

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

д.т.н., професор

_____Костянтин ДЯДЮРА

«___»_____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти

Освітньої програми «Агроінженерія»

За спеціальністю 208 «Агроінженерія»

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ЗЕРНА ЯЧМЕНЮ З ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ПІДВИЩЕНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЛУЩЕННЯ

Науковий керівник: доцент, к.т.н.

_____Ігор ДУДАРЕВ

Рецензент: гол. інженер, к.т.н.

_____Максим ГУБАНОВ

Виконав здобувач денної форми навчання

Сергій СОКУРА

*Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить
результати власних досліджень.*

*Використання ідей і текстів інших авторів
має посилання на відповідне джерело.*

_____ **Сергій СОКУРА**

ОДЕСА – 2025

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна праця має головну мету і низку завдань, що полягають у модернізації виробничого процесу перловки завдяки інтеграції свіжих концепцій, націлених на покращення властивостей крупи під час її подальшого зберігання. Така ініціатива є надзвичайно значущою для усієї галузі, оскільки вона веде до підвищення кінцевої якості товару і гарантує тривале збереження його притаманних позитивних якостей.

У супровідній документації представлено ґрунтовне дослідження фінансових і виробничих метрик підприємства за останні три роки. Важливої уваги було приділено властивостям першоджерельної сировини, а саме ячменю. Ретельно вивчено його структурні особливості, проведено детальний розбір хімічного складу, а також зроблено оцінку потенціалу для започаткування виробництва нових сортів. Окремим ключовим моментом дослідження стала робота над вдосконаленням стадії зняття зовнішніх покривів зерна шляхом точного налаштування робочих параметрів абразивних дисків. Ба більше, було вивчено взаємозв'язок між експериментальним збільшенням швидкості обертання апаратури та зростанням відсотка видаленої оболонки у загальній масі. Здобуті дані однозначно свідчать про виправданість коригування робочих умов для досягнення максимальної продуктивності.

Аби обґрунтувати фінансову вигоду від запровадження оновленої технологічної послідовності обробки ячменю на крупу, було складено відповідний бізнес-план, який підтверджує фінансову життєздатність цих трансформацій. Окрім того, у роботі викладено конкретні кроки для оптимізації умов праці на виробничому майданчику.

Ключові слова: ЯЧМІНЬ, ДИСК, ТЕХНОЛОГІЯ, ДИНАМІКА, ОБОЛОНКИ.

Зміст

Реферат.....	
Зміст.....	
ВСТУП.....	
1.ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА.....	
1.1 Загальні відомості про господарство.....	
2.ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУПИ.....	
2.1 Хімічний склад ячменю.....	
2.2. Харчові властивості.....	
2.3. Білкові компоненти.....	
2.4. Жирові речовини.....	
2.5 Післязбиральна обробка зерна.....	
2.6 Сушіння.....	
2.7 Технологічні властивості зернової суміші.....	
2.8 Технологічні властивості.....	
2.9 Безпека кормів та харчових продуктів , фізична якість зерна.....	
3. ОГЛЯД МАШИН ДЛЯ ЛУЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР.....	
3.1 Класифікація шелушильних машин та схема процесу.....	
4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
4.1 Крітерії обробки зернових.....	

4.2	Опис принципової технологічної схеми
5.	ОХОРОНА ПРАЦІ.....
6,	БІЗНЕС-ПЛАН.....
	ВИСНОВКИ.....
	Список літератури.....

ВСТУП

Продукти, виготовлені з насіння злакових, постачають людству приблизно половину щоденного необхідного обсягу калорій, що є критичним джерелом енергії для переважної частини населення планети. Значущість зернових у раціоні відчутно коливається залежно від географічного розташування: хоча у більшості європейських держав частка енергії, що надходить із злакових, становить десь 25%, то у країнах із динамічним економічним зростанням цей показник може доходити до 55%. Завдяки насиченості поживними субстанціями, зернові культури формують фундамент світового харчування. Зокрема, їхній хімічний профіль охоплює суттєві частки вуглеводів (70–80%), протеїнів (7,5–15%) та мінеральних речовин (1,5–3%), доповнені низьким вмістом жирів (1–4%). Цей баланс поживних елементів дозволяє злаковим задовольняти основні потреби людського організму, забезпечуючи необхідну енергетичну підтримку та сприяючи життєдіяльності [2,5,11].

Хімічний склад різних сортів зернових визначаються численними змінними. На це впливають як їхні внутрішні генетичні характеристики, так і умови навколишнього середовища, методи обробки ґрунту та агрономічні практики. Взаємодія цих факторів формує кінцеву якість зерна, що безпосередньо відбивається на його харчовій та технологічній цінності. У світлі нещодавніх змін у споживчих вподобаннях, спостерігається наростаючий інтерес до органічно вирощених товарів. Ця тенденція пов'язана із загостренням уваги до аспектів, що впливають на здоров'я людини та загальну екологічну ситуацію. Серед ключових мотивів популярності продукції без штучних добавок виділяють побоювання щодо наявності залишків агрохімікатів у їжі, прагнення отримати вищий вміст

живильних елементів і біологічно активних сполук, а також зростання вимог до загальної якості продукції та її екологічної безпеки [3,7,14].

Разом із розумінням потреби у впровадженні різноманітного й зваженого раціону, а також поживленням інтересу до продуктів, вирощених поблизу й відповідно до принципів органічного землеробства, великі мережі роздрібної торгівлі дедалі частіше додають до свого асортименту злакові культури, вирощені з дотриманням вимог екологічної сталості. Фахівці з питань харчування все частіше погоджуються, що споживання цільних зерен із мінімальним втручанням технологій сприятливо впливає на якість здорового харчування, допомагаючи постачати організму життєво важливі нутрієнти [2,6,10]. Між тим, запорукою створення якісних харчових продуктів із зерна є його скрупульозна сепарація для досягнення максимальної чистоти та безпечності. Цей крок убезпечує від наявності будь-яких небажаних включень і надалі гарантує відповідність продукції жорстким стандартам якості. Для виконання цього завдання застосовуються передові спеціалізовані установки, які інтегровані на кожному етапі виробничого циклу переробки. Нині виробники обладнання пропонують комплексні системи, що охоплюють повний набір апаратури для очищення зернової сировини, включно з лушпильниками, вібраційними грохотами та установками для первинного сепарування. Окрім того, для фінального очищення зерен та круп застосовуються аспіраційні системи та сепаратори каміння, чийм завданням є видалення найдрібніших сторонніх частинок, як-от пил, лушпиння та інші небажані домішки. Таким чином, дієва система очищення стає ключовою умовою для отримання високоякісного харчового товару, який задовольняє запити сучасного покупця й екологічним нормам виробництва [5,16].

Пристрій аспірації діє завдяки формуванню інтенсивного руху повітря, котрий спроможний результативно видаляти дрібні сторонні елементи, здатні погіршити характеристики кінцевого товару. Водночас, апарат для

видалення каміння служить меті точного вилучення щільних частинок, які інколи опиняються серед загального обсягу зерна. Саме його функціонування гарантує необхідний рівень чистоти вихідного матеріалу, що є критично важливим для успішного процесу лушення та збереження характеристик зернових складових. Не менш значущою ланкою в технології очищення є роторний барабан, розроблений для глибокого та скрупульозного поділу зерен[2,4,9]. Його конструкція відкалібрована таким чином, щоб відокремлювати зерна, які зазнали пошкоджень чи подрібнення, від якісних, підтримуючи таким чином високу ступінь відповідності кінцевого продукту встановленим нормам. Цей механізм є незамінним елементом загальної схеми, оскільки забезпечує виведення усіх бракованих зерен, тим самим підтверджуючи стабільно високу якість лушення та подальших переробних операцій які могли пошкодити зренівки.

2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУПИ

2.1 Хімічний склад ячменю

Хімічний профіль ячменю здатний значно змінюватись; це пояснюється як успадкованими властивостями певного сорту, так і впливом багатьох зовнішніх чинників. Сюди входять кліматичні обставини, стан ґрунтів, тип застосовуваних мінеральних підживлень та ступінь агротехнічних впливів, що, своєю чергою, позначаються на його вегетації та дозріванні. Внаслідок цієї плинності, ячмінь постає як виняткова нива, що демонструє пристосовність до великої розмаїтості середовищ. Ключові складові, що визначають його хімічну структуру, охоплюють вуглеводи (зокрема крохмаль, прості цукри й клітковину), білкові речовини (концентруючись навколо амінокислот), ліпіди (із виділенням жирних кислот), мікроелементи (наприклад, зольність), вітамінні комплекси, а також фенольні речовини, які забезпечують продукту його здатність протистояти окисленню. Ця своєрідна структура стала об'єктом ґрунтовного вивчення, зокрема у матеріалах, що містяться у посиланнях [2] та [9], було наведено типову структуру хімічного складу зерна ячменю залежно від виду – плівчастий чи голозерний. Аби глибше зануритись у деталі, варто поглянути на умовну таблицю 2.1, де викладені підсумки зіставлення складу цих різновидів. У цільному зерні ячменю домінують сполуки крохмалистого типу, їхня частка коливається у межах 57,7–60,7%. Наступними за обсягом ідуть протеїнові речовини, вміст яких змінюється від 12,2 до 15,1%, що, своєю чергою, позиціонує їх як вагоме джерело амінокислот. Жири присутні у помірній кількості, лише 2,5–2,7%, відповідно, ячмінь можна класифікувати як продукт із низьким вмістом жиру. Цукри виявлені у невеликих обсягах, трохи більше 1,2–1,5%. Особливу цінність становлять β -глюкани (4,8–5,7%), що вирізняються вираженими позитивними функціональними

характеристиками та сприятливо впливають на організм людини. Не менш значущу роль також відіграє харчові волокна (16,6–20,6%), що сприяють поліпшенню травлення. Мінеральні залишки у вигляді золи містяться у кількості 1,6–2,1%.

