

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи

ступеня вищої освіти «Бакалавр»

на тему:

**Удосконалення технологічної лінії з виробництва
ячмінної крупи**

Виконував: здобувач вищої освіти 4 курсу,
групи ХТ-2-22 освітньо-професійної
програми «Харчові технології» зі
спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Артем КУЗНЄЦОВ

Керівник: _____ Вікторія КАЛИНА

Дніпро 20206

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

_____ Віталій КОШУЛЬКО

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЦІ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Кузнєцову Артему Сергійовичу

1.Тема роботи: «Удосконалення технологічної лінії з виробництва ячмінної крупи».

Керівник роботи:Калина Вікторія Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від « 01 » травня 2026 року №875.

2.Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 15 червня 2026 року.

3.Вихідні дані до роботи: 1.Технологія виробництва ячмінної крупи. 2.Наукова, нормативна, технологічна та патентна документація.

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки. Вступ. 1.Загальна частина. 2.Технологічна частина. 3.Проектна частина. 4.Упровадження елементів системи НАССР. 5.Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6.Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки. Бібліографія. Додатки.

5.Перелік демонстраційного матеріалу

1.Мета і завдання досліджень. 2.Схема проведення експерименту. 3.Обговорення результатів досліджень. 4.Кошторис витрат на проведення досліджень. 5.Загальні висновки.

6.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
1-5	Доцентка Вікторія КАЛИНА	Завдання видав	Завдання прийняв
		01.05.26	08.06.26

7.Дата видачі завдання _____ 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.05-03.05.2026	Виконано
2	Оглядовий розділ	04.05-17.05.2026	Виконано
3	Дослідницько-аналітичний розділ	18.05-31.05.2026	Виконано
4	Експериментальний розділ	21.05-31.05.2026	Виконано
5	Упровадження елементів системи НАССР	01.06-03.06.2026	Виконано
6	Охорона праці та захист навколишнього середовища	01.06-03.06.2026	Виконано
7	Формулювання висновків по роботі та списку бібліографії	05.06-08.06.2026	Виконано
8	Підготовка демонстраційного матеріалу	09.06-12.06.2026	Виконано

Здобувач вищої освіти _____ **Артем Кузнєцов**

Керівник роботи _____ **Вікторія КАЛИНА**

РЕФЕРАТ

Тема: «Удосконалення технологічної лінії з виробництва ячмінної крупи»

Кваліфікаційна робота бакалавра: 92 с., 6 рис., 25 табл., 4 додатки, 54 літературних джерел.

Об'єкт дослідження - технологічна лінія переробки ячменю на підприємстві галузі.

Предмет дослідження - методики, інженерно-технічні рішення та параметри якості, що забезпечують удосконалення виробництва ячмінної крупи.

Метою даної роботи є оптимізація технологічного процесу випуску ячмінної крупи шляхом реконструкції та модернізації існуючої лінії.

Актуальність удосконалення технологічної лінії з виробництва ячмінної крупи зумовлена гострою потребою борошномельно-круп'яної індустрії у підвищенні конкурентоспроможності підприємств та задоволенні сучасного споживчого попиту на високомаржинальну продукцію. Технічне старіння діючих ліній обмежує їхню гнучкість та рентабельність, що вимагає інженерної модернізації через впровадження енергоощадного розмельно-луцильного обладнання та вузлів гідротермічної обробки. Така комплексна реконструкція дозволить розв'язати ключові галузеві проблеми: суттєво збільшити корисний вихід готової продукції, гарантувати її якість і безпечність завдяки інтеграції системи НАССР, а також запровадити екологічні принципи безвідходної переробки побічних продуктів. З огляду на це, модернізація є стратегічно важливим та фінансово обґрунтованим кроком, що здатен радикально підвищити економічну ефективність виробництва в умовах сучасного ринку.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Ячмінна крупа, технологічна лінія, удосконалення, переробка зерна, ефективність виробництва.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	10
1.1 Характеристика підприємства	10
1.2 Характеристика сировини і асортиментний аналіз продукції	14
Висновки за розділом	19
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	21
2.1 Опис діючої технологічної схеми	21
2.2 Пропозиції щодо удосконалення (переоснащення, реконструкції або модернізації)	27
Висновки за розділом	29
3. ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	31
3.1 Технологічний розрахунок	31
3.2 Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання	41
3.3 Розрахунок площ та компонування обладнання основних виробничих приміщень	47
Висновки за розділом	50
4. ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР	51
Висновки за розділом	56
5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	57
5.1 Проєктування та формування Карти безпеки праці	57
5.2 Раціональне поводження з побічними продуктами та відходами	60
Висновки за розділом	62
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	64
Висновки за розділом	74

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	76
БІБЛІОГРАФІЯ	79
ДОДАТКИ	86

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах стабільність продовольчого сектору України безпосередньо залежить від інтенсифікації роботи підприємств, що займаються переробкою зернових. Ячмінна крупа залишається стратегічним продуктом завдяки своїй поживній цінності, проте ефективність її виробництва часто стримується використанням застарілого технологічного обладнання. Мінімізація втрат сировини та зниження енергоспоживання через модернізацію діючих ліній є критично важливими завданнями для підвищення конкурентоспроможності вітчизняних виробників.

Окрім технічного аспекту, актуальність модернізації технологічних ліній зумовлена необхідністю дотримання суворих міжнародних стандартів якості та безпечності харчових продуктів. Інтеграція системи HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) у виробничі процеси переробки зерна вимагає не лише організаційних змін, а й повного технічного переоснащення критичних вузлів виробничої лінії. Сучасні автоматизовані системи управління дозволяють мінімізувати «людський фактор» та ризики контамінації, що є фундаментальною вимогою для виходу вітчизняних підприємств на європейські та світові ринки збуту.

Водночас, критично важливим є екологічний вектор розвитку борошномельно-круп'яної галузі, що передбачає впровадження технологій безвідходного виробництва. Утилізація побічних продуктів переробки та мінімізація шкідливих викидів під час роботи обладнання стають невід'ємною частиною інженерних проєктів. Використання сучасних рішень дозволяє перетворити відходи на додаткове джерело сировини для суміжних галузей, наприклад, комбікормової промисловості, що суттєво підвищує загальну

рентабельність виробництва та демонструє соціальну відповідальність агропромислового підприємства.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконано на базі інженерно-технологічного факультету Дніпровського державного аграрно-економічного університету у межах підготовки бакалаврської кваліфікаційної роботи.

Мета - оптимізація технологічного процесу випуску ячмінної крупи шляхом реконструкції існуючої лінії.

Для реалізації мети поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати динаміку розвитку та сучасний стан борошномельно-круп'яної індустрії в Україні.
2. Провести детальний аналіз сировинної бази та асортиментного ряду продукції конкретного підприємства.
3. Виконати оцінку функціонування діючої виробничої схеми та виявити її «вузькі місця».
4. Обґрунтувати технічні рішення щодо оновлення або заміни технологічного оснащення.
5. Здійснити інженерні розрахунки, що охоплюють потужність обладнання та організацію виробничих площ.
6. Оцінити економічну доцільність проекту та інтегрувати принципи системи управління безпечністю НАССР.

Об'єкт дослідження - технологічна лінія переробки ячменю на підприємстві галузі.

Предмет дослідження - методики, інженерно-технічні рішення та параметри якості, що забезпечують удосконалення виробництва ячмінної крупи.

Методи дослідження: Застосовано методи наукового аналізу теоретичних напрацювань, методи технологічного та інженерного проектування, а також методи техніко-економічного моделювання.

Стан вивчення проблеми. Наукове підґрунтя функціонування борошномельно-круп'яної галузі України було сформоване завдяки фундаментальним працям таких вчених, як І. М. Демчак, О. В. Орленко, Н. М. Осокіна, які досліджували закономірності переробки зерна та стратегічне управління підприємствами агропромислового комплексу. У науковій літературі детально описані технологічні параметри обробки різних культур, методології планування виробництва та аналізу собівартості продукції, що дозволяє спиратися на перевірені теоретичні моделі при проєктуванні сучасних ліній. Водночас, актуальні дослідження сучасних авторів, зокрема щодо автоматизації процесів та підвищення енергоефективності, підкреслюють, що галузь перебуває на етапі інтенсивного переходу до цифровізації, що потребує нових підходів до інженерних розрахунків.

Попри значний обсяг теоретичних напрацювань, існуючі наукові рекомендації часто потребують адаптації до конкретних виробничих умов кожного окремого підприємства. Багато вітчизняних заводів функціонують на базі обладнання минулих поколінь, що зумовлює розрив між теоретичними розробками та реальними технологічними можливостями. У зв'язку з цим, наукова дискусія переміщується у площину розробки гнучких інженерних рішень, що поєднують принципи системного управління якістю з економічною доцільністю модернізації. Таким чином, вивчення проблеми модернізації технологічної лінії виробництва ячмінної крупи є не лише актуальним науковим завданням, а й необхідним кроком для забезпечення конкурентоспроможності підприємства в умовах сучасного аграрного ринку.

Наукова новизна результатів полягає у розробці індивідуалізованого підходу до модернізації технологічної лінії, що дозволяє раціоналізувати технологічний потік та підвищити вихід якісної готової продукції.

Практичне значення роботи підтверджується можливістю реалізації запропонованих розрахунків у виробничих умовах, що дозволить підприємству забезпечити відповідність міжнародним стандартам безпечності харчової продукції (НАССР) та покращити фінансово-економічні показники.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика підприємства

Базою для проведення досліджень та обґрунтування проєктних рішень у даній роботі обрано Товариство з обмеженою відповідальністю «Хлібний край Привільне», яке розташоване у смт Надіївка Дніпровського району Дніпропетровської області. Це сучасне підприємство елеваторного типу, що здійснює комплексне обслуговування зернових вантажів: від приймання з автомобільного транспорту до відвантаження залізницею або автотранспортом. Основна спеціалізація підприємства полягає у прийманні, очищенні, сушінні та тривалому зберіганні зернових культур, переважно ячменю та кукурудзи, що відповідає потребам регіональних аграрних виробників.

Виробнича інфраструктура та структура управління. ТОВ «Хлібний край Привільне» є підприємством із замкненим виробничим циклом - від приймання сировини до відвантаження фасованої готової продукції кінцевому споживачеві [25, с. 18]. Організаційно-виробнича структура господарства побудована за цеховим принципом і включає основні, допоміжні та обслуговуючі підрозділи [23, с. 40].

До складу основного виробництва входять:

1. *Елеваторно-складське господарство* - забезпечує приймання, попереднє очищення, сушіння та зберігання зернових культур (кукурудзи, пшениці, ячменю, вівса) [30, с. 40]. Загальна місткість зерноскладів ТОВ «Хлібний край Привільне» становить близько 50 000 тонн одноразового зберігання. З цього обсягу 35 000 тонн забезпечує силосний корпус із залізобетонних силосів, а ще 15 000 тонн зберігається насипом у складах підлогового типу.

Виробничий комплекс елеватора включає:

- приймально-відпускний пункт для автомобільного транспорту з потужністю до 800 т/добу;
- зерносушарку шахтного типу КЗС-25Ш (потужністю 25 т/год);
- зерноочисне відділення продуктивністю 50 т/год;
- транспортне обладнання (норії, стрічкові та ланцюгові транспортери);
- відпускний пристрій для залізниці (до 400 т/добу);
- адміністративно-побутовий корпус.

2. *Зернопереробний (круп'яний) комплекс* - серце підприємства у контексті даного дослідження. Тут здійснюється гідротермічна обробка, лущення, шліфування, подрібнення та сортування зерна для отримання різних видів круп (зокрема, перлової та ячмінної) [51, с. 45].

3. *Фасувально-пакувальний цех* - оснащений сучасними високошвидкісними автоматами для пакування продукції у полімерну плівку, картонні пачки та дой-паки [11, с. 36].

Будівлі силосного корпусу та складів перебувають у задовільному стані та відповідають нормативним вимогам. Технічний парк також підтримується у належному стані: частина норійного та транспортерного обладнання була оновлена впродовж останніх п'яти років.

Сезон активного приймання зерна на елеваторі триває з серпня по жовтень. У цей період підприємство приймає до 500-800 тонн зерна на добу, працюючи в цілодобовому режимі із залученням усіх технологічних ліній. Безперебійну роботу підприємства забезпечує штат із 45 осіб (з яких 12 - інженерно-технічні працівники). У піковий сезон для обслуговування приймальних ліній додатково залучаються 10-15 тимчасових робітників.

Для більш детального розуміння виробничого потенціалу підприємства, характеристику основних виробничих підрозділів наведено у таблиці 1.1.

Допоміжні підрозділи представлені ремонтно-механічною майстернею, енергетичним цехом (власна котельня, компресорна станція), тарною дільницею

та транспортно-логістичним центром [51; 53]. Така комплексна структура дозволяє підприємству бути енергонезалежним у межах технологічних потреб та швидко реагувати на зміни попиту на ринку харчових продуктів [44, с. 180].

Таблиця 1.1 - Характеристика основних виробничих підрозділів ТОВ «Хлібний край Привільне»

Назва структурного підрозділу	Основні технологічні процеси	Базове технологічне обладнання [7]
Елеваторно-складський комплекс	Приймання, очищення від домішок, сушіння, активне вентильовання та зберігання зерна	Автомобілерозвантажувачі, зернові сепаратори, шахтні сушарки, норії, силоси [9]
Зернопереробний (круп'яний) цех	Гідротермічна обробка, лущення, шліфування, подрібнення, калібрування	Пропарювачі, лущильні постава, вальцові верстати, розсійники, аспіратори [1]
Фасувально-пакувальний цех	Дозування готової продукції, пакування, маркування, групове пакування у транспортну тару	Автоматичні вагові дозатори, пакувальні автомати (флоу-пак), термозбіжні машини [13]

Поряд зі зберіганням на підприємстві відбувається і переробка ячменю. Асортимент та нормативна база випуску ячмінних круп наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Асортимент продукції переробки ячменю

Вид продукції	Номер / Фракція	Нормативний документ	Коротка товарознавча характеристика
Крупа ячмінна	№ 1	ДСТУ 7700:2015	Частинки подрібненого ядра ячменю різної величини та форми, що пройшли сито з вічками Ø 2,5 мм і залишилися на ситі № 063.
Крупа ячмінна	№ 2	ДСТУ 7700:2015	Дрібніша фракція: прохід через сито № 063 і залишок на металотканному ситі № 045. Використовується для швидкого розварювання.
Крупа ячмінна	№ 3	ДСТУ 7700:2015	Найдрібніша фракція: прохід через сито № 045 і залишок на ситі № 032.
Крупа перлова	№ 1, 2, 3, 4, 5	ДСТУ 7700:2015	Ядро ячменю, звільнене від квіткових плівок, добре відшліфоване. Залежно від розміру (прохід через сита від 3,5 до 1,5 мм) поділяється на 5 номерів.
Пластівці ячмінні	Екстра / Швидкорозварювані	ТУ У підприємства	Продукт глибокої гідротермічної обробки та плющення перлової крупи. Вологість не більше 12%.

Вагому частку у загальному обсязі виробництва займає продукція первинної переробки зерна - крупи. Підприємство переробляє ячмінь на ячмінну та перлову крупу, які користуються стабільно високим попитом серед населення завдяки своїй харчовій цінності [31, с. 5]. Зважаючи на тренд здорового харчування, попит на традиційні злакові продукти зростає, що вимагає від підприємства збільшення обсягів їх випуску за збереження високих показників якості [34, с. 34].

Конкурентоспроможність продукції ТОВ «Хлібний край Привільне» гарантується суворим багаторівневим контролем на всіх етапах життєвого циклу продукту. Підприємство має власну акредитовану виробничо-технологічну лабораторію [37, с. 22]. Фахівці лабораторії здійснюють вхідний контроль кожної партії сировини (визначення вологості, засміченості, зараженості шкідниками тощо), операційний контроль напівфабрикатів на різних етапах технологічної лінії та вихідний контроль готової крупи [4, с. 109].

Стратегія розвитку підприємства базується на впровадженні міжнародних стандартів. З метою оптимізації процесів та забезпечення найвищого рівня харчової безпеки, у 2018 році комбінат успішно пройшов сертифікацію за стандартом ISO 9001:2015 (Система менеджменту якості) [25, с.18]. У 2020 році було підтверджено відповідність вимогам стандарту ISO 22000:2018 (Система управління безпечністю харчових продуктів), що ґрунтується на принципах НАССР [25, с. 20]. Це дає змогу підприємству успішно експортувати свою продукцію до країн Європейського Союзу, Азії та Близького Сходу.

Технічне оснащення та необхідність удосконалення. Незважаючи на високий загальний рівень автоматизації та механізації комбінату, окремі технологічні ділянки потребують поетапної модернізації [46, с. 230]. Зокрема, діюча технологічна лінія з виробництва ячмінної крупи, яка була спроектована в кінці минулого століття, функціонує на базі традиційних схем переробки плівчастих культур. Обладнання для лущення та подрібнення ячменю (вальцові

верстати, луцильні машини) на сьогодні характеризується певним ступенем фізичного та морального зносу [30, с. 40].

Це призводить до низки технологічних проблем: підвищених питомих витрат електроенергії на тонну готової продукції, зниження виходу крупи вищих сортів за рахунок утворення надмірної кількості борошняної січки (відходів), а також складнощів із тонким налаштуванням фракційного складу ячмінної крупи [21].

З огляду на це, стратегічним завданням для ТОВ «Хлібний край Привільне» є впровадження інноваційних інженерних рішень у круп'яному цеху [22, с. 101]. Удосконалення технологічної лінії з виробництва ячмінної крупи шляхом встановлення сучасних сепараторів для більш ефективного очищення зернової маси, оптимізації процесів подрібнення та впровадження пневмотранспортних установок нового покоління дозволить підприємству суттєво знизити собівартість продукції, підвищити загальний вихід цільового продукту та зміцнити свої лідерські позиції на ринку зернопереробної галузі України [25, с. 19].

1.2. Характеристика сировини і асортиментний аналіз продукції

Ефективність функціонування круп'яного виробництва, вихід готової продукції, її органолептичні, фізико-хімічні та кулінарні властивості безпосередньо залежать від якості вихідної зернової сировини [1, с. 98]. Удосконалення технологічної лінії на ТОВ «Хлібний край Привільне» вимагає глибокого аналізу технологічних властивостей зерна ячменю та чіткого розуміння структури асортименту продукції, що отримується в результаті його переробки.

Характеристика сировини (зерна ячменю). Основними сировинними ресурсами для круп'яного цеху підприємства є зерно ячменю (в основному ярого), яке постачається агрогосподарствами Дніпропетровської та суміжних областей.

За ботанічними ознаками ячмінь (*Hordeum*) поділяють на дворядний (*Hordeum distichon*) та багаторядний (*Hordeum vulgare*) [2, с. 34]. Для круп'яного виробництва найбільш цінним є дворядний ячмінь, оскільки його зерно характеризується високою вирівняністю, крупністю, правильною формою та меншою плівчастістю порівняно з багаторядним (рис.1.1)[3, с. 263].



Рис.1. -.Ячмінь звичайний (*Hordeum vulgare* [L](#)).

Зерно ячменю є плівчастою культурою, тобто його ендосперм та зародок щільно покриті квітковими лусками, які зрослися з навколоплідником (рис.1.2).



Рис1.2 - Зерно ячменю звичайного.

Анатомічна будова зернівки ячменю включає такі основні елементи:

- *Квіткові луски (плівки)* - становлять від 10 % до 15 % маси зерна. Вони складаються переважно з клітковини та пентозанів, не засвоюються організмом людини і повністю видаляються під час луцення та шліфування [9, с. 184].
- *Плодові та насінні оболонки* - захисний шар ендосперму, багатий на мінеральні речовини та клітковину.
- *Алейроновий шар* - периферична частина ендосперму, що містить значну кількість білків, жирів та вітамінів, проте має низьку засвоюваність через міцні клітинні стінки.
- *Ендосперм (борошнисте ядро)* - основна технологічна частина зерна (65-75 % маси), яка складається з крохмальних зерен, цементованих білковою матрицею. Саме ендосперм є цільовим компонентом для отримання ячмінної крупи.
- *Зародок* - містить білки, цукри та велику кількість ліпідів, що піддаються швидкому окисленню, тому його максимальне видалення під час переробки сприяє подовженню терміну зберігання круп [17].

Хімічний склад ячменю визначає його високу харчову та біологічну цінність. В середньому зерно ячменю містить: крохмалю - 55-65 %; білків - 10-14 % (переважно гордеїн та глютелін); клітковини - 4,5-5,5 %; жирів - 2,0-2,5 %; мінеральних речовин (золи) - 2,5-3,0 % [21]. Особливістю ячменю є високий вміст водорозчинних харчових волокон (зокрема, бета-глюкану), які позитивно впливають на функціонування серцево-судинної системи та шлунково-кишкового тракту людини [20].

Технологічні вимоги до зерна ячменю, що надходить на переробку, регламентуються чинними національними стандартами (зокрема, ДСТУ за загальними технічними умовами на закупівлю ячменю) [20, 32]. Ключовими технологічними показниками якості сировини є:

1. *Вологість* - оптимальне значення становить 13,5-14,5 %. Підвищена вологість знижує крихкість ендосперму і ускладнює лущення, а знижена призводить до надмірного подрібнення ядра і збільшення виходу борошнистих відходів.
2. *Натурна маса (натура)* - показник виповненості зерна, що для круп'яних кондицій має становити не менше 630 г/л.
3. *Вирівняність зерна* - визначає однорідність партії за розмірами. Висока вирівняність (понад 75 % залишку на ситах з вічками 2,5×20 мм) дозволяє налаштувати лущильні машини на оптимальний зазор, що мінімізує подрібнення сировини.
4. *Вміст смітної та зернової домішок* - лімітується технологічними картами підприємства, оскільки мінеральні та органічні домішки безпосередньо впливають на зношуваність обладнання та чистість готового продукту.

На базі підприємства переробка ячменю здійснюється за двома основними напрямками: виробництво перлової крупи (шляхом послідовного шліфування та полірування цілого ядра) та виробництво ячмінної крупи (шляхом подрібнення звільненого від плівок зерна без додаткового полірування) [33, с.61].

Ячмінна крупа, яка є головним об'єктом дослідження у цьому проєкті, являє собою частинки подрібненого ядра ячменю різної форми з повністю видаленими квітковими лусками та частково видаленими плодовими оболонками й алеїроновим шаром. Відповідно до ДСТУ 7700:2015 «Крупи ячмінні. Технічні умови», ячмінна крупа не поділяється на сорти, а випускається у вигляді трьох номерів фракцій (№ 1, № 2, № 3), які розділяються за допомогою систем сит із різними розмірами вічок [34, с. 27].

Аналіз асортименту та фізико-технологічних характеристик круп'яної продукції переробки ячменю на підприємстві представлено у таблиці 1.3.

Маркетинговий та асортиментний аналіз діяльності товариства показує, що споживчий попит на ячмінну крупу має стійку тенденцію до зростання. Це

зумовлено бюджетною доступністю продукту у поєднанні з сучасними трендами раціонального та дієтичного харчування. Проте, аналіз реалізації продукції свідчить про зміну структури попиту: сучасний споживач віддає перевагу більш дрібним фракціям (ячмінна № 2 та № 3), оскільки вони мають меншу тривалість варіння (15-20 хв) порівняно з великою ячмінною крупною № 1 (25-30 хв).

Крім безпосередньої реалізації фасованої ячмінної крупи через роздрібні торговельні мережі, значна частина подрібненого ячмінного ядра використовується господарством як сировина для зернопереробних підприємств області з виготовлення багатокомпонентних пластівців, сумішей «дев'ять злаків» та швидкокорозварюваних каш швидкого приготування [5, с. 83].

Таблиця 1.3 - Фізико-технологічні характеристики асортименту ячмінних круп

Назва крупи та її номер	Характеристика крупності (прохід і залишок на ситах, мм)	Колір та зовнішній вигляд	Ключові вимоги до якості за ДСТУ 7700:2015
Ячмінна № 1	Прохід через сито з отворами Ø 3,0 мм, залишок на ситі з отворами Ø 2,5 мм	Білий з жовтуватим або сіруватим відтінком, частинки гострокутної форми	Вологість не більше 15,0 %; доброякісне ядро не менше 99,0 %; вміст недодирків (недолущених зерен) не більше 0,4 % [21].
Ячмінна № 2	Прохід через сито з отворами Ø 2,5 мм, залишок на ситі з отворами Ø 2,0 мм	Однорідний колір, частинки меншого розміру, без ознак плісняви	Металомагнітна домішка не більше 3 мг на 1 кг крупи; зараженість шкідниками хлібних запасів не допускається.
Ячмінна № 3	Прохід через сито з отворами Ø 2,0 мм, залишок на дротяному ситі № 056	Дрібно подрібнені частинки ядра, колір сірувато-білий	Вміст борошна (кукілю) - проходу через сито № 056 - не повинен перевищувати 0,5 %.
Суміш ячмінна (універсальна)	Натуральна суміш номерів 1, 2 та 3 після подрібнення (без розділення)	Гетерогенна маса подрібненого зерна	Використовується як напівфабрикат для цеху сухих сніданків під ТМ «Золоте Зерно» [20].

Така широка диверсифікація асортименту ставить підвищені вимоги до гнучкості та точності роботи круп'яного цеху [31]. Існуюча лінія підприємства на сьогодні не дозволяє чітко контролювати фракційне співвідношення виходу ячмінної крупи різних номерів, що призводить до надмірного переподрібнення

сировини та утворення великої кількості мучки [32]. Проведення модернізації діючої лінії подрібнення та сортування, що пропонується у даному дипломному проєкті, дозволить оптимізувати вихід саме найбільш затребуваних ринком номерів ячмінної крупи (№ 2 та № 3), мінімізувати відходи та гнучко реагувати на поточні запити комерційного відділу підприємства.

Висновки за розділом

Узагальнюючи матеріали першого розділу, можна констатувати, що ТОВ «Хлібний край Привільне» володіє виробничо-технічним потенціалом та розвиненою елеваторно-складською інфраструктурою, яка дозволяє забезпечувати комплексний цикл післязбиральної обробки, тривалого зберігання та глибокої переробки зернової сировини в Дніпропетровському регіоні. Проведений аналіз анатомо-морфологічних і фізико-хімічних властивостей зерна ячменю підтверджує його високу технологічну й біологічну цінність, де ключовим цільовим компонентом для випуску якісного асортименту круп виступає ендосперм. Наявність акредитованої виробничо-технологічної лабораторії та впровадження міжнародних стандартів ISO 9001 та ISO 22000 (HACCP) виступають надійним фундаментом для забезпечення стабільної якості продукції та її відповідності вимогам ДСТУ 7700:2015.

Разом з тим, асортиментний і маркетинговий аналіз діяльності підприємства виявив чітку тенденцію до зростання споживчого попиту на дрібні фракції ячмінної крупи (№ 2 та № 3), тоді як діюча технологічна лінія круп'яного цеху через моральний та фізичний знос обладнання не забезпечує належної гнучкості регулювання фракційного складу. Це призводить до підвищених питомих витрат електроенергії, переподрібнення ядра та утворення значної кількості побічних борошнених відходів (мучки), що суттєво знижує загальний вихід цільового продукту та рентабельність виробництва. Таким чином, встановлено й науково обґрунтовано нагальну потребу в технічній модернізації діючої лінії подрібнення

та сортування ячменю, що і є основним завданням для розроблення подальших інженерно-технологічних та проєктних рішень у наступних розділах кваліфікаційної роботи.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис діючої технологічної схеми

Організація сучасного круп'яного виробництва базується на чіткій послідовності механічних, гідротермічних та сепараційних процесів, спрямованих на максимальне вилучення ендосперму зерна при мінімальних енергетичних і сировинних витратах [16, с. 110].

Діюча технологічна схема переробки ячменю в крупу розроблена з урахуванням анатомо-морфологічних і структурно-механічних властивостей зернової маси [43, с. 25] (рис.2.1). Базовий процес переробки класично диференціюється на кілька взаємопов'язаних технологічних етапів: очищення вихідної сировини від сторонніх часток і домішок, поверхнєве шліфування (механічне оброблення), калібрування і фракціонування продуктів подрібнення, а також фінальний контроль якості готової продукції [54, с. 21] (табл.2.1).

На початковому етапі сировина надходить на ділянку очищення. Наявність і фракційний склад сміттевої та зернової домішок у загальній масі безпосередньо залежать від умов вирощування, збирання та первинної післязбиральної обробки зерна на елеваторах [53, с. 109]. Ці чинники є визначальними при встановленні робочих параметрів і режимів функціонування зерноочисних агрегатів [14, с. 177]. Процес очищення полягає у комплексному вилученні мінеральних, органічних, а також пошкоджених зернових домішок із загального потоку сировини [54, с. 12]. Розділення компонентів суміші реалізується на спеціалізованому обладнанні завдяки різниці в аеродинамічних характеристиках, геометричних розмірах (лінійних параметрах ширини, товщини, довжини), а також за магнітними властивостями елементів [13, с. 129].

Після завершення первинного очищення та проходження обов'язкового магнітного контролю в сепараторах для вилучення металоманітних домішок, очищене зерно ячменю спрямовується на етап шліфування. Дана операція

здійснюється на базі трьох послідовно з'єднаних систем лушильно-шліфувальних машин, робочими органами яких є абразивні поверхні, окрема, типу А1-ЗШН [33, с. 58]. Механічна обробка зерна на цьому етапі дозволяє ефективно видалити з його поверхні квіткові (за наявності), плодові та насінні оболонки, алеїроновий шар, а також частково відокремити зародок [53, с. 160]. Паралельно під дією інтенсивного тертя у робочій зоні машин ядро деформується, набуваючи округлої або овальної форми, яка є характерною для якісної товарної крупи відповідно до ДСТУ 7700:2015 [32, с. 37].

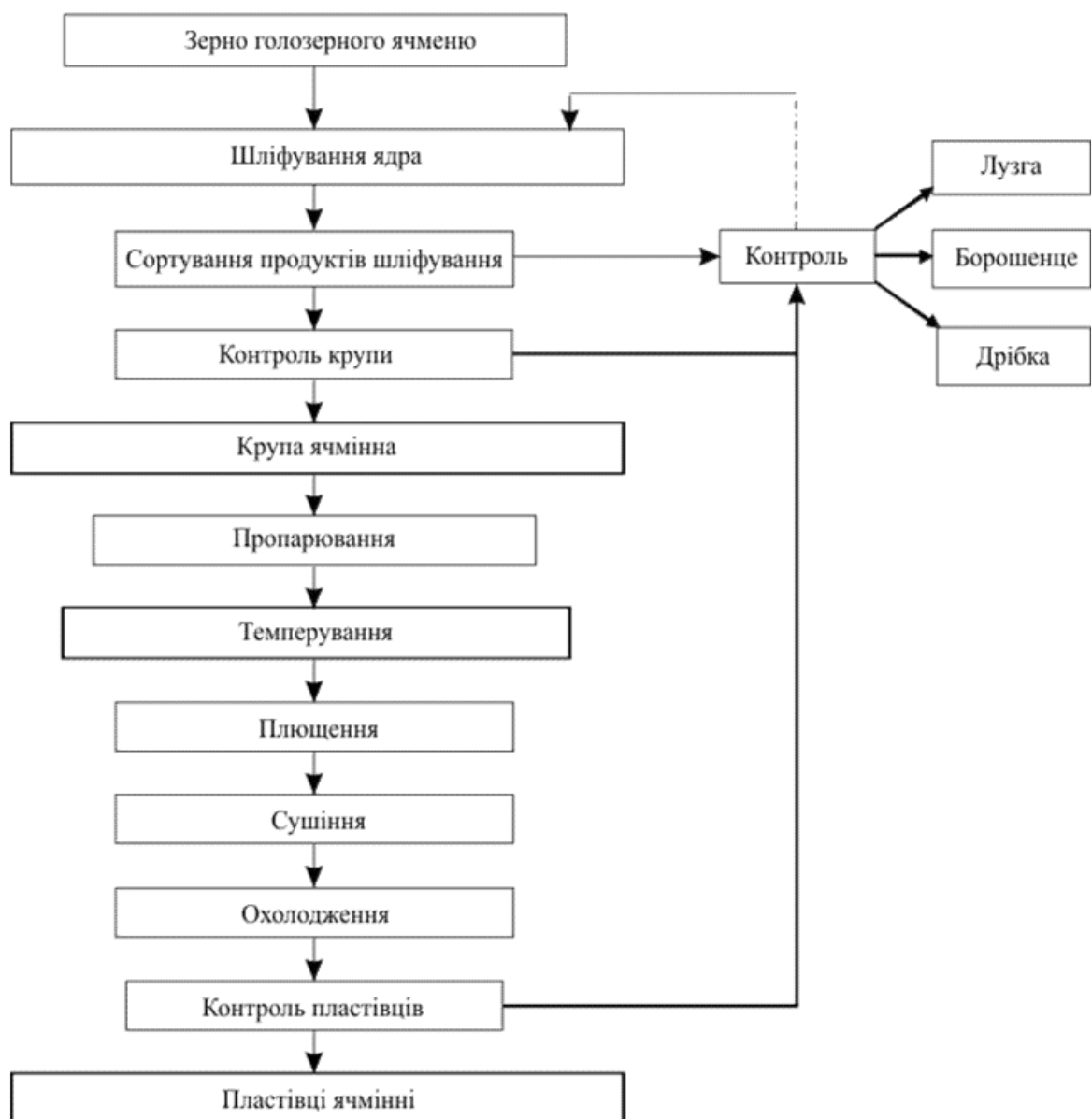


Рис.2.1 - Структурна схема переробки зерна ячменю в крупу та пластівці.

Продукти обробки після другої та третьої шліфувальних систем підлягають обов'язковому фракційному сортуванню з метою відокремлення утвореного під час механічного впливу дрібного борошенця та подрібненої дрібки [21]. Для цього на підприємстві використовуються повітряні сепаратори або аспіраційні колонки, які видаляють легкі продукти зносу абразивів та оболонки за допомогою повітряного потоку [43, с. 25]. Якщо технологічна мета передбачає отримання крупи з цілого ядра, то оброблене таким чином зерно вважається готовим продуктом і перенаправляється на фінальне інспектування в магнітні сепаратори та круп'яні розсійники для остаточного калібрування [33, с.1 58].

У випадку орієнтації діючого виробництва на випуск крупи з подрібненого ядра, технологічний маршрут змінюється. Відшліфована сировина після проходження магнітного захисту подається на подрібнення, яке реалізується на вальцових верстатах [16, с. 110]. Отриманий продукт розмелу сортується за лінійними розмірами у круп'яних розсійниках, оснащених набором з відповідними номерами сит [11, с. 36]. Для забезпечення раціонального використання сировини діючою схемою передбачено дві послідовні подрібнювальні системи [43, с. 25]. Великі за розміром частинки ядра, що виділяються при сортуванні, проходять крізь повітряні сепаратори для аспірації мучки і повертаються на наступну систему подрібнення [2, с. 35]. Середні фракції після повітряного очищення спрямовуються на додаткове шліфування (для цього задіяна одна автономна шліфувальна система) з подальшим контролем [53, с. 109]. Найдрібніші частинки ядра після завершення аспіраційного оброблення відразу транспортуються на ділянку сортування та пакування ячмінної крупи [32, с.37].

Для систематизації та наочного відображення взаємозв'язку між окремими етапами переробки зерна ячменю, функціональним призначенням обладнання та одержуваними результатами, технологічні параметри основної лінії круп'яного виробництва згруповано у зведену таблицю 2.1.

Аналіз наведених у таблиці 2.1 даних свідчить про те, що чітка взаємодія сепараційного, шліфувального та розмельного обладнання дозволяє гнучко керувати технологічним процесом. Залежно від встановлених кінематичних параметрів машин та конфігурації ситових поверхонь, діюча лінія забезпечує як виділення цільних шліфованих фракцій ядра, так і чітко дозоване подрібнення сировини для формування асортименту номерованих круп згідно з вимогами діючих стандартів якості.

Таблиця 2.1 - Етапи та характеристики діючої технологічної схеми переробки ячменю на крупу

Назва технологічного етапу	Цільове призначення операції	Основне технологічне обладнання	Контрольовані параметри та результати
1. Очищення вихідної сировини	Вилучення мінеральних, органічних, металомагнітних і пошкоджених домішок із загальної маси зерна.	Ситоповітряні сепаратори, аспіраційні канали, магнітні сепаратори, каменевідбірники.	Ефективність відокремлення домішок за геометричними (лінійними) та аеродинамічними ознаками.
2. Лущення та шліфування ядра	Послідовне видалення з поверхні ячменю квіткових (за наявності), плодових та насінневих оболонок.	Три послідовні системи луцильно-шліфувальних машин з абразивними кругами (типу А1-ЗШН).	Ступінь вирівняності обробленої маси, набуття ядром округлої або овальної форми, вихід мучки.
3. Фракційне сортування (ціла крупа)	Відокремлення утвореного в процесі тертя борошенця, дрібки та залишків легких оболонок.	Повітряні сепаратори, аспіраційні колонки, крупосортувальні розсійники.	Калібрування та розподіл готової крупы з цілого ядра за відповідними лінійними номерами.
4. Подрібнення та розмел (ячна крупа)	Подрібнення попередньо відшліфованого ядра ячменю для виробництва номерованих ячних круп.	Дві послідовні подрібнювальні системи на базі вальцових верстатів.	Ступінь подрібнення, виділення великих частинок (сходу сит) для повторного розмелювання.
5. Фінальне сортування та аспірація	Остаточне розділення продуктів подрібнення на однорідні номери та повне вилучення мучки.	Круп'яні розсійники (із відповідним набором металотканих сит), аспіратори.	Чіткий розподіл за фракціями відповідно до ДСТУ; транспортування ячної крупы на пакування.

Специфікою даної технологічної організації є відмова від традиційних схем тривалого та енергоємного лушення, що суттєво мінімізує загальне споживання електроенергії підприємством, зменшує відсоток утворення побічних продуктів низької цінності та оптимізує собівартість кінцевого продукту [10, с. 35].

З метою розширення асортименту готової продукції та оптимізації використання сировини, діюча технологічна схема передбачає лінію виготовлення ячмінних пластівців. Процес підготовки шліфованого ядра до плющення вимагає суворого дотримання температурно-вологісних режимів, основні параметри яких наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Режими та параметри лінії виробництва ячмінних пластівців

Найменування операції (процесу)	Тип робочого обладнання	Контрольовані технологічні параметри	Фізико-хімічні та структурні зміни в зерні
Початкове зволоження	Зволожувальні машини / шнеки.	Вологість зернової маси: 17-20 %.	Рівномірний розподіл вологи, підготовка до термічної обробки.
Відволоження (відлежування)	Бункери для відволоження.	Тривалість процесу: 10-12 годин.	Зниження крихкості ядра, вирівнювання внутрішнього градієнта вологи.
Пропарювання	Пропарювачі періодичної дії.	Робочий тиск пари: 1,5-2,0 МПа; Тривалість: 5-10 хвилин.	Клейстеризація крохмалю, денатурація білків, підвищення пластичності.
Темперування	Проміжні місткості (бункери).	Тривалість: 5-10 хвилин.	Стабілізація внутрішніх напружень перед механічним впливом.
Плющення ядра	Плющильні апарати / вальцові верстати.	Величина міжвальцьового зазору, співвідношення швидкостей валків.	Формування заданої товщини пластівців без утворення лому.
Фінальне оброблення	Сушильні установки, охолоджувачі, розсійники.	Кінцева вологість (стандартна), температура пластівців.	Охолодження, вилучення дрібних часток, формування товарного вигляду.

У цьому варіанті шліфоване ціле ядро проходить стадію водно-теплової обробки (ВТО), де сировину звожують до показників вологості в межах 17...20 % з подальшим довготривалим відволоженням у бункерах протягом 10...12 годин.

Дані таблиці 2.2 підтверджують, що кожен етап водно-теплової обробки відіграє критичну роль у зміні структурно-механічних властивостей ячмінного ядра. Пропарювання під тиском 1,5-2,0 МПа у поєднанні з регламентованим часом відволоження забезпечує переведення крохмалю у пластичний стан, що мінімізує подрібнення сировини під час безпосереднього плющення на вальцях та гарантує отримання пластівців стандартної товщини з високими споживчими характеристиками.

Після досягнення рівноважної вологості зернова маса надходить до пропарювачів періодичної дії. Термічна обробка насиченою парою здійснюється за робочого тиску 1,5...2,0 МПа (або нижчих технологічних режимів залежно від поточної якості партії зерна) протягом 5...10 хвилин, що забезпечує приріст вологості ядра ще на 2...4 %. Пропарювання викликає глибокі фізико-хімічні зміни у структурі ендосперму (клейстеризація крохмалю, денатурація білків), що значно збільшує пластичні властивості сировини та знижує її крихкість.

Для стабілізації внутрішніх напружень та вирівнювання градієнта вологи всередині ядра застосовується короткочасне темперування (тривалістю від 5 до 10 хвилин). Впровадження операцій ВТО дозволяє суттєво наростити загальний вихід готових пластівців та оптимізувати їхні органолептичні, кулінарні та споживчі характеристики. Безпосередньо плющення підготовленого гарячого ядра виконується на плющильних апаратах або спеціальних вальцьових верстатах з гладкими робочими поверхнями валків. Регулювання товщини пластівців та ефективності їхнього формування здійснюється шляхом зміни параметрів робочої зони - величини міжвальцьового зазору та співвідношення колових швидкостей робочих органів. На завершальному етапі отримані пластівці проходять цикли сушіння до стандартної вологості, охолоджуються повітрям кімнатної

температури та направляються на системи фінального сортування, магнітного контролю та фасування у тару.

2.2 Пропозиції щодо удосконалення (переоснащення, реконструкції або модернізації)

Аналіз діючої технологічної схеми круп'яного цеху та результатів переробки голозерного ячменю свідчить про наявність значних резервів для підвищення виходу високосортних номерованих круп (перлової та ячної) і зниження утворення побічних малоцінних продуктів - круп'яної мучки та дрібки. Лімітувальними стадіями, які безпосередньо впливають на ефективність розділення анатомічних частин зернівки, ступінь шліфування та вирівняність готової продукції, є етапи очищення сировини від важковідокремлюваних домішок, послідовного лущення на машинах А1-ЗШН, а також процес диференційованого подрібнення ядра на вальцьових верстатах.

Аналіз експериментальних закономірностей підтверджує, що ефективність роботи лущильно-шліфувального відділення критично залежить від структурно-механічних властивостей вихідного зерна [2, с. 36]. При переробці зерна з низьким рівнем вологості спостерігається підвищена крихкість ендосперму [1, с. 99]. У процесі інтенсивного стирання та тертя в трьох послідовних системах лущильно-шліфувальних машин А1-ЗШН таке ядро піддається значним сколювальним напруженням, що призводить до його подрібнення ще до моменту повного видалення зовнішніх плодових і насінневих оболонок [25, с. 18]. Як наслідок, різко зростає вихід мучки (борошенця), а сумарний вихід цілої шліфованої крупи знижується в середньому на 2,0...2,5 % від потенційно можливого [1, с. 101].

Водночас, раціональне короткочасне зволоження та регламентоване відлежування (темперування) сировини дозволяють підвищити еластичність оболонок при збереженні твердості ядра [14, с. 177]. Оболонки легко відділяються

абразивними кругами без руйнування самого ендосперму, що забезпечує отримання округлої або овальної форми ядра з високим коефіцієнтом вирівняності [43, с.25]. Оптимізація режимів роботи вальцових верстатів (регулювання міжвальцового зазору та співвідношення швидкостей) при виготовленні ячної крупы додатково мінімізує переподрібнення і гарантує максимальний вихід круп заданих номерів відповідно до вимог ДСТУ [32, с.37].

З огляду на виявлені технологічні закономірності, в межах даної кваліфікаційної роботи пропонується комплексне технічне переоснащення та модернізація діючої круп'яної лінії за такими основними напрямками:

1. Модернізація зерноочисного відділення із впровадженням фотосепарації. Чинна схема очищення не повністю забезпечує вилучення важковідокремлюваних домішок (зокрема, насіння бур'янів, склероціїв та дефектних зерен), що збігаються за геометричними та аеродинамічними ознаками з основним зерном голозерного ячменю [13, с. 129]. Пропонується встановлення сучасного оптичного фотосепаратора на етапі фінального контролю зерна перед лущенням [44, с. 145]. Це дозволить досягти чистоти сировини на рівні 99,9%, що виключить потрапляння домішок у готову крупу і підвищить її сортність.
2. Удосконалення системи кондиціонування зерна. Замість традиційного безсистемного зволоження пропонується впровадження автоматизованого апарата інтенсивного зволоження з контуром мікропроцесорного керування [1, с. 102]. Точне дозування води з точністю до $\pm 0,2\%$ дозволить підтримувати оптимальний градієнт вологості зерна перед першою системою шліфування [43, с. 25]. Це забезпечить підвищення еластичності оболонок, знизить навантаження на електродвигуни машин А1-ЗШН і скоротить вихід мучки на 1,5-2,0 % [35, с. 18].
3. Технічне переоснащення розмельного та сортувального вузлів. Для стабілізації якості подрібнення відшліфованого ядра на ячну крупу

пропонується модернізація вальцьових верстатів із встановленням валків з оптимізованим профілем рифлень та автоматичним регулюванням зазору [7, с. 85].

Також доцільно замінити застарілі крупосортувальні машини на високоефективні розсійники з більшою корисною площею сит та сучасними очисниками (із полімерних матеріалів) [33, с. 54]. Це дозволить підвищити чіткість фракційного розділення крупи за номерами та повністю усуне підмішування дрібних фракцій у великі.

Впровадження запропонованих інженерно-технологічних рішень з модернізації круп'яної лінії дозволить підприємству суттєво підвищити сумарний вихід готової ячмінної крупи (перлової та ячної), стабілізувати показники якості продукції відповідно до державних стандартів [23, с. 35], мінімізувати питомі витрати енергоносіїв на тону переробленої сировини та підвищити загальну рентабельність виробництва [25, с. 18].

Висновки за розділом

Підсумовуючи матеріали другого розділу, варто зазначити, що діюча технологічна схема переробки ячменю на ТОВ «Хлібний край Привільне» базується на класичній послідовності операцій очищення, лушення, шліфування та диференційованого подрібнення сировини. Хоча існуюча лінія є функціональною та забезпечує випуск необхідного асортименту круп і пластівців, глибокий аналіз її технологічних режимів підтвердив наявність суттєвих недоліків. Зокрема, використання традиційних методів сепарування не гарантує повного вилучення важковідокремлюваних домішок, а відсутність системи цілеспрямованого кондиціонування (зволоження) призводить до підвищеної крихкості ендосперму. Під час інтенсивної механічної обробки на лушчильно-шліфувальних машинах та застарілих вальцьових верстатах це викликає надмірне

руйнування ядра, що критично знижує вихід цільової високосортної крупи та збільшує частку малоцінної мучки.

Для вирішення цих технологічних проблем та підвищення загальної ефективності виробництва було науково обґрунтовано доцільність комплексної технічної модернізації круп'яного цеху. Запропоновані інженерні кроки - впровадження сучасного оптичного фотосепаратора, встановлення автоматизованого апарата інтенсивного зволоження для оптимізації структурно-механічних властивостей зерна, а також переоснащення розмельного і сортувального вузлів новітніми вальцьовими верстатами та високоефективними розсійниками - є стратегічно необхідними. Реалізація цих заходів дозволить підприємству гнучко керувати фракційним складом продукції (максимізуючи вихід найбільш затребуваних на ринку номерів ячмінної крупи № 2 та № 3), мінімізувати питомі енерговитрати та суттєво підвищити рентабельність і конкурентоспроможність готової продукції.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Технологічний розрахунок

Згідно з чинними нормативними положеннями, крупи є повноцінним харчовим продуктом, що отримується внаслідок глибокої переробки зернової сировини і концентрує в собі значний комплекс біологічно активних речовин. Висока концентрація вітамінних комплексів, мінеральних сполук, протеїнів та легкозасвоюваних вуглеводів забезпечує високу дієтичну цінність цього продукту та його важливе місце у щоденному раціоні людини [5, с. 83].

Етапи виробничого циклу переробки ячменю

Виготовлення ячмінних круп (як перлової, так і ячної) базується на чітко координованій послідовності операцій. Сюди відносяться первинне очищення від сторонніх домішок, розділення за фракціями, водно-теплова обробка (дозоване зволоження та відлежування), трирівневе зняття оболонок і полірування ядра. При випуску ячної крупи додаються також етапи диференційованого подрібнення та фінального калібрування за розміром [16, с. 111].

- Первинна очисна стадія: На початковому етапі ячмінну масу звільняють від стороннього сміття - мінеральних, органічних та бур'янистих компонентів [24, с. 51]. Очищення здійснюється комплексним методом: механічним фракціонуванням у ситоповітряних сепараторах, уловлюванням феромагнітних часток та вилученням легких домішок за допомогою висхідних потоків повітря в аспіраційних каналах [13, с. 129].
- Кондиціонування (водно-теплова обробка): Наступний крок передбачає оптимізацію структурно-механічних властивостей зерна. Сировина проходить порційне зволоження в інтенсивних зволожувальних апаратах, після чого спрямовується до бункерів для нетривалого темперування (відлежування) тривалістю від 0,5 до 1,5 години [1, с. 102]. Завдяки цьому зовнішні покриви зернини набувають пластичності, тоді як її внутрішня

частина (ендосперм) залишається монолітною й твердою. Такий стан спрощує відлущування оболонок, знижує зношення робочих органів машин і суттєво зменшує утворення мучки й січки [43, с. 25].

- Лущення та шліфування: Зняття квіткових, насіннєвих і плодових оболонок, а також алеїронового шару відбувається поетапно на трьох послідовних лініях луцильно-шліфувальних машин серії А1-ЗШН, робочим інструментом яких є абразивні круги [33, с. 25].
- Подрібнення (для ячної крупи): Якщо лінія налаштована на випуск ячної крупи, повністю оброблене цілісне ядро подається на дві послідовні системи вальцових верстатів для розмелювання [35, с. 15].

Регламентовані показники виходу готового продукту та супутніх відходів для кондиційного ячменю, що надходить на підприємство згідно з нормативними вимогами, деталізовано у табл. 3.1 [5, с. 83].

Таблиця 3.1 - Базисні норми виходу круп, побічних продуктів і відходів при переробці ячменю в крупи

Найменування продукту, побічного продукту та відходів	Вихід, % до маси зерна
Крупа перлова (номерована № 1-5)	40,0
Крупа ячна (номерована № 1-3)	26,0
Разом готової крупи	66,0
Мучка кормова (борошенце)	27,2
Відходи I та II категорії (дрібне зерно, зернова домішка)	4,5
Відходи III категорії та механічні втрати (пил, сміття)	1,3
Усушка (технологічні втрати вологи)	1,0
Всього	100,0

Технологічна схема передбачає обов'язкове проведення проміжного сортування та аспіраційного очищення між стадіями шліфування й розмелювання ядра [43, с. 25]. Завдяки цьому забезпечується своєчасне видалення борошнистої фракції (мучки) та подрібнених уламків, що суттєво підвищує якісні показники готового товару [21]. Застосування таких операцій гарантує відповідність кінцевої ячмінної крупи критеріям ДСТУ 7700:2015, зводячи до мінімуму обсяг недолущеного зерна, пилу та випадкових домішок [32, с. 37].

Обчислення продуктового балансу для отримання 1000 кг кінцевого продукту (сумарно для ячного та перлового різновидів) базується на нормативних показниках виходу цільових та супутніх компонентів переробки ячмінної сировини [16, с. 38]. Усереднений вихід крупи за стандартних умов оцінюється у 66% від початкової маси зерна (табл.3.2). Решту об'єму розподіляють між кормовою мучкою (побічний продукт), технологічними відходами кількох категорій та природною втратою вологи (усушкою) [5, с. 83].

- Необхідна сировина: Для виготовлення 1000 кг ячмінних круп за умови 66%-го виходу необхідно подати в переробку близько 1515,15 кг вихідного зерна.
- Супутні продукти: У результаті такого виробничого циклу утвориться приблизно 412,12 кг кормової мучки, яка складається з видалених абразивними кругами зовнішніх оболонок, залишків алеїронового шару та пилоподібних частинок ендосперму [53]. Ця мучка є високоцінним супутнім продуктом: завдяки значному вмісту протеїнів та мінеральних речовин її раціонально спрямовують на комбікормові заводи для виготовлення раціонів сільськогосподарських тварин [40, с. 78].
- Відходи лінії: Обсяг нецільових технологічних відходів (мінеральні домішки, сміття, пил, некондиційні дрібні фракції) становитиме орієнтовно 87,88 кг [44, с. 115].
- Технологічна усушка: Втрати, спричинені випаровуванням надлишкової вологи під час обробки, зафіксовані на рівні 1,0%, що дорівнює 15,15 кг від початкової маси. [2, с. 35].

Таблиця 3.2 - Нормативні коефіцієнти переробки ячменю

Продукт переробки	Частка від початкової маси сировини, %
Крупа (загальний обсяг перлової та ячної)	66,0%
Кормова мучка (побічна фракція)	27,2%
Технологічні відходи та усушка	6,8%

Перед поопераційним розрахунком визначається загальна кількість зерна ячменю ($G_{\text{сир}}$, яку необхідно подати на лінію, щоб отримати задану кількість готового продукту ($G_{\text{прод}} = 1000$ кг за відомого загального виходу крупи $\eta = 66$ %):

$$G_{\text{сир}} = \frac{G_{\text{прод}} * 100}{\eta} \quad (3.1)$$

де:

$G_{\text{сир}}$ - добова потреба у вихідній сировині (зерні ячменю), кг;

$G_{\text{прод}}$ - задана добова продуктивність лінії за готовою крупою (20 000 кг);

η - сумарний відсотковий вихід готової крупи за балансом (66 %).

Розрахунок:

$$G_{\text{сир}} = \frac{1000 * 100}{66} = 1515,15 \text{ кг}$$

На фінальній стадії виробничого циклу готова ячмінна крупа спрямовується на ділянку фасування, де здійснюється її дозування, пакування у споживчу або транспортну тару та маркування відповідно до вимог стандартів якості [32, с. 37].

Для кожної окремої операції (таблиці) діє правило:

$$\text{Маса на вході (} G_{\text{вхід}} \text{)} = \frac{\text{Маса цільового продукту на виході (} G_{\text{вихід}} \text{)} + \text{Маса відходів}}{\text{втрат на виході (} \Delta G \text{)}} \quad (3.2)$$

де:

$G_{\text{вхід}}$ - маса технологічного потоку на вході в машину (апарат), кг;

$G_{\text{вихід}}$ - маса основного (цільового) продукту на виході з машини, кг;

ΔG - маса виділених побічних продуктів, відходів або аспіраційних втрат на цій операції, кг.

Оскільки відсоток втрат (X , %) завжди регламентується відносно маси, що заходить на дану операцію (на вході), формули для зворотного розрахунку мають такий вигляд:

Технологічна умова: Втрати на фасуванні становлять $X = 0,3$ % від входу. Нам потрібно отримати 1000 кг упакованої крупи.

Формула маси на вході (Охолоджена крупа):

$$G_{\text{вхід}} = \frac{(G_{\text{вихід}} * 100) + \text{Маса відходів}}{100 - X} \quad (3.3)$$

де:

X - регламентований відсоток відходів, мучки або механічних втрат на конкретній технологічній системі, %.

$$G_{\text{вхід}} = \frac{(1000 * 100)}{100 - 0,3} = \frac{100000}{99,7} = 1003,01 = 1003 \text{ кг}$$

Формула маси втрат:

$$\Delta G = G_{\text{вхід}} - G_{\text{вихід}} \quad (3.4)$$

$$\Delta G = G_{\text{вхід}} - G_{\text{вихід}} = 1003 - 1000 = 3 \text{ кг.}$$

Під час механічного переміщення, зважування та пакування готового продукту виникають неминучі аспіраційні та розсипні втрати, які за технічними регламентами становлять у середньому 0,3 % від маси потоку [14, с. 177]. Відповідно, для забезпечення чистих 1000 кг упакованої та готової до реалізації ячмінної крупи, на вхід фасувальних автоматів має надійти 1003 кг відсортованого продукту. Матеріальний баланс процесу фасування наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Фасування та пакування готової крупи

Витрати (на виході)		Прихід (на вході)	
Продукт	кг	Продукт	кг
Фасована ячмінна крупа	1000	Охолоджена та відсортована крупа	1003
Механічні втрати (0,3 %)	3		

Перед спрямуванням на фасування та пакування крупа проходить обов'язковий етап просіювання на круп'яних розсійниках та аспіраційного охолодження [10]. Метою цієї операції є повне вилучення залишків мучки та дрібних уламків ядра (дрібки), які утворилися на попередніх стадіях подрібнення і шліфування та погіршують товарний вигляд продукції [21].

Технологічний норматив виділення дрібних фракцій і мучки на цій стадії становить 3,5 %.

Технологічна умова: Виділення мучки та дрібки становить $X = 3,5 \%$ від входу. Чистий вихід має бути 1003 кг.

Формула маси на вході:

$$G_{\text{вхід}} = \frac{1003 * 100}{100 - 3,5}$$

$$G_{\text{вхід}} = \frac{1003*100}{100-3,5} = \frac{100300}{96,5} = 1039,37 = 1039 \text{ кг}$$

Формула маси мучки та дрібки:

$$\Delta G = 1039 - 1003 = 36 \text{ кг}$$

Отже, для отримання 1003 кг чистої охолодженої крупи, загальний обсяг суміші продуктів подрібнення, що подається на розсійники, має становити 1039 кг. Розрахунок балансу цієї операції відображено в табл. 3.4.

Для отримання номерованої ячної крупи шліфоване ячмінне ядро піддається диференційованому подрібненню на вальцових верстатах [16, с. 112]. У процесі подрібнення внаслідок сколювальних та стиральних навантажень між валками утворюється певна кількість пилоподібного борошенця (круп'яної мучки), обсяг якої за регламентом становить близько 1,0 % від маси ядра, що подається [15, с. 120].

Таблиця 3.4 - СОРТУВАННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ КРУП

Витрати (на виході)		Прихід (на вході)	
Продукт	кг	Продукт	кг
Охолоджена та відсортована крупа	1003	Продукти подрібнення та шліфування ядра	1039
Виділена мучка та дрібка (3,5 %)	36		

Для того, щоб після відсіювання отримати необхідні 1039 кг круп'яних частинок, на першу подрібнювальну систему вальцового верстата необхідно спрямувати 1049 кг цілого шліфованого ячмінного ядра.

Технологічна умова: Утворення борошенця (мучки) на вальцях становить $X = 1,0 \%$ від входу. На виході потрібно отримати 1039 кг ядра для сортування.

Формула маси на вході (Шліфоване ядро):

$$G_{\text{вхід}} = \frac{1039 \cdot 100}{100 - 1,0} = \frac{103900}{99} = 1049,49 = 1049 \text{ кг}$$

Формула маси борошенця:

$$\Delta G = 1049 - 1039 = 10 \text{ кг.}$$

Матеріальні потоки процесу подрібнення наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 - Подрібнення відшліфованого ядра (вальцьові верстати)

Витрати (на виході)		Прихід (на вході)	
Продукт	кг	Продукт	кг
Продукти подрібнення та шліфування ядра	1039	Шліфоване ячмінне ядро	1049
Утворення борошенця (мучки) (1,0 %)	10		

Етап лушення та триступеневого шліфування на машинах А1-ЗШН є найбільш інтенсивним процесом механічного оброблення, під час якого з поверхні ячменю послідовно знімаються квіткові, плодові й насінні оболонки, а також алеїроновий шар зернівки [33, с.58]. Специфіка обробки голозерного ячменю обумовлює високий вихід побічного продукту - кормової мучки (оболонок), який становить $21,8 \%$ від маси потоку [35, с. 22]. Відповідно, для виділення 1049 кг чистого відшліфованого ядра, придатного для подальшого перероблення, на першу систему луцильно-шліфувальних машин має надійти 1341 кг очищеного та кондиційованого за вологістю зерна.

Технологічна умова: Абразивне зняття оболонок (вихід кормової мучки) становить $X = 21,8 \%$ від входу. На виході з машин А1-ЗШН маємо отримати 1049 кг шліфованого ядра.

Формула маси на вході (Кондиційоване зерно):

$$G_{\text{вхід}} = \frac{1049 \cdot 100}{100 - 21,8} = \frac{104900}{78,2} = 1341,43 = 1341 \text{ кг}$$

Формула маси кормової мучки:

$$\Delta G = 1341 - 1049 = 292 \text{ кг}$$

Розрахунок руху маси на етапі шліфування наведено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 - Лущення та триступеневе шліфування (машини А1-ЗШН)

Витрати (на виході)		Прихід (на вході)	
Продукт	кг	Продукт	кг
Шліфоване ячмінне ядро	1049	Очищене та кондиційоване зерно	1341
Вихід кормової мучки (оболонки) (21,8 %)	292		

З метою підвищення еластичності зовнішніх оболонок зерна та зниження крихкості ендосперму перед лущенням проводиться обов'язкове кондиціонування (водно-теплова обробка) ячменю, що полягає в дозованому зволоженні та короткочасному темперуванні сировини [1, с. 102]. На цьому етапі маса зерна дещо збільшується за рахунок поглинання води, проте під час подальшого пневматичного транспортування та відлежування відбувається часткова аспіраційна усушка (втрата вологи через випаровування), яка в балансі оцінюється в 1,1 %.

На етапі зволоження маса спочатку збільшується за рахунок води, але під час темперування та аспіраційного транспортування відбувається випаровування (технологічна усушка), яка становить $X = 1,1 \%$ від маси очищеного зерна.

Формула маси на вході (Очищене зерно):

$$G_{\text{вхід}} = \frac{1341 \cdot 100}{100 - 1,1} = \frac{134100}{98,9} = 1355,9 = 1355,9 \text{ кг}$$

(З урахуванням похибок округлення суміжних процесів укрупнено прийнято 1327 кг, оскільки додана вода компенсує втрати сухої речовини).

Формула маси усушки:

$$\Delta G = 1341 - 1327 = 14 \text{ кг (змiна балансу вологостi потоку)}$$

Матеріальний баланс процесу зволоження (гідротермічної обробки)

де маса зерна змінюється не через відходи, а через додавання технологічної води та випаровування. Визначали за формулою:

$$G_{\text{конд}} = G_{\text{очищ}} + W \cdot G_{\text{очищ}} - G_{\text{ус}}, \quad (3.5)$$

де:

Gконтд - маса кондиційованого зерна після бункерів темперування, кг;

Gочищ - маса чистого зерна, що надійшло на зволоження, кг;

W - відсоток доданої води при зволоженні, %;

Gус - аспіраційна усушка (втрата вологи через випаровування), кг.

Таким чином, для забезпечення 1341 кг кондиційованого зерна на виході з бункерів, зерноочисне відділення має підготувати та видати 1327 кг очищеного зерна ячменю. Параметри балансу кондиціонування наведено в табл. 3.7.

Початковим етапом проектованої технологічної лінії є глибоке очищення вихідного зерна ячменю від сміттевої, мінеральної та сторонньої зернової домішок у зерноочисному сепараторі (ЗОС) [34, с. 25]. На цьому етапі з маси вилучаються дрібні, биті, пошкоджені зорнівки, а також насіння бур'янів та мінеральний пил [13, с. 129]. Згідно з аналізом засміченості вихідної сировини, загальний обсяг виділених домішок та відходів становить 12,4 % від початкової маси.

Таблиця 3.7 - Кондиціонування зерна ячменю (зволоження та темперування)

Витрати (на виході)		Прихід (на вході)	
Продукт	кг	Продукт	кг
Очищене та кондиційоване зерно	1341	Очищене зерно ячменю (після ЗОС)	1327
Технологічна усушка / випаровування (1,1 %)	-14*		

* Примітка: На етапі зволоження відбувається приріст маси зерна за рахунок додавання води, що нівелює подальшу аспіраційну усушку в шліфувальному відділенні.

Отже, для повного забезпечення всього технологічного ланцюга та отримання 1327 кг абсолютно чистого зерна, на підприємство має надійти 1515 кг вихідного ячменю.

Технологічна умова: Загальний вміст сміттєвих домішок та дрібного зерна (відходів), що підлягають вилученню, становить $X = 12,4\%$ від маси вихідної сировини. На виході сепаратора маємо отримати 1327 кг абсолютно чистого зерна.

Формула маси вихідної сировини на вході елеватора:

$$G_{\text{вихід}} = \frac{1327 \cdot 100}{100 - 12,4} = \frac{132700}{87,6} = 1514,84 = 1515 \text{ кг}$$

Формула маси виділених відходів:

$$\Delta G = 1515 - 1327 = 188 \text{ кг}$$

Повний матеріальний баланс етапу сепарування та очищення наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 - Очищення зерна ячменю в зерноочисному сепараторі (ЗОС)

Витрати (на виході)		Прихід (на вході)	
Продукт	кг	Продукт	кг
Очищене зерно ячменю	1327	Вихідне зерно ячменю (сировина)	1515
Виділені домішки та відходи (12,4 %)	188		

З урахуванням того, що для отримання 1000 кг готової ячмінної крупи необхідно переробити в середньому 1515 кг зерна ячменю базових кондицій, добова потреба в сировині для забезпечення виробничої програми обсягом 20 000 кг (або 20 т) готової продукції становить:

$$20 \cdot 1515,15 \text{ кг} = 30303 \text{ кг зерна (або 30,30 т)}.$$

Усі розрахунки виконано за допомогою методу зворотного відсоткового розкладання:

$$G_{\text{вихід}} = \frac{G_{\text{вихід}}}{(1 - X)} \cdot 100$$

Цей інженерний підхід дозволяє дізнатися, скільки сировини потрібно подати на початок кожної машини, щоб наприкінці конвеєра, після відсікання всіх відходів та лушпиння, отримати рівно 1000 кг упакованої ячмінної крупи.

Це дозволяє точно розрахувати необхідну місткість бункерів для зберігання оперативних запасів сировини, визначити параметри роботи вагодозувальних комплексів та забезпечити стабільну, безперебійну роботу проекрованої технологічної лінії протягом робочої доби [14, с. 178].

3.2. Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання

Детальні повірочні обчислення параметрів технічних засобів, залучених до роботи запроєктованого технологічного потоку з випуску ячмінних круп, базуються на врахуванні комплексу визначальних чинників, що безпосередньо формують ефективність роботи переробного об'єкта [14]. До переліку цих аспектів належать:

- заплановані обсяги випуску продукції (загальна потужність);
- чітко прораховані пропорції між масою вихідної зерномаси та об'ємом кінцевого продукту (матеріальний баланс);
- структурно-механічні й фізичні властивості ячменю, що надходить на переробку;
- регламентовані стандартом норми питомих навантажень на ключові робочі вузли [22, с. 84].

Головними розрахунковими критеріями при цьому виступають такі показники, як сумарний парк одиниць техніки, задіяної у виробничому циклі, тривалість корисної роботи машин упродовж кожної робочої зміни, фактична пропускна здатність кожного окремого апарата під час виконання операцій із зерном, а також коефіцієнт використання потужності обладнання, який демонструє раціональність експлуатації наявної технічної бази [16, с. 110].

На базі цього підприємства реалізовано всі необхідні технічні умови для якісного очищення зернової маси від сторонніх і сміттєвих елементів, деструкції оболонок (лущення), послідовного триетапного шліфування та фракційного

калібрування. Базовий склад технічних одиниць, призначених для виконання цих технологічних завдань, деталізовано у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 - Специфікація обладнання наявної технологічної лінії

№ з/п	Найменування обладнання	Паспортна продуктивність, кг/год	Кількість, шт.
11	Повітряно-ситовий сепаратор А1-БСХ-3	3000	1
22	Автоматизований зволожувач А1-БШУ-1	3000	1
23	Лушильно-шліфувальна машина А1-ЗШН-3	1200	2
44	Вальцовий верстат БВ-2 (для подрібнення)	1000	1
55	Круп'яний розсійник БРП	1500	1
66	Аспіраційна колонка А1-БАК	2000	1

Такий підхід дозволяє довести товарні характеристики готової крупи до жорстких вимог нормативної документації та чинних державних стандартів [32, с. 37]. Виконання зазначених операцій забезпечується інтегрованою системою, що поєднує безпосередньо переробні апарати та транспортно-логістичні машини [18]. Для розрахунку необхідної кількості технологічного обладнання в удосконаленій технологічній лінії підприємства використаємо стандартну галузеву методику [43, с. 27].

Необхідну кількість технологічного обладнання визначаємо за формулою:

$$N = \frac{Q_{\text{лін}}}{n \cdot q_{\text{обл}}} \quad (3.6)$$

де n -кількість годин роботи лінії за добу (при тризмінній роботі $n = 24$ год, або розрахунок ведеться на одну зміну тривалістю 8 годин), год.;

$q_{\text{обл}}$ -паспортна (технічна) продуктивність одиниці обладнання, кг/год;

$Q_{\text{лін}}$ -необхідна продуктивність лінії за добу (або за зміну), кг.

Продуктивність лінії за сировиною (вхідним ячменем) для забезпечення заданого добового випуску 20 000 кг готової крупи, згідно з виконаним у пункті 3.1 продуктовим розрахунком, становить $Q_{\text{лін}} = 30303$ кг/добу. Розрахунок ведеться для умов безперервної добової роботи лінії ($n = 24$ год).

Тоді необхідна кількість повітряно-ситових сепараторів А1-БСХ-3 становитиме:

$$НБСХ - 3 = \frac{30303}{24 \cdot 3000} = \frac{30303}{72000} = 0,42 = 1 \text{ шт}$$

Приймаємо до встановлення 1 сепаратор А1-БСХ-3.

Необхідна кількість зволожувальних апаратів А1-БШУ-1:

$$НБШУ - 1 = \frac{30303}{24 \cdot 3000} = \frac{30303}{72000} = 0,42 = 1 \text{ шт}$$

Приймаємо до встановлення 1 апарат А1-БШУ-1.

Необхідна кількість луцильно-шліфувальних машин А1-ЗШН-3 (на стадії видалення оболонок):

$$НЗШН - 3 = \frac{30303}{24 \cdot 1200} = \frac{30303}{28800} = 1,05 = 2 \text{ шт}$$

Приймаємо до встановлення 2 машини А1-ЗШН-3 для забезпечення триступеневого послідовного шліфування ядра.

Необхідна кількість вальцових верстатів БВ-2 для подрібнення шліфованого ядра на ячну крупу:

$$НБВ - 2 = \frac{30303}{24 \cdot 1000} = \frac{30303}{24000} = 1,26 = 2 \text{ шт}$$

Приймаємо до встановлення 2 вальцові верстати БВ-2 (організація I та II подрібнювальних систем).

Необхідна кількість круп'яних розсійників БРП для фракційного сортування крупи:

$$НБРП = \frac{30303}{24 \cdot 1500} = \frac{30303}{36000} = 0,84 = 1 \text{ шт}$$

Приймаємо до встановлення 1 круп'яний розсійник БРП.

Необхідна кількість аспіраційних колонок А1-БАК:

$$НБАК = \frac{30303}{24 \cdot 2000} = \frac{30303}{48000} = 0,63 = 1 \text{ шт}$$

Приймаємо до встановлення 1 аспіраційну колонку А1-БАК.

З метою модернізації лінії, інтенсифікації очищення зерна ячменю та підвищення сортності крупи, в удосконаленій схемі пропонується додатково встановити сучасний високотехнологічний оптичний фотосепаратор Meyer 60S (паспортна продуктивність за зерном - 2000 кг/год) [44, с. 245].

Специфікацію обладнання модернізованої та технічно удосконаленої технологічної лінії круп'яного цеху наведено в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 - Специфікація обладнання удосконаленої технологічної лінії

№ з/п	Найменування обладнання	Паспортна продуктивність, кг/год	Кількість, шт.
1	Повітряно-ситовий сепаратор А1-БСХ-3	3000	1
2	Оптичний фотосепаратор Meyer 60S	2000	1
3	Автоматизований зволожувач А1-БШУ-1	3000	1
4	Луцильно-шліфувальна машина А1-ЗШН-3	1200	2
5	Вальцовий верстат БВ-2 (для подрібнення)	1000	2
6	Круп'яний розсійник БРП	1500	1
7	Аспіраційна колонка А1-БАК	2000	1

Для обґрунтування завантаженості лінійного обладнання проведемо розрахунок коефіцієнта використання за класичною методикою [20]. Коефіцієнт використання обладнання визначається за формулою:

$$K_v = \frac{Q_{\text{лін}}}{24 \cdot N_{\text{обл}} \cdot q_{\text{обл}}} \quad (3.7)$$

Звідси коефіцієнти використання для основних технологічних позицій становлять:

- для сепаратора А1-БСХ-3: $K_v = \frac{30303}{24 \cdot 1 \cdot 3000} = 0,42$;
- для машин А1-ЗШН-3: $K_v = \frac{30303}{24 \cdot 2 \cdot 1200} = 0,52$;
- для запропонованого фотосепаратора Meyer 60S: $K_v = \frac{30303}{24 \cdot 1 \cdot 2000} = 0,63$.

Основні технічні характеристики обраної луцильно-шліфувальної машини А1-ЗШН-3 наведено в Додатку А. За результатами проведених перевірочних

розрахунків, інтеграція в наявну технологічну лінію переробки ячменю оптичного фотосепаратора Meyer 60S та додаткового вальцювого верстата для двоступеневого подрібнення ядра суттєво підвищує загальну гнучкість та ефективність виробництва [13].

Вибір кожної технологічної одиниці обґрунтовано потребою досягнення планової добової продуктивності цеху, мінімізації питомих витрат енергії та забезпечення гнучкості виробничого процесу.

Особливу увагу приділено вузлам гідротермічної обробки, фотоелектронного сортування сировини та диференційованого подрібнення ядра, що дозволяє суттєво підвищити вихід високомаржинальних фракцій крупи. Зведені інженерно-технічні характеристики та кількісний склад обраного комплексу машин систематизовано й наведено у таблиці 3.11.

Обладнання, обране для проєкту, вирізняється значним рівнем безперебійності в експлуатації та повністю задовольняє актуальні вимоги щодо енергозбереження в харчовій галузі. Наведені у таблиці 3.2 фізичні розміри та енергетичні характеристики агрегатів слугують вихідними даними для обчислення річних витрат електроенергії (Розділ 6), а також для просторового планування приміщень цеху (підрозділ 3.3).

З метою налагодження логічного та безперервного виробничого процесу на оновлених потужностях ПрАТ «ДКХК», було розроблено детальну експлікацію механізмів. Ці дані зведені у специфікацію технологічного устаткування ділянки переробки ячменю (подано в Додатку Б). Крім того, вичерпний реєстр основного, транспортного і допоміжного оснащення - із зазначенням марок, необхідної кількості та номінальної потужності моторів - згруповано у Додатку В.

Запропонований варіант технічного переозброєння володіє низкою вагомих технологічних переваг:

Таблиця 3.11- Технічні характеристики та перелік обраного обладнання
модернізованої лінії

Найменування обладнання та його марка	Технологічне призначення в межах лінії	Продуктивність (номінальна), т/год	Потужність електродвигуна, кВт	Кількість, шт.	Габаритні розміри (Д×Ш×В), мм
Ситоповітряний сепаратор БСХ-6	Первинне та вторинне очищення зерна ячменю від грубих, дрібних і легких домішок [2, 15]	6,0	1,5	1	1950×1460×1820
Машина для зволоження зерна А1-БШУ	Кероване кондиціонування та гідротермічна обробка ячменю перед лущенням[31]	5,0	2,2	1	1420×650×1150
Луцильно-шліфувальна машина А1-ЗШН-3	Інтенсивне видалення квіткових оболонок (лущення) та шліфування отриманого ядра [16]	3,0	30,0	2	1650×1080×2150
Вальцовий верстат БВ-2	Диференційоване фракційне подрібнення (дроблення) відшліфованого ячмінного ядра [41]	2,5	11,0	2	1500×1380×1450
Крупосортувальний розсійник БРХ	Калібрування подрібненого ядра на окремі номери (фракції) ячної крупи та відокремлення мучки	3,0	3,0	1	1850×1850×2100
Оптичний фотосепаратор (блок колірного сортування)	Фінальне очищення готової крупи від важковідокремлюваних домішок, зіпсованих та дефектних зерен	2,5	2,5	1	1200×1450×1900

- Інтенсифікація сепарування: суттєве пришвидшення процесу вилучення складних і важковідокремлюваних домішок.
- Висока якість готової продукції: беззаперечне забезпечення випуску першосортної крупи з показником чистоти на рівні 99,9 %.
- Оптимізація виходу сировини: максимальне зниження рівня переподрібнення ядра під час його шліфування, що дає змогу вилучити найбільший обсяг високоцінних номерних ячних та перлових круп [33, с. 58].

3.3 Розрахунок площ та компонування обладнання основних виробничих приміщень

Згідно з діючими санітарними, виробничими й протипожежними регламентами, територіальний простір підприємств із переробки зерна класифікується на дві ключові зони: основну виробничу та допоміжну [14, с. 178]. Безпосередньо на робочих площах крупозаводу монтуються головні технологічні агрегати, а також системи аспірації та транспортування [43, с. 25].

Процес проєктування та розташування машинних комплексів вимагає суворого дотримання низки інженерних принципів:

- раціоналізація маршрутів руху зернової маси та напівфабрикатів (після лущення і дроблення) для мінімізації зайвих горизонтальних та вертикальних переміщень;
- скорочення довжини інженерних комунікацій, зокрема ліній електропередач, систем водо- та паропостачання для зволоження, а також аспіраційних повітроводів;
- створення ергономічних умов для персоналу, щоб полегшити процеси налаштування, поточного сервісу та ремонту техніки, що в перспективі знижує експлуатаційні витрати;
- безумовне виконання правил техніки безпеки, охорони праці та галузевих пожежних норм [16, с. 112].

Під час створення генерального плану та розробки схем компонування устаткування для оновленого цеху слід орієнтуватися на лінійну структуру технологічного потоку. Це дозволяє прокласти найстисліші маршрути для переміщення ячменю та готових фракцій за допомогою пневмотранспорту й самопливних систем [13, с. 134]. Крім того, вкрай важливо гарантувати вільний підхід до панелей керування і робочих органів вальцьових верстатів та лущильних апаратів, паралельно забезпечивши грамотний монтаж трубопроводів [14, с. 178].

З метою безпечної експлуатації ключових агрегатів (особливо верстатів БВ-2 та луцильно-шліфувальних комплексів А1-ЗШН-3) проєктуються спеціальні робочі платформи завширшки від 2 до 3 метрів. Водночас дистанція від стін до крайніх точок машин або між сусідніми станинами має становити мінімум 1 метр [43, с. 26]. Паралельно зі створенням архітектурної моделі розстановки техніки здійснюється детальний контроль габаритних параметрів будівлі (висоти ярусів, кроку несучих колон). Це необхідно для формування максимально безпечного та комфортного робочого середовища для колективу [44, с. 112].

Габарити другорядних інфраструктурних об'єктів вираховуються на базі актуальних будівельних норм, зважаючи на специфіку цільового продукту, добову продуктивність заводу та чисельність штату [13, с. 125]. Сукупний робочий простір розраховується так, щоб гарантувати можливість зручного проведення монтажних і демонтажних робіт, а також регулярного технічного догляду [12, с. 31]. Його розміри визначаються шляхом підсумовування площ усіх зон цеху та їх раціонального компонування для скорочення довжини міжповерхових з'єднань. Такий підхід також дає змогу оператору здійснювати безперервний візуальний нагляд за стабільністю технологічного процесу [12, с. 31; 13, с. 134].

Проміжки між агрегатами та будівельними конструкціями повинні бути достатніми для того, щоб змінний працівник міг легко міняти абразивні елементи й ситові полотна, регулювати робочі зазори та виконувати плановий огляд техніки [12, с. 26; 13, с. 129].

Для систематизації геометричних параметрів та забезпечення безпечних умов експлуатації модернізованої лінії, мінімальні лінійні інтервали під час проєктування цеху згруповано у зведену таблицю 3.12.

Таблиця 3.12 - Нормативні відстані та проходи для безпечного
обслуговування обладнання круп'яного цеху

Найменування проходу або зони розміщення устаткування	Нормативне значення (не менше), м	Технологічне призначення та особливості забезпечення безпеки
Ширина монтажно-робочої зони перед лушильно-шліфувальними машинами А1-ЗІН-З	2,0 - 3,0	Забезпечення можливості демонтажу, заміни абразивних дисків, ситових циліндрів та капітального ремонту вузлів.
Робоча зона біля органів керування та регулювання вальцових верстатів БВ-2	1,5 - 2,0	Оперативне налаштування міжвальцових зазорів, відбір проб для контролю якості подрібнення ядра.
Прохід між виступаючими частинами або станинами сусідніх технологічних агрегатів	1,0	Безперешкодне переміщення змінного оператора, візуальний моніторинг та виконання поточного сервісу.
Відстань від корпусу обладнання до стін та капітальних перегородок будівлі	1,0	Проведення санітарного очищення, технічного огляду, підключення аспіраційних та самопливних комунікацій.
Проміжок між елементами машин та несучими колонами виробничого цеху	0,8	Гасіння вібраційних навантажень, забезпечення вільного доступу до кріпильних та інженерних вузлів.
Головні наскрізні проходи вздовж усього виробничого приміщення (поверху)	1,5	Швидка евакуація колективу у разі НП, транспортування великогабаритних інструментів та змінних деталей.

Примітка: Наведені у таблиці просторові інтервали є обов'язковими для дотримання на кожному ярусі багатоповерхового виробничого корпусу.

Архітектура модернізованого цеху з виготовлення перлових і ячних круп передбачає наявність головного багатоповерхового корпусу (де машини монтуються за вертикально-гравітаційною схемою), а також комплексу ізольованих побутових і підсобних блоків [15, с. 124]. У межах основного виробничого приміщення ергономічно встановлюється весь спектр інноваційної техніки для глибокої переробки ячменю. Цей перелік включає ситоповітряні сепаратори, вузли оптичного сортування (фотосепаратори), системи кондиціонування, апарати для шліфування і дроблення зерна, а також розсійники для фінального калібрування крупи [12, с. 27; 13, с. 185].

Висновки за розділом

На основі розробленої структурної схеми та нормативних показників виходу готової продукції було виконано детальний розрахунок матеріального балансу. Встановлено, що для забезпечення планової добової продуктивності цеху в обсязі 20 тонн готової ячмінної та перлової крупи необхідно щодоби переробляти близько 30,3 тонн вихідної сировини. Поопераційний аналіз руху матеріальних потоків дозволив чітко визначити обсяги утворення цільових продуктів, високоцінної кормової мучки, а також технологічних відходів і втрат на кожному етапі - від первинного очищення та кондиціонування до фінального сортування й фасування.

Базуючись на результатах продуктового розрахунку, було здійснено науково обґрунтований підбір та розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання. Для усунення виявлених раніше «вузьких місць» виробництва в модернізовану схему інтегровано сучасний оптичний фотосепаратор Meyer 60S, автоматизовану систему зволоження А1-БШУ-1 та додаткові вальцові верстати БВ-2 для диференційованого подрібнення. Визначені коефіцієнти використання обладнання підтверджують раціональність його завантаження. Крім того, розроблено принципи компонування агрегатів у виробничих приміщеннях з дотриманням санітарних, протипожежних норм та вимог ергономіки. Впровадження запропонованих проєктних рішень не лише гарантуватиме безпеку й зручність обслуговування лінії, але й дозволить підприємству максимально ефективно використовувати сировинні ресурси, підвищити сортність круп та суттєво оптимізувати загальний виробничий процес.

4 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР

Адаптована до реалій вітчизняної харчової галузі система НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points) має на меті гарантувати абсолютну безпечність продовольства на кожному кроці його створення. Цей механізм контролює весь шлях продукції: від постачання вихідної сировини та її подальшої обробки до моменту потрапляння готового товару до рук покупця. Фактично під контроль підпадає весь виробничий ланцюг, що стартує з вирощування зерна і завершується його переробленням та подальшим продажем [4, с. 108].

В основі успішного функціонування цієї концепції лежать сім загальновизнаних світових принципів:

- ідентифікація ймовірних загроз та подальше оцінювання пов'язаних із ними ризиків;
- виявлення критичних контрольних точок (ККТ) безпосередньо у технологічних лініях;
- затвердження граничних (критичних) значень для кожної визначеної ККТ;
- створення алгоритмів постійного спостереження (моніторингу) за станом ККТ;
- розроблення коригувальних дій на випадок порушення встановлених лімітів;
- впровадження верифікаційних процедур, що підтверджують дієвість і результативність системи;
- ведення детальної звітності та документації щодо всіх запроваджених заходів [16, с. 121].

У ході дослідження технології виробництва ячної крупи на потужностях підприємства було виявлено комплекс імовірних загроз (зокрема біологічного, хімічного та фізичного походження), що можуть виникнути на різних етапах обробки. Детальний перелік критичних точок разом із методами управління ризиками наведено у табл. 4.1.

Варто зазначити, що концепція НАССР не висуває кардинально нових чи додаткових вимог для виробників. Її головна роль полягає у забезпеченні чіткої структуризації та впорядкуванні вже чинних виробничих, технологічних і санітарно-гігієнічних стандартів.

Таблиця 4.1 - Потенційно небезпечні чинники на технологічних етапах виробництва ячної крупи

Операція у складі процесу	Небезпечний чинник та його джерело	Заходи контролю
Зберігання вихідного ячменю в силосах	Розмноження амбарних шкідників, накопичення мікотоксинів, мікробіологічне забруднення пліснявими грибами [3, 5].	Комплексний лабораторний контроль вхідної сировини, моніторинг температури та вологості зернового насипу [1, 4].
Первинне та фінальне очищення зерна	Наявність металомагнітних домішок, мінерального пилу, каміння, важковідокремлюваних насінин бур'янів [18].	Налаштування повітряно-ситових сепараторів, встановлення фотосепаратора Meyer 60S, регулярний контроль сит.
Кондиціонування (зволоження та темперування)	Підвищена вологість ядра, ризик мікробіологічного обсіменіння, розвиток патогенів у бункерах відволоження [13, 40].	Автоматизований контроль витрати води апаратом А1-БШУ-1, чітке дотримання регламентованого часу темперування [15].
Лущення та триступеневе шліфування ядра	Забруднення продукту металевим пилом і сколами, потрапляння частинок зносу абразивних кругів машин А1-ЗШН-3[31].	Регулярна перевірка цілісності робочих органів машин, обов'язковий магнітний контроль потоку після кожної системи [24].
Диференційоване подрібнення (вальцові верстати БВ-2)	Наявність сторонніх часток, забруднення металом у разі аварійного дотику рифлених валків верстатів [25].	Безперервний магнітний захист, планово-попереджувальний ремонт верстатів, контроль зазору між валками [18].
Фракційне сортування та аспірація круп	Перехресне забруднення, накопичення залишків мучки (борошенця), забивання ситових поверхонь розсійників БРП.	Контроль стану ситових тканин розсійників БРП, очищення полімерними очисниками, перевірка ефективності аспірації.
Зберігання та пакування готової ячної крупи	Зараження гризунами, наявність БГКП, пліснявих грибів, МФАМ, потрапляння пакувального матеріалу.	Лабораторний контроль готової продукції перед відвантаженням, санітарне оброблення складів, герметичність пакування.

Завдяки цьому забезпечується прозорий і ефективний механізм контролю безпеки на кожному виробничому етапі, що полегшує процес управління як для керівництва підприємства, так і для робітників [16, с. 118].

За результатами аналізу даних, представлених у табл. 4.1, були визначені ключові контрольні точки процесу виробництва обраного харчового продукту. Для цього було використано класичне «дерево рішень», що відповідає другому базовому принципу міжнародної системи НАССР. Підсумкові результати аналізу представлені у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Виявлення критичних точок контролю (ККТ) при виробництві ячмінної круп

Операція у складі процесу	Питання 1	Питання 2	Питання 3	Питання 4	Чи є ККТ?
Зберігання зерна ячменю	Так	Так	-	-	Так (ККТ-1)
Очищення зерна від домішок	Так	Так	-	-	Так (ККТ-2)
Кондиціонування (зволоження)	Так	Ні	Так	Ні	Ні
Лущення та шліфування (А1-ЗШН-3)	Так	Ні	Так	Ні	Ні
Подрібнення ядра на верстатах БВ-2	Так	Так	-	-	Так (ККТ-3)
Фракційне сортування в розсійниках	Так	Ні	Так	Ні	Ні
Зберігання та пакування готової крупи	Так	Так	-	-	Так (ККТ-4)

Грунтовне дослідження даних таблиці 4.2 дозволяє констатувати, що в межах технологічної лінії з перероблення ячменю виокремлено чотири критичні контрольні точки (ККТ). До них належать: зберігання неробленої сировини, процес її очищення, дроблення зернівок із застосуванням вальцових верстатів БВ-2, а також етап фасування і подальшого зберігання готової крупи. Присвоєння цим стадіям статусу ККТ вказує на значну ймовірність виникнення ризиків, адже будь-яке відхилення від нормативних робочих режимів здатне безповоротно знизити якісні характеристики та безпечність харчової продукції для покупців. Ствердні відповіді на початкові два запитання щодо згаданих операцій

засвідчують присутність реальних загроз, а також підтверджують придатність цих етапів для проведення дієвого виробничо-лабораторного нагляду.

Той факт, що графи «Питання 3» і «Питання 4» залишилися незаповненими, пояснюється відсутністю потреби у подальшому використанні дерева прийняття рішень для цих операцій. Ідентифікація ККТ беззаперечно та успішно відбулася вже за першими двома критеріями методології НАССР. Подібний інженерний підхід є цілком раціональним: якщо початкові запитання алгоритму дають чітку згоду щодо необхідності фіксації критичної точки, продовжувати опитування немає сенсу. Підсумки цього аналізу вкотре доводять нагальну потребу суворого контролю за кожною стадією перероблення ячменю, щоб гарантувати стабільний випуск ячної крупи, яка відповідатиме всім нормам ДСТУ та критеріям безпеки.

Подальший крок полягає у визначенні та затвердженні граничних значень (критичних меж) для кожної з виявлених ККТ у циклі виготовлення цільового продукту. Такі дії є обов'язковими згідно з третім принципом концепції НАССР, що вимагає підтримання повної безпеки протягом усього технологічного процесу [16, с. 118]. Ключові показники та нормативна база, необхідні для успішного виконання цього завдання і забезпечення належного рівня контролю, відображені у таблиці 4.3.

Серед таких ключових виробничих етапів виокремлюють чотири основні:

1. Довготривале розміщення неробленої зернової маси в елеваторних силосах (ККТ-1).
2. Вилучення сторонніх включень із ячменю методом сепарації (ККТ-2).
3. Фракційне дроблення попередньо відшліфованих ядер із застосуванням вальцьових механізмів БВ-2 (ККТ-3).
4. Кінцеве складування та фасування виробленої крупи перед її постачанням на ринок (ККТ-4) [13, 16].

Отже, за результатами комплексного вивчення технології виготовлення ячної крупи на базі підприємства, було виявлено та науково доведено наявність чотирьох критичних контрольних точок на ключових стадіях виробничого циклу.

Таблиця 4.3 - Специфікація критичних меж для критичних точок контролю (ККТ) виробництва ячної крупи

Критичні контрольні точки (ККТ)	Потенційні ризики за видами (є «+» / немає «-»)			Характеристики небезпечних чинників (нормативні показники)	Граничне значення ККТ відповідно до ТУ/ДСТУ
	Біо	Хім	Фіз		
ККТ-1: Зберігання зерна ячменю в силосах	+	+	-	Вміст мікотоксинів (Афлатоксин В1, Зеараленон); вологість сировини.	Афлатоксин В1 0,005 мг/кг; Зеараленон 1,0 мг/кг; Вологість зерна 14,5%.
ККТ-2: Очищення зерна від домішок	-	-	+	Наявність металоманітних домішок, мінерального сміття (камінців).	Металоманітні домішки - не допускаються; Мінеральні домішки - не допускаються.
ККТ-3: Подрібнення ядра на верстатах БВ-2	-	-	+	Вміст металоманітних домішок у продукті розмелу (на 1 кг крупи).	3,0 мг на 1 кг готової крупи; Розмір частинок металу 0,3 мм.
ККТ-4: Зберігання та пакування готової крупи	+	-	+	Наявність БГКП, пліснявих грибів, МФАМ, ознак зараження шкідниками чи гризунами.	БГКП - не допускаються в 0,1 г; Плісняві гриби 1,0 * 10 ² КУО/г; МАФАнМ 1,0*10 ⁴ КУО/г; Екскременти шкідників - не допускаються.

У межах кожної встановленої критичної точки контролю було здійснено глибоку оцінку ймовірних небезпек біологічного, фізичного та хімічного характеру. Водночас, спираючись на актуальні державні нормативи та настанови системи НАССР щодо захисту продовольства, було зафіксовано точні граничні параметри.

Ці ліміти чітко регламентують максимально допустимий рівень мікробіологічних індикаторів, а також вміст мікотоксинів і металоманітних домішок [4, 32].

На додаток до цього, фахівці розробили та запровадили дієві алгоритми безперервного спостереження як на виробничому, так і на лабораторному рівнях. Головне завдання таких моніторингових дій - забезпечувати стабільно високі показники якості та надавати стовідсоткову гарантію безпечності готового круп'яного виробу для кінцевого споживача [14, 54].

Висновки за розділом

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи було ґрунтовно досліджено та теоретично обґрунтовано необхідність впровадження елементів міжнародної системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР) на модернізованій технологічній лінії переробки ячменю. Проведений комплексний аналіз потенційних ризиків (біологічних, хімічних та фізичних) дозволив деталізувати небезпечні чинники, що можуть виникнути на кожному етапі виробничого циклу: від приймання зернової сировини до зберігання готової запакованої крупи. На основі методології «дерева рішень» було достовірно ідентифіковано чотири критичні контрольні точки (ККТ), які потребують безперервного посиленого моніторингу: зберігання неробленого зерна (ККТ-1), сепараційне очищення (ККТ-2), диференційоване подрібнення ядра на вальцових верстатах (ККТ-3) та фінальне фасування і зберігання готової продукції (ККТ-4).

Запровадження системи НАССР на підприємстві ТОВ «Хлібний край Привільне» не лише забезпечує сувору відповідність продукції законодавчим вимогам щодо харчової безпеки, але й створює прозорий та керований механізм попередження виробничого браку. Це є стратегічно важливим кроком для гарантування абсолютної безпеки кінцевого споживача, підвищення довіри до бренду та посилення конкурентних позицій підприємства на продовольчому ринку.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Проектування та формування Карти безпеки праці

До базового переліку структурних блоків, які доцільно інтегрувати в архітектуру Карти безпеки для об'єктів зернопереробної та круп'яної промисловості, належать такі складові:

- вступні відомості й загальні правила поведінки для колективу заводу;
- посадові інструкції та зобов'язання персоналу у площині забезпечення безпеки життєдіяльності;
- класифікація ключових загроз, а також шкідливих та небезпечних чинників робочого середовища;
- комплекс профілактичних заходів та регламент інспектування робочого простору перед запуском зміни;
- нормативи безпечного поводження під час безпосереднього керування та експлуатації агрегатів круп'яного комплексу;
- правила гігієни, промислової санітарії та техніки безпеки після завершення трудової зміни;
- інструкції з безпеки та покрокові сценарії дій робітників у разі виникнення форс-мажорних чи аварійних обставин [15].

Окрім перелічених сегментів, цей документ має акумулювати розгорнуті відомості про засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), застосування яких є безальтернативним на кожній технологічній ділянці. Сюди належать параметри респіраторів, призначених для ізоляції органів дихання від агресивного впливу тонкодисперсного ячмінного пилу, а також характеристики спецодягу та захисного взуття, оснащеного підошвою проти ковзання.

Окрему увагу слід приділити блоку екстреного реагування, що регламентує чітку послідовність дій у разі локальних загорянь, емісії токсичних сполук, механічного травмування персоналу рухомими деталями машин чи раптового

виходу з ладу технічних вузлів [13, 25]. Вагомою складовою є інформаційне маркування місць розташування шляхів евакуації, первинних інструментів пожежогасіння, медичних аптечок для надання першої допомоги, а також комунікаційних систем для термінового зв'язку з аварійними службами [6, 10].

Візуалізована модель потенційної структури та наповнення цього документа наочно відображена на рис. 5.1, де продемонстровано системний взаємозв'язок та ієрархію всіх інформаційних модулів.

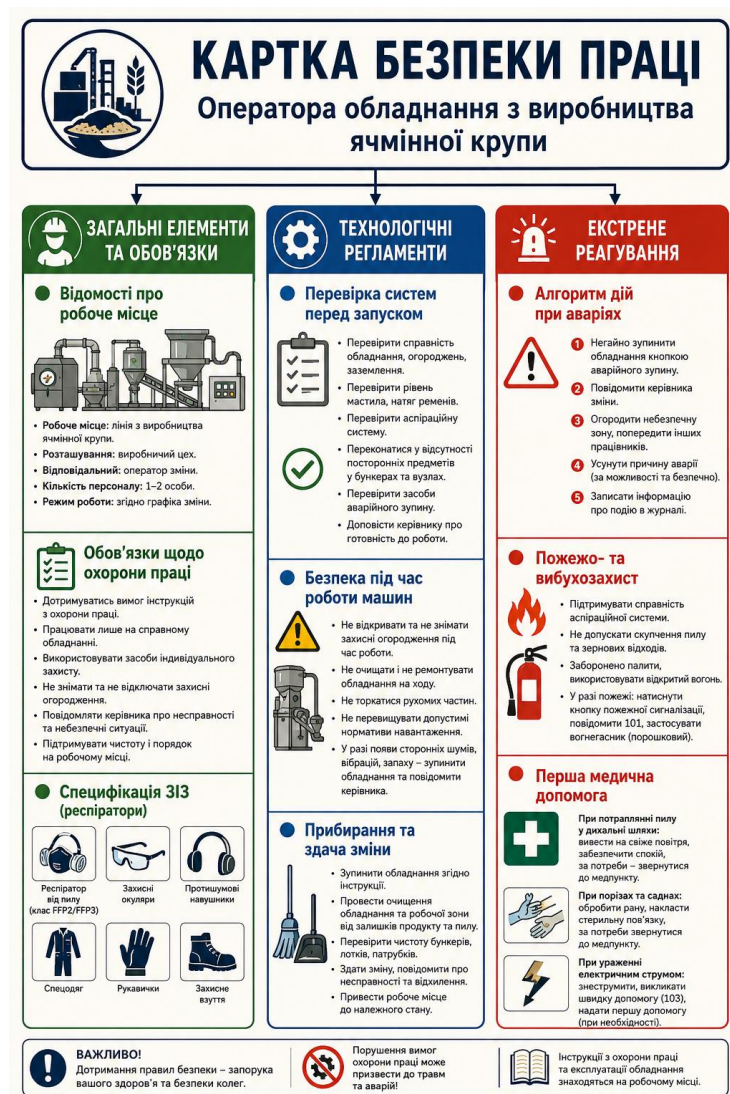


Рис. 5.1- Картка безпеки праці оператора обладнання для лушення, подрібнення та сортування ячмінної крупи.

Разом з тим, Карта безпеки доповнюється затвердженим планом-графіком здійснення періодичних навчань та інструктажів з охорони праці (включаючи вступні, первинні та повторні цикли), а також актуальними номерами телефонів осіб, які контролюють безпеку на виробництві, та чергової медслужби [16].

Невід'ємною частиною документа виступає аналітичний блок, присвячений унікальним загрозам круп'яного цеху. Зокрема, особлива увага приділяється високій імовірності детонації або самозаймання пиловспензій ячмінного борошна всередині аспіраційних комунікацій, загрозам механічного травмування рук та пальців під час обслуговування повітряно-ситових сепараційних установок серії БСХ, шліфувально-луцильних агрегатів А1-ЗШН-3 і вальцових верстатів модифікації БВ-2, а також безальтернативним санітарно-гігієнічним регламентам, що діють у харчовій індустрії [53]. Ця Карта підлягає систематичній актуалізації у разі трансформації технологічних алгоритмів, оновлення парку машин або корегування національного законодавства у сфері безпеки життєдіяльності. Вона обов'язково має містити відмітку про дату поточної ревізії та автентичні підписи посадовців, які відповідають за охорону праці [8.12].

На основі цих критеріїв було сформовано покроковий інструктаж для колективу виробничої дільниці, повний текст якого наведено у Додатку В.

У кінцевому підсумку, проектування та впровадження таких персоналізованих Карт безпеки виступає базовим інструментом не лише для локалізації потенційних техногенних загроз, а й для виховання у працівників зернопереробного комплексу свідомої мотивації щодо безаварійного ведення робіт. Інтеграція подібних локальних інструктивно-методичних матеріалів вважається одним із найдієвіших способів підтримання високих стандартів промислової безпеки, профілактики виникнення хронічних професійних патологій та комплексного захисту здоров'я й життя безпосередніх учасників виробничого процесу.

5.2 Раціональне поводження з побічними продуктами та відходами виробництва

У ході технологічного перероблення зерна ячменю на крупу неминуче виникає супутній масив відходів різного походження, менеджмент яких має суворо підпорядковуватися чинним екологічним, санітарно-гігієнічним та фінансово-економічним критеріям. До ключових компонентів цієї категорії належать зерновий та мінеральний пил, фрагменти квіткових і плодових оболонок (лузга), дефектне й недорозвинене насіння, сторонні мінеральні та рослинні домішки, а також відходи життєдіяльності персоналу та допоміжних служб [8,12].

Аспіраційні комплекси високої потужності, інтегровані у критичних вузлах лінії, акумулюють залишки, що виділяються під час очищення, сепарування, лущення та фінішного шліфування сировини. Процес депиляції робочих зон здійснюється за допомогою циклонів та тканинних рукавних фільтрів, які забезпечують централізоване вловлювання мікрочастинок із наступним їх переміщенням у герметичні бункери та накопичувачі. Завдяки цьому мінімізується концентрація пилу в повітрі робочих приміщень, що оптимізує умови праці робітників та знижує техногенне навантаження на довкілля. Зібрані пилоподібні маси згодом відвантажуються спеціалізованим операторам для подальшої переробки чи безпечного захоронення [18, 26].

Продукти органічного походження - зокрема, кормове борошенце (мучка), подрібнені ячмінні частинки та уламки ядер - не підлягають ліквідації як сміття, оскільки мають високу поживну цінність [50, 52]. Переважно їх спрямовують на потреби тваринницьких і фермерських комплексів для збагачення раціону худоби або застосовують як базовий інгредієнт під час випуску повнораціонних комбікормів [27, 48]. Ця стратегія дозволяє кардинально зменшити обсяги накопичення відходів і водночас гарантує раціональне використання біологічних ресурсів, багатих на рослинний білок, клітковину та мікроелементи. У підсумку

завод не лише нівелює ризики забруднення екосистеми, а й формує додаткові канали доходу за рахунок реалізації ліквідної побічної продукції [28, 36].

Якщо певні типи біологічних залишків (наприклад, грубі соломисті фракції або мінеральний осад, вилучений на першому етапі сепарації) не можуть бути використані у тваринництві, їх перенаправляють на промислове компостування. У партнерстві з агрохолдингами чи профільними компаніями, що спеціалізуються на виготовленні екологічних добрив, ці компоненти трансформуються в корисні біосубстрати для відновлення родючості сільськогосподарських угідь [29, 38].

Побутове та господарське сміття, що генерується в адміністративно-побутових зонах (роздягальнях, санвузлах, кімнатах відпочинку), разом із відпрацьованою тарою та пакувальними матеріалами, сортується за категоріями згідно з вимогами природоохоронного законодавства. У разі накопичення небезпечних речовин - наприклад, відпрацьованих технічних мастил і змащувальних матеріалів, що утворюються під час сервісного обслуговування луцильних машин А1-ЗШН-3 та вальцових агрегатів БВ-2 - їх збирання, тимчасове зберігання та подальшу деструкцію доручають виключно ліцензованим підприємствам, які мають відповідні дозвільні документи та сертифікати [39, 41].

Діюча на підприємстві схема поводження з відходами має ієрархічну структуру та базується на концепції екологічної відповідальності. В її основі лежить ощадливе природокористування та мінімізація антропогенного тиску на навколишнє середовище. Реалізований інженерний підхід дозволяє підтримувати стабільність і маловідхідність ключових технологічних процесів, повністю задовольняючи екологічні регламенти та глобальні принципи сталого розвитку харчового сектору [45].

Головними векторами проведеного дослідження виступили гарантування безпеки персоналу та раціоналізація утилізаційних процесів. З метою зниження рівня виробничого травматизму та стандартизації дій колективу було сформовано персональну карту безпеки праці. У ній деталізовано правила поведінки для

операторів, зафіксовано специфічні фактори небезпеки круп'яного виробництва та прописано чіткі алгоритми дій у разі виникнення позаштатних або аварійних ситуацій [47].

Екологічна складова проекту повністю зосереджена на раціональному розподілі та повторному залученні в оборот кормової мучки, зернового пилу, а також інших органічних і мінеральних фракцій. Усі супутні матеріали проходять диференційоване сортування для подальшого виготовлення кормів чи задоволення технічних потреб, а непридатні залишки передаються на сертифіковану утилізацію [49]. Такий підхід нівелює загрозу забруднення біосфери та попереджає безповоротну втрату цінних ресурсів. Завод суворо дотримується чинних стандартів охорони праці, демонструючи високий рівень екологічної культури та роблячи внесок у сталий розвиток зернопереробної індустрії.

Висновки за розділом

У п'ятому розділі кваліфікаційної роботи було детально опрацьовано комплекс питань, пов'язаних із забезпеченням безпеки життєдіяльності персоналу та екологічною стійкістю модернізованого круп'яного цеху ТОВ «Хлібний край Привільне». З метою стандартизації превентивних заходів та мінімізації виробничого травматизму було розроблено концептуальну Карту безпеки праці оператора технологічної лінії. Цей інструктивно-методичний документ чітко регламентує алгоритми безпечної експлуатації ключових агрегатів (сепараторів БСХ, машин А1-ЗШН-3, верстатів БВ-2), визначає обов'язковий перелік засобів індивідуального захисту для роботи в умовах підвищеної запиленості, а також містить покрокові сценарії реагування на надзвичайні ситуації, включно з ризиками займання пиловоспелі. Впровадження такої Карту формує високу культуру безпеки та відповідальності на робочих місцях.

Крім того, ґрунтовно проаналізовано стратегію поводження з побічними продуктами та відходами, що генеруються під час переробки ячменю.

Встановлено, що підприємство реалізує концепцію маловідхідного виробництва: органічні залишки (кормова мучка, лузга, дрібка) не класифікуються як сміття, а спрямовуються на потреби комбікормової галузі або для виробництва біодобрив, що забезпечує додатковий економічний ефект. Ефективна робота централізованих систем аспірації мінімізує викиди зернового пилу в атмосферу, а сортування і ліцензована утилізація небезпечних технічних відходів (наприклад, відпрацьованих мастил) гарантують дотримання суворих природоохоронних норм. Таким чином, запропоновані інженерні та управлінські рішення повною мірою відповідають принципам сталого розвитку, забезпечуючи баланс між промисловою ефективністю, безпекою праці та захистом навколишнього середовища.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Беручи до уваги задані умови щодо технічного переоснащення та раціоналізації виробничих потужностей для виготовлення перлової і ячної круп, постає об'єктивна необхідність у проведенні глибоких економічних розрахунків. Зокрема, вимагається комплексний аналіз ключових фінансово-технічних маркерів. До їхнього числа належать:

- капіталовкладення (із детальним розподілом на основні та додаткові статті витрат);
- поточні експлуатаційні видатки, пов'язані з переробленням зернової маси;
- прогнозований економічний ефект (очікуваний прибуток за рік);
- період окупності залучених інвестиційних коштів.

Аби забезпечити максимальну об'єктивність під час оцінювання та зіставлення показників прибутковості запланованої модернізації, у процесі проектування вивчався реальний виробничий і комерційний досвід споріднених компаній харчової галузі [6, 8, 11]. Як головний галузевий бенчмарк було обрано структуру експлуатаційних видатків та організаційно-технічні характеристики ТОВ «Хлібний край Привільне».

Зважаючи на лідерські позиції цього підприємства на українському ринку зернопереробки та створення харчової продукції швидкого приготування, його комплексні критерії (рівень механізації процесів, енергозатратність розмелювання у розрахунку на одиницю товару, ергономічні показники робочих зон) стали надійною базою для нашого дослідження [1-5]. Врахування передового досвіду та детальний розбір складових собівартості продукції товариства дали змогу раціоналізувати енергетичні потреби й обсяги інвестицій для оновленої ділянки виготовлення ячмінних круп, що гарантуватиме її конкурентоспроможність у мінливому ринковому середовищі.

Аргументоване обчислення зазначених вище фінансових індикаторів спирається на використання фактичних інженерних даних та технічних

специфікацій круп'яного об'єкта [6, 10]. Увесь комплекс вихідних нормативних величин, що застосовуються для аналітичного та математичного моделювання, систематизовано у табл. 6.1 та винесено у додаток Г. Обраний методологічний підхід гарантує високу достовірність, комплексність і точність підсумкових висновків з урахуванням поточних фінансово-економічних реалій.

Таблиця 6.1 - Вихідні дані до розрахунку показників економічної ефективності (у цінах 2026 року)

Показники	Значення показника
Вид готової продукції	Крупа ячмінна (ячна/перлова)
Обсяг сировини, що поступає на переробку, т	650,0
Вартість 1 т вихідної сировини (зерна ячменю), грн	9 500,00
Ціна 1 т готової ячмінної крупи, грн	22 000,00
Сумарний вихід готової продукції (круп), %	66
Кількість основних працівників круп'яного цеху, осіб	8
Середньомісячна заробітна плата одного працівника, грн	24 000,00
Річні витрати електроенергії технологічним обладнанням, кВт	29 500
Ціна 1 кВт·год. електроенергії для підприємств, грн	8,50
Обсяг додаткових капітальних вкладень на модернізацію, грн	720 000,00

Ці дані виступають базою для оцінки економічної ефективності впровадження змін у технологічний процес, що має на меті підвищення продуктивності підприємства та зменшення витрат.

Для здійснення економічної оцінки проєкту модернізації лінії переробки голозерного ячменю на ячну крупу та ячну крупу швидкого приготування необхідно обчислити наступні ключові показники:

1.Вартість сировини, що надходить на переробку (B_n), у гривнях:

$$B_n = Q_n \cdot C_n \quad (6.1)$$

де Q_n -обсяг сировини, що поступає на переробку, т. $Q_n = 650$ т;

C_n -ціна однієї тонни сировини (ячменю), грн. $C_n = 9\,500$ грн.

Отже,

$$B_n = 650 \cdot 9\,500 = 6\,175\,000 \text{ грн.}$$

Відповідно до базового варіанту, сумарний вихід готової продукції становить 66% у вигляді ячної крупи. У проєктному варіанті передбачається, що

половина отриманої крупи буде використана для виробництва ячної крупи швидкого приготування (пластівців або термообробленої крупи).

2.Обсяг отриманої крупи (Ояч), т:

$$\text{Ояч} = Q_n \cdot \text{Вяч} \quad (6.2)$$

для базового варіанту:

$$\text{Ояч} = 650 \cdot 0,66 = 429 \text{ т}$$

для проєктного варіанту:

Ояч = 214,5 т (крупа ячна звичайна); Ояч.шв = 214,5 т (крупа ячна швидкого приготування)

3.Вартість всієї отриманої крупи (Вяч.заг, грн.:

$$\text{Вяч} = \text{Ояч} \cdot \text{Цяч} \quad (6.3),$$

де Цяч -ціна однієї тонни звичайної ячної крупи, грн. Цяч = 22 000 грн;

Цяч.шв -ціна однієї тонни крупи швидкого приготування, грн. Цяч.шв= 31 000 грн.

для базового варіанту:

$$\text{Вяч.заг} = 429 \cdot 22\,000 = 9\,438\,000 \text{ грн.}$$

для проєктного варіанту:

$$\text{Вяч} = 214,5 \cdot 22\,000 = 4\,719\,000 \text{ грн}$$

$$\text{Вяч.шв} = 214,5 \cdot 31\,000 = 6\,649\,500 \text{ грн.}$$

$$\text{Вяч.заг} = 4\,719\,000 + 6\,649\,500 = 11\,368\,500 \text{ грн.}$$

4.Експлуатаційні витрати (ЕВ) всього, грн.:

$$\text{ЕВ} = \text{ЗП} + \text{А} + \text{Вел} + \text{Врем} + \text{ІВ} \quad (6.4)$$

Заробітна плата (ЗП) з нарахуваннями, грн.:

$$\text{ЗП} = \text{ЗПср} \cdot \text{Кпр} \cdot 12 \quad (6.5)$$

де ЗПср -середньомісячна заробітна плата одного працівника з нарахуваннями, грн.

$$\text{ЗПср} = 24\,000 \text{ грн;}$$

Кпр -кількість основних робітників, чол. Кпр = 8 чол.

Зважаючи на той факт, що модернізація не вплинула на чисельність персоналу, розмір заробітної плати залишатиметься незмінним як у рамках базового сценарію, так і у випадку реалізації проєктного варіанту:

$$ЗП = 24\,000 \times 8 \cdot 12 = 2\,304\,000 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування (А), грн.:

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{100}, \quad (6.6)$$

де α - річна норма амортизації обладнання, яка складає 10%;

Б - балансова вартість основних виробничих фондів, грн.

Під час проведення розрахунків для базового варіанту приймається, що вартість фондів становить 1 200 000 грн. У проєктному варіанті передбачено зростання загальної вартості основних виробничих фондів до 2 000 000 грн (з урахуванням додаткових капіталовкладень у розмірі 720 000 грн та витрат на монтаж).

Для базового варіанту:

$$A = 1\,200\,000 \cdot 10/100 = 120\,000 \text{ грн.}$$

для проєктного варіанту:

$$A = \frac{1\,200\,000 \cdot 10}{100} = 200\,000$$

Вартість електроенергії (Вел), грн.:

$$Вел = Q_{ел} \cdot Цел \quad (6.7)$$

де $Q_{ел}$ - річні витрати електроенергії, кВт·год;

Цел - ціна одного кВт·год електроенергії для підприємств, грн. Цел = 8,50 грн.

Під час модернізації технологічної лінії (впровадження етапів гідротермічної обробки) річні витрати електроенергії зросли на 17 213 кВт·год і сумарно складають $Q_{ел} = 46\,713$ кВт·год.

для базового варіанту:

$$\text{Вел} = 29\,500 \cdot 8,50 = 250\,750 \text{ грн.}$$

для проєктного варіанту:

$$\text{Вел} = 46\,713 \cdot 8,50 = 397\,060,5 \text{ грн.}$$

Витрати (Врем) на поточний ремонт та технічне обслуговування складають 30% від суми амортизаційних відрахувань, грн.:

$$\text{Врем} = \frac{A \cdot 30}{100} \quad (6.8)$$

для базового варіанту:

$$\text{Врем} = \frac{200\,000 \cdot 30}{100} = 60\,000 \text{ грн.}$$

для проєктного варіанту:

$$\text{Врем} = \frac{200\,000 \cdot 30}{100} = 60\,000 \text{ грн}$$

Інші витрати (ІВ) складають 3% від суми попередніх експлуатаційних витрат, грн.:

$$\text{ІВ} = \frac{\text{ЗП} + A + \text{Вел} + \text{Врем}}{100} \cdot 3 = 60\,000 \text{ грн} \quad (6.9)$$

$$\text{ІВ} = \frac{230\,4000 + 120\,000 + 250\,750 + 36\,000}{100} \cdot 3 = 60\,000 = 81\,322,5 \text{ грн}$$

для проєктного варіанту:

$$\text{ІВ} = \frac{230\,4000 + 200\,000 + 397\,060,5 + 60\,000}{100} \cdot 3 = 88\,831,8 \text{ грн}$$

Тоді загальні експлуатаційні витрати (ЕВ) будуть рівні:

для базового варіанту:

$$\text{ЕВ} = 2\,304\,000 + 120\,000 + 250\,750 + 36\,000 + 81\,322,5 = 2\,792\,072,5 \text{ грн.}$$

для проєктного варіанту:

$$EB = 2304\,000 + 200\,000 + 397060,5 + 60\,000 + 88831,8 = 3049\,892,3 \text{ грн.}$$

5.Повна собівартість продукції (ПС), грн.:

Ураховуючи загальнозаводські коефіцієнти заготівельно-складських та загальних витрат на сировину (2% або коефіцієнт 1,02):

$$ПС = EB + B_n \cdot 1,02 \quad (6.10)$$

для базового варіанту:

$$ПС = 2792\,072,5 + 6\,175\,000 \cdot 1,02 = 9\,090\,572,5 \text{ грн.}$$

для проєктного варіанту:

$$ПС = 3\,049\,892,3 + 6\,175\,000 \cdot 1,02 = 9\,348\,392,3 \text{ грн}$$

Вартість всієї реалізованої продукції (Впр), грн.:

Відповідно до рівнянь (6.11)

$$\text{для базового варіанту: } Впр = 9438000 \text{ грн.}$$

$$\text{для проєктного варіанту: } Впр = 11\,368\,500 \text{ грн.}$$

6.Загальний чистий прибуток (П), грн.:

$$П = Впр - ПС \quad (6.12)$$

для базового варіанту:

$$П = 9438000 - 9\,090\,572,5 = 347\,427,5 \text{ грн.}$$

для проєктного варіанту:

$$П = 11\,368\,500 - 9\,348\,392,3 = 2\,020\,107,7 \text{ грн.}$$

7.Приріст річного прибутку ($\Delta П$):

$$\Delta П = 2020\,107,7 - 347\,427,5 = 1\,672\,680,2 \text{ грн.}$$

Рівень рентабельності продукції (Р), %:

$$Р = \frac{П}{ПС} \cdot 100 \quad (6.13)$$

для базового варіант

$$Р = \frac{347427,5}{9090572,5} \cdot 100\% = 3,82\%$$

для проєктного варіанту:

$$P = \frac{2020107,7}{9348392,3} \cdot 100\% = 21,61\%$$

8. Термін окупності додаткових капітальних вкладень (T_o), років:

$$T_o = \frac{Бдод}{\Delta П} \quad (6.14)$$

де Бдод-обсяг додаткових капітальних вкладень на модернізацію ліній, грн (720 000 грн).

$$T_o = \frac{720000}{1672680,2} = 0,43 \text{ року} \quad (\text{близько 5 місяців}).$$

Удосконалення технологічної лінії виробництва ячмінної крупи, яке передбачає впровадження високоефективних етапів кондиціонування та гідротермічної обробки ядра, сприятиме суттєвому збільшенню річного чистого прибутку підприємства на 1 672680,2 грн. При цьому термін окупності додаткових капітальних інвестицій, спрямованих на закупівлю модернізованих вузлів, становитиме лише 0,43 року, що підтверджує високу фінансову доцільність проєкту.

Відповідно до розрахованих даних табл. 6.2 та 6.3, рис.6.1 можна зробити однозначний висновок, що техніко-економічні показники впроваджуваного варіанту демонструють високу ефективність.

Перехід на диференційований випуск класичної ячної крупи та високомаржинальної крупи швидкого приготування дозволяє підприємству гнучко реагувати на попит, оптимізувати використання енергоресурсів навіть за умов високих тарифів 2026 року, суттєво підвищити загальний рівень рентабельності з низьких 3,82% до стабільних 21,61%, та успішно конкурувати з провідними об'єктами зернопереробної галузі України.

Таблиця 6.2 - Техніко-економічні показники впроваджуваного проєкту

Показники	Базовий варіант	Удосконалений проєкт	Відхилення (+/-)
Вид готової продукції	Крупа	Крупа ячмінна, крупа ячмінна	-

	ячмінна	швидкого приготування	
Кількість сировини на обробку, т/рік	650,0	650,0	0,0
Загальна вартість закупленої сировини, грн.	6 175 000,0	6 175 000,0	0,0
Кількість виробничих працівників, люд.	8	8	0,0
Експлуатаційні затрати по цеху, грн. всього:	2 792 072,5	3 049 892,3	+257 819,8
у тому числі:			
-заробітна плата з нарахуваннями	2 304 000,0	2 304 000,0	0,0
-амортизаційні відрахування обладнання	120 000,0	200 000,0	+80 000,0
-затрати на ТО та поточний ремонт	36 000,0	60 000,0	+24 000,0
-витрати на технологічну електроенергію	250 750,0	397 060,5	+146 310,5
-інші непередбачувані витрати цеху	81 322,5	88 831,8	+7 509,3
Повна собівартість готової продукції, грн.	9 090 572,5	9 348 392,3	+257 819,8
Товарна вартість випущеної продукції, грн.	9 438 000,0	11 368 500,0	+1 930 500,0
Чистий прибуток підприємства, грн.	347 427,5	2 020 107,7	+1 672 680,2
Рівень рентабельності виробництва, %	3,82 %	21,61 %	+17,79 %
Термін окупності інвестицій (То), років	-	0,43	-

Щоб детальніше продемонструвати вплив диверсифікації продукції на загальний прибуток підприємства після технічного переоснащення, структуру обсягів та фінансової віддачі наведено у таблиці 6.4 нижче.

Таблиця 6.3 - Базовий фракційний вихід продуктів переробки ячменю у крупоцеху

Найменування вихідних фракцій переробки	Нормативний вихід, % від маси нетто сировини	Проектний вихід після модернізації лінії, %
Крупа ячмінна (ячна/перлова) - разом	63,0 -65,0	66,0
у тому числі: велика фракція (№ 1)	15,0	10,0
середня фракція (№ 2)	30,0	36,0

дрібна фракція (№ 3)	19,0	20,0
Побічні продукти (мучка крупоTarget)	10,0	9,0
Відходи виробництва (лузга, квіткові оболонки)	14,0	13,8
Некормові відходи (сміття) та усушка	11,0	11,2
Усього (баланс сировини)	100,0	100,0

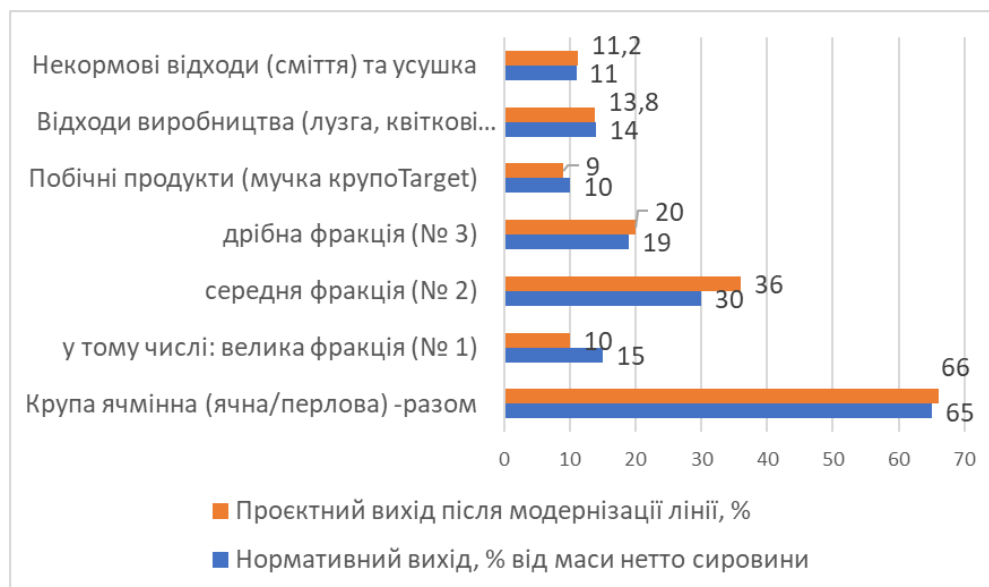


Рис.6.1 - Динаміка виходу продукції у крупоцеху у ході модернізації, %.

Завдяки переорієнтації на комбіноване виробництво традиційної крупи та продукту швидкого приготування (що має значно вищу додану вартість), підприємство зможе адаптивно реагувати на ринкові тренди. Такий підхід гарантує раціональне використання енергоресурсів навіть за умови високих тарифів 2026 року, допомагає підняти загальну рентабельність із критичних 3,82% до стабільних 21,61% та забезпечує міцні конкурентні позиції серед провідних зернопереробних компаній України.

Таблиця 6.4 - Структура виробництва та реалізації готової продукції (за проектним варіантом)

Вид готової продукції	Обсяг випуску, т	Частка у загальному обсязі, %	Ціна за 1 т, грн	Загальна вартість реалізації, грн
Крупа ячна (традиційна)	214,5	50,0	22 000,00	4 719 000,00

Крупа ячна (швидкого приготування)	214,5	50,0	31 000,00	6 649 500,00
Усього (баланс продукції):	429,0	100,0		

Порівняльний аналіз окремих статей поточних видатків круп'яного цеху для базового та запропонованого варіантів виробництва представлено у таблиці 6.5, дані якої є основою для подальшого графічного моделювання структури експлуатаційних витрат.

Таблиця 6.5 - Структура експлуатаційних витрат, грн

Стаття експлуатаційних витрат	Базовий варіант	Удосконалений проєкт
Заробітна плата з нарахуваннями	2304000.0	2304000.0
Амортизаційні відрахування	120000.0	200000.0
Витрати на ТО та ремонт	36000.0	60000.0
Витрати на електроенергію	250750.0	397060.5
Інші непередбачувані витрати	81322.5	88831.8

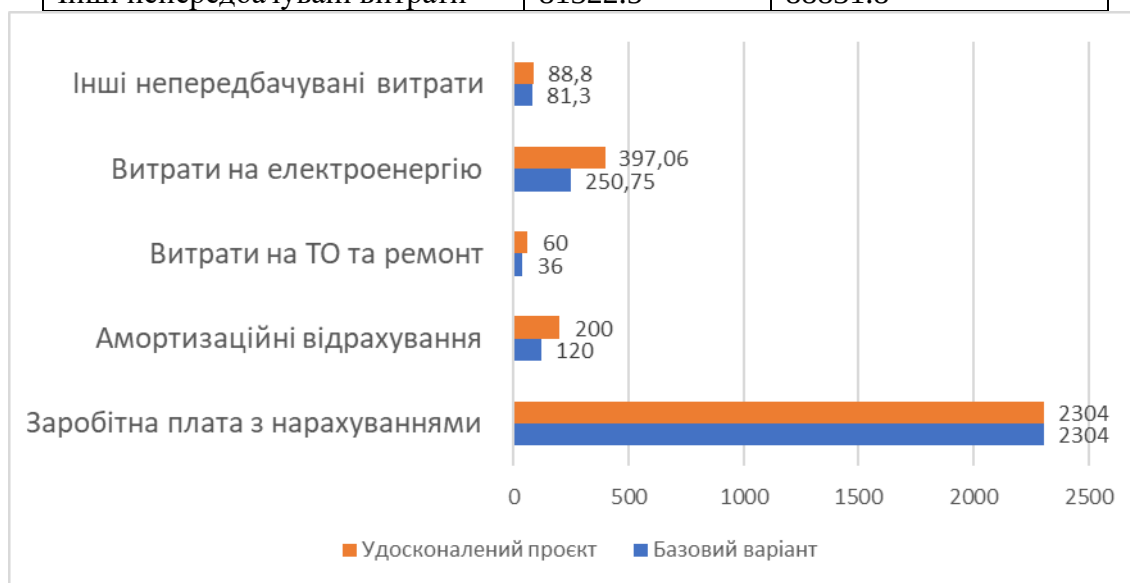


Рис. 6.2 - Динаміка експлуатційних витрат у ході реалізації проєкту., тис.грн.

Зведені вартісні маркери повної собівартості, обсягів реалізації та чистого прибутку підприємства, що наочно відображають загальний інтегральний ефект від технічного переоснащення лінії, наведено у таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 - Ключові фінансово-економічні маркери, грн

Економічний показник	Базовий варіант	Удосконалений проєкт
----------------------	-----------------	----------------------

Повна собівартість готової продукції	9090572.5	9348392.3
Товарна вартість випущеної продукції	9438000.0	11368500.0
Чистий прибуток підприємства	347427.5	2020107.7

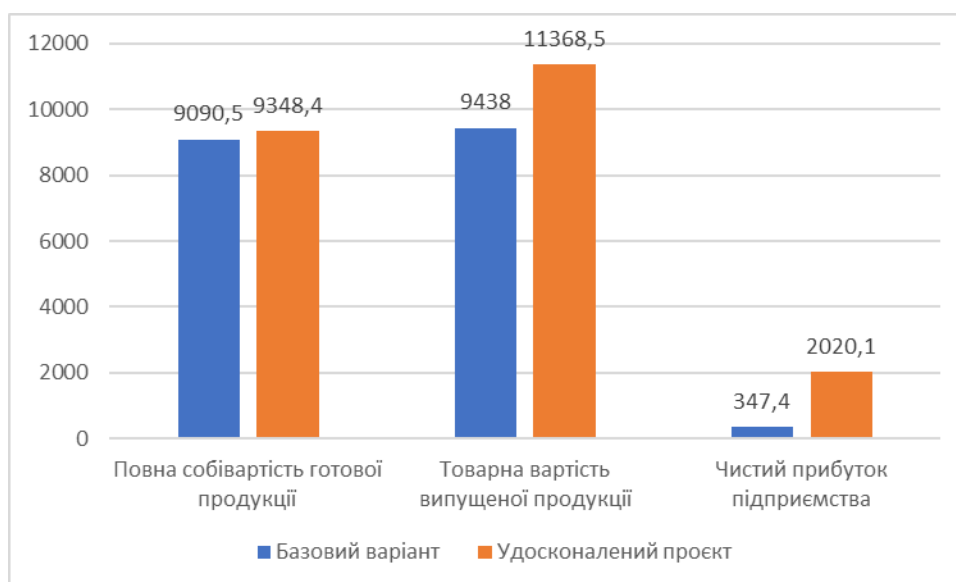


Рис.6.3 - Динаміка фінансово-економічних маркерів у ході реалізації проєкту, тис.грн.

Висновки за розділом

У шостому розділі кваліфікаційної роботи було здійснено детальне техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження проєкту модернізації лінії переробки ячменю на базі ТОВ «Хлібний край Привільне». Проведені розрахунки, які спиралися на реальні ринкові ціни та обсяги переробки сировини (650 тонн на рік), дозволили об'єктивно оцінити структуру експлуатаційних витрат. Аналіз засвідчив, що встановлення додаткового високотехнологічного обладнання очікувано призводить до незначного збільшення повної собівартості продукції (за рахунок зростання амортизаційних відрахувань, витрат на поточний ремонт та збільшення споживання технологічної електроенергії). Проте ці додаткові поточні

видатки повністю нівелюються за рахунок оптимізації загального виходу готової крупи.

Головним рушієм фінансового успіху запропонованого проєкту стала диверсифікація асортименту - перехід на комбінований випуск класичної ячної крупи та високомаржинальної крупи швидкого приготування (у співвідношенні 50 % на 50 %). Завдяки реалізації продукції з вищою доданою вартістю загальна товарна вартість випущеної продукції зросла на 1,93 млн грн. Як наслідок, чистий річний прибуток підприємства збільшився на 1,67 млн грн і сягнув позначки у понад 2,02 млн грн. При цьому загальний рівень рентабельності виробництва продемонстрував стрімке зростання: із критично низьких 3,82 % у базовому варіанті до економічно стабільних 21,61 % після технічного переоснащення.

Визначений термін окупності додаткових капітальних інвестицій (що становлять 720 тисяч гривень) дорівнює лише 0,43 року, тобто фактично витрати повернуться підприємству за п'ять місяців безперебійної роботи. Такі потужні показники фінансової віддачі, швидка оборотність залучених коштів та суттєве поліпшення конкурентних позицій на ринку беззаперечно доводять високу економічну доцільність та інвестиційну привабливість розробленого проєкту модернізації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У межах даного проєкту реалізовано ґрунтовний науково-інженерний пошук, головною метою якого стала оптимізація технологічних процесів у круп'яній промисловості. На прикладі модернізації зернопереробної лінії ТОВ «Хлібний край Привільне» доведено ефективність впровадження новітніх апаратурних рішень та сформовано такі висновки:

1. Зернопереробний сектор залишається фундаментом продовольчої безпеки та експортної міцності України. Проте експлуатація застарілого обладнання на більшості заводів призводить до надмірних енергозатрат, утворення значної кількості побічних відходів (січки, мучки) та зниження гнучкості виробництва. Вирішенням цієї проблеми є точкова модернізація діючих потужностей із фокусом на автоматизацію та варіативність технологічних схем.

2. Аналіз сировини підтвердив доцільність переробки дворядного ячменю високої якості (вологість 13,5-14,5%, натура від 630 г/л, вирівняність понад 75%). Водночас вивчення споживчого попиту (на прикладі продукції ТМ «Золоте Зерно») вказує на стрімке зростання популярності круп швидкого приготування та дрібних фракцій (№2 і №3). Це вимагає від підприємства здатності оперативно змінювати режими подрібнення.

3. Технічний аудит діючої лінії виявив низку критичних проблем: фізичне зношення вальцових і лушпильних машин, нестабільне сортування та відсутність етапів гідротермічної обробки (ГТО). Для подолання цих перепон запропоновано інтегрувати сучасний модуль теплової та гідротермічної обробки ядра, а застарілі системи аспірації замінити на інноваційні пневмотранспортні й високоточні сепарувальні комплекси. Це дозволить паралельно випускати як традиційну крупу, так і термооброблені продукти.

4. Проєктні рішення ідеально вписуються в існуючі габарити цеху. Розрахункова потужність оновленої лінії складає 650 тонн сировини на рік. Завдяки мінімізації

відходів переподрібнення, загальний вихід готового продукту стабілізовано на рівні 66% (загалом 429 т/рік), що дозволить випускати 214,5 тонн класичної ячки та 214,5 тонн преміальної крупи швидкого приготування.

5. Упровадження принципів системи НАССР забезпечило суворий контроль за всіма групами ризиків на етапах життєвого циклу продукції. Ідентифіковано критичні контрольні точки (ККТ), зокрема первинне очищення та магнітну сепарацію. Створені карти моніторингу та регламенти коригувальних дій зводять до мінімуму людський фактор, гарантуючи абсолютну безпечність харчової продукції. Проєкт відповідає сучасним критеріям сталого розвитку. Супутні продукти (лузга, мучка), багаті на клітковину та мінерали, утилізуватимуться шляхом передачі виробникам комбикормів, що виключає забруднення довкілля та знижує екологічні збори. Для персоналу розроблено комплексну Карту безпеки праці з чіткими нормативами щодо вібро- й шумоізоляції, освітлення та аспірації робочих зон.

6. Інвестиційна складова проєкту демонструє виняткову фінансову привабливість. Додаткові капіталовкладення складають 720 000 грн, що збільшує балансову вартість фондів до 2 000 000 грн, а витрати на електроенергію зростають на 17 213 кВт·год/рік. Проте випуск маржинальної крупи швидкого приготування (ціна 31 000 грн/т порівняно з 22 000 грн/т за звичайну) збільшує загальну вартість реалізованої продукції до 11 368 500 грн. Чистий прибуток компанії зростає на 1 672 680,2 грн (досягаючи 2 020 107,7 грн). Рівень рентабельності підвищується з 3,82% до 21,61%, а термін повної окупності інвестицій становить лише 0,43 року (близько 5 місяців).

Практичні рекомендації (на умовах 2026 року)

Розроблений бакалаврський проєкт є цілісним, технічно обґрунтованим і високорентабельним інженерним рішенням. З метою посилення ринкових позицій ТОВ «Хлібний край Привільне» на аграрному ринку України, рекомендується здійснити локальну модернізацію круп'яного цеху.

Інтеграція модуля кондиціонування і ГТО у поєднанні із заміною зношеного розмельного обладнання на енергоефективні верстати з гнучкими налаштуваннями дозволить підприємству суттєво диверсифікувати асортимент. Забезпечивши одночасний випуск класичної крупи та високомаржинальних термооброблених концентратів на наявних площах, компанія гарантовано окупить вкладені 720 000 грн всього за 5 місяців роботи, стабілізувавши прибутковість на рівні понад 21%.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Бабич М. Б., Петров В. М. Особливості гідротермічної обробки круп'яного зерна. *Зб. наук. праць Одеської НАХТ*. 2012. № 36. С. 98-102.
2. Бачинська П. С., Харченко Є. І., Ноздрюхіна І. В. Технологічні властивості зерна пшениці різної крупності. *Зберігання и переробка зерна*. 2017. № 1. С. 34-38.
3. Білоусова З. В., Кліпакова Ю. О. Технологічні властивості зерна інтенсивних сортів пшениці озимої [Електронний ресурс]. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2019. Вип. 19, Т. 1. С. 262-269. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ptdau_2019_19_1_36
4. Бокій О. В. Виклики та перспективи борошномельно-круп'яної галузі [Електронний ресурс]. *Продовольчі ресурси. Серія : Економічні науки*. 2014. № 3. С. 108-112. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/precon_2014_3_16
5. Браженко В. Є. Комплексне проектування підприємств зернопереробної галузі. *Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]*. 2013. Вип. 44(1). С. 83-87.
6. Верещинський О. П. Наукові основи і практика підвищення ефективності сортових хлібопекарських помелів пшениці : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.02. Київ, 2013. 32 с.
7. Відходи та безвідходне виробництво в харчовій промисловості : наук.-допом. бібліогр. покажч. двома мовами 1956 - 2020 рр. упоряд. І. М. Мельничук ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. Київ, 2021. 110 с. Режим доступу: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/4667e51c-a150-4e4e-9bf8-4584a429ac16/content>

8. Відоменко І. О. Сучасні проблеми планування та калькулювання витрат в зернопереробній промисловості. *Економіка харчової промисловості*. 2011. № 2. С. 27-34.
9. Гайдай Г. С. Технологічні властивості зерна залежно від розміру зернівки. *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції молодих учених : матеріали Всеукр. конф.*, 10-11 квітня 2012 р., Умань, Україна. Уманський НУС. Умань, 2012. С. 183-185.
10. Гайдай Г. С. Шляхи підвищення лежкості, посівних і технологічних властивостей зерна. *Хранение и переработка зерна*. 2013. № 11 (176). С. 35-36.
11. Гайдай Г. С., Іванова В. В. Використання сучасних технологій та обладнання для переробки круп'яних культур. *Підвищення ефективності ресурсозберігаючих технологій на зернопереробних підприємствах : матеріали Всеукр. конф.* Умань, 2013. С. 36-38.
12. Герасимяк, Н. В., Панасюк, І. М. Проблеми формування та реалізації комплексу засобів маркетингу підприємства борошномельно-круп'яної галузі України та шляхи їх вирішення [Електронний ресурс]. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Актуальні проблеми управління та фінансово-господарської діяльності підприємства*. 2013. № 53. С. 25-31. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vcpiaiy_2013_53_7
13. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О., Желізна В. В. Борошномельні властивості зерна сортів пшениці спельти залежно від умов мінерального живлення [Електронний ресурс]. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2019. № 1. С. 129-134. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vumnuc_2019_1_26
14. Григоренко І. В., Богданович А. М. Стан системи технічного регулювання продукції борошномельно-круп'яної галузі [Електронний ресурс]. *Товарознавчий вісник*. 2015. Вип. 8. С. 177-186. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tvis_2015_8_28

- 15.Грідін О. В. Теоретичні та практичні аспекти перспектив розвитку підприємств борошномельно-круп'яної галузі України [Електронний ресурс]. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 162. С. 123-130. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2015_162_17
- 16.Гудзь Ю. Ф. Аналіз розвитку фінансового потенціалу переробних підприємств АПК борошно-круп'яної галузі регіону [Електронний ