються до зниження вмісту необрушу $H_n = q_{нi}/q_{oi}$ у готових продуктах до нормованих значень. Відомі ефективність лущення та вміст покривних тканин дають можливість установити і абсолютні кількості поступаючих G_o та одержаних доброякісних (нелущених $G_{н}$, лущених $G_{я}$, одноразово $G_{к1}^I$ і повторно $G_{кi}^{II}$ шліфованих часток) зернопродуктів при кожному пропуску:

$$G_{o1} = G(1-oE) = G(1-E) + G(1-o)E = G_{н1} + G_{я1},$$

$$G_{o2} = G(1-oE)^2 = G(1-E)^2 + G(1-o)(1-E)E + G(1-oE) = G_{н2} + G_{я2} + G_{к2}^I,$$

$$G_{o3} = G(1-oE)^3 = G(1-E)^3 + G(1-o)(1-E)^2E + G(1-o)(1-E)(1-oE)E + G(1-oE)^2[(1-oE) - (1-E)] = G_{н3} + G_{я3} + G_{к3}^I + G_{к3}^{II} \text{ і так далі,}$$

та побічних (оболонок G_o та мучки першого $G_{м1}^I$ і послідовного $G_{мi}^{II}$ шліфування) продуктів G_n обробки:

$$G_{н1} = G_o E = G_{o1},$$

$$G_{н2} = [G(1-E) + G(1-o)E] oE = G(1-oE) oE = G_{o2} + G_{м2}^I,$$

$$G_{н3} = [G(1-E)^2 + G(1-o)(1-E)E + G(1-o)(1-oE)E] oE = G(1-oE)^2 oE = G_{o3} + G_{м3}^I + G_{м3}^{II} \text{ і т.д.}$$

Враховуючи характер обробки зернопродуктів шляхом послідовних

пропусків, одержані ряди розглядаються як математична модель кінетики суміщеного процесу лушення та шліфування. Аналіз моделі кінетики обробки зернопродуктів дозволяє визначити зміни властивостей і стан їх часток при довільному пропуску.

Одержані при кожному i -тому пропуску потоки у відносних одиницях являють собою: $q_{oi} = G_{oi}/G = (1-oE)^i$ -доброякісні продукти; $q_{ni} = G_{ni}/G = (1-oE)^{i-1}oE$ -побічні продукти в цілому; $q_{ni} = G_{ni}/G = (1-E)^i$ -нелущене зерно; $q_{яi} = G_{яi}/G = (1-o)(1-E)^{i-1}E$ -лущене ядро (пенсак); $q_{ki}^1 = G_{ki}^1/G = (1-oE)[(1-oE)-(1-E)](1-E)^{i-2}$ -один раз шліфоване ядро (крупа); $q_{ki}^{11} = G_{ki}^{11}/G = (1-oE)^2[(1-oE)^{i-2}-(1-E)^{i-2}]$ -повторно шліфоване ядро (крупа); $q_{ki} = G_{ki}/G = (1-oE)[(1-oE)^{i-1}-(1-E)^{i-1}]$ -крупа в цілому; $q_{oi} = G_{oi}/G = (1-E)^{i-1}oE$ -побічні продукти лушення (оболонки); $q_{mi}^1 = G_{mi}^1/G = [(1-oE)-(1-E)](1-E)^{i-2}oE$ -побічні продукти першого шліфування (мучка); $q_{mi}^{11} = G_{mi}^{11}/G = (1-oE)[(1-oE)^{i-2}-(1-E)^{i-2}]oE$ -побічні продукти повторного шліфування (нераціональні втрати доброякісних продуктів); $q_{mi} = G_{mi}/G = [(1-oE)^{i-1}-(1-E)^{i-1}]oE$ -мучка в цілому; де $E = (q_{яi} + q_{oi}) / (q_{ni} + q_{яi} + q_{oi})$ -технологічна ефективність процесу обробки зернопродуктів на луцильно-шліфувальному пристрої у складі агрегата; $o = 0,01B_o$ - дольовий вміст оболонок у зерні; B_o - вміст оболонок у зерні.

Статика процесу обробки зернопродуктів характеризується стабілізацією в часі їх властивостей, коли $i \rightarrow \infty$. Враховуючи вимоги до крупів по допустимому вмісту необрушу H_n , є можливість визначити: фактичний вихід готової продукції після $i=n$ пропуску, $B_{zn} = 100G_{on}/G = 100G(1-oE)^n/G = 100(1-oE)^n$; кількість нелущеного зерна у доброякісному продукті після $i=n$ пропуску, $G_{nn} = G_{ni} = G(1-E)^n$; фактичний необруш у готовій продукції після $i=n$ пропуску, $H_n = G_{nn}/G_{on} = G(1-E)^n/G(1-oE)^n = [(1-E)/(1-oE)]^n$; кількість пропусків n продуктів обробки зерна крізь луцильно-шліфувальну машину, необхідних для одержання готової продукції, $n = \ln H_n / [\ln(1-E) - \ln(1-oE)]$ та загальний обсяг поступаючих на обробку продуктів $G_s = G[1-(1-oE)^n]/oE$.

Відношення загальної кількості перероблених продуктів за $i=n$ пропусків до терміну виконання обробної операції τ відповідає продуктивності луцильно-шліфувального пристрою

$$Q_n = G_s/\tau = G[1-(1-oE)^n]/\tau oE.$$

Враховуючи, що протягом усього часу τ в обробці знаходиться одна порція зерна G , завантажена в агрегатну установку на початку першого циклу, є можливість розрахувати продуктивність крупорушального агрегата в цілому $Q = G/\tau = Q_n oE/\tau[1-(1-oE)^n]$ та продуктивність луцильно-шліфувального пристрою $Q_n = Q[1-(1-oE)^n]/oE$.

Підсумкові потоки оброблених за n пропусків окремих зернопродуктів у відносних одиницях складають: $q_s = G_s/G = [1-(1-oE)^n]/oE$ -постаючі на обробку продукти; $q_o = G_o/G = (1-oE)[1-(1-oE)^n]/oE$ -утворені доброякісні продукти; $q_n = G_n/G = 1-(1-oE)^n$ -утворені побічні продукти; $q_{ni} = G_{ni}/G = (1-E)[1-(1-E)^n]/E$ -нелущене зерно; $q_{я} = G_{я}/G = (1-o)[1-(1-E)^n]$ -лущене ядро; $q_k = G_k/G = (1-oE)\{(1-oE)[1-(1-oE)^{n-1}]/o - (1-E)[1-(1-E)^{n-1}]\}/E$ -крупа цілком; $q_k^1 = G_k^1/G = (1-oE)[(1-oE)-(1-E)][1-(1-E)^{n-1}]/E$

-одноразово шліфована крупа; $q_{1\kappa}^{11} = G_{1\kappa}^{11}/G = (1-oE)^2 \{ (1-oE)[1-(1-oE)^{n-2}] / oE - (1-E)[1-(1-E)^{n-2}] / E \}$ - повторно шліфована крупа; $q_o = G_o/G = o[1-(1-E)^n]$ - оболонки; $q_m = G_m/G = (1-oE)[1-(1-oE)^{n-1}] - o(1-E)[1-(1-E)^{n-1}]$ - мучка цілком; $q_m^1 = G_m^1/G = o[(1-oE) - (1-E)][1-(1-E)^{n-1}]$ - мучка першого шліфування; $q_{1m}^{11} = G_{1m}^{11}/G = (1-oE) \{ (1-oE)[1-(1-oE)^{n-2}] - o(1-E)[1-(1-E)^{n-2}] \}$ - мучка повторного шліфування.

Відомі характеристики потоків зернопродуктів, відображені відповідними дугами графа компактного технологічного процесу переробки, наприклад, зерна пшениці в крупи, дозволяють визначити конкретні інтенсивності потоків у:

розімкненій гілці головного потоку $q_{зол} = q_я + q_{\kappa}^1 + q_o + q_m^1$;

замкненому контурі циркуляції $q_{црк} = q_n + q_{\kappa}^{11} + q_m^{11}$.

Потужності, необхідні для виконання роботи над головним $N_{зол}$ та циркуляційним $N_{црк}$ потоками, можуть бути визначені як суми добутоків питомих витрат енергії для виконання конкретних операцій та інтенсивностей відповідних потоків продуктів обробки.

$$N_{зол} = q_{зол} \sum_{\kappa=1}^M Y_{\kappa} = q_{зол} Y_{зол}, \quad \text{та} \quad N_{црк} = q_{црк} \sum_{n=1}^M Y_n = q_{црк} Y_{црк},$$

де $Y_{\kappa,n} = N/Q$ - питомі витрати енергії, які необхідні для виконання відповідних операцій (транспортування, лущення, шліфування, сепарацію, тощо) на існуючому устаткуванні з відомою продуктивністю Q і потужністю N .

Підстановка інтенсивностей потоків і питомих витрат енергії для їх обробки та математичні перетворення приводять до залежності необхідних для виконання роботи потужностей від ефективності обробки зернопродуктів у головній та циркуляційній гілках

$$N_{зол} = Y_{зол} \{ [1-(1-E)^n] + [(1-oE) - (1-E)][1-(1-E)^{n-1}] / E \},$$

$$N_{црк} = Y_{црк} \{ o(1-E)[1-(1-E)^n] + (1-oE)^2 [1-(1-oE)^{n-2}] - o(1-oE)(1-E)[1-(1-E)^{n-2}] \} / oE.$$

Віднесена до підсумкового потоку поступаючих на обробку продуктів q_s сума потужностей є середнім значенням питомих витрат енергії, необхідної для реалізації технологічного процесу

$$Y_{cp} = (N_{зол} + N_{црк}) / q_s = oE(N_{зол} + N_{црк}) / [1-(1-oE)^n] = \{ o[Y_{зол}E + Y_{црк}(1-E)][1-(1-E)^n] + Y_{зол}o[(1-oE) - (1-E)][1-(1-E)^{n-1}] + Y_{црк}(1-oE) \{ (1-oE)[1-(1-oE)^{n-2}] - o(1-E)[1-(1-E)^{n-2}] \} \} / [1-(1-oE)^n].$$

Енергія витрачається як на виконання корисної роботи по виготовленню передбачених технологією переробки зерна пшениці в крупи обов'язкових продуктів $q_{кор} = q_я + q_{\kappa}^1 + q_o + q_m^1$, так і допоміжної роботи утворення не передбачених проміжних продуктів $q_{ном} = q_n + q_{\kappa}^{11} + q_m^{11}$. Такий перерозподіл продуктів переробки зерна за компактным технологічним процесом дає змогу розрахувати середні значення потужностей, необхідних для виконання:

корисної роботи виготовлення готової продукції $N_{ксп} = Y_{cp} q_{кор}$;

побічної роботи виготовлення проміжних продуктів $N_{нсп} = Y_{cp} q_{ном}$.

Оскільки загальний термін обробки окремої порції зерна складається з термінів проведення корисної та допоміжної робіт, відносні величини останніх можуть бути установлені як відношення кількостей обов'язкових та непередбачених

проміжних продуктів до загальної кількості направлених на обробку зернопродуктів

$$\tau_k = (q_{\text{я}} + q_{\text{к}}^l + q_o + q_{\text{м}}^l) / q_s \text{ та } \tau_n = (q_{\text{н}} + q_{\text{к}}^{ll} + q_{\text{м}}^{ll}) / q_s.$$

Добутки потужностей для виконання корисної та допоміжної роботи і відносних значень термінів їх проведення, дають залежності (рис. 2, б) витрат енергії від ефективності обробки

$$A_{\text{ок}} = N_{\text{кр}} q_{\text{кор}} \tau_k = oE \{ o[Y_k E + Y_n(1-E)] [1 - (1-E)^n] + Y_k o[(1-oE) - (1-E)] [1 - (1-E)^{n-1}] + \\ + Y_n(1-oE) \{ (1-oE) [1 - (1-oE)^{n-2}] - o(1-E) [1 - (1-E)^{n-2}] \} \} \{ [1 - (1-E)^n] + \\ + [(1-oE) - (1-E)] [1 - (1-E)^{n-1}] / E \}^2 / [1 - (1-oE)^n]^2,$$

$$A_{\text{он}} = N_{\text{нр}} q_{\text{ном}} \tau_n = \{ o[Y_k E + Y_n(1-E)] [1 - (1-E)^n] + Y_k o[(1-oE) - (1-E)] [1 - (1-E)^{n-1}] + \\ + Y_n(1-oE) \{ (1-oE) [1 - (1-oE)^{n-2}] - o(1-E) [1 - (1-E)^{n-2}] \} \} \{ o(1-E) [1 - (1-E)^n] + \\ + (1-oE)^2 [1 - (1-oE)^{n-2}] - o(1-oE)(1-E) [1 - (1-E)^{n-2}] \} / oE [1 - (1-oE)^n]^2.$$

Дослідження одержаної залежності $A = A_{\text{ок}} + A_{\text{он}} = \Phi(E)$ на екстремум виявило наявність мінімуму в точці $E = 0,667$. При дослідженнях компактного технологічного процесу обрушування зерна гречки в крупи оптимальна ефективність складала 0,422.

Як зниження так і зростання показника E спричиняє збільшення підсумкових витрат енергії. Зростання ефективності лушення-шліфування, наприклад, до значення 0,9, обумовлює збільшення підсумкових витрат енергії на 45,71%.

Запропонована методика оптимізації режимів, виходячи з умов мінімізації загальних витрат енергії на обробні операції компактного технологічного процесу, придатна для використання на стадії проектних розробок агрегатного устаткування.

Визначення очікуваних енергетичних ефективностей роботи альтернативних проектних рішень агрегатної установки для реалізації компактного технологічного процесу

$$E_e = N_k / (N_k + N_n) = N_{\text{зол}} / (N_{\text{зол}} + N_{\text{упр}}) = Y_{\text{зол}} \{ [1 - (1-E)^n] + [(1-oE) - (1-E)] [1 - \\ - (1-E)^{n-1}] / E \} / \{ Y_{\text{зол}} \{ [1 - (1-E)^n] + [(1-oE) - (1-E)] [1 - (1-E)^{n-1}] / E \} + Y_{\text{упр}} \{ o(1-E) [1 - (1-E)^n] + \\ + (1-oE)^2 [1 - (1-oE)^{n-2}] - o(1-oE)(1-E) [1 - (1-E)^{n-2}] \} / oE \}$$

відкриває можливості обґрунтованого вибору будови їх робочих органів.

У **четвертому розділі** наведено дані про технічне та методичне забезпечення і результати досліджень геометрії зерна пшениці, реології його анатомічних частин та фрикційних властивостей, необхідних для обґрунтування будови, геометрії та кінематичних параметрів робочих органів функціональних елементів агрегатного устаткування.

Запропонований метод теоретичного дослідження геометрії, наприклад зерна пшениці, дав можливість одержати математичну модель його форми і дозволив установити залежність об'єму (з точністю +6,3%), площі перетинів та зовнішньої поверхні ($\pm 10,3\%$) і питомих показників від його лінійних розмірів. Експериментальна перевірка результатів теоретичних досліджень підтвердила їх достовірність і відкрила можливості оцінки якості зерна по його розмірам (довжині $-l$, ширині $-b$ і товщині $-c$) та обґрунтування геометрії робочих органів технологічних машин. На основі рівняння поверхні половини зерна пшениці $z = 108l\rho^6/b^3c^3(1 + \cos\varphi)^6$ одержано формулу для обчислення об'єму, $V = 3\pi lbc/16$, площі поверхні $F = 2,83l(bc)^{1/2}$ та еквівалентного за площею діаметра $D_F = 0,95l^{1/2}(bc)^{1/4}$ зерна.

Враховуючи положення про найбільший об'єм кулі по відношенню до об'ємів тіл іншої форми при рівних площах їх зовнішньої поверхні, введено показник виповненості зерна, який характеризує ступінь його наближення до форми кулі і є кількісною оцінкою досконалості його форми за об'ємом $B_v = V/V_k = 6V/\pi D_F^3 = 1,313(bc)^{1/4}/l^{1/2}$. Зростання його значення обумовлює збільшення питомого об'єму $\Pi_v = V/F$ і зниження вмісту оболонки, що, поряд із свідченням підвищеної якості зерна пшениці, дає можливість прогнозувати скорочення енерговитрат на реалізацію процесу його лущення.

Обмеженість існуючих даних по механічним властивостям зерна не дозволили врахувати їх результати при розробці агрегатного устаткування і обумовили необхідність створення оригінальних приладів та проведення додаткових досліджень деформативних характеристик оболонки та ядра і зв'язків між ними та вивчення коефіцієнтів тертя і опору зсуву шарів зерна, які впливають на конструктивно-функціональні рішення та режими лущильно-шліфувальних машин.

Значний вплив на процес лущення зерна зумовлює характер зв'язків між оболонками та ядром. При випробуваннях виконували відшарування попередньо надірваної полоси плодкових та сукупності плодкових і насінєвих оболонки від зерна пшениці, яке відрізнялося скловидністю ядра та умовами підготовки зразків. Прикладене до відігнутої на 180° полоси зусилля відшарування P_o спрямовувалось по дотичній до поверхні зерна, забезпечувало її відділення від ядра і заміралося з точністю $\pm 18,6\%$ для плодкових та $\pm 16,1\%$ для сукупності усіх оболонки.

Підвищення скловидності від 40 до 98% зволоженого на 3% та відволоженого протягом 3 та 12 хвилин зерна пшениці обумовлює зростання питомого зусилля відшарування плодкових оболонки від ядра від 99 до 135 Н/м та від 92 до 122 Н/м. Міцність зв'язків насінєвої оболонки з ядром при зазначених вище умовах зростає від 173 до 185 Н/м та від 205 до 210 Н/м. Зволоження зерна пшениці скловидністю 40 та 98% від 2 до 3, 4 і 5 %, обумовлює послаблення зв'язків між плодковими оболонками та ядром від 99 до 93, 89 і 86 Н/м та від 136 до 126, 115 і 104 Н/м. На відміну від цього міцність зв'язків насінєвих оболонки та ядра при згаданих вище умовах зростала від 176 до 188, 195 і 205 Н/м та від 189 до 195, 203 і 121 Н/м. Одержані результати свідчать про недоцільність застосування технології мокрого лущення зерна в агрегатних установках і підтверджують раціональність принципового вибору сухої обробки поверхні зерна та створення устаткування, придатного для сумісної реалізації операцій лущення та шліфування.

Визначення механічних властивостей оболонки обмежувалось можливостями одержання зразків, проводилось окремо для плодкових оболонки без поперечних волокон, сукупності плодкових і насінєвих оболонки та сукупності плодкових і насінєвих оболонки з алейроновим шаром шляхом їх подовжнього та поперечного розтягу і вимірювалося з точністю $\pm 5,6\%$.

При підвищенні скловидності ядра (від 40 до 98%) вологістю 10%, межа міцності плодкових оболонки при подовжньому та поперечному розтягу зростає відповідно в 1,24 та 1,69 разів. Для сукупності плодкових та насінєвих оболонки ці значення досягають 1,16 та 1,25 разів. Підвищення вологості плодкових та сукупності плодкових і насінєвих оболонки від 10 до 50% супроводжується зниженням межі їх міцності відповідно від 19,1 та 21,0 МН/м² до 11,8 та 12,9 МН/м² при подовжньому

розтягу і від 9,0 та 19,0 МН/м² до 5,0 та 13,0 МН/м² при поперечному розтягу. Найбільшою міцністю при подовжньому розтягу характеризуються насінєві оболонки 47,9 МН/м², а найменшою 14,3 МН/м² - сукупності плодових і насінєвих оболонок та алейронового шару. При поперечному навантаженні найменше значення межі міцності 9,2 МН/м² характерне для плодових оболонок, а найбільше 28,3 МН/м² - для шару насінєвих оболонок. Гарантоване руйнування покривних тканин та відділення їх від ядра у процесі лущення вимагає створення теоретично необхідної величини напружень на поверхні зерна при поперечному - 11,0 МН/м², і при подовжньому - 22,4 МН/м² його навантаженні.

Для відділення оболонки товщиною δ від ядра при лущенні зерна пшениці необхідне навантаження його відповідними зусиллями зсуву T_p , здатними викликати появу напружень σ_p , які досягають межі міцності покривних тканин і забезпечують їх руйнування розтягом

$$\sigma_p \leq T_p / b_n \delta \text{ або } T_p / l_n \leq \sigma_p \delta.$$

Підставляючи залежність сили тертя від нормального навантаження одиночного зерна P та величину міжзернового тиску, як відношення його до середньої площі проекції $S_{cp} = 1,0816(lbc)^{2/3}$ зерна (розмірами $l=6,02$, $b=2,98$ та $c=2,85$ мм) на опірну поверхню $T_p = fP$ та $p = P/S_{cp}$, в попередній вираз, одержимо формули для розрахунків мінімальної величини міжзернового тиску, необхідного для початку руйнування та відділення оболонки від ядра при напруженні σ_p^e у подовжньому $p^e = \sigma_p^e \delta b_n / f S_{cp}$ та σ_p^n - у поперечному напрямках $p^n = \sigma_p^n \delta l_n / f S_{cp}$, де b_n та l_n - ширина та довжина п'ятна дотику зерна з опірною поверхнею.

Так, наприклад, для зерна пшениці при визначеному співвідношенні $l_n/l=0,009691$ та $b_n/b=0,00848$, величина мінімально необхідного міжзернового тиску розраховується за виразами

$$p^e = 0,00784 \sigma_p^e \delta b^{1/3} / f (lc)^{2/3} \text{ та } p^n = 0,00896 \sigma_p^n \delta l^{1/3} / f (bc)^{2/3}$$

і використовується (табл. 1) при обґрунтуванні режимів лущильних або обрушувальних пристроїв. Таким чином для гарантованого відділення оболонки з поверхні зерна пшениці поперечними та подовжніми зусиллями мінімальна величина міжзернового тиску в робочій зоні лущильної машини повинна перевищувати значення $p^n = 1,172 \approx 1,2$ кПа та $p^e = 3,524 \approx 3,5$ кПа.

Таблиця 1

Мінімально необхідна величина міжзернового тиску в робочій зоні лущильної машини для відділення плодових оболонок зерна пшениці

Напрямок навантаження	Межа міцності плодових оболонок, МН/м ²	Товщина плодових оболонок, 10 ⁻⁶ м	Коефіцієнт тертя	Величина міжзернового тиску, кПа
Подовжній	$\sigma_p^{min} = 18,0$	$\delta_n^{min} = 35$	$f^{max} = 0,760$	$p_{min} = 1,406$
	$\sigma_p^{max} = 22,4$	$\delta_n^{max} = 50$	$f^{min} = 0,539$	$p_{max} = 3,524$
Поперечний	$\sigma_p^{min} = 6,5$	$\delta_n^{min} = 35$	$f^{max} = 0,760$	$p_{min} = 1,172$
	$\sigma_p^{max} = 11,0$	$\delta_n^{max} = 50$	$f^{min} = 0,539$	$p_{max} = 2,834$

Дослідженнями механічних властивостей ядра пшениці доповнено

експериментальні дані по міцності цілого та лушеного зерна в умовах навантаження його зусиллями зсуву у площині найбільшого поперечного перетину, які визначалися з точністю $\pm 5,9\%$. Така форма навантаження є найбільш імовірною у процесі відділення покривних тканин зерна в луцильних машинах, а опір ядра руйнуванню обмежує можливості його навантаження та регламентує режими обробки.

Міцність як цілого, так і лушеного зерна знаходиться в прямій залежності від скловидності ядра. Так, межа міцності ядра і нелушеного зерна скловидністю 40 % з вологістю $15\pm 0,5$ та $21\pm 0,5$ % досягає 6,3 та 3,8 МН/м² і 7,3 та 4,3 МН/м², що більш як у 1,6...2,1 разів нижче від показників міцності зразків скловидністю 98 % за аналогічних умов (відповідно 11,4 та 7,9 і 12,1 та 9,3 МН/м²). Це свідчить про обов'язковість врахування властивостей при визначенні інтенсивності навантаження і режимів лушення та шліфування зерна за умов збереження цілості його ядра.

Середні значення межі міцності цілого зерна пшениці скловидністю 40 та 98 % складають 5,76 та 10,64 МН/м² і загалом на ~ 10 % більші від таких же показників для ядра (відповідно 5,26 та 9,50 МН/м²). Таким чином, обґрунтування допустимої величини навантаження зерна в робочих зонах технологічних машин, необхідно виконувати на основі показників міцності останнього.

Відношення величини зусилля руйнування ядра зсувом T_c до найбільшої площі проекції $S_{lb}=lb$ зерна (при середніх розмірах $l=6,02$; $c=2,85$ та $b=2,98$ мм) дозволяє встановити мінімальні значення міжзернового тиску (табл. 2), який обумовлює подрібнення зернопродуктів

$$p_n = T_c / S_{lb} = \sigma_c S_{bc} / S_{lb} = \pi \sigma_c bc / 4lb = \pi \sigma_c c / 4l.$$

Аналіз одержаних результатів з урахуванням вимог збереження цілості ядра свідчить, що, при лущенні зерна з будь-якими показниками міцності, скловидності (C) та вологості (B), максимальна величина міжзернового тиску не повинна перевищувати $p_{max} \leq 0,9$ МПа.

Таблиця 2

Обмежувальні значення p_n міжзернового тиску (МПа) в луцильних машинах

Продукт	Вологість	$C=40\%$	$C=70\%$	$C=96\%$	$C=98\%$
Зерно	$B=12\%$	3,16	3,34	4,24	5,20
-"-	$B=24\%$	0,93	1,52	1,93	2,53
Ядро	$B=12\%$	2,82	3,16	3,72	4,46
-"-	$B=24\%$	0,89	1,23	1,82	2,49

Розповсюдженість явищ тертя сипких матеріалів та порівняння загальноприйнятих умов вивчення їх фрикційних властивостей з режимами лушення зерна та шліфування ядра, підтверджує необхідність конкретизації наявних результатів відносно зернопродуктів та обґрунтування можливості їх використання для моделювання операцій обробки поверхні часток.

Виходячи з задач дослідження луцильних машин, визначення фрикційних властивостей зернопродуктів обмежувалось умовами, близькими до виробничих режимів. Математико-статистична обробка одержаних результатів дала можливість встановити математичні моделі, які відображають залежність коефіцієнтів опору

зсуву μ між шарами зерна та коефіцієнтів тертя f одиночних зерен по опірним поверхням:

$$\mu = \mu_c + 0,085/(p+1) + 0,001(12-B)^2 + 0,007v = \mu_c + \mu_p + \mu_b + \mu_v$$

$$f = f_c + 500(P-0,075)^3 + 0,0016(12-B)^2 + 0,12v^{0,15} = f_c + f_p + f_b + f_v$$

де μ_c , μ_p , μ_b та μ_v і f_c , f_p , f_b та f_v -частки впливу скловидності (C , %), величини міжзернового тиску (p , кПа), нормальних зусиль (P , Н), вологості зерна (B , %) і швидкості відносного руху (v , м/с) на значення коефіцієнтів опору зсуву та тертя.

Виконана за допомогою F-критерія Фішера перевірка адекватності приведених математичних моделей фрикційних властивостей зерна (при рівні значимості результатів $\alpha=0,05$, ступені свободи по факторам $m=3$ та ступені свободи загального плану експериментів $n=3$, табличне значення $F_{\alpha,m,n}=9,3$), підтвердила несуттєвість різниці між розрахунковими і експериментальними значеннями коефіцієнтів μ та f . Загальний вплив розглянутих факторів та скловидності зерна (табл. 3) викликає зміни коефіцієнтів опору зсуву та тертя в інтервалах $\mu=(0,29...0,65)$ та $f=(0,54...0,74)$.

Таблиця 3

Вплив скловидності зерна на значення коефіцієнтів опору зсуву та тертя

C , %	40	70	96	98	69
μ_c	0,158	0,149	0,119	0,103	0,124
f_c	0,4397	0,4122	0,4172	0,4022	0,4178

Підвищення вологості зерна B характеризується (рис. 3 а, б) зростанням коефіцієнтів опору зсуву та тертя. Таким чином, при обробці зволоженого зерна на крупорушальних агрегатах, згідно до виявленої закономірності можна очікувати більш ефективну роботу фрикційних луцильних машин. Однак, при обґрунтуванні вологості зерна при його луценні, необхідно враховувати адгезивні властивості відходів обробки та можливість “залізування” абразивних робочих органів.

Підвищення скловидності зерна пшениці (рис. 3 в, д) обумовлює зменшення коефіцієнтів його опору зсуву μ та тертя f . Приведені дані свідчать, що ефективність відділення покривних тканин з поверхні високоскловидного зерна при незмінних умовах обробки буде нижчою від такого ж показника для низькоскловидного.

Підвищення міжзернового тиску p при зсуві шару зерен (рис. 3, д) характеризується зменшенням величини μ . В протилежність розглянутому, збільшення нормального навантаження P при зсуві поодиноких зерен (рис. 3, з), супроводжується зростанням величини f . Згідно результатів досліджень (рис. 3, б) збільшення швидкості переміщення зразків v відносно опірної поверхні обумовлює зростання величин як коефіцієнта опору зсуву μ , так і коефіцієнта тертя f .

Аналіз одержаних результатів свідчить, що найвища ефективність луцення може бути досягнута при рівноваговому вкладі швидкостей v , міжзернового тиску p та діючих сил P до показників тертя одиночних зерен $f(f_p+f_v)$ та опору зсуву їх шарів $\mu(\mu_p+\mu_v)$. Математичний вираз рівновагового вкладу швидкостей у зміни фрикційних властивостей зерна має вигляд

$$\mu_{\vartheta}=f_{\vartheta} \quad \text{або} \quad 0,007\vartheta=0,12\vartheta^{0,15}.$$

Розв'язанням цього рівняння одержано механічно раціональну величину $\vartheta_{max}=28,3$ м/с швидкості відносного переміщення шарів оброблюваного зерна.

Математичний вираз рівновагового вкладу навантаження у варіації коефіцієнтів опору зсуву та тертя зерна

$$(\mu_p+\mu_s+\mu_{\vartheta}) - (f_p+f_s+f_{\vartheta})=0 \quad \text{при} \quad \mu_{\vartheta}:f_{\vartheta} \rightarrow \min$$

за умов $P=pS_{cp}$, найбільшої вологості зразків ($B=20\%$) та мінімального впливу технологічно доцільної швидкості їх переміщення ($\vartheta_{min}=3,0378$ м/с) набуває вигляду рівняння четвертого ступеня

$$0,85/(p+1)-0,0016875(p-5)^3-0,1589=0.$$

Дійсний корінь цього рівняння $p \approx 4,5$ кПа є рекомендованою величиною технологічно доцільного міжзернового тиску. Вона визначає точку перетину кривих μ та f (рис. 3, *e*), які ділять площу графіка їх залежності від міжзернового тиску на чотири ділянки. Згідно фізичного змісту явища тертя сипкого матеріалу та взаємодії його з опірною поверхнею кожна ділянка характеризує стан шарів. Так верхня та нижня частини графіка відображають умови відносного руху (1) перекочуванням і проковзуванням та відносного спокою (3). Ліва ділянка (2) характеризує умови переважного ковзання, де слід очікувати найвищу ефективність операцій обробки поверхні зерна. Права ділянка (4) відповідає умовам переважного кочення, при яких спостерігається зниження ефективності операцій луцення та шліфування зерна.

Таким чином, проведений за умов рівновагового вкладу навантаження в варіації коефіцієнтів опору зсуву та тертя, аналіз математичних моделей відкрив можливість обґрунтовано рекомендувати величину міжзернового тиску в робочих зонах абразивно-дискових луцильних та шліфувальних машин на рівні 4,5 кПа.

Приведена методика дає можливість постановки та вирішення питання рівновагового вкладу навантаження в варіації коефіцієнтів опору зсуву та тертя ($\mu-f=0$) при технологічно доцільному значенні вологості ($B=15\%$) зерна середньої скловидності ($C=69\%$) і механічно раціональній швидкості ($\vartheta=28,3$ м/с) відносного руху його шарів у робочих зонах. Після підстановки значень відповідних параметрів, одержали рівняння $0,85/(p+1)-0,0016875(p-5)^3-0,2992=0$.

Розв'язання цього рівняння відкриває можливість визначити його дійсний корінь $p_m=2,2285$ кПа та обґрунтовано рекомендувати величину механічно раціонального міжзернового тиску в робочих зонах абразивно-дискових луцильних та шліфувальних машин на рівні 2,23 кПа.

Аналіз результатів дослідження фрикційних властивостей зерна підтвердив необхідність активного збудження та підтримки міжзернового тиску в робочих зонах луцильно-шліфувальних машин. Це вимагає розробки та застосування спеціальних пристроїв при створенні мало-, міні- та мікрогабаритних крупорушальних агрегатів. Так, наприклад, оснащення абразивно-дискових луцильно-шліфувальних машин розподільно-направляючими пристроями, призначеними для підтримки рекомендованої величини міжзернового тиску та збільшення активної площі абразивної робочої поверхні, обумовило відповідне підвищення їх продуктивності.

Розроблені технічні засоби та одержані на прикладі зерна пшениці результати

досліджень геометрії та механічних властивостей зернопродуктів є складовою частиною механіко-технологічного обґрунтування процесів та агрегатного устаткування. Вони визначають вимоги до конструктивних рішень робочих органів головних функціональних елементів, обмежують режими їх обробки у процесі виготовлення крупів та свідчать про необхідність створення мало-, міні- та мікрогабаритних агрегатів, які за продуктивністю, розмірами та компоновкою відповідають умовам виробництва.

У **п'ятому розділі** наведено науково-методичні основи об'єктивного вибору конструктивно-технологічних рішень робочих органів, обґрунтовано фізичні та математичні моделі процесів та виконані теоретичні розрахунки і експериментальне підтвердження геометричних, кінематичних та динамічних параметрів функціональних елементів агрегатних установок.

Співставлення технічного рівня технологічного обладнання різних принципів дії та порівняння ефективності його роботи засвідчили найбільш високу доцільність застосування машин для безперервно-поточної обробки зернопродуктів з обертальним рухом та відповідною мікро- і макрогеометрією робочих органів. Проведений аналіз принципів дії і будови обладнання інших галузей виробництва та аналогічність вимог до автономних умов експлуатації дозволив створити основні технологічні пристрої для агрегатних установок комбікормових, насінепідготовчих, хлібопекарських, кондитерських та інших виробництв. На основі одержаних результатів запропоновані прогресивні конструктивно-функціональні рішення устаткування для очистки та дезактивації зерна, роторно-дискові луцильно-шліфувальні машини, високопродуктивні обрушувальні пристрої та універсальні круповідділювачі. Проведена робота по створенню конструктивних рішень технологічних пристроїв підтвердила необхідність використання уніфікованих методів розв'язання конкретних питань по обґрунтуванню геометрії робочих органів та визначенню їх кінематичних параметрів. Рішення таких завдань вимагає розробки відповідних фізичних та математичних моделей і їх детального дослідження з метою обґрунтування достовірності та підтвердження об'єктивності одержаних результатів.

Відповідно до принципу роботи та будови луцильно-шліфувальний пристрій (рис. 4) має виконану у вигляді вертикально орієнтованого циліндра обмежуючу робочу зону ситову обічайку 1 радіусом R_0 , закріплені на ній і виготовлені у формі зрізаних конусів розподільно-направляючі пристрої 2 з радіусом нижнього малого отвору r_0 та установлені на вертикальному валу 3 радіусом r_0 абразивні диски 4 радіусом R_0 , які приводяться в обертальний рух з кутовою швидкістю ω_0 . Край нижніх малих отворів розподільно-направляючих конусів 2 розташовано на висоті H_n від робочої площини абразивних дисків. Запропонована фізична модель стану зернопродуктів у робочій зоні технологічної машини передбачає розгляд виділеної у просторі і обмеженої робочими органами зони, яка являє собою поле безпосередньої обробки, характеризується конкретними властивостями кожної точки і підлягає математичному аналізу. Обмеження поля безпосередньої обробки повинні мати пов'язані з фізичним змістом чіткі поверхні або площини розділу та граничні умови їх взаємодії із зовнішнім простором. Аналіз властивостей та стану зернопродуктів у

полі обробки виконується шляхом його умовного поділу на елементарні шари, форма яких повторює загальну форму поля обробки, а поверхні розділу утворюються як геометричне місце точок дотику граничних векторів швидкостей часток зернопродуктів. Необмежене стягування товщини елементарних шарів до мінімуму обумовлює формування поверхонь відносного ковзання сумісних елементарних шарів. Таким чином, поверхні ковзання утворюють аналогічні за властивостями трубкам току рідини потоки сипкого матеріалу і, при умові наявності міжзернового тиску в межах поля обробки, допускають можливість використання закономірностей нерозривності потоків суцільних середовищ. Дотичні до поверхні ковзання площини вміщують вектори миттєвих швидкостей часток у точках дотику, виконують функції площадок ковзання і можуть слугувати основою для розкладу характеристик будь якої з часток на складові у довільних точках при визначенні їх стану.

Абсолютний рух та відносно проковзування послідовно розташованих шарів сипких зернопродуктів по робочих поверхнях та між собою спричиняє формування матеріального поля, характеристики конкретних точок якого (вектори, модулі та градієнти кінетичних і динамічних параметрів, фізичні та механічні властивості) визначаються в основному їх положенням по відношенню до робочих органів, геометричними та кінематичними параметрами останніх.

Прийнявши сипкий матеріал зернопродуктів як умовно суцільне середовище, переміщення часток в окремих його шарах можна розглядати як незмішувані потоки. Таким чином, зростання швидкості радіального руху часток у шарах зернопродуктів при збільшенні відстані їх положення від осі обертання обумовлює зменшення площі поперечного перетину потоків, що є реальним при товщині шарів, яка значно перевищує розміри часток. Таке положення спричиняє також відповідне формування вільної поверхні загального об'єму зернопродуктів на робочій площині абразивного диска, яка відповідає рівнянню $z=f(\rho)$. Останнє відкриває можливості визначення:

площі радіального перерізу поля обробки, $s = \int z d\rho$;

геометричного об'єму поля безпосередньої обробки, $V = \iiint \rho d\rho d\varphi dz$;

повного терміну перебування зернопродуктів у полі обробки, $t_n = \gamma V/Q$;

радіальної швидкості часток у довільному, поперечному (перпендикулярному потокам) перетині поля товщиною h , $v_{\rho h} = 2(z-h)v_{\rho cp}/z$;

радіального прискорення часток у довільному перетині поля обробки,

$$\frac{dv_{\rho h}}{dt} = \frac{2(z-h)}{z} \frac{dv_{\rho cp}}{dt} = \frac{\omega_{\rho h}^2 \rho}{\kappa^2},$$

де κ - коефіцієнт проковзування шарів зернопродуктів;

кутової швидкості часток у довільних точках поля обробки, $\omega_{\rho h} = \kappa \sqrt{dv_{\rho h}/\rho dt}$;

колової швидкості часток у будь-якому поперечному перетині поля обробки, $v_{\varphi h} = \omega_{\rho h} \rho$;

колового прискорення часток у довільних точках, $\frac{dv_{\varphi h}}{dt} = \frac{2(z-h)}{z} \frac{dv_{\varphi cp}}{dt}$;

кутового прискорення часток у довільних точках поля обробки, $\xi = \frac{1}{\rho} \frac{d\vartheta_{\rho h}}{dt}$;

тангенса кута нахилу до горизонту площадок відносного ковзання суміжних по товщині шарів зернопродуктів, $(h)^1_{\rho} = (0 = h = z)^1_{\rho} = h(z)^1_{\rho} / z$;

вертикальної швидкості часток у довільних точках поля безпосередньої обробки зернопродуктів, $\vartheta_{zh} = \vartheta_{\rho h} (h)^1_{\rho} = \frac{h\vartheta_{\rho h} (z)^1_{\rho}}{z}$;

вертикального прискорення часток у довільних точках $\frac{d\vartheta_{zh}}{dt} = \frac{2(z-h)}{z} \frac{d\vartheta_{zcp}}{dt}$;

інерційного міжзернового тиску у довільних точках зони обробки, який виникає внаслідок: -радіальних, $P_{\rho h} = \gamma \rho \omega^2 \rho h \rho + \gamma \rho d\vartheta_{\rho h} / dt$,

-колових, $P_{\varphi h} = \gamma (z-h) \rho \xi + \gamma h d\vartheta_{\varphi h} / dt$

-та вертикальних, $P_{zh} = \gamma (z-h)g + \gamma h d\vartheta_{zh} / dt$ прискорень часток;

повної величини інерційного міжзернового тиску, $P = P_{\rho h} + P_{\varphi h} + P_{zh}$;

значення коефіцієнта відносного проковзування шарів, $\kappa = \psi (P = P_{max})$.

Враховуючи, що добуток міжзернового тиску у будь-якій точці поля безпосередньої обробки та величини елементарної площадки визначає силу фрикційної взаємодії частки, яка там знаходиться, з навколишнім середовищем, є можливість установити залежність елементарних сил взаємодії при відносному рухові часток від координат довільних точок у:

-радіальному, $T_{\rho} = T_{\rho h} + T_{\rho \varphi} = \mu p(\rho d\rho d\varphi + dh d\rho)$,

-коловому, $T_{\varphi} = T_{\varphi h} + T_{\varphi \rho} = \mu p(\rho d\rho d\varphi + \rho dh d\varphi)$,

-та вертикальному, $T_h = T_{h\rho} + T_{h\varphi} = \mu p(\rho dh d\varphi + dh d\rho)$ напрямках.

Таким чином, потужності, необхідні для подолання сил тертя при відносному рухові часток у довільних точках простору поля обробки зернопродуктів, визначаються як сума добутків елементарних сил тертя і їх відносних швидкостей у:

-радіальному напрямку,

$$N_{\rho} = \iiint T_{\rho h} (\vartheta_{\rho h})^1_h dh + \iiint T_{\rho \varphi} (\vartheta_{\rho h})^1_{\varphi} d\varphi = \mu [\iiint p(\vartheta_{\rho h})^1_h \rho d\varphi d\rho dh + \iiint p(\vartheta_{\rho h})^1_{\varphi} d\varphi d\rho dh] ,$$

-коловому напрямку,

$$N_{\varphi} = \iiint T_{\varphi h} (\vartheta_{\varphi h})^1_h dh + \iiint T_{\varphi \rho} (\vartheta_{\varphi h})^1_{\rho} d\rho = \mu [\iiint p(\vartheta_{\varphi h})^1_h \rho d\varphi d\rho dh + \iiint p(\vartheta_{\varphi h})^1_{\rho} \rho d\varphi d\rho dh] ,$$

-вертикальному напрямку,

$$N_h = \iiint T_{h\rho} (\vartheta_{zh})^1_{\rho} d\rho + \iiint T_{h\varphi} (\vartheta_{zh})^1_{\varphi} d\varphi = \mu [\iiint p(\vartheta_{zh})^1_{\rho} \rho d\varphi d\rho dh + \iiint p(\vartheta_{zh})^1_{\varphi} d\varphi d\rho dh] .$$

Наявність максимальних значень міжзернового тиску в контактуючих з робочою поверхнею шарах зернопродуктів p_{max} є основою для розрахунків величини момента, прикладеного до поля безпосередньої обробки і необхідного для виконання корисної роботи лушення та шліфування

$$M = f \iint p_{max} \rho^2 d\varphi d\rho .$$

А необхідна для виконання корисної роботи загальна потужність

$$N = N_{\rho} + N_{\varphi} + N_h$$

використовується для розрахунку кутової швидкості нижнього шару зернопродуктів, котра забезпечить підведення до поля безпосередньої обробки такої кількості енергії, яка необхідна для виконання корисної роботи для їх луцення та шліфування $\omega=N/M$.

За умов рівності підведеної до поля обробки зернопродуктів та одержаної ним енергії, а відповідно і необхідної потужності без урахування непродуктивних втрат, відкривається можливість розрахунку теоретично необхідної кутової швидкості абразивного диска $\omega=f\omega_{p0}/\mu$ та інших кінематичних характеристик ротора і загалом луцильно-шліфувальної машини на стадії проектних розрахунків її параметрів.

Установлені конкретні залежності між згаданими характеристиками окремих шарів оброблюваних зернопродуктів та параметрами робочих органів є математичною моделлю робочої зони луцильної машини. Дослідження моделі відкриває можливості визначення параметрів робочих органів, які можуть забезпечити заздалегідь заплановані або бажані характеристики матеріального поля в зоні безпосередньої обробки зернопродуктів та одержати об'єктивні технологічно необхідні результати. Так для агрегатних установок продуктивністю 1,667; 0,056 та 0,007 кг/с визначено продуктивності п'яти- трьох та двохдискових луцильно-шліфувальних пристроїв (відповідно 1,5613; 1,607 та 0,0136 кг/с), прийнято зовнішній (0,2; 0,125 та 0,1 м) та внутрішній (0,1; 0,075 та 0,05 м) радіуси абразивного диска і величини вхідного (0,04; 0,022 та 0,024 м) та вихідного (0,01; 0,008 та 0,006 м) зазорів і розраховано терміни обробки (0,8364; 1,8528 та 14,4032 с), необхідні потужності (5832,0; 883,1 та 328,9 Вт), величини крутних моментів на роторах пристроїв (118,8; 16,8 та 6,1 Нм) та їх кутові швидкості (49,1; 52,6 та 54,3 рад/с).

Перевіркою параметрів експериментального зразка луцильно-шліфувального пристрою установлені середні значення його продуктивності $Q=385,7$; 674,1 та 387,6 кг/г (0,1071; 0,1872 та 0,1067 кг/с), загальні ефективності обробних операцій 0,263; 0,7386 та 0,7478 при переробці відповідно зерна пшениці, ячменю та гороху і підтверджена достовірність одержаної математичної моделі та обґрунтованість її використання для проектних розрахунків такого устаткування.

У **шостому розділі** представлено конструктивно-функціональні рішення створеного за результатами дисертаційної роботи агрегатного устаткування для виробництва круп у автономних умовах фермерських господарств та малих переробних підприємств, наведено дані виробничих випробувань, установлені рівні продовольчого використання зерна та підраховані технологічна, технічна, загальна та економічна ефективність впровадження результатів роботи у виробництво і довготермінової промислової експлуатації одержаного технічного забезпечення.

Відповідно до рекомендацій механіко-технологічних основ мало-, міні- та мікрогабаритне агрегатне устаткування характеризується короткою послідовністю обробних операцій та енергетично оптимальними режимами їх виконання. Установки компонуються на загальній рамі, пристосовані до перевезень, відповідають умовам безфундаментного монтажу, задовільняють вимогам безпечної експлуатації і можуть розміщуватись у будь яких приміщеннях промислових будівель відповідних розмірів, що відповідають вимогам пожежо-вибухобезпеки.

Малогабаритна агрегатна установка для переробки зерна злакових та бобових культур в крупи призначена для виготовлення пшеничних, ячневих, кукурудзяних, горохових та інших номерних крупів. Агрегат складається (рис. 5, а) з функціонально пов'язаних елементів і включає приймальний бункер 1 для вхідного зерна, норію 2 для підймання продуктів на переробку, оснащену магнітним сепаратором 3 для виділення металодомішок, два оперативні бункери 4 та бункер готової продукції 5. Основні обробні операції виконуються в абразивно-дисковій луцильно-шліфувальній машині 6, повітряному сепараторі 7, вальцевому подрібнювачі 8 та ситовому сепараторі 9. Необхідні умови експлуатації агрегату забезпечені системою аспірації, яка складається з матеріало-повітрепроводів, вентилятора 10, циклона 11 та збірника побічних продуктів обробки зерна 12.

Окрема порція підготовленого зерна (суцільна стрілка) підлягає луценню на машинах фрикційного навантаження і наступній повітряній сепарації продуктів обробки (штрих-пунктирна стрілка) для вилучення мучки та лузги (хвилясто-пунктирна стрілка). Одержана суміш ядра та нелущеного зерна (штрихова стрілка) надходить на повторну обробку для одночасного луцення залишків цілого зерна та шліфування наявного ядра. Одержаний в результаті декількох пропусків-циклів пенсак (шліфоване ядро) надходить до вальцевого станка і після подрібнення підлягає остаточному сортуванню суміші крупок ситовим сепаратором на готову продукцію. Використання шести змінних сит 1В...3В та 1Н...3Н, що відповідають вимогам Правил, забезпечують виготовлення нешліфованої крупки від 3-х до 5-ти номерів за розмірами часток.

Таблиця 4

Виходи продуктів переробки зерна в крупи (%), виготовлені за розвиненими та запропонованими технологічними процесами

Крупи	Перлова		Ячнева		Пшенична		Кукурудзяна		Горохова	
	ПКР	Норма	ПКР	Норма	ПКР	Норма	ПКР	Норма	ПКР	Норма
№1			20,1	16,7						
№2			32,6	47,8						
№3			7,4	7,7						
№1, №2	40,5	39,1			23,9	8,6				
№3, №4	14,5	8,7			46,3	46,2				
№5	10,0	1,1								
№1,...,5							51,3	41,7		
Артек					11,0	12,9				
Цілий									43,8	52,5
Колотий									36,6	33,5
Вихід	65,0	48,9	60,1	72,2	81,2	67,7	51,3	41,7	80,4	86,0
Мучка	25,0	43,5	39,9	20,0	18,8	32,3	37,8	35,4	12,1	6,7
Лузга	10,0	7,6		7,8					7,5	7,3
Борошно							10,9	15,6		
Кр. зародк.								7,3		

Проведені виробничі випробування та довготермінова експлуатація малогабаритної установки для виробництва круп підтвердили обґрунтованість

застосування нового агрегатного обладнання для переробки зерна на малих підприємствах або в фермерських господарствах.

Одержані результати (табл. 4) свідчать про орієнтовну відповідність реальних виходів перерахованим на очищене зерно їх нормативним значенням. При цьому загальний вихід перлових крупів виявився на 16,1% більшим нормативного внаслідок значного скорочення операцій шліфування. Загальний вихід ячневих крупів виявився на 12,1% меншим нормативного при збільшенні на 3,4% виходу крупів першого номеру, яка не підлягає подрібненню.

Підвищення загального виходу пшеничних крупів на 13,5% у порівнянні з нормативним, обумовлене високою ефективністю роботи луцильно-шліфувальної машини та зменшенням втрат ендосперму з мучкою.

Загальний вихід п'ятиномерних кукурудзяних крупів збільшується майже на 10% за рахунок використання зародку (7,3%) у складі готової продукції та зменшення (на 4,7%) кількості борошна, одержаного у процесі подрібнення ядра.

При виробництві горохових крупів загальний вихід на 5,6% нижчий від нормованого значення, але вихід цілого гороху зменшився на 8,7%, а вихід колотого гороху збільшився на 3,1% в порівнянні з нормативними значеннями.

Мікрогабаритні установки для індивідуального виготовлення крупів призначені для переробки окремих порцій зерна в крупи безпосередньо перед їх використанням. Вони виготовляються у настольному варіанті і пристосовані для використання в умовах домашніх господарств або підприємств харчування.

Мікрогабаритний крупорушальний агрегат (рис. 5, б) включає вертикальний циліндричний корпус 1, розміщений на кришці завантажувальний бункер 2 (суцільна стрілка) з системою регулювання подачі та аспірації, і установлений на верхньому хвостовику вала електродвигуна М ротор із закріпленою на пустотілій маточині абразивною чашкою 3. Нижня частина маточини виготовлена у вигляді розширеного донизу розвантажувального конуса, розташованого на рівні випускного патрубку для крупів 4 (штрихова стрілка). З внутрішньої та зовнішньої сторони чашки ротора розміщені з можливістю вертикального переміщення зрізано-конічні деки 5, які виготовлені з решітного полотна і обмежують робочу зону. На нижньому хвостовику вала електродвигуна М закріплено крильчатку вентилятора 6 для аспірації робочої зони та виведення відходів обробки (хвилясто-пунктирна стрілка) крізь патрубок 7. Особливістю агрегату є використання процесу періодичної обробки необхідної за обсягом порції зерна різних культур шляхом послідовного обрушування, лущення та шліфування і повітряної сепарації побічних продуктів обробки та готової продукції. Передбачене ручне завантаження агрегата та раціональна компоновка технологічних пристроїв відкидає необхідність оснащення установки транспортними засобами і дозволяє до мінімуму скоротити її габаритні розміри. Розширений діапазон регулювання зазорів робочої зони та режимів повітряної сепарації допускає можливість переробки в крупу зерна всього існуючого діапазону варіацій гранулометричного складу.

Для порівняння створеного і існуючого устаткування і виробничих процесів застосовано запропонований показник - рівень продовольчого використання зерна. Оскільки розподіл анатомічних частин між продуктами переробки зерна однозначно відтворюється аналогічним розподілом їх ключових речовин (е-ендосперм

=кромаль, о-оболонки=клітковина, з-зародок=жири та а-алейроновий шар=зола), є можливість скласти систему рівнянь матеріального балансу кожної з ключових речовин між окремими анатомічними частинами та одержаними продуктами переробки зерна пшениці. Вирішення такої системи дозволяє визначити (табл. 5) дольові кількості відповідних анатомічних частин зерна у продуктах його переробки та розрахувати рівні U_j їх продовольчого використання у готовій продукції.

Виготовлені за розвиненим технологічним процесом крупи полтавська №1 та №2 практично позбавлені оболонки та зародку, а запропоноване агрегатне устаткування дозволяє використати для їх формування 2,4% оболонки і значну кількість (14%) зародку. Крім цього, для формування крупів перших номерів на комплектному обладнанні використовується майже у два рази більше алейронового шару (6,1%) ніж в умовах запропонованої технології (3,7%). Рівень продовольчого використання ендосперму (табл. 5) при запропонованій (94,0%) технології значно перевищує цей показник (78,2%) при традиційній технології. Для зародку ці значення становлять відповідно 37,9 та 31,0%, що майже не впливає на терміни зберігання круп, але забезпечує значне підвищення енергетичної насиченості не тільки круп артек, а також і всієї готової продукції. Слід також підкреслити, що підвищення рівня продовольчого використання алейронового шару (від 31,3 до 32,1%), сприяє поліпшенню якості крупів за рахунок збільшення вмісту вітамінів, мікроелементів, ферментів та інших біологічно активних речовин у готових продуктах.

Таблиця 5

Розподіл анатомічних частин зерна пшениці між продуктами його переробки в крупи

Процеси, засновані на	комплектному обладнанні				агрегатному устаткуванні			
	<i>e</i>	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>з</i>	<i>e</i>	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>з</i>
Продукти								
Полтавська №1 та №2	0,098	0,000	0,061	0,000	0,278	0,024	0,037	0,140
Полтавська №3 та №4	0,548	0,000	0,216	0,000	0,547	0,019	0,000	0,210
Артек	0,136	0,015	0,036	0,310	0,115	0,008	0,284	0,029
Всього в крупах	0,782	0,015	0,313	0,310	0,940	0,051	0,0321	0,379
Мучка кормова	0,218	0,985	0,687	0,690	0,060	0,949	0,679	0,621
Всього	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
$U_j, \%$	78,2	1,5	31,3	31,0	94,0	5,1	32,1	37,9

Якість готової продукції однозначно залежить від її хімічного складу по поживним, цінним та біологічно активним речовинам і оцінюється розподілом анатомічних частин зерна між крупами B_{zuj} та побічними B_{nj} продуктами. Це дає можливість прогнозу ефективностей виробництва на стадії проектних розробок устаткування. Так, наприклад, для розглянутих розвиненого та компактного технологічних процесів переробки зерна пшениці в крупи одержимо значення:

-технологічної ефективності

$$E_m^p = B_{nno}^p / B_o = o_{mч}^p / 1 = 0,985 \quad \text{та} \quad E_m^k = B_{nno}^k / B_o = o_{mч}^k / 1 = 0,949;$$

-технічної ефективності

$$E_m^p = B_{zue}^p / B_e = (e_{12}^p + e_{34}^p + e_{Ap}^p) / 1 = 0,782 \quad \text{та} \quad E_m^k = B_{zue}^k / B_e = (e_{12}^k + e_{34}^k + e_{Ap}^k) / 1 = 0,940;$$

-загальної ефективності реалізації технологічного процесу

$$E^p = E_m^p \quad E_{p,m}^p = 0,77 \quad \text{та} \quad E^k = E_m^k \quad E_{k,m}^k = 0,89.$$

Співставлення технічної та загальної ефективності реалізації технологічних процесів переробки зерна пшениці в крупи свідчить про суттєві переваги агрегатного устаткування перед комплектним обладнанням. Це підтверджується і результатами розрахунків технічної ефективності або рівня продовольчого використання:

-речовин алейронового шару

$$E_{m,a}^p = B_{p,2nd}^p / B_a = (a_{12}^p + a_{34}^p + a_{Ap}^p) / I = 0,313 \quad \text{та} \quad E_{m,a}^k = B_{k,2nd}^k / B_a = (a_{12}^k + a_{34}^k + a_{Ap}^k) / I = 0,321;$$

-речовин зародку

$$E_{m,z}^p = B_{p,3rd}^p / B_z = (z_{12}^p + z_{34}^p + z_{Ap}^p) / I = 0,310 \quad \text{та} \quad E_{m,z}^k = B_{k,3rd}^k / B_z = (z_{12}^k + z_{34}^k + z_{Ap}^k) / I = 0,379.$$

Аналіз рівнів використання анатомічних частин зерна (табл 5) та рівнів продовольчого використання його біополімерів (табл. 6) підтвердив переваги агрегатного устаткування в умовах децентралізованої переробки зерна в крупу.

Таблиця 6

Співставлення рівнів продовольчого використання складових зерна (%) при переробці його в крупи на комплектному обладнанні та на агрегатному устаткуванні

Продукція, технічне забезпеч.	Ендосперм	Оболонки	Алей-рон-шар	Зародок	Крохмаль	Білки	Цукор	Жири	Клітковина	Зола
Крупи Полтавська та Артек										
Комплект.	78,2	1,5	31,3	31,0	75,4	67,8	34,0	38,2	10,3	31,9
Агрегатне	94,0	5,1	32,1	37,9	90,4	80,5	40,6	43,1	15,4	35,1

Розрахунки економічної ефективності впровадження одного малогабаритного агрегата продуктивністю 0,2 т/г у виробництво свідчать, що виробництво крупів супроводжується фактичними прибутками протягом першого року їх експлуатації і складає для зерна пшениці - 89,6 тис. грн і для зерна гороху - 84,7 тис. грн.

Такий прибуток може забезпечити відшкодування витрат підприємства 25 тис. грн на купівлю агрегатної установки протягом

$$C_o = Ц / \Phi_n = 25 / 89,6 \approx 25 / 84,658 \approx 0,29 \text{ року,}$$

що орієнтовно складає біля 3,5 місяців.

Позитивні значення технологічної, технічної, енергетичної та економічної ефективності впровадження малогабаритного агрегату для виробництва крупів свідчить про:

наукову обґрунтованість механіко-технологічних основ процесів та агрегатного устаткування для виробництва круп, створених як результат наведених у даній роботі теоретичних і експериментальних досліджень та проектних рішень, призначених для реалізації загальних напрямків розвитку і можливостей децентралізації зернопереробної промисловості України;

технологічну доцільність розроблених компактних технологій, прийнятих функціональних рішень та запропонованих режимів виконання операцій в автономних умовах використання при виготовленні крупів у регіонах вирощування сировини, споживання готової продукції та утилізації побічних продуктів;

технічну раціональність запропонованих принципів дії, параметрів робочих органів створених малогабаритних елементів, прийнятих конструктивних рішень та

компоновки їх блоків у агрегатному устаткуванні для малих переробних підприємств та фермерських господарств.

ВИСНОВКИ

1. Створено механіко-технологічні основи процесів та агрегатного устаткування для децентралізованої переробки зерна, які спрямовані на вирішення актуальної проблеми подальшого розвитку галузі хлібопродуктів шляхом обґрунтування компактних технологій та розробки технічного оснащення для автономного виготовлення крупів на малих підприємствах і в цехах фермерських господарств з метою підвищення ефективності комплексної переробки зерна, розширення можливостей централізованих виробництв і оперативного задовільнення вимог та попиту споживачів.

2. Установлені відношення кількостей складових частин зерна у готовій продукції до наявності їх у сировині та доведена чинність їх застосування для оцінки рівня продовольчого використання складових частин і зерна в цілому при переробці його в крупи та порівняння різних видів устаткування. Визначені при виготовленні пшеничних, ячневих, кукурудзяних та горохових крупів рівні продовольчого використання основних поживних речовин зерна на агрегатному устаткуванні (відповідно 90,49; 80,54; 40,66 та 43,12 %) засвідчили його переваги над існуючим (75,46; 67,83; 34,09 та 38,24 %) комплектним обладнанням. Удосконалено показники технологічної, технічної та енергетичної ефективності і встановлено детерміновані зв'язки їх з показниками рівня продовольчого використання анатомічних частин зерна. Доведена можливість їх застосування для визначення ефективності різних технологій. При переробці зерна пшениці, ячменю і гороху загальна ефективність ($\pm 5,13\%$) складала 0,263; 0,7386 і 0,7478 - для компактних та 0,320; 0,502 і 0,778 - для розвинених технологічних процесів.

3. Запропоновано методичні основи аналізу існуючих технологій виробництва круп, синтезу компактних технологічних процесів та оптимізації режимів обробки зерна злакових та бобових культур. Застосуванням теорії графів визначено напрямки скорочення складу виробничих ліній, виконано суміщення однотипних основних операцій, об'єднання подібних за властивостями потоків, перетворення простих циклів у складні та усунення другорядних операцій і створені компактні процеси та обґрунтована структура агрегатного устаткування для виготовлення пшеничних, гречаних та інших крупів. Установлено оптимальні значення технологічної ефективності лушення-шліфування зерна пшениці (0,667) та обрушування зерна гречки (0,422), які забезпечують мінімальні витрати енергії.

4. Розроблено теоретичні основи обґрунтування технологічних параметрів функціональних елементів агрегатних установок. З використанням теорії рядів створено математичні моделі статички та кінетики циклічної і рециркуляційної технологій переробки зерна з міцними та слабкими зв'язками між оболонками і ядром, за результатами аналізу яких встановлені залежності продуктивностей агрегатних установок в цілому від продуктивностей головних функціональних

елементів. Розраховані продуктивності, наприклад, агрегату для виготовлення гречаних крупів та обрушувального пристрою, знаходяться в обернено пропорційній залежності від ефективності останнього.

5. Обґрунтовано теоретичні основи створення і аналізу математичної моделі форми зерна пшениці, його геометричних та масових характеристик, які застосовано для визначення параметрів робочих зон луцильно-шліфувальних машин і рекомендовано для кількісної оцінки якості зерна. Відношення площі поперечного перетину до периметра та об'єму до площі поверхні використано для розрахунку добротності та виповненості зерен. Запропонована методика придатна для аналізу геометрії зерна інших культур і є необхідною умовою обґрунтування проектних рішень робочих зон технологічних машин будь-якого призначення;

6. Застосовано прилади для дослідження фізико-технологічних властивостей зерна різних культур, необхідних для обґрунтування принципу дії та параметрів функціональних елементів агрегатного устаткування. Експериментально установлені (наприклад, для зерна пшениці) показники міцності зв'язків (з точністю $\pm 18,6\%$) між плодовими та насінєвими оболонками і ядром (відповідно 91...136 та 173...212 Н/м), межі міцності ($\pm 5,6\%$) оболонок при розтягу їх вповдовж та поперек волокон (18,0...22,4 та 6,5...11,0 МН/м²), межі міцності ($\pm 5,9\%$) зерна та ядра (8,5...14,0 та 7,6...12,0 МН/м²) при зсуві і коефіцієнти тертя (0,54...0,74) та опору зсуву (0,29...0,65) шарів зернопродуктів. З використанням одержаних результатів обґрунтована необхідність оснащення робочої зони пристроєм для створення та стабілізації міжзернового тиску, установлена мінімально необхідна (3,5 кН/м²), технологічно доцільна (4,5 кН/м²) і максимально допустима (0,9 МН/м²) величини міжзернового тиску та рекомендовано інтервал (3,04 ... 28,3 м/с) для визначення швидкості відносного переміщення шарів зерна та робочих органів.

7. Створено фізичні та математичні моделі процесів у головних функціональних елементах, які використано для обґрунтування параметрів робочих органів луцильно-шліфувальних машин. Проведено дослідження моделі процесу фрикційного відділення покривних тканин зерна пшениці на агрегатних установках продуктивністю 1,667; 0,056 та 0,007 кг/с та визначено продуктивності п'яти трьох та двохдискових луцильно-шліфувальних пристроїв (відповідно 1,5613; 1,607 та 0,0136 кг/с), прийнято зовнішній (0,2; 0,125 та 0,1 м) та внутрішній (0,1; 0,075 та 0,05 м) радіуси абразивного диска і величини вхідного (0,04; 0,022 та 0,024 м) та вихідного (0,01; 0,008 та 0,006 м) зазорів і розраховано терміни обробки (0,8364; 1,8528 та 14,4032 с), необхідні потужності (5832,0; 883,1 та 328,9 Вт), величини крутних моментів на роторах пристроїв (118,8; 16,8 та 6,1 Нм) та їх кутові швидкості (49,1; 52,6 та 54,3 рад/с).

8. Розроблено проектні рішення функціональних елементів для виконання головних операцій компактних технологічних процесів, які застосовано в реальних конструктивних розробках окремих компоновочних блоків агрегатного устаткування. Проведеними у виробничих умовах випробуваннями виготовлених головних блоків для класифікації вихідного зерна на фракції, його луцення або обрушування ядра, круповідділення та сортування готової продукції, підтверджена пристосованість до умов експлуатації та переваги їх використання для компоновки агрегатних установок. Одержані показники технологічної (0,985 та 0,949), технічної

(0,782 та 0,940) і загальної (0,77 та 0,89) ефективності переробки зерна пшениці в крупи (відповідно за розвинуеною та компактною технологіями), свідчать про суттєві переваги агрегатного устаткування перед існуючим.

9. Впроваджене у виробництво агрегатне устаткування для автономного виготовлення крупів підтвердило достовірність розроблених механіко-технологічних основ та доцільність їх практичного застосування для вирішення проблеми децентралізації системи переробки зерна в крупи, обґрунтування компактних технологічних процесів та створення технічного забезпечення малих круп'яних підприємств мало-, міні- та мікрогабаритними агрегатами, які за продуктивністю відповідають вимогам параметричного ряду існуючого обладнання.

10. Довготермінова експлуатація крупорушальних агрегатів показала доцільність прийнятих технологічних параметрів, раціональність одержаних технічних рішень та економічну ефективність впровадження результатів роботи у виробництво і підтвердила достовірність висновків та рекомендацій механіко-технологічних основ і необхідність їх практичного використання при розробці агрегатного устаткування для децентралізованого виготовлення крупів безпосередньо в регіонах вирощування сировини, споживання готової продукції та утилізації побічних продуктів виробництва. Впровадження одного малогабаритного агрегата для виробництва круп продуктивністю 0,2 т/г супроводжується фактичними прибутками на протязі першого року його експлуатації, які складають для зерна пшениці - 89,6 тис. грн і для гороху - 84,7 тис. грн, що забезпечує відшкодування витрат підприємства на купівлю устаткування протягом 3,5 місяців.

Список праць, опублікованих за темою дисертації

1. Вайнберг А.А., Гросул Л.И. Основы ремонта и монтажа оборудования предприятий по хранению и переработке зерна: Учеб. пос. для вузов. -М.: Колос, 1992. -304 с.

2. Гросул Л.И., Котляр Л.И., Дударев И.Р. К оценке технологической эффективности шелушения зерна // Изв. ВУЗов, Пищевая технология. -1977. -№5. -С. 62-65.

3. Гросул Л.И., Поляков В.Я., Шипко И.М. Малогабаритное оборудование для переработки зерна // Пищевая и перерабатывающая промышленность. -1992. -№8. -С. 27.

4. Гросул Л. Агрегатное оборудование для переработки зерна // Техника АПК. -1999. -№1. -С. 42.

5. Гросул Л. Застосуйте універсальний круповідділювач // Зерно і хліб. -2000. -№2. -С. 36.

6. Гросул Л.Г. Нові крупорушальні агрегати // Хранение и перераб зерна. -2000. -№10. -С. 38-39.

7. Гросул Л.Г. Ефективність обробних операцій при виготовленні круп на агрегатному устаткуванні // Хранение и перераб. зерна. -2000. -№12(18). -С. 47-49.

8. Гросул Л.Г. Використання потенціалу зерна пшениці в умовах автономного виробництва круп // Зернові продукти і комбікорми. -2001. -№4. -С. 30-33.

9. Гросул Л.Г., Поляков В.Я. Малогабаритна агрегатна установка для

реалізації компактного технологічного процесу переробки зерна в крупу // Хранение и перераб. зерна. -2002. -№1(31). -С. 43-45.

10. Гросул Л. Гречані крупи - на малогабаритних агрегатах і за компактною технологією // Зерно і хліб. -2002. -№2. -С. 49.

11. Гросул Л.Г. Аналіз енерговитрат при виробництві крупів у лініях з рециркуляційними потоками//Холодильна техніка і технологія. -2002. -№1. -С. 64-66.

12. Обоснование обобщенного критерия количественно-качественной оценки уровня продовольственного использования зерна / И.Р.Дударев, Л.И.Гросул, В.Ф.Санчес, В.Ф.Петько, В.В.Трубов // Технол. и оборуд. пищ. пром-сти и пищ. машиностроение: Межвуз. сб. науч. тр. -Краснодар: Политехн. ин-т, 1986. -С. 90-96.

13. Гросул Л.Г. Обґрунтування проектних рішень устаткування для виробництва крупи у фермерських господарствах // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України. -Одеса: 1994. Вип. 15. -С. 128-136.

14. Вайнберг А.А., Гросул Л.Г., Кіржнер І.Л. Деякі методичні підходи до оптимізації параметрів устаткування зернопереробних виробництв // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України.-Одеса: 1994. -Вип. 15. -С. 145-149.

15. Гросул Л.Г. Геометрія зерна пшениці в зв'язку з розробкою мікрокрупорушок // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України. Вип. 16.-Одеса: 1996. -С. 167-175.

16. Поляков В.Я., Гросул Л.Г., В.Ф.Петько. Обґрунтування і дослідження живильника крупорізки // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України.-Одеса: 1996. -Вип. 16. -С. 176-183.

17. Гросул Л.Г. Реологія зерна пшениці у зв'язку з розробкою мало-, міні- та мікрогабаритного крупорушального устаткування // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України. -Одеса ОКФА: 1997. Вип. 17. -С. 145-157.

18. Поляков В.Я., Гросул Л.Г. Визначення середньозваженого розміру часток зернопродуктів і коефіцієнта подрібнення по ударній силі падаючого потоку // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України. -Одеса ОКФА: 1997. -Вип. 17. -С. 138-145.

19. Гросул Л.Г. Фрикційні властивості зерна в зв'язку з розробкою агрегатного крупорушального устаткування // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України. Вип. 18,- Одеса: 1998. -С. 126-132.

20. Гросул Л.Г. Аналіз та синтез технологій виробництва крупи на агрегатному устаткуванні. // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України. -Одеса: 1999. Вип. 19. -С.196-201.

21. Гросул Л.Г. Методичні основи розрахунків обладнання для гречерушального агрегата // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України. -Одеса: 1999. -Вип. 19. -С. 201-206.

22. Гросул Л.Г. Використання анатомічних частин зерна при виробництві крупи на агрегатному устаткуванні. // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України. -Одеса: 1999. Вип. 20. -С. 257-262.

23. Гросул Л.Г. Оптимізація режимів агрегатного обладнання для переробки зерна пшениці в крупу // Наук. пр. ОДАХТ/М-во освіти України. -Одеса: 2001. Вип. 21. -С. 162-168.

24. Малогабаритный технологический комплекс для хранения и переработки

семян подсолнечника. /Л.И.Гросул, Г.Н.Станкевич, В.А.Благодарский, В.Е.Гаро, Л.Ф.Будюк. Вісн. Харківського держ. Техн. університету сільського господарства “Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв”. -Харків: Мінагрополітики України. -2001. -Вип. 5. -С. 261-268.

25. Прибор для определения механических характеристик зерновок и их анатомических частей: А.с. №395773 СССР, МКИ G01 N 33/02 /С.Я.Поляков, И.Р.Дударев, В.Я.Поляков, Л.И.Котляр и Л.И.Гросул (СССР). -№1253256/28-13; Заявлено 05.07.68; Оpubл. 28.08.73, Бюл. №35. 4 с.ил.

26. Машина для непрерывного шелушения зерна: А.с. 420332 СССР, МКИ В 02 В 3/02 /И.Р.Дударев, Л.И.Котляр, И.К.Кравченко, А.И.Меньшенин, П.П.Тарутин, В.П.Зайцев, Л.И.Гросул и А.Н.Киселев (СССР). -№1716038/28; Заявлено 19.11.71; Оpubл. 25.03.74, Бюл. №11. -4 с.ил.

27. Машина для непрерывного шелушения зерна: А.с. 462608 СССР, МКИ В 02 В 3/08 /П.П.Тарутин, И.Р.Дударев, Л.И.Котляр, Л.И.Гросул, И.К.Кравченко, А.Н.Киселев, А.И.Меньшенин, В.П.Зайцев и А.Е.Баум (СССР). -№1908279/28; Заявлено 16.04.73; Оpubл. 05.03.75, Бюл. №9 -4 с.ил.

28. Шелушильная машина для зерна: А.с. 518228 СССР, МКИ В 03 В 3/02 /Л.И.Гросул, А.Н.Киселев, Л.И.Котляр и В.Я.Поляков (СССР). -№1966715/13; Заявлено 17.10.73; Оpubл. 25.06.76, Бюл. №23. -3 с.ил.

29. Машина для непрерывного шелушения зерна: А.с. 596279 СССР, МКИ В 02 В 3/02 /И.Р.Дударев, Л.И.Котляр, И.К.Кравченко, П.П.Тарутин, А.Н.Киселев, Л.И.Гросул, А.В.Ульяницкий, Е.А.Банит и А.К.Чернобровка (СССР). -№2189511/13; Заявлено 14.11.75; Оpubл. 05.03.78, Бюл. №9. -5 с.ил.

30. Устройство для определения сопротивления материалов сдвигу: А.с. 748175 СССР, МКИ G01 N 3/24 (53) / И.Р.Дударев, В.Н.Петров, А.А.Соловьев, В.С.Рыженко, В.Ф.Петько, Л.И.Гросул (СССР). №2600926/25-28 (22); Заявлено 05.04.78; Оpubл. 15.07.80, Бюл. №26, 1980. -3 с.ил.

31. Устройство для шелушения, шлифования и полирования зерна: А.с. 1412803 СССР, МКИ В 02 В 3/00 /Л.И.Гросул, И.Р.Дударев, В.Ф.Петько, М.В.Рыбников и В.В.Трубов (СССР). -№4186235/30; Заявлено 26.01.87; Оpubл. 30.07.88, Бюл. №28. -3 с.ил.

32. Пропариватель крупяного зерна: А.С. 1414449 СССР, МКИ 4 В 02 В1/04 / В.Д.Каминский, Л.И.Гросул, Н.В.Остапчук (СССР). №4200605/31-13; Заявлено 24.02.87; Оpubл. 07.08.88, Бюл. №29. 14 с.ил.

33. Машина для шелушения зерна: А.с. 1472121 СССР, МКИ В 02 В 3/00 /И.Р.Дударев, Л.И.Гросул, В.Ф.Петько, М.В.Рыбников, В.В.Трубов и П.К.Попченков (СССР). -№4154060/30; Заявлено 01.12.86; Оpubл. 15.04.89, Бюл. №14. -4 с.ил.

34. Межвальцовая передача мелющего вальцового станка: А.с. 1473837 СССР, МКИ В 02 С 4/42 /В.Ф.Петько, Л.И.Гросул, И.Р.Дударев и С.А.Шевченко (СССР). - №4061336/31; Заявлено 24.04.86; Оpubл. 23.04.89, Бюл. №15. -4 с.ил.

35. Машина для шелушения зерна: А.с. 1500362 СССР, МКИ В 02 В 3/08 /И.Р.Дударев, Л.И.Гросул, М.В.Рыбников. В.В.Трубов и В.Я.Гомолич (СССР). - №4223836/31; Заявлено 08.04.87; Оpubл. 15.08.89, Бюл. №30. -4 с.ил.

36. Шелушильная машина для зерна: А.с. 1540860 СССР, МКИ В 02 В 3/02 /Л.И.Гросул, И.Р.Дударев, М.В.Рыбников и Л.И.Корожова (СССР). -№4261223/31;

Заявлено 11.06.87; Опубл. 07.02.90, Бюл. №5. -3 с.ил.

37. Шелушитель для зерна: А.с. 1614839 СССР, МКИ В 03 В 3/00 /Л.И.Гросул, И.В.Настагунин, В.Ф.Петько, М.В.Рыбников, И.И.Дударев и В.В.Трубов (СССР). - №4445060/31; Заявлено 20.06.88; Опубл. 23.12.90, Бюл. №47. -2 с.ил.

38. Шелушительно-шлифовальная машина: А.с. 1639738 СССР, МКИ В 02 В 3/02 /И.Р.Дударев, Л.И.Гросул, И.В.Настагунин, Г.А.Глобенко, В.В.Трубов, В.Э.Ревуцкий и С.В.Инютин (СССР). -№4676247/13; Заявлено 11.04.89; Опубл. 07.04.91, Бюл. №13. -3 с.ил.

39. Машина для шелушения, шлифования и полирования зерна: А.с. 1648550 СССР, МКИ В 02 В 3/00 /В.Я.Поляков, Э.Э.Байрамов, Л.И.Гросул, И.И.Дударев и М.В.Рыбников -№4697005/13; Заявлено 25.05.89; Опубл. 15.05.91, Бюл. №18. -5 с.ил.

40. Шелушительно-шлифовальная машина непрерывного действия: А.с. 1659098 СССР, МКИ В 02 В 3/08 /И.В.Настагунин, И.Р.Дударев, П.И.Мальшев, Л.И.Гросул и В.В.Трубов (СССР). -№4497727/13; Заявлено 25.10.88; Опубл. 30.06.91, Бюл. №24. -3 с.ил.

41. Шелушительно-шлифовальная машина: А.с. 1708406 СССР, МКИ В 02 В 3/02 /Л.И.Гросул, В.В.Трубов, М.В.Рыбников, С.В.Инютин, И.М.Шипко и Г.З.Чеботаряну (СССР). -№4836202/13; Заявлено 25.04.90; Опубл. 30.01.92, Бюл. №4. -6 с.ил.

42. Шелушительно-шлифовальная машина для зерна: А.с. 1761258 СССР, МКИ В 02 В 3/02 /Л.И.Гросул, Т.Р.Дударев, М.В.Рыбников и И.М.Шипко (СССР). - №4896810/13; Заявлено 27.12.90; Опубл. 15.09.92, Бюл. №34. -4 с.ил.

43. Зерноочищувальний агрегат. Патент 12520А Україна, МКИ В 07 В 13/00 /Л.Г.Гросул, В.Ф.Петько, В.М.Чоповський (Україна). -№93005899; Заявлено 22.10.93; Опубл. 28.02.97, Бюл. №1. -2 с.ил.

44. Лушительно-шлифовальна машина: Патент 16612 Україна, МКИ В 02 В 3/03 /Л.И.Гросул, В.В.Трубов, М.В.Рибніков, С.В.Інютін (Україна), Г.З.Чеботарян (Молдова). -№1708406; Заявлено 25.04.90; Опубл. 29.08.97, Бюл. №4. -2 с.ил.

45. Прес для брикетування сипучих матеріалів: Патент 21268А Україна МКИ В 30 В 11/18 / Л.Г.Гросул, С.О.Воїнова (Україна). -№93005898; Заявлено 05.10.93; Опубл. 04.11.97. -1 с.

46. Спосіб переробки гречки і проса в крупу та малогабаритний пристрій його здійснення. Патент 22235А Україна, МКИ В 02 В 3/00 /В.Ф.Петько, Л.Г.Гросул, В.Я.Поляков (Україна). -№95125432; Заявлено 22.12.95; Опубл. 30.06.98, Бюл. №3.

47. Мікрокрупорушка. Патент 23274А Україна, МКИ В 02 В 3/02, В 02В 3/14 /Л.Г.Гросул (Україна). -№95083630; Заявлено 02.08.95; Опубл. 19.05.98. -2 с.

48. Мікрогречерушка: Патент 32137А Україна, МКИ В 02 В 3/02, В 02 В 3/14 /Л.Г.Гросул (Україна). -№98126914; Заявлено 28.12.98; Опубл. 15.12.2000, Бюл. №7-11. -2 с.

49. Спосіб дезактивації зерна та пристрій для його здійснення. Патент 32138А Україна, МКИ В 02 В 3/00, G 21 F 9/00 /Л.Г.Гросул (Україна). -№98126915; Заявлено 28.12.98; Опубл. 15.12.2000, Бюл. №7-11. -2 с.

50. Спосіб розділення продуктів лушення зерна та круповідділювач для його здійснення. Патент 32139А Україна, МКИ В 07 В 1/06, В 07 В 1/08, В 07 В 1/38 /Л.Г.Гросул (Україна). -№98126916; Заявлено 28.12.98; Опубл. 15.12.2000, Бюл. №7-

11. -2 с.

51. Мікропросорушка: Патент 38249А Україна, МПК 7В 02 В 3/02 /Л.Г.Гросул (Україна). -№2000063419; Заявлено 12.06.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. №4. -1 с.

52. Спосіб переробки хлібного зерна в крупу та агрегатний пристрій для його здійснення: Патент 38250А Україна, МПК 7В 02 В 1/00, В 02 В 3/00 /Л.Г.Гросул, В.Ф.Петько, В.Я.Поляков (Україна). -№2000063420; Заявлено 12.06.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. №4. -1 с.

53. Універсальний круповідділювач. Патент 38259А Україна, МПК 7В 07 В 13/11/Л.Г.Гросул (Україна). -№2000063440; Заявлено 12.06.2000; Опубл. 15.05.2001, Бюл. №4. -1 с.

54. Установка для изготовления капсул-семяносителей: Патент 2041586 Россия, МКИ А 01С 1/06 /Л.И.Гросул, В.Ф.Петько (Украина). -№5058849/15; Заявлено 18.09.92; Опубл. 20.08 95, Бюл. №23. -5 с.ил.

55. Вибрационный сепаратор. Патент 2043173 Россия, МКИ В 07 В 1/40 /А.А.Вайнберг, Л.И.Гросул, И.Л.Киржнер (Украина). -№5055943/03; Заявлено 11.08.92; Опубл. 10.09.95, Бюл. №25. -3 с.ил.

56. Гросул Л.Г. Устаткування для малих підприємств та цехів по виробництву крупи в фермерських господарствах // Матеріали наук.-практ. конф. “Підприємства і цехи малої потужності для переробки сільськогосподарської сировини: ефективність і особливості організації” (27-28 листопада 1998 р.).-Полтава: УКООПСПЛКА/Полтавський кооперативний інститут, 1998. -С. 205-214.

57. Гросул Л.Г. Перспективи дезактивації зерна // Матеріали Междунар. науч.-практ. конф. “Екологія городів і рекреаційних зон” (25-26 юня 1998г.) ОЦНТЭИ Миннауки України. -Одеса: Астропринт, 1998. -С. 41-47

58. Гросул Л.Г. До оцінки рівня продовольчого використання зерна при виробництві крупи // Матеріали науч.-практ. конф. “Пути повышения эффективности хранения и переработки сельскохозяйственной продукции”. Сб. науч. статей ОЦНТЭИ. -Одеса: 1999. -С. 35-39.

59. Гросул Л.Г. Розвиток зернопереробної галузі та створення агрегатного устаткування // Матеріали Шостої наук.-техн. конф. “Проблеми та перспективи створення і впровадження ресурсо- та енергоощадних технологій, обладнання в галузях харчової і переробної промисловості (19-20 жовтня 1999р.). Ч.Ш. -К.: УДУХТ, 2000. -С. 13-14.

60. Гросул Л.Г. Напрямки вдосконалення технологічного устаткування зернових підприємств // Тези доп. Першої нац. наук.-практ. конф. “Хлібопродукти-94” (вересень, 14-16, 1994р.). -Одеса: ОДАХТ, 1994. -С. 6.

61. Гросул Л.И., Поляков В.Я., Шипко И.М. Обоснование конструкции и параметров малогабаритной агрегатной установки для выработки крупы из пшеницы // Тез. докл. 53 науч. конф. ОТИПП им. М.В.Ломоносова/МО Украины (20-23 апреля 1993 г.). -Одесса. 1993. -С. 154.

62. Гросул Л.И., Шипко И.М. Обоснование параметров шлифовальной машины // Тез. докл. 54 науч. конф. ОТИПП им. М.В.Ломоносова/МО Украины (19-22 апреля 1994 г.). Часть П. -Одесса. 1994. С. 16.

63. Гросул Л.И. Обоснование разработки и структурно-функциональных решений микрокрупорушки // Тез. докл. 55 науч. конф. ОГАПТ/МО Украины (11-14

апреля 1995 г.). Часть I. -Одесса. 1995. -С. 148.

64. Гросул Л.Г. Дослідження міцності зв'язків оболонки і ядра для створення мало-, міні- та мікрогабаритного устаткування по виробництву пшеничної крупи // Тез. докл. 56 науч. конф. ОГАПТ/МО Украины (9-12 апреля 1996 г.). Часть I. -Одесса. 1996. -С. 101.

Анотація

Гросул Л.Г. Механіко-технологічні основи процесів та агрегатного устаткування для виробництва круп. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.08.12 - Процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. - Одеська державна академія харчових технологій, Одеса, 2002.

Дисертація спрямована на вирішення проблеми технічного забезпечення галузі децентралізованої переробки зерна, включаючи синтез та оптимізацію компактних процесів виробництва круп, обґрунтування раціональних принципів дії, структури, та проектних рішень агрегатного устаткування. В роботі удосконалено параметричний ряд продуктивностей і запропонована класифікація існуючого та створеного устаткування. Розроблені оцінки рівня продовольчого використання анатомічних частин і біополімерів зерна застосовані для об'єктивного порівняння ефективності відомого та запропонованого обладнання. Створені методичні основи та технічна база для досліджень геометрії зерна, реології його анатомічних частин, та фрикційних властивостей зернопродуктів, а одержані результати застосовані при обґрунтуванні параметрів робочих органів та режимів функціональних елементів. Виготовлене за результатами роботи агрегатне устаткування пройшло виробничі випробування, передано в постійну експлуатацію і підтвердило обґрунтованість її висновків та рекомендацій.

Ключові слова: устаткування, обладнання, технологічний процес, пшениця, крупи, механічні властивості, лушення, обрушування, шліфування, робочі органи, агрегат.

Abstract

Leonid I. Grosul. Mechanical and Technological Foundations of Processes and Aggregate Equipment for Grain Processing. – Manuscript.

A Dissertation Submitted in Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Technical Sciences with Specialization 05.08.12 – Processes and Equipment in Food, Microbiological, and Pharmaceutical Industries. – Odessa State Academy of Food Technologies, Odessa, 2002.

This work considers the problem of technical support of decentralized grain processing including synthesis and optimization of compact processes for grain production and substantiation of rational principles of functioning, structure, and design solutions of

aggregate equipment. We improve a number of performance characteristics and propose a classification of existing and newly designed equipment. The assessment of nutritional usage levels of anatomical parts and biopolymers of grain developed in this work is used to objectively compare the effectiveness of existing and proposed equipment. We develop methodical principles and technical foundations to study grain geometry, rheology of its anatomical parts, and frictional properties of grain products. The obtained results are used to substantiate the parameters of working components and operational modes of functional elements. The equipment designed in this work underwent production tests, continuously operated, and had confirmed the correctness of our conclusions and recommendations regarding its adoption in the industry.

Key words: equipment, technological processes, wheat, cereals, mechanicals properties, peels, fall, grinds, working components, aggregate.

Аннотация

Гросул Л.И. Механико-технологические основы процессов и агрегатного оборудования для производства круп. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.08.12 - Процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. - Одесская государственная академия пищевых технологий, Одесса, 2002.

Диссертация направлена на решение проблемы технического оснащения и технологического обеспечения отрасли децентрализованной переработки зерна. Использование потоковых графов для представления развитых технологий переработки зерна существенно расширило их информативность, улучшило наглядность и позволило формализовать анализ структуры и связей процесса с целью упрощения состава и сокращения количества операций. Удаление выявленных петель, простых и сложных циклов, объединение в общие дуги аналогичных по свойствам потоков и универсализация функционального назначения вершин рекомендуется как процедура синтеза компактного технологического процесса производства круп из зерна конкретных культур. Составленный на основе свойств инцидентных дуг и минимального разреза потокового графа материальный или энергетический баланс рассматривается как математическая модель компактной технологии производства круп и используется для оптимизации режимов обработочных операций. Представленная на примере переработки зерна пшеницы методика анализа существующих технологий применима для синтеза компактных процессов и оптимизации режимов при создании агрегатного оборудования по изготовлению круп и из других культур.

Проведены исследования требований потребительского рынка, технического оснащения, условий эксплуатации и производственных возможностей региональных перерабатывающих предприятий. Полученные результаты положены в основу дальнейшего усовершенствования параметрического ряда производительностей и предложена общая классификация существующего и создаваемого оборудования.

Предложены оценки уровня продовольственного использования анатомических частей, биополимеров и других химических веществ зерна.

Отношение количества указанных составляющих в готовой продукции к их наличию в исходном зерне позволяет получить сведения о перераспределении не только ценных питательных и биологически активных, но и балластных веществ при реализации конкретных процессов изготовления крупы. Такие отношения позволяют конкретизировать не только результаты основного воздействия при выполнении обработочной операции (технологическая эффективность), но и побочные эффекты, вызванные особенностями предназначенного для этого оборудования (техническая эффективность). Предложенные показатели рекомендованы для объективного сопоставления эффективности известного и предложенного оборудования на стадии его проектных разработок.

Созданы методические основы и техническая база для исследования геометрии зерна, реологии его анатомических частей и фрикционных свойств зернопродуктов. Полученное аналитическое выражение формы поверхности, например, зерна пшеницы положено в основу оценки его выполненности и добротности, а также определения параметров рабочих зон проектируемых технологических машин. Результаты исследований деформативно-прочностных характеристик оболочек, ядра и целого зерна использованы для установления граничных условий силового нагружения обрабатываемых продуктов при его шелушении или обрушивании. Определенные в условиях близких к обработочным сведения о фрикционных свойствах одиночных зерен и их слоев послужили исходными данными для назначения технологически рациональных режимов обработки поверхности зерна. Предложенная методика является универсальной, распространяется на все зерновые культуры и рекомендуется для исследований при обосновании параметров рабочих органов и режимов функциональных элементов агрегатного оборудования для производства круп из конкретного зерна.

Результаты анализа рациональных принципов действия и исследований формы, прочностных и фрикционных свойств на примере зерна пшеницы положены в основу разработки физических и математических моделей и проверки их адекватности реальным процессам. Они использованы для определения геометрии, кинематических и динамических параметров рабочих органов и целесообразной компоновки функциональных элементов агрегатного оборудования.

Разработанные механико-технологические основы процессов и агрегатного оборудования для производства круп и являются теоретической базой для объективного решения общих проектных вопросов проблемы технологического обеспечения и технического оснащения предприятий отрасли автономной переработки зерна.

Полученные результаты использованы для создания агрегатного оборудования, которое прошло длительные производственные испытания, передано в постоянную эксплуатацию и подтвердило обоснованность выводов и рекомендаций диссертационной работы.

Ключевые слова: оборудование, технологический процесс, пшеница, крупы, механические свойства, шелушение, обрушивание, шлифование, рабочие органы, агрегат.

Підписано до друку 27.08.2002 р. Формат 60x84 1/16
Обл.-вид.арк. 2,0. Замовлення № 424 . Тираж 100 прим.

Відділ поліграфії та комп'ютерних технологій ОЦНТЕІ
65011, м Одеса, вул. Рішельєвська, 28