Таблиця 2.1 Хімічний склад покритого та голого зерна ячменю

Хімічний склад (%) *	Покритий ячмінь	Голій ячмінь
Крохмаль	57,7	60,7
Білок	12.2	15.1
Жир	2.5	2.7
Цукри	1.2	1.5
Попіл	2.1	1.6
Харчові волокна	20.6	16.6
β-глюкан	4.8	5.7

Продукт із ячменю, що вирізняється значним вмістом білка, активно залучається у харчовій промисловості, будучи цінним як для споживання людиною, так і як ключова складова у раціонах для худоби. Ця зернова культура високо цінується не лише через свою поживність, але й через гнучкість у вжиткованні. А саме, ячмінь із меншим вмістом протеїну є незамінним для солодових та пивоварних потреб, надаючи властивості, критичні для виготовлення напоїв високого ґатунку. Життєво необхідною є функція білків у ячмінному комплексі, адже вони сприяють покращенню плинності (реології) кінцевих виробів, створених на його основі. Це охоплює такі важливі аспекти, як забезпечення стійкості емульсій, формування піни, яка довго не осідає, еластичність, здатність до зчеплення

та ефективно утримання вологи [2,7,13]. Через свою особливу та багатокomпонентну хімічну структуру, ячмінь використовується як функціональний інгредієнт для створення харчових продуктів із позитивним впливом на здоров'я. Серед головних плюсів ячменю виділяється щедра кількість дієтичних волокон, зокрема бета-глюканів, які зосереджені у незмінній структурі цього зерна. Окрім того, він містить чимало токолів та крохмалю, що має резистентний характер, складників, які суттєво посилюють його сприятливий ефект. Наукові з'ясування доводять: бета-глюкани й токоли з ячменю допомагають збавити рівень холестерину та глюкози у кровотоці, що позитивно позначається на стані серця та судин. Поєднання бета-глюканів з крохмалем, який погано засвоюється, має важливе значення для стабілізації цукру в крові та оптимізації функціонування кишківника, сприяючи загальному доброму травленню[3,9,12]. Крім того, ячмінь вирізняється щедрою добіркою фітохімічних речовин, як-от фенольні кислоти, флавоноїди, лігнани, фітостерини й фолієва кислота. Ці елементи надають продукту яскраво виражених антиоксидантних та антипроліферативних якостей. Завдяки цьому ячмінь не лише ефективно боронить клітини тіла від деструктивного впливу вільних радикалів, але й гальмує патологічні процеси їхнього надмірного розмноження. Житній солод є надзвичайно цінним харчовим складником через його високу нутрієнтальну вартість та суттєвий позитивний вплив на загальний добробут людського організму. Домінуючим елементом у зерні, з точки зору обсягу, виступає крохмаль, випереджаючи за кількістю такі складові, як протеїни та дієтична клітковина. Молекулярно крохмаль формується із двох різновидів глюкозних ланцюгів: ті, що мають розгалужену структуру – їх іменують амілопектинами, та ті, що мають пряме розташування – відомі як амілози. У типовому зразку ячмінного крохмалю баланс цих двох фракцій зазвичай становить близько трьох частин амілопектину на одну частину амілози

[3,10,15]. Помимо цієї усталеної пропорції, виділяють особливі модифікації ячменю, які демонструють нетиповий розподіл амілози та амілопектину. Приміром, існують культури, де практично весь крохмаль (у межах 95–100%) представлений лише амілопектином. Такі зразки традиційно маркуються як "восковий ячмінь" через притаманні їм характеристики. На противагу цьому, існують інші різновиди, де частка амілози є істотно вищою, сягаючи значень від 40 до 70 відсотків від загальної маси крохмалю. Для контрасту, ячмінь зі стандартним співвідношенням амілопектину до амілози 3:1 класифікується як "невосковий". Слід мати на увазі той факт, що зерна воскового ячменю частіше за все містять меншу загальну концентрацію крохмалю, якщо порівнювати їх із тими сортами, що вважаються стандартними. Це зменшення показників тягне за собою підвищення кількості простих цукрів, а саме сахарози, глюкози та фруктози. Примітно, що восковий ячмінь демонструє суттєво вищий відсоток клітковини, більша частина якої зосереджена у зовнішній лусці зерна. Високий рівень вмісту бета-глюкану є вирішальною рисою цього виду ячменю, що значно збагачує його загальний вміст харчових волокон. У внутрішній частині зерна (ендоспермі) також містяться невеликі обсяги моносахаридів та олігосахаридів, це короткі полімерні сполуки, утворені з ланцюгів глюкози та інших простих цукрів. Саме ця структурна відмінність зумовлює неповторний хімічний профіль воскового ячменю, наділяючи його винятковими дієтичними та функціональними якостями. Вміст простих цукрів, зокрема глюкози й фруктози, зберігається на дуже низькому рівні, не перевищуючи 0,2%, і вони сконцентровані переважно у специфічних секторах ендосперму. У певних ситуаціях, у зонах ендосперму, що межують із зародком, може формуватися мальтоза, хоча її концентрація лишається мінімальною, типово у межах 0,1% до 0,2%. Натомість рівень сахарози зазвичай становить 0,74–0,84%, причому ледь частка цієї речовини

накопичується безпосередньо в клітинних структурах зародка зерна, досягаючи аж 80%[4,6,14].

2.2. Харчові властивості

Протягом тривалого періоду наукова спільнота вела жваві дебати та активні обговорення стосовно того, які методи та стратегії є найбільш слушними для з'ясування сутності та властивостей харчових клітковин, присутніх у продуктах харчування. Проте, на даний момент, переважна більшість провідних фахівців зійшлися на консенсусі: харчові волокна класифікуються як сукупність складних вуглеводів, які травна система ссавців не в змозі розкласти власними ферментативними системами. У ячмінних зернах, такі компоненти формуються головним чином завдяки наявності таких складників, як лігнін, целюлоза, бета-глюкан та арабіноксилан. Серед усього різноманіття харчових клітковин, саме бета-глюкан вирізняється як найбільш перспективний елемент з огляду на його поживну цінність та позитивний вплив на здоров'я людини. Ця особлива речовина викликає значний інтерес у дослідників завдяки широкому спектру потенційно сприятливих ефектів на фізіологічні процеси організму. Хоча здатність зберігатися та концентрація бета-глюкану в ячмені можуть істотно варіюватися залежно від зовнішніх чинників зокрема, кліматичних умов регіону вирощування чи застосованих агротехнологій, більшість науковців сходяться на думці, що вирішальну роль у формуванні остаточної кількості цієї субстанції у зібраному врожаї відіграє саме генетичний потенціал самої культури.

Молекулярна структура бета-глюканів, незалежно від того, звідки вони були отримані, складається з послідовно з'єднаних глюкозних одиниць, пов'язаних специфічними типами глікозидних сполук. Така організація їхньої структури зумовлює унікальні характеристики бета-глюканів та їхнє значення для підтримки метаболічної рівноваги й оптимізації загальної роботи організму. Виняткова увага, яку приділяють цим волокнам,

ґрунтується на їхньому потенціалі сприятливо впливати на такі аспекти добробуту, як регулювання рівня холестерину, забезпечення належного функціонування кишківника та зниження ризику розвитку певних патологій.

Взаємозв'язки на молекулярному рівні мають вирішальний вплив як на фізико-хімічні властивості сполуки, так і на її здатність проявляти біологічну активність. У випадку бета-глюканів, виділених із зернових (наприклад, ячменю), ми спостерігаємо наявність глікозидних зв'язків виключно типу $\beta 1,3/1,4$, без включення чи розгалужень за типом зв'язку $\beta 1,6$. Натомість, ті різновиди бета-глюканів, які не походять зі злакових (як от отримані з грибів чи дріжджів), зазвичай характеризуються наявністю бічних ланцюгів, закріплених за допомогою глікозидних містків $\beta 1,6$, що кардинально трансформує їхні властивості. Хоча бета-глюкани присутні у всьому спектрі зернових культур, їхня концентрація є найвищою саме у ячмені (де вона сягає 2–20%), вівсі (3–8%) та сорго (1,1–6,2%). Якщо розглядати продукти глибокої переробки зерна (наприклад, ячмінь після очищення, ячмінну крупу, перловку чи вівсяні пластівці), вміст бета-глюкану фіксується на рівнях 4,83%, 3,96%, 2,95% та 2,55–2,91% відповідно. Важливо те, що в травно-кишковому тракті бета-глюкани утворюють золь з підвищеною густиною, що має прямий вплив на уповільнення процесу засвоєння глюкози після споживання їжі. Це допомагає утримувати глюкозу й інсулін у крові на належному та сталому рівні, що є суттєвою частиною контролю енергетичного гомеостазу тіла. Зважаючи на те, що значна частина виробів з пшеничного борошна та широко вживані сухі сніданки демонструють доволі високий показник глікемічного індексу, виникає потреба інтегрувати до щоденного меню злаки, які характеризуються меншими значеннями глікемії. Прикладами таких цінних культур можуть слугувати овес та ячмінь, що додатково постачають організм значною кількістю харчових волокон. Їхні слизові β -

глюкани, а саме (1,3) та (1,4)- β -D-глюкани, здатні спричиняти зменшення концентрації глюкози в сироватці крові після прийому їжі. Ячмінь, до всього іншого, справедливо розглядається як чи не найкраще джерело клітковини, яка сприяє послабленню глікемічної реакції, наприклад, коли споживаються вироби з пшениці, скажімо, батон. Критично важливим є те, що сприятливий вплив β -глюканів ячменю та розчинних харчових волокон був офіційно визнаний головними світовими інституціями. Зокрема, Європейське управління з безпеки харчових продуктів (EFSA) разом із Продовольчо-лікарською адміністрацією США (FDA) засвідчили позитивний вплив цих елементів на покращення метаболічного стану здоров'я.

2.3. Білкові компоненти

Аналіз аграрного поля Сполучених Штатів, що базувався на вивченні понад десяти тисяч генотипів, засвідчив разючу розбіжність у відсотковому вмісті білка у ячмені: діапазон значень охоплює проміжок від семи до двадцяти п'яти відсотків. Однак, якщо брати до уваги типові умови, вміст білка у цій культурі найчастіше коливається у межах дев'яти – тринадцяти відсотків. Окреме дослідження, що охопило 3817 зразків ячменю, зібраних у західній частині Канади, зафіксувало середній рівень білка на позначці 12,2 відсотка. Хоча лабораторні процедури, необхідні для точного з'ясування концентрації білкових сполук, вимагають значних капіталовкладень та ресурсів, визначення рівня азоту пропонує простіший і швидший спосіб замірничих операцій. Як правило, приблизне значення білка оцінюють, домножуючи показник азоту на коефіцієнт 6,25. Такий підхід зумовлений тим, що у переважній більшості білків або їхніх сполучень вміст азоту становить приблизно шістнадцять відсотків, і, відповідно, сто відсотків розділене на шістнадцять дає число 6,25. Класифікація ячмінних білків проводиться на чотири головні фракції, виходячи з їхньої здатності до розчинення.

Альбуміни добре розчиняються у воді, однак при високих температурах втрачають свої властивості. У ячмені альбумін відомий під назвою лейкозин.

Глобуліни розчиняються у 5% розчині сульфату калію (K_2SO_4) і частково втрачають структуру при нагріванні; глобулін ячменю називається едестин.

Проламіни розчиняються у 70% розчині етанолу, а проламін ячменю має назву гордеїн.

Глютеніни ж розчиняються у слабких кислотних або лужних середовищах. Для ячменю глютенін відомий як горденін. Існує також друга класифікація білків ячменю, згідно з їхніми біологічними функціями, що поділяє їх на білки запасу насіння та ті, що до них не належать. Серед білків запасу найбільш значущими є проламіни, які в ячмені носять назву гордеїни. [16].

2.4. Жирові речовини

Жири, будучи ключовими органічними речовинами, розсіяні серед усіх складових ячмінного зерна, проте найбільше їх зосереджено у шарі алейрону та у зародку. В ендоспермі ж кількість цих сполук у перерахунку на суху речовину є досить невеликою, коливаючись лише у межах 1-2 відсотків. На основі глибокого аналізу, проведеного щодо 115 зразків ячменю, було встановлено, що вміст загального жиру у насінні варіюється від 2,1% до 3,7% від сухої маси, причому середнє значення утримується на рівні 3,0%. Жирнокислотний склад ячменю чітко вказує на переважання конкретних елементів: пальмітинова кислота (16:0) займає близько 23%, олеїнова кислота (18:1) — приблизно 13%, лєвова частка, а саме 56%, належить лінолевій кислоті (18:2), а ліноленова кислота (18:3) становить 8%. Окрім того, стеаринова кислота, хоч і у слідових кількостях, була зафіксована у кількості, що не перевищує 1%. Слід також підкреслити, що у складі ячменю ідентифіковано фосфоліпіди – значущий клас жирів, що має особливі біохімічні характеристики.

Харчові вироби, зроблені з нерозмеленого зерна, здавна вважаються щедрим постачальником життєво необхідних вітамінів та інших цінних елементів, особливо тих, що входять до групи В. Серед них ми знаходимо такі корисні сполуки, як тіамін, рибофлавін, ніацин, піридоксин, біотин та фолати, які суттєво впливають на підтримання належного стану організму. Серед усього розмаїття зернових культур, ячмінь заслуговує окремої згадки, оскільки він містить майже увесь спектр незамінних вітамінів і нутрієнтів, зокрема холін, критично важливий для адекватного метаболізму та коректної роботи нервової системи. Однак, необхідно підкреслити, що ячмінь не містить вітамінів А, D, К, В12 та С. Для детального огляду середньої концентрації вітамінів у зернових продуктах, зверніться до Таблиці 2.2, яка подана для спрощення вивчення. Прикметно те, що певна частка вітамінів із групи В, які характеризуються як термолабільні (тобто такі, що легко руйнуються під дією високої температури), можуть частково зникати або цілковито руйнуватися в процесі термічної обробки їжі. З огляду на це, методика приготування страв на основі зернових є значущою не лише для збереження їхніх смакових властивостей, але й для максимізації кількості корисних речовин, що в них містяться. Застосування коректних методів зберігання та кулінарної обробки подібних продуктів гарантує отримання максимальної вигоди від їхнього щоденного споживання.

Таблиця 2.2. Частка вітамінів групи у ячмені

Вітамін	Середнє значення, мг/кг *
Тіамін (B ₁)	5.2
Рибофлавін (B ₂)	1.8
Ніацин (B ₃)	63.2
Пантотенова кислота (B ₅)	5.1
Біотин (B ₇)	0,14
Фолієва кислота (B ₉)	0,43
Піридоксин (B ₆)	3.5
Холін	1290

2.5 Післязбиральна обробка зерна

Обробка врожаю зернових після жнив є життєво необхідним етапом у сільськогосподарському виробництві, адже вона прямозначно визначає якість та здатність зерна зберігатися тривалий час. Цей цикл включає низку ключових кроків, серед яких виокремлюються очищення, сортування (калібрування) та сушіння як такі, що мають першочергове значення. Очищення має на меті усунення небажаних включень, як-от рослинні рештки, бур'ян чи сторонні предмети (наприклад, каміння), тим самим покращуючи загальну чистоту зібраної маси. Калібрування ж, зі свого боку, дає змогу розмежувати зерно за габаритами, формою або іншими критеріями якості, що сприяє однорідності всієї партії та готує її до подальшого використання. Методи очищення та сортування базуються на застосуванні певних фізичних законів, що дає змогу якісно виконувати ці завдання. Один із найбільш уживаних методів , поділ зерна за його розміром. Для цього застосовують спеціальні решета, які мають отвори різного діаметру. Під час проходження через них, крупніші зерна

залишаються на поверхні, тоді як менші просіюються крізь отвори, формуючи окремі потоки матеріалу. Додатково до цього, часто залучають повітряні потоки, що ефективно видаляють легке сміття, як-от пил чи невелика зернівка. Такий взаємодоповнювальний підхід значно підвищує результативність усієї операції. Крім того, усі етапи роботи спрямовані на те, аби знизити рівень вологості зерна до такої позначки, яка унеможливить розвиток плісняви чи загальне псування продукту під час зберігання. Сушіння становить собою завершальну й абсолютно необхідну частину усього комплексу. Воно слугує оберегом для зерна від мікроскопічних загроз та гарантує його довговічність за умови належного розміщення на зберіганні. Отже, всебічне опрацювання зерна після збору гарантує не лише високі стандарти кінцевого продукту, але й його безпечне та тривале перебування на складах, що є запорукою успіху будь-якої аграрної діяльності.

- Застосування аеродинамічних властивостей зерна (аспіратори);
- СОРТУВАННЯ за довжиною та формою зернин, а також їхньою специфічною масою. Для цього використовуються трієри та каменевиділювачі;
- Вилучення металевих часток за допомогою магнітних сепараторів;
- СОРТУВАННЯ за кольором, особливо для бобових культур, де зерна різної тональності отримують електричний заряд і перенаправляються в окремі потоки. Обладнання для сортування змішаного зерна може бути класифіковане за типами:
 - Просте обладнання, яке працює за одним принципом і поділяє суміш на дві складові;
 - Комплексне обладнання, яке поєднує кілька принципів, інтегрованих у єдиний механізм для забезпечення більш ефективного сортування.

2.6 Сушіння

Процедура висушування зернової маси, що полягає у видаленні зайвої вологи, є однією з фундаментальних стадій її обробки. Її мета - довести

рівень вологості до значень, які гарантують тривалий термін зберігання та збереження високої якості продукту. Своєчасність виконання цієї операції надзвичайно важлива, адже перевищення допустимих норм температури й вологості провокує активацію ензимів росту. Ці ензими створюють сприятливі умови для небажаних трансформацій у структурі зерна. Вони прискорюють гідролітичні процеси розщеплення ключових органічних складових зернового матеріалу, таких як білки й крохмаль, що, у свою чергу, негативно позначається на якості кінцевого продукту та його придатності для подальшого використання. Сучасний арсенал технологій для осушення зерна є досить широким, охоплюючи як перевірені часом, так і новітні рішення. Переважна більшість підходів до видалення надмірної вологи із зерна ґрунтується на принципах функціонування повітряних систем. Фактично, можна виділити два головні напрями:

- Низькотемпературний (холодний) варіант – його реалізують за допомогою інтенсивної вентиляції, використовуючи при цьому повітря, температура якого відповідає навколишньому середовищу.
- Високотемпературний (теплі) варіант- цей спосіб передбачає використання обладнаних сушильних камер, де застосовується підігріте повітря для значного прискорення процесу осушення.

Щодо вибору оптимального методу, вирішальним чинником виступає початковий показник вологості зерна. Наприклад, якщо рівень вологості матеріалу не перевищує 17 відсотків, найкращим вибором стає інтенсивне примусове продукування повітря. Для цього потрібні добре обладнані сховища, які мають ефективні системи повітропровідних каналів та потужні повітродувки, здатні забезпечити швидке переміщення повітряних мас крізь зернову масу. У подібних ситуаціях часто вдаються до застосування металевих веж-силосів, які оснащені продуманими вентиляційними рішеннями, що гарантують якісне провітрювання та рівномірне висушування продукції. Окрім загальноприйнятих практик, існують і

альтернативні шляхи зневоднення зерна, кожен з яких має свої унікальні характеристики та сфери застосування. Впровадження подібних інноваційних рішень дозволяє суттєво розширити можливості для зберігання та подальшої переробки зернових культур, враховуючи їхню специфіку та технологічні потреби переробних ліній :

- сушка інфрачервоним випромінюванням, використовуються хвилі короткого спектра довжиною

1600-2000 нм. Вологі, темні й шорсткі поверхні краще поглинають таке випромінювання, яке перетворюється в тепло, нагріваючи матеріал;

- вакуумна сушка — волога видаляється шляхом її випаровування при значному зниженні атмосферного тиску;
- сушка у псевдозрідженому шарі - високо нагріте повітря пропускається через шар зерна товщиною приблизно 0,5-0,6 м, розташований на сітчастій основі. Такий підхід забезпечує максимально ефективний контакт між зерном і гарячим повітрям, дозволяючи використовувати температури сушильного середовища в межах 140-160 °C
- струменева сушка — зерно переноситься потоками гарячого повітря зі швидкістю 8-40 м/с. Процес сушіння триває близько 1,5 хвилини, протягом яких вертикальний рух матеріалу дозволяє більш вологим частинкам перебувати довше в потоці до досягнення необхідного рівня сухості. Недоліками цього методу є пошкодження цілісності зерен і значне утворення органічного пилу;
- мікрохвильова сушка — електромагнітні хвилі високої частоти нагрівають матеріал, сприяючи випаровуванню вологи.

2.7 Технологічні властивості зернової суміші

Зерно, що надходить від різних джерел, піддається спеціальній процедурі скрупульозного об'єднання. Цей етап має вирішальне значення для отримання кінцевого продукту з найкращими параметрами, які

відповідають його майбутньому використанню у наступних етапах обробки. Процес змішування зернових здійснюється з метою консолідації характеристик окремих партій пшениці, формуючи таким чином єдину масу. Це дає змогу гарантувати послідовність встановлених норм, які є наріжним каменем для випуску борошна високої якості. При виробництві борошна для пекарської справи, значної ваги набувають як числові, так і якісні аспекти вмісту білка у пшениці. Власне ці ознаки значною мірою детермінують здатність борошна використовуватися для виготовлення відмінної продукції. Не меншого значення набувають параметри такої сировини, як пшениця та жито, де вирішальне значення має активність ферментів амілолітичної групи. Цей показник прямо впливає на трансформацію крохмалю під час термічної обробки (випікання). Також необхідно приділити пильну увагу стану пошкодження крохмальних гранул, адже це здатне суттєво модифікувати властивості борошна, яке готується.

Спираючись на те, як саме різні сорти взаємодіють та комбінуються у створених сумішах, пшениця підлягає категоризації. Така система розмежування дає можливість оптимально добирати потрібний тип зернової основи для досягнення бажаних кінцевих результатів у технологічних операціях. Властивості міцних різновидів пшениці дозволяють застосовувати їх окремо, проте у переважній більшості випадків їх залучають з метою поліпшення характеристик менш стійких сортів. Звичайні (типові) зернові культури придатні для самостійного використання, без потреби у компаундуванні. Слабкіших представників використовують лише у поєднанні з потужнішими, аби досягти найкращого співвідношення. Ефекти від змішування нерідко перевищують середні технологічні очікування, які можна було б розрахувати, дотримуючись усталених методик. Якщо ж фактичний результат збігається із заздалегідь розрахованим теоретичним показником, це підтверджує, що у властивостях сформованої маси не виявлено розбіжностей. Оцінка якісних атрибутів має

узгоджуватися із вимогами, що висуваються до типу борошна, яке планується виробити на помельному комплексі. При формуванні сумішей для специфічних борошняних виробів та круп треба забезпечити мінімальні варіації їхніх якісних показників; це є надзвичайно важливим аспектом для сьогоденної індустріальної діяльності. Апробація якості отриманої суміші зазвичай базується на таких критеріях, як вимірювання клейковинного індексу чи глибини осідання, що визначаються сучасними аналітичними приладами.

Наявні два ключові підходи:

- Безпосередній:
- Опосередкований:

Сам процес безпосереднього змішування передбачає, що кожна окрема порція сировини подається до вузла зведення та транспортування, а звідти переміщується на черговий ступінь технологічної обробки. Даний підхід вирізняється більшою операційною гнучкістю, тому його доцільно застосовувати там, де властивості борошна зазнають постійних коливань. Наприклад, при виробництві борошна, призначеного для масового хлібовиробництва, його параметри відчутно різняться від тих, що потрібні для звичайного домашнього печива. Отриманий помел мусить гарантувати досягнення потрібних ознак: як надмірно розвинені клейковинні якості, так і їхня істотна слабкість є неприйнятними для якісного хліба. Ба більше, цукрово-амілазний ансамбль належної якості повинен сприяти оптимальному функціонуванню амілази, водночас забезпечуючи незначне руйнування крохмалю під час обробки. Функція клейковини є ключовою саме для пшеничного борошна, тоді як для помелу інших видів зерна вплив білкових фракцій суттєво зменшується. У контексті великомасштабного хлібопечення першочерговою метою є гарантування незмінної якості кінцевого продукту, що досягається шляхом зменшення варіативності властивостей упродовж тривалого періоду.

2.8 Технологічні властивості

Зерно ячменю володіє цупкою, неїстівною зовнішньою плівкою, яку можна усунути винятково шляхом механічного втручання. З цією метою його піддають обробці між абразивними валками, доки ця оболонка не буде абсолютно знята. Проте завдяки шліфуванню значна частина цінного зародка також може бути пошкоджена або стерта. В результаті отримують відполіроване ядро, насичене крохмалем це те, що відомо як перлова крупа, яка користується великою популярністю у кулінарії та харчовому виробництві. Ступінь механічної обробки зумовлює, яка саме частка зовнішньої шкірки залишиться на зерні. У харчовій галузі, як правило, прийнято виготовляти стандартну світлу перловку. Якщо ж застосовувати спеціалізоване апаратуру для луцення, обробка зерна стає значно ніжнішою, що дає змогу зберегти більшу кількість оболонки.

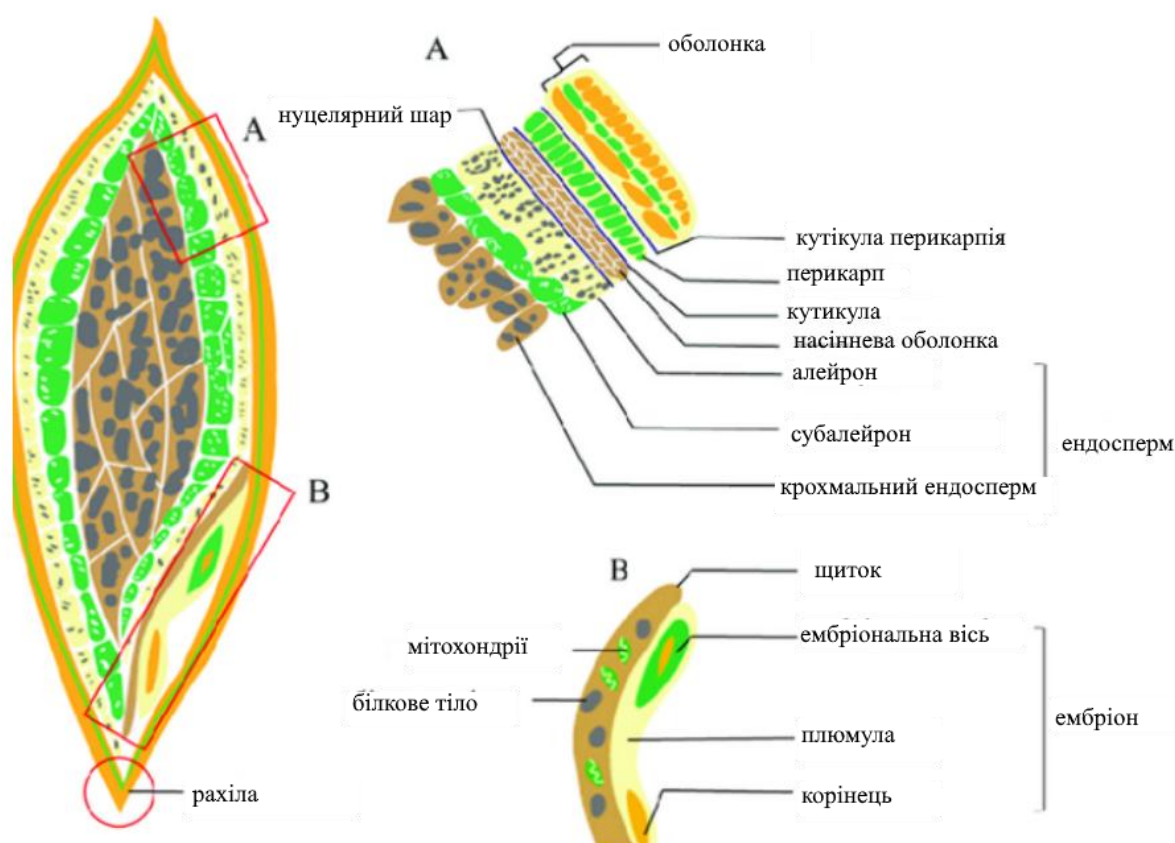


Рисунок 2.1- Розріз ячменого зерна

Попри це, навіть така дбайлива методика настільки змінює внутрішню будову зародка, що лущений ячмінь остаточно втрачає потенціал до проростання. Для ячменю високої якості норма проростання має гарантувати не менше 95% протягом п'яти діб в умовах, визначених стандартом. Окремої уваги заслуговує питомий вміст протеїну. Його найкращий діапазон коливається від 9,5 до 11,5 відсотків. З погляду виробництва кормів, перевага надається найвищому можливому рівню протеїну, адже це прямо корелює з підвищенням кінцевої якості товару. Розмір зернини займає одну з домінантних позицій серед характеристик, що детермінують її придатність для різних способів переробки. Розподіл зерна за фракціями є критично важливим етапом при визначенні загальної вартості товару. Ключовими класами розмірів є зерна, що перевищують 2,5 міліметри, та ті, що менші за 2,2 міліметра (дрібна фракція). Щодо процесу солодоутворення, існують жорсткі вимоги: необхідно, аби мінімум 90% зерен мали діаметр понад 2,5 мм, тоді як мала фракція (менше 2,2 мм) не має перевищувати двох відсотків. Такий розподіл за розмірами гарантує однорідність вихідної сировини, що, своєю чергою, сприяє рівномірності поглинання води на етапі змочування. Це формує ідеальне підґрунтя для реалізації подальших етапів технологічного циклу. Гектолітрова маса, або насипна щільність зерна, становить наступну вагому ознаку для визначення його сортності. Цей параметр відіграє вирішальну роль не лише при аналізі загальної ефективності процесів, пов'язаних зі зберіганням та перевезенням зерна, але й є вагомим економічним чинником, що визначає конкурентоспроможність пивоварного ячменю на комерційному ринку. Показник натурної ваги має безпосередній зв'язок із якістю зерна, оскільки впливає як на його привабливість для переробних підприємств, так і на тривалість зберігання без відчутного погіршення його основних властивостей. Актуальність цього аспекту особливо зростає, коли мова йде

про тривале транспортування чи довготривале зберігання, що вимагає впровадження високотехнологічних рішень для збереження первісної якості продукції. Особливої уваги заслуговує контроль за рівнем вологості зерна, який є одним із критичних параметрів, надзвичайно важливих для підтримання максимальної життєздатності насіннєвого фонду. Для забезпечення довготривалого зберігання та збереження первісних характеристик ячменю, оптимальне значення вологості не має перевищувати позначку 14,5%. Перевищення цієї межі може суттєво знизити якість зерна або навіть призвести до його часткової чи повної непридатності, що тягне за собою значні фінансові втрати. Отже, регулярний моніторинг цієї величини стає невід'ємною складовою сучасного агробізнесу. Загалом, щорічне світове виробництво ячменю сягає значних обсягів, коливаючись близько 150 мільйонів тонн. Основні масиви вирощування сконцентровані у Європі, де лідерами серед країн-виробників є Німеччина, Франція та Данія. Крім того, значущими суб'єктами на світовій аграрній мапі є Україна, Австралія, Канада та Аргентина, які забезпечують суттєву частку загального обсягу ячменю. Такий географічний розподіл підкреслює вагому роль цієї сільськогосподарської культури в економіках різних держав та її масштабність у глобальній системі аграрного сектору.

Ця культура вирізняється надзвичайно широким колом застосування, охоплюючи сегменти як продовольчого призначення, так і промислового використання. Особливої ваги набуває сектор солодорості: орієнтовно третина загального врожаю ячменю відводиться саме для цієї мети. Із виробленого обсягу, більше дев'яти десятих іде на потреби броварства, що яскраво демонструє вирішальне значення цієї аграрної культури для глобальної економіки та харчового виробництва.

2.9 Безпека кормів та харчових продуктів , фізична якість зерна

Забруднення продукції мікотоксинами трапляється й тоді, як вона ще дозріває у полі, і після того, як її вже сховище помістили. Серед усіх

токсичних речовин, що вражають ячмінь, найбільше уваги заслуговують дезоксиніваленол (ДОН) та охратоксин А (ОТА) щодо впливу на кінцеву якість. Регулювання вмісту хімічних засобів захисту рослин, як правило, зосереджується на стимуляторах росту, засобах боротьби з бур'янами та інсектицидах, які застосовують задля надійного збереження зібраного врожаю. Міжнародні виробники підтримують переліки дозволених діючих субстанцій та препаратів для хімічного захисту, що допускаються до використання у вирощенні ячменю для пивоваріння. При цьому, межі максимальної допустимої присутності (МДР) для цих речовин встановлюються у кожній державі незалежно. Важливі характеристики зерна, що стосуються його фізичних параметрів, визначають подальший шлях використання: чи піде воно на корм тваринам, чи буде використане у солодовому виробництві, чи призначене для прямого споживання людиною. Схожість ячмінних зерен — це також вирішальний чинник його якості, яка мусить досягати рівня не менше 95% протягом п'яти доби за умовами стандарту. У випадку, коли цей відсоток виявляється меншим, таке зерно автоматично вважається непридатним.

Вміст протеїну у ячмені є вирішальним чинником для секторів, котрі займаються виробництвом солоду, броварством та різноманітними марками віскі. Цей параметр значно впливає на якість фінального продукту та технологічні стадії, що його передують. Хоча певні білкові складові не лише корисні, але й необхідні для підтримки стабільності та пишності піни у пиві, надмірна концентрація протеїну здатна негативно зашкодити кінцевому результату. Це призводить до замутніння напою, зменшує рівень крохмалю у зерні, тим самим лімітуючи обсяг спирту, котрий формується в ході бродіння. Для пивоварної індустрії ідеальні показники протеїну зазвичай коливаються у межах 9,5-11,5%. Водночас для виробників алкогольних напоїв, особливо у сегменті віскі, перевага надається значно нижчому рівню протеїну. На противагу цьому, тваринництво вимагає

сировини з високим вмістом білка, оскільки саме така складова забезпечує максимальну поживну цінність кормів для худоби. Габарити ячмінних зерен також є фундаментальними, зокрема для гарантування однорідності матеріалу та рівномірного водопоглинання під час процесу вимочування. Єдинаковість розміру зерен сприяє більш ефективному та злагодженому проходженню наступних етапів обробки. Як додатковий важливий критерій виступає насипна густина зерна, що визначається його вагою на гектолітр. Цей показник суттєво впливає на логістичні аспекти та зберігання продукції, оскільки дозволяє раціоналізувати перевезення та умови складського утримання. Отже, насипна густина є одним із критично значущих параметрів, що оцінюють якість зерна та його практичну придатність. Підсумовуючи, ячмінь як вихідний матеріал повинен задовольняти як технічні критерії, так і певні вимоги щодо органолептичного сприйняття людиною, з метою забезпечення високої якості кінцевих продуктів у різних сферах його застосування.

Це включає:

- Фізичні зміни, що відображають руйнування зернової структури різними ферментами в процесі солодування. Основні індикатори: крихкість, липкість, рівень бета-глюкану.
- Протеолітичні перетворення визначають ступінь розщеплення білкових сполук до вільних амінокислотних фрагментів. Ключові показники: кількість

розчинних білків, вміст вільних амінокислот, коефіцієнт Кольбаха (співвідношення розчинного білка до загального).

- Амілолітичні процеси демонструють вплив ферментів, особливо альфа- та бета-амілази, які трансформують крохмаль.
- Технологічні властивості охоплюють рівень екстрактивних речовин, ароматичні характеристики, стартову густину, та інші.

- Водночас необхідно мінімізувати рівень глікозидного нітрилу, який є прекурсором можливих канцерогенних сполук.
- Активність амілаз і смакові характеристики відіграють ключову роль у застосуванні ячмінної сировини для виробництва хлібобулочних виробів.

Апаратура спеціального призначення виступає вирішальним елементом у знятті зовнішнього покриву зернових культур, що становитиме невіддільну частину первинного оброблення зерна. Ця стадія має надзвичайно велике значення, оскільки її основне завдання – скрупульозне відділення захисного зовнішнього шару від їстівної внутрішньої частини зернинки. Внаслідок цього відкривається шлях для подальшого застосування цієї продукції як у виробничих ланцюжках, так і для безпосереднього споживання людьми. Хоча методи лущення можуть відрізнятися залежно від виду злаків (наприклад, рис, просо, сорго чи гречка), основні засади цієї процедури є незмінними. Фундаментом є механічний вплив, котрий дає змогу послабити зв'язок між покривом та ядром зерна, сприяючи їхньому ефективному й охайному роз'єднанню. Щоб отримати потрібний ефект, сучасні технологічні рішення пропонують різноманітні шляхи реалізації, починаючи від застарілих ручних способів, які застосовуються у побуті чи невеликих сільськогосподарських маєтках, і закінчуючи передовими індустріальними комплексами, оснащеними автоматизованими системами з високим виходом продукції. Окрім того, існують і побутові механізми, розраховані на незначні обсяги обробки, що дає можливість кінцевому споживачу отримати якісний продукт навіть у себе вдома. Водночас, досягнення бажаного кінцевого стану часто вимагає виконання низки попередніх кроків із сировиною, скажімо, ґрунтового очищення або ж зволоження. Це не лише покращує віддачу від самого процесу лущення, але й гарантує високу якість та максимальну корисність роботи техніки.

Перш ніж розпочинати будь-які роботи із зерном, необхідно спершу його ґрунтовно очистити, аби позбутися будь-яких сторонніх включень, що здатні негативно позначитися на наступних стадіях опрацювання продукції. До таких небажаних елементів відносяться грудочки ґрунту, дрібні камінці, залишки рослин, пил та інші небажані частинки. Ефективне видалення цих забруднень досягається за допомогою використання спеціалізованих сит із отворами різного розміру, через які зерно пропускають для відокремлення навіть найменших небажаних фрагментів. Як варіант, можна застосувати ретельне промивання зерен у чистій проточній воді, що ефективно змиває залишки бруду та пилу, забезпечуючи при цьому високий рівень чистоти. Ці попередні операції мають критичне значення для безперебійної роботи устаткування, оскільки навіть незначна кількість забруднень може спричинити прискорене зношування рухомих частин. Наявність домішок потенційно загрожує поломкою техніки або її некоректною роботою, що, своєю чергою, може призвести до додаткових витрат на ремонт або заміну окремих вузлів. Крім того, якісне очищення зерна є вкрай важливим для збереження властивостей фінального продукту, адже будь-які домішки здатні погіршити його якість, спотворити смакові властивості або знизити поживну цінність. Ось чому процес вилучення забруднень із зерна перед його обробкою вважається однією з найважливіших ланок у всьому циклі переробки. Слід також згадати, що певні види зернових культур потребують нетривалого замочування перед тим, як розпочати основну обробку. Цей етап зазвичай вимагає від однієї до двох годин, залежно від конкретного сортименту зерна та бажаного підсумкового ефекту. Завдяки замочуванню зовнішня оболонка зерна здатна поглинути необхідну кількість вологи, що робить її помітно більш гнучкою та м'якою. Такий стан знижує ймовірність порушення цілісності зерен під час подальших маніпуляцій, наприклад, при лущенні, подрібненні чи інших механічних інтервенціях. У кінцевому підсумку, ці заходи не лише сприяють покращенню якості самого продукту,

але й забезпечують оптимальний хід усього технологічного процесу, наближаючи виробництво до досягнення ідеального кінцевого результату. Належить акцентувати увагу на критичній важливості суворого дотримання часових рамок для процесу замочування. Якщо ж цей ліміт буде перевищений, це може призвести до деградації зернового продукту, зокрема, до розвитку грибкових колоній або інших небажаних трансформацій, які унеможливають його подальше застосування.

3. ОГЛЯД МАШИН ДЛЯ ЛУЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

3.1 Класифікація шелушительних машин та схема процесу

Типологія зерноочисних апаратів та їхня роль у виробничих ланцюгах охоплює низку ключових різновидів обладнання, які розрізняються за конструктивним виконанням, методом опрацювання та результативністю виконання поставлених завдань. Вони проектуються з метою максимального збереження неушкодженості зернової основи при знятті зовнішнього покриву, що є критично важливим для досягнення високих показників якості фінальної продукції. З огляду на особливості механізмів, апарати для лушення поділяються на такі категорії:

1. Агрегати ударної дії (імпактні механізми). Основа функціонування цього різновиду устаткування полягає у застосуванні динамічного імпульсу, коли зерно, розігнане до значної швидкості, вдаряється об робочу площину, скажімо, диск чи обод. У ході цієї маніпуляції зовнішня оболонка руйнується чи відокремлюється, при цьому на саме ядро не чиниться надмірний механічний тиск. Такий підхід дає змогу уникнути деформації структури зерна, що робить даний клас машин ідеальним інструментом для роботи з такими культурами, як насіннева соняшникова сировина або інші види зерна з міцним покривом.
2. Обладнання роторного чи циклічного дії. Цей сегмент лушительних систем оперує за принципом задіяння обертових роторів, які генерують

контрольований рух зернової маси, змушуючи її контактувати з твердими або шорсткими поверхнями. Подібна конструкція стимулює інтенсивне відділення зовнішньої оболонки, водночас надаючи можливість тонкого налаштування апарату під обробку різноманітних видів сільськогосподарських культур. Завдяки своїй конструктивній багатофункціональності, роторні шелушильні системи активно впроваджуються в сучасній харчовій галузі, де висока продуктивність процесу поєднується з широкою сферою застосування.

Кожен із перелічених видів технічних засобів володіє своїми позитивними сторонами та сферами експлуатації, що дає змогу вибрати найбільш підходящу модель відповідно до конкретних виробничих вимог та характеристик вихідної сировини. Використання подібних технологій сприяє підвищенню стандартів очищення зернових та мінімізації втрат цінних складових.

Машини з валками чи роликами являють собою ключовий елемент у ланцюгу переробки зернових. Базовий принцип їх функціонування полягає у формуванні чітко відкаліброваного зазору між парою роликів, крізь який пропускається зерно. Завдяки цьому досягається високоточне та ефективне зняття зовнішніх покривів, що робить ці агрегати ідеальними для роботи з культурами типу кукурудзи або гороху. Їхня виняткова точність обробки та здатність зберігати цілісність зернового ядра помітно підвищують загальну продуктивність виробництва.

Жорнови та тертяні пристрої для лущення зерна відрізняються значно м'якшою та делікатнішою взаємодією із зерном, що є рішальним для обробки більш чутливих культур, зокрема ячменю чи вівса. Ці машини спроможні видаляти луску та периферійні елементи без спричинення суттєвих механічних порушень структурі ядра. Це дає змогу зберегти зерно у його первинному стані, що є вирішальним як для кінцевого споживача, так і для подальших технологічних стадій. Вибір конкретного різновиду

лущильного обладнання обумовлюється низкою параметрів: типом оброблюваної культури, вимогами конкретного технологічного циклу та необхідним стандартом збереження цілісності зерна. Загальна послідовність операцій із лущення зерна охоплює кілька основних кроків, які гарантують належну підготовку сировини до подальших маніпуляцій:

1. Приймальний резервуар. Початкова стадія, де зерно вперше надходить на переробну лінію.
2. Попередня очистка. Застосування сит або магнітних фільтрів дає змогу усунути велику фракцію сміття, залізовмісні сторонні частинки або будь-які інші значні домішки.
3. Калібрування. Процес сортування зернових за їхніми габаритами, який здійснюється за допомогою повітряних потоків або вібраційних систем.
4. Агрегат лущення. Центральний елемент лінії, який може включати хуличні механізми, роторні вузли або системи з валками.
5. Відокремлення лушпиння. Використання циклонів або повітряних сепараторів для ефективного відведення знятих оболонок від основного потоку обробленого зерна.
6. Повторне сортування. На цій фазі задіюються спеціалізовані дека з поглибленнями чи гравітаційні столи для більш точного розподілу та видалення залишків невеликих забруднень.
7. Збір товарної продукції та побічних матеріалів. Фінальна діяльність, у ході якої оброблене зерно та побічні продукти спрямовуються у відповідні накопичувачі.

Така послідовна методологія обробки дає змогу досягти високого рівня якості кінцевого продукту, водночас мінімізуючи втрати та механічні пошкодження упродовж всього процесу лущення. Кожна із перелічених фаз є критично важливою для забезпечення продуктивності системи та виконання усіх необхідних технологічних вимог до кінцевого продукту.

Агрегат моделі DEO спроектований з метою досягнення ретельного й обережного зняття зовнішнього покриття з вельми різноманітного асортименту сільськогосподарських продуктів, таких як пшениця, ячмінь, рис, соя, просо, сорго, а також бобові культури, зокрема горох, квасоля, сочевиця та чимало інших. Фундаментальна засада функціонування цього обладнання лежить у технології абразивної обробки, де процес лущення забезпечується силами тертя, що виникають між спеціально сконструйованими абразивними дисками. Ці диски працюють із винятковою точністю, гарантуючи зняття оболонки без заподіяння шкоди внутрішній, життєздатній частині зерна. Щоб досягти оптимального робочого режиму, апарат містить у собі дві незалежні системи подачі повітря. Перший, внутрішній повітряний струмінь слугує для підтримання чистоти зони обробки й забезпечення стабільності самого процесу шліфування, тоді як другий струмінь відповідає за аспірацію та евакуацію відокремлених елементів лушпиння. Регулювання потужності обох цих повітряних потоків здійснюється дуже просто через застосування ергономічних регулювальних вузлів, що дає змогу точно налаштувати апарат під специфіку будь-якої конкретної агрокультури. Виробництва Італії машина S.com DEO здобула репутацію як видатний варіант для виконання делікатного та високоякісного лущення. Завдяки інноваційному проєктуванню та продуманій інженерній реалізації, вона демонструє відмінну пропускну спроможність у поєднанні з мінімальним травмуванням оброблюваного матеріалу, що робить її бездоганним рішенням для переробки зернових та бобових культур.

Таблиця 3.1 Порівняльна характеристика характеристика машин

Виробник	Модель	Продуктивність (т/год)	Спожив. потужність (кВт)	% ушкоджених	Особливості
Bühler	MHSA	0.5–4.0 (до 4 т/год)	7–15	1–3	імпактний хулер, регульований ротор
Bühler	DGBB	10–180 (серії пром.)	50–200	2–5	потужні промислові ударні шелушувачі
Petkus	De-Awner SE	3–20	2.2–15	0.5–2	делашиг / полірування ячменю, регульована інтенсивність
OMAS	(лінійні рішення)	1–10	5–30	1–4	інтегруються в млин, кастомні рішення



Рисунок 3.1- машина DEO



Рисунок 3.1- Машина Jansen & Heuning , Impact Dehuller

Апарат працює, застосовуючи керований механічний вплив, що забезпечує дієве зняття твердої шкірки, властивої вівсу, полбі та насінню з олійних рослин. По завершенні первинного оброблення, сукупність відокремлених зернівок та лушпиння надходить у пневматичний сепаратор, котрий усуває дрібні фракції, а самі зерна зазнають подальшого очищення від домішок. Щодо сировини з жорсткішими оболонками, наприклад, вівса та полби, найбільш вдалим варіантом є застосування апаратури виробництва Jansen & Heuning. Обидві моделі мають вбудовані аспіраційні модулі, що гарантують якісне видалення залишків лушпиння. Фінальний підбір технічного оснащення обумовлюється характеристиками вихідної речовини, потребою в часовій пропускній здатності та критеріями якості кінцевого товару.

Таблиця 3.2 Типи машин

Критерій	S.com DEO (Італія)	Jansen & Heuning (Європа)
Тип дії	Тертя	Механічний удар
Застосування	Широкий спектр зернових	Культури з твердою оболонкою
Пошкодження ядра	Мінімальне	Може потребувати сепарації
Система очищення	Два повітряні потоки	Аспірація і просіювання



Рисунок 3.1- Omas S.r.l.

Надходження зерна із засіку відбувається за допомогою живильника-дозатора. Ще до того, як потрапити у систему Dante чи DST, зерно обов'язково проходить первинну сепарацію, метою якої є вилучення великих сторонніх включень, зокрема каміння, металевих фрагментів та надлишкового пилу. Це слугує для зменшення інтенсивності стирання у камері абразивної дії. 1. Контрольоване завантаження у камеру скрабування (дебранування). Зернова маса потрапляє рівномірно у вертикальну камеру (Dante) або аналогічну камеру DST через спеціальний шлюз або дозуючий пристрій. Цей механізм гарантує сталу продуктивність (у вимірі тонн на

годину) і дає змогу коригувати ступінь обробки маніпулюванням обсягом подачі сировини.

2. Обробка тертям та абразивом (ключовий етап технології). У вертикальному дебранері моделі Dante задіяний внутрішній ротор, оснащений комплексом фрикційних або інших робочих елементів. Зерно взаємодіє з цими елементами та перфорованою поверхнею стінки, що забезпечує зняття зовнішнього шару, усунення лушпиння та злипких забруднень. Комплекс DST (Dry Wheat Scrubbing) задіює спрямоване вертикальне тертя у поєднанні з унікальною системою повітрообміну, що дає змогу проводити сухе очищення без потреби у додаванні води.

3 Аспірація та сепарація пилу і луски є ключовими стадіями процесу. Аспіраційна система, яка може діяти безпосередньо в камері або відразу після неї, ефективно видаляє легкі частинки, такі як луска і пил, спрямовуючи їх до циклона-фільтра. Це не тільки сприяє чистоті готового продукту, а й запобігає накопиченню абразивних частинок, які можуть пошкодити робочі вузли обладнання. Охолодження та подальше сортування також займають важливе місце. Щоб зерно виходило без надмірного нагрівання, зазвичай встановлюється вентилятор для охолодження або спеціальний охолоджувальний канал. Наступним етапом є проходження зернової суміші через сита або вібросепаратори. При необхідності використовуються оптичні сортувальники (наприклад, Seneca) або триєри, які допомагають остаточно відсортувати пошкоджені чи невідповідні зерна, забезпечуючи найвищу якість кінцевого продукту. Повернення та повторна обробка (за потреби). Частину зерна, що не досягла потрібного ступеня очищення, повертають на повторну обробку або на стадію кондиціонування залежно від кінцевих вимог до якості.

4 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Крітерії обробки зернових

У процесі випробувань з'ясувалося, що використання абразивного кола з розміром зерна 60 забезпечує найкращий баланс між якістю обробки та енергоспоживанням. Такий вибір зернистості дозволяє досягти необхідних стандартів кінцевого результату, мінімізуючи при цьому механічні дефекти зерен, зберігаючи їх зовнішню привабливість, смакові особливості та харчову цінність. Процес лушення зерна визнається життєво важливим етапом у технологічній схемі виробництва харчових круп. Від того, наскільки правильно та ефективно виконується ця операція, залежить не тільки якість того, що вийде в результаті, але й візуальна привабливість, смакові властивості та відповідність галузевим нормам. Одним із найбільш визначальних елементів, що формує наслідки обробки зерна, є саме зернистість абразивного інструменту. Вона безпосередньо впливає на шорсткість робочої поверхні, яка, своєю чергою, диктує інтенсивність видалення зовнішньої оболонки зерна. Метою, яку ставило перед собою дане дослідження, було виявлення чіткої кореляції між якісними характеристиками обробленого ячмінного зерна та параметрами абразивних матеріалів, позначених різними числовими індексами. Отримані результати не лише додають нові відомості у сферу агротехнологічних рішень, але й сприяють більш раціональному використанню ресурсів у процесах крупозаготівлі. При роботі із зерновими культурами, однією з найважливіших етапів технологічного циклу є шліфування, що полягає в обробці поверхні зерна задля усунення його зовнішніх покривів. Дана дія відбувається через абразивний вплив, що генерується тертям. Це тертя з'являється внаслідок як взаємодії самих зерен між собою, так і контакту кожного зернятка з елементами устаткування, що оснащені спеціальним покриттям чи властивостями, які сприяють поліруванню. У ході цієї механічної процедури відбувається поступове видалення зовнішніх покриттів зерна, відбувається шліфування ендосперму, а конфігурація зовнішніх оболонок руйнується. Наскільки успішним буде це очищення,

прямо корелюється з комплексом кількох визначальних чинників. Серед них на першому місці стоять параметри та габарити абразивних робочих складових апаратів, які безпосередньо впливають на ступінь інтенсивності обробки. У процесі обробки зерна шліфуванням, вирішальне значення мають величини прикладеного тиску та сумарна потужність навантаження, яка встановлює інтенсивність механічного впливу. Надзвичайно важливим аспектом також є час, протягом якого зерно знаходиться у зоні дії оброблювальних механізмів, оскільки саме цей показник регулює ступінь його відполірованості та кількість знятих зовнішніх покриттів. Додатково, критичним елементом є вміст вологи у вихідному матеріалі, адже ступінь його зволоженості прямим чином корелює як із ходом самого процесу шліфування, так і з кінцевою характеристикою отриманого продукту. Поєднання цих показників створює сукупність умов, що визначають не лише належну якість кінцевого товару, а й продуктивність роботи всієї апаратурної лінії. Правильний вибір цих установок гарантує оптимальну результативність обробки, що дозволяє досягти виходу продукції високого ґатунку, придатної для застосування у численних секторах виробництва. Дисковий млин складається із низки ключових складових, котрі зумовлюють його продуктивність та багатofункціональність. Ядром усієї будови слугує опорна рама, яка є фундаментом для закріплення усіх частин агрегату. Зона робочого циклу призначена для оброблення сировини, що реалізується завдяки використанню двох абразивних кіл. Силова установка забезпечує обертання одного з дисків, а спеціально відведені горловини відповідають за завантаження матеріалу, що підлягає обробці, та вивантаження кінцевого результату. Механізм дії полягає у пропусканні потоку зерна через пару шліфувальних елементів. При цьому один із дисків утримується нерухомо, тоді як другий набирає значну швидкість, що є основою для здійснення процесу шліфування. Міра помелу та розмір частинок встановлюються відповідно до технічних специфікацій та

позначень самих дисків. Для грубого шліфування традиційно застосовують шліфувальні круги з позначкою №40. Вони дозволяють інтенсивно знімати шар матеріалу та готують поверхню для подальших етапів. Коли ж потрібне шліфування помірної потужності, оптимальним рішенням будуть круги з маркуванням №60, які мають необхідну зернистість, але забезпечують більш делікатний вплив. На фінальному етапі полірування, коли критично важливо отримати ідеально гладку й рівну площину, найкраще підійдуть диски з маркуванням №80, які надають роботі тонкого завершального вигляду. З огляду на це, правильний добір абразивного інструментарію є надзвичайно важливим, адже він прямо визначає успішність досягнення потрібного ступеня якості обробки. Добір інструментів є наріжним каменем, який впливає не лише на видалення зовнішніх шарів, а й на однорідність очищення та збереження первинної структури сировини, включно з її серцевиною. Це дає змогу ефективно підтримати незмінність оброблюваного предмета та гарантувати передбачуваний результат. Ба більше, коректне застосування уважно відібраних робочих засобів під час роботи устаткування значно покращує загальну якість опрацювання сировини. Це підвищує точність виконання завдань і повністю нівелює ймовірність появи небажаних недоліків, як-от нерівності на поверхні чи механічні вади, серед яких викривлення чи деформація субстанції. Таким чином, свідомий підхід до комплектування абразивного парку не просто вдосконалює робочий процес, а й допомагає сягнути найвищої якості фінального продукту.

Щодо зваження успішності абразивної обробки, то тут вирізняють низку визначальних чинників. Серед них є коефіцієнт очищення (Коч), котрий вказує на те, наскільки якісно видаляються сторонні покриття; сумарна маса подрібненого продукту (W), що слугує показником продуктивності заходу; і, зрештою, індекс трансформації чи руйнування індивідуальних частинок (Р), який дає змогу зрозуміти рівень деградації первинної сировини.

$$\text{Коч} = (m_0 - m_1) / m_0 \times 100\% \quad (4.1)$$

де:

Коч - коефіцієнт очищення (%),

m_0 - маса сировини до очищення (г)

m_1 - маса сировини після очищення (г)

Вологість

$$W = (m_{\square} / m_0) 100\% \quad (4.2)$$

де:

W - вологість (%),

$m_{\square}$ - маса води у зразку (г)

m_0 - маса сировини до визначення вологості (г)

Втрати при пошкодженні

$$P = (m_{\text{пош}} / m_{\square}) 100\% \quad (4.3)$$

Де:

P - відсоток пошкоджених часток (%), безрозмірна величина

$m_{\text{пош}}$ - маса пошкоджених часток (кг, г)

$m_{\square}$ - маса подрібненого продукту (кг, г)

Таблиця 4.1 Вихід крупи залежно від режиму обробки

№ диска	Тривалість, с	Масова частка оболонки, %	Вихід круп, %	Чистота зерна, %	Пошкодження, %
40	60	9	91	82	8
40	90	13	87	86	12
60	60	11	90	88	9
60	90	15	86	92	10
80	60	8	92	85	6
80	90	10	90	88	7

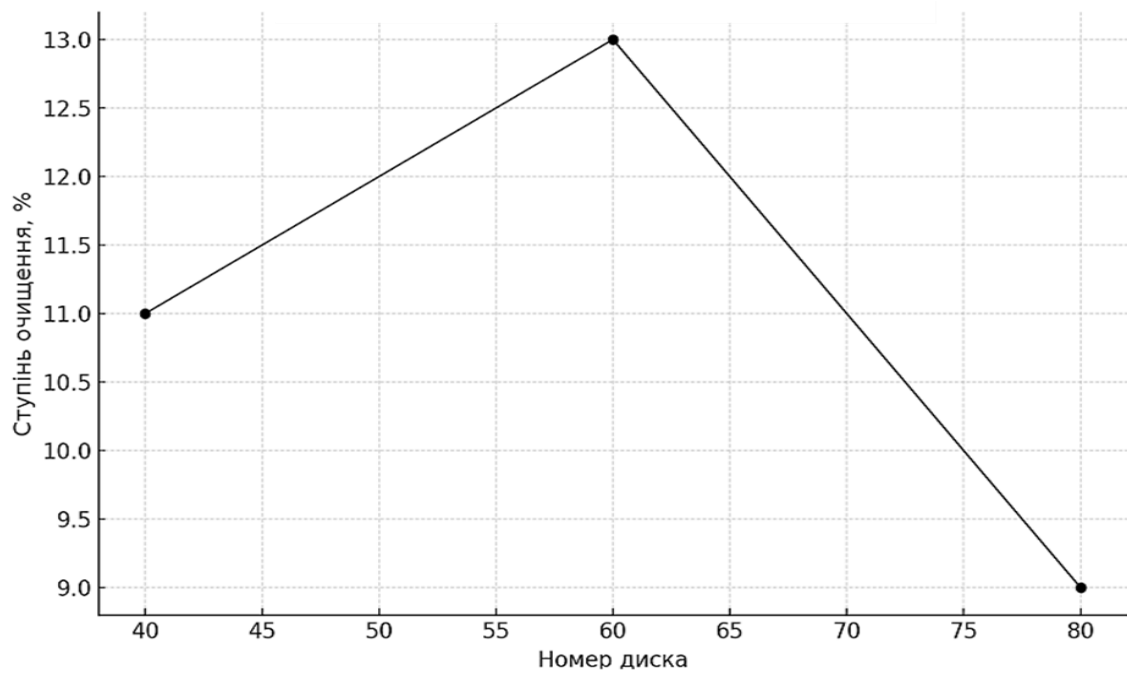
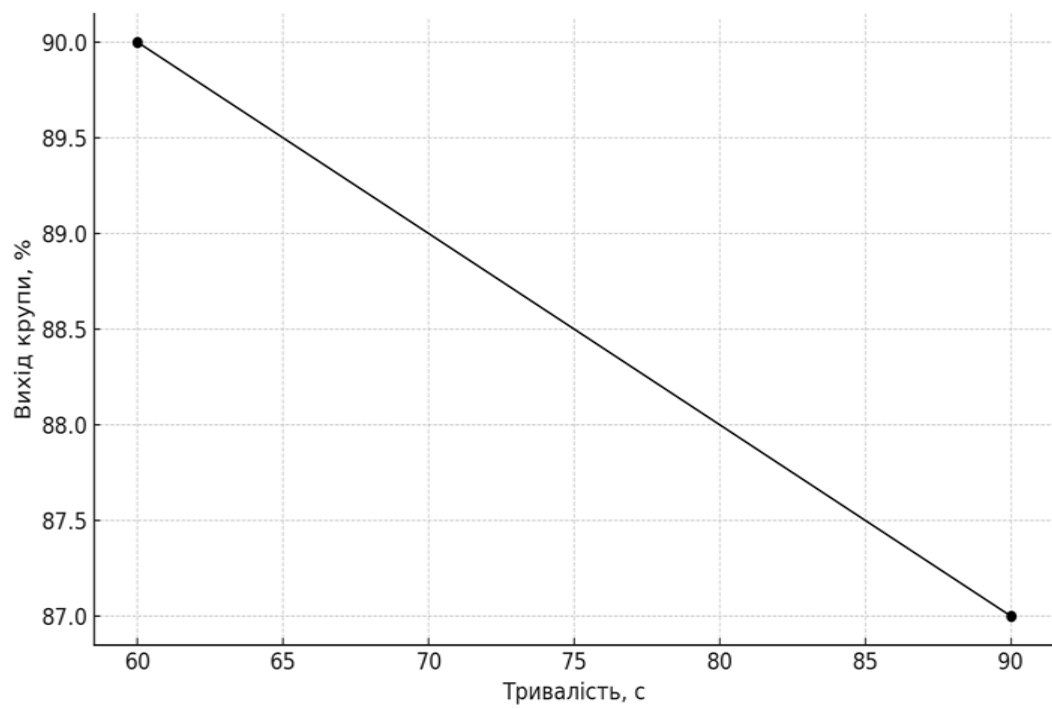


Рисунок 4.2- Залежність ступеня очищення від номеру диска



Рис

унок 4.3- Залежність виходу крупи від тривалісті обробки

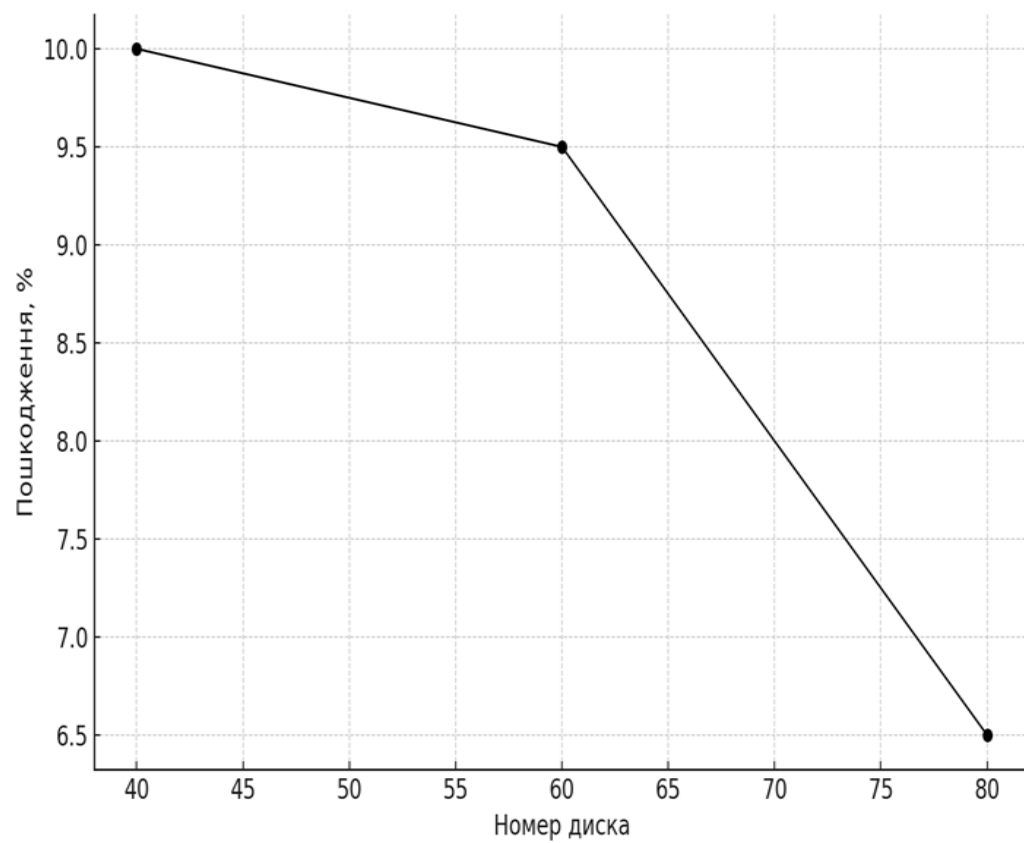


Рисунок 4.4- Залежність величини пошкодження залежно від номеру диска

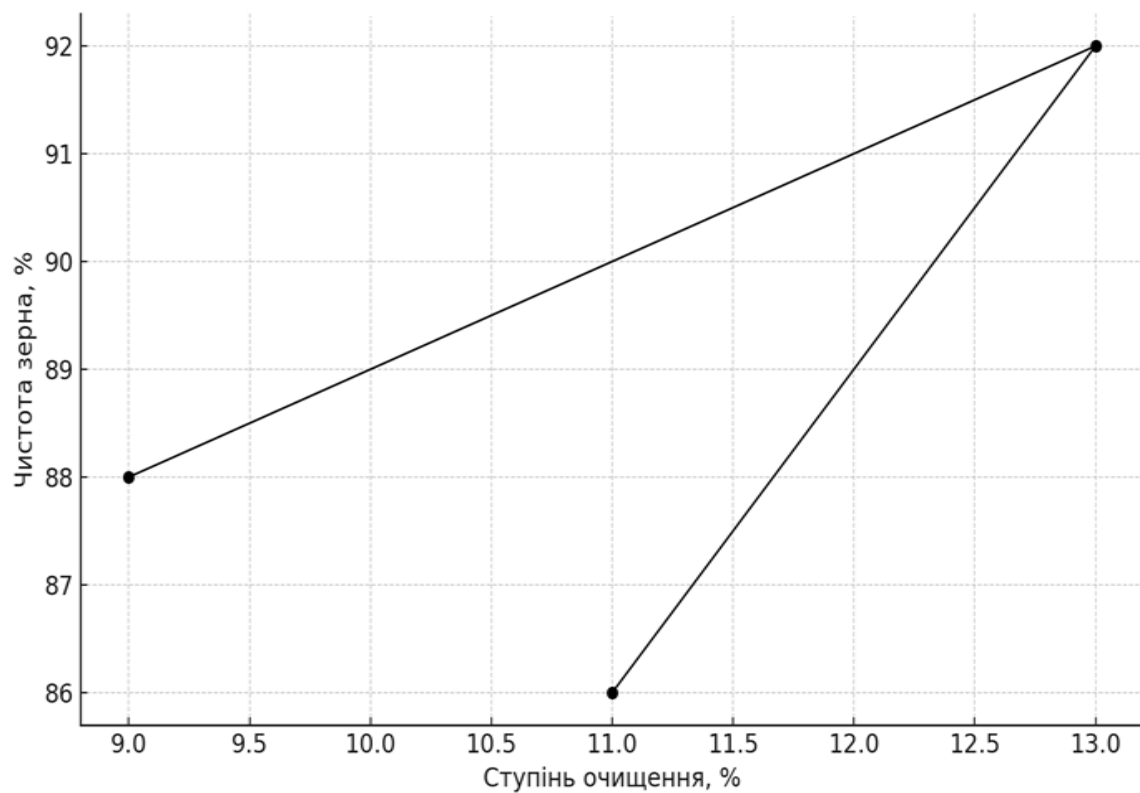


Рисунок 4.5- Залежність величини чистоти зерна від ступеня очищення

Таблиця 4.2 Моделювання комбінації параметрів

№ диска	Швидкість, об/хв	Час, с	Тиск, мм	Масова частка оболонки, %	Вихід крупи, %	Чистота зерна, %	Пошкодження, %
40	1000	30	0.5	10.0	81.9	82.2	10.2
40	1000	60	0.5	12.0	80.5	82.3	10.8
40	1000	120	0.5	14.0	79.0	82.4	11.4
40	1500	30	0.5	11.7	80.2	82.0	11.9

40	1500	60	0.5	14.0	78.6	82.2	12.6
40	1500	120	0.5	16.3	76.9	82.3	13.3
60	1000	30	0.5	8.4	83.6	87.3	8.5
60	1000	60	0.5	10.0	82.4	87.4	9.0
60	1000	120	0.5	11.7	81.2	87.5	9.5
60	1500	30	0.5	9.7	82.2	87.2	9.9
60	1500	60	0.5	11.7	80.8	87.3	10.5
60	1500	120	0.5	13.6	79.4	87.4	11.1
80	1000	30	0.5	6.7	85.7	85.7	5.7
80	1000	60	0.5	8.0	84.8	85.8	6.0
80	1000	120	0.5	9.3	83.9	85.9	6.3
80	1500	30	0.5	7.8	84.7	85.6	6.6
80	1500	60	0.5	9.3	83.6	85.7	7.0

80	1500	120	0.5	10.9	82.5	85.8	7.4
----	------	-----	-----	------	------	------	-----

4.2 Опис принципової технологічної схеми

Технологічний процес виробництва полірованої перлової крупи проходить через кілька послідовних етапів. На початковій стадії зерно, яке є основною сировиною, транспортується до приймального бункера за допомогою елеватора. Потім через дозувальні ваги зерно подають у оперативний накопичувач, звідки воно спрямовується до сепаратора для первинного очищення. У цьому процесі від зерна відокремлюють легкі та органічні домішки. Для ретельнішого очищення, зокрема видалення злакових забруднень, таких як насіння бур'янів, використовують трієри, які забезпечують додаткове очищення. Очищене зерно передають до каменевидільної машини, що видаляє залишкові мінеральні домішки. Всі пилоподібні частинки та дрібні забруднення, які виникають під час обробки, ефективно затримуються аспіраційною системою. Зібрані відходи згодом вивантажуються для утилізації. Засипання бункера, що виконує функцію основного сховища зерна, здійснюється за допомогою транспортера та елеватора. Зі зберігання зерно надходить до пропарювача, де його піддають термічній обробці, що є завершальним етапом у підготовці сировини до подальшого виробництва. Даний захід має на меті покращити умови для наступного зняття оболонки з квітів, яка покриває ядро. Після того, як продукт проходить обробку парою, він прямує до сушильного апарату 11, де його вологість доводять до потрібного показника, що оптимальний для наступних стадій обробки. Із резервуару для зберігання 2, зерно транспортується через магнітний сепаратор 13, ключовим завданням якого є видалення будь-яких сторонніх металевих елементів, здатних потрапити у загальну партію. Опісля, очищене зерно направляється до луцильної машини 12, яка якісно знімає залишки квіткових лусочок. Аби гарантувати

ще вищу чистоту кінцевого продукту та абсолютне виключення будь-яких металевих домішок, застосовується повторний контроль за допомогою магнітного фільтра. Після зняття зовнішніх шарів, зерно потрапляє на стадію шліфування, яка реалізується на апараті 12, обладнаному спеціалізованими шліфувальними кругами. Ці круги забезпечують фінальне оздоблення, надаючи зерну бажану рівність поверхні та готуючи його до подальшого застосування. Щоб подовжити термін придатності отриманої крупи, у сховище 16 вводиться токоферол. Цей компонент, точно виміряний дозатором 18, перекачується насосом 17, а потім умішується у вже оброблену масу в змішувачі 19 для забезпечення однорідного розподілу. На фінальній стадії крупа підлягає калібруванню та подальшому очищенню за допомогою вібраційного сита 14, що дає змогу якісно усунути небажані сторонні частинки. Фінішним кроком є фасування готової продукції у пакувальні мішки або іншу підходящу тару на лінії пакування 15. Відтак, товар повністю готовий до відвантаження для продажу або прямої доставки кінцевому покупцеві.

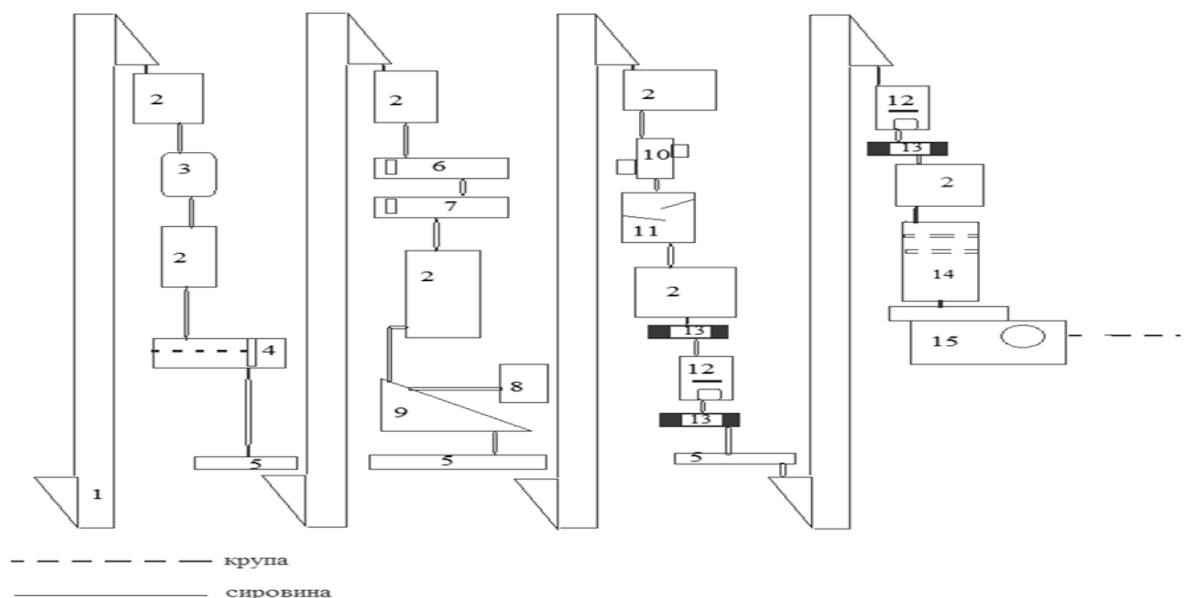


Рисунок 4.6 – Принципова технологічна схема: 1- норія; 2 – бункери; 3- ваги; 4- сепаратор; 5 – транспортер; 6, 7- трієри; 8 –аспіратор; 9- каменевідбірник;

10 – пропарювач; 11- сушарка; 12- луцильна (полірувальна машина); 13 – магнітна колонка; 14 – просіювач; 15 – упаковочна машина.

ВИСНОВКИ Результати детального аналізу отриманих експериментальних даних свідчать про те, що вибір абразивного кола є одним із визначальних факторів, які суттєво впливають на ефективність технологічної обробки ячменю. Зокрема, дослідження демонструють, що використання кола із зернистістю №40 забезпечує високу активність у процесі видалення лушпиння. Проте цей процес супроводжується значним механічним травмуванням зерна, що може негативно вплинути на кінцеву якість продукту. У протилежність цьому, застосування кола №80 гарантує більш щадний підхід до обробки, зменшуючи рівень пошкоджень зерна. Водночас, слід зазначити, що така дбайливість до структури сировини значно знижує ефективність очищення і тривалість процесу збільшується. Найбільш збалансованими результатами характеризується використання абразивного кола №60. Його застосування дозволяє досягти оптимального співвідношення ефективності та делікатності обробки. Поєднання однорідності процесу шліфування, високого ступеня очищення та зменшення рівня пошкоджень зерна дає змогу отримати готовий продукт найкращої якості при мінімальному негативному впливі на сировину. Подальший аналіз показав, що ключову роль у цьому процесі відіграє ступінь зернистості абразивного кола. Це критичний параметр, який визначає основні характеристики обробки — чим вищий номер зернистості, тим краще зберігається цілісність структури зерна. Однак разом із цим спостерігається зменшення швидкості та інтенсивності видалення лушпиння. Таким чином, для досягнення оптимального результату необхідно враховувати баланс між якістю очищення та збереженням фізичної цілісності зерна під час вибору абразивного матеріалу. Щоб досягти ідеального балансу між високою чистотою зерна та зменшенням його травмування, варто зупинитися на абразивному колі з зернистістю №60. Аналіз, проведений за допомогою математичних моделей та практичних випробувань, підтвердив, що ключові робочі характеристики

мають прямий вплив на результативність обробки. Досліджуючи роботу дискового лушпильника на режимах 1000 та 1500 обертів за хвилину, а також при відстані між поверхнями у 0,5 мм, ми оцінювали, як зміна тривалості операції (30, 60 чи 120 секунд) позначається на якості обробки ячменю. Проводячи зіставлення роботи абразивних дисків із зернистістю №40, №60 та №80, вдалося ідентифікувати найкращі налаштування для застосування у промислових умовах. Згідно з отриманими даними, найвищі результати демонструє абразив №60, коли швидкість обертання становить приблизно 1000 об/хв, а час обробки фіксується на рівні 60 секунд. Такий режим дає змогу досягти високого ступеня очищення зерна при мінімальній кількості пошкоджень, що забезпечує максимальний вихід продукції високої якості.

Список літератури

1. Богомолів О.В., Гурський П.В., Богомолів В.П. Курсове та дипломне проектування обладнання переробних і харчових підприємств / – Харків: Еспада, 2005. – 432 с.
2. Дударев І.І., Кудашев С.М., Чучуй В.П. Транспортуючі машини для АПК та переробних підприємств- Одеса: Сімекс-Прінт, 2012-220с.
3. Сухенко Ю.Г. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв: Підручник. / Ю.Г. Сухенко, О.А. Литвиненко, В.Ю. Сухенко; під ред. професора Ю.Г. Сухенка.- Київ: НУХТ, 2010. - 547с.
4. Мирончук В.Г. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості: підручник / В.Г. Мирончук, І.С. Гулий, М.М. Пушанко та інш., за ред. В.Г. Мирончука. — Вінниця: Нова книга, 2007.— 648 с.

5. Бабанов І.Г. Монтаж, експлуатація, діагностика та ремонт обладнання м'ясопереробних підприємств / І.Г. Бабанов, О.М. Гавва, О.І. Бабанова та інш. — Київ: Сталь, 2015. — 600 с.
6. Баїк Б.К.; Ullrich, SE Ячмінь для харчових продуктів: характеристики, покращення та відновлення інтересу. J. Cereal Sci. 2008 , 48 , 233–242. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
7. Бадр, А.; Мюллер, К.; Шефер-Прегль, Р.; Ель Рабей, Х.; Еффген, С.; Ібрагім, НН; Поцці, К.; Роде, В.; Саламіні, Ф. Про походження та історію одомашнення ячменю (*Hordeum Vulgare*). мол. Biol. еволюція 2000 , 17 , 499–510. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)] [[Green Version](#)]
8. Заплетніков І.М. Експлуатація і обслуговування технологічного обладнання харчових виробництв (текст): навч.посіб. / І.М. Заплетніков, В.Г. Мирончук, В.М. Кудрявцев. — Київ: «Кафедра», «Центр учбової літератури», 2012.— 344 с.
9. Мирончук В.Г. Монтаж, ремонт та експлуатація обладнання харчових виробництв: конспект лекцій. / В.Г. Мирончук. — Київ: НУХТ, 2007, — 118 с.
10. Гурський П.В. Монтаж, ремонт, наладка обладнання харчових виробництв: практикум. /Гурський П.В., Перцевой В.В., Гулий І.С. та ін. — Харків.: ХДАТОХ 2001. — 230 с.
11. Сухенко Ю.Г., Бойко Ю.І. Технологічні основи машинобудування. Лабораторний практикум: навчальний посібник / За ред.проф. Ю.Г. Сухенко — Київ: НУХТ, 2009.— 262 с.
12. МакГрегор, А. В. Барлі. В *Encyclopaedia of Food Science, Food Technology, and Nutrition* ; Macrae, R., Robinson, RK, Sadler, MJ, Eds.; Academic Press: Нью-Йорк, США, 1993. [[Google Scholar](#)]

13. Мирончук В.Г. Монтаж та технічний сервіс обладнання. Практикум: навч. посіб. / В.Г. Мирончук, Д.М. Люлька, О.А. Єщенко та інш., за редакцією В.Г. Мирончука.- Київ: НУХТ, 2017.-162с.
14. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції: курс лекцій / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, О.П. Цьонь – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 288 с.
15. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва: навч. посібник / П.С. Берник [та ін.]. – Львів: Вид-во Національного ун-ту "Львівська політехніка", 2004. – 336 с.
16. Ньюман, Р.К.; Newman, CW Ячмінь для їжі та здоров'я: наука, технології та продукти. В Ячмінь для їжі та здоров'я: наука, технології та продукти , 1-е видання; John Wiley & Sons, Inc.: Хобокен, Нью-Джерсі, США, 2008; С. 1–245. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
17. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв. Підручник. /За ред. Академіка О.Т. Лісовенка. – Київ: Наукова думка, 2000 – 181 с.
18. Шарма, П.; Gujral, HS Поведінка лущеного ячменю при подрібненні та його термічні властивості та властивості пасти. J. Food англ. 2010 , 97 , 329–334. [[Google Scholar](#)] [[CrossRef](#)]
19. Шурі, PR; Ullrich, SE Ячмінь: Хімія та технологія, 2-е вид.; Elsevier: St. Paul, MN, USA, 2014. [[Google Scholar](#)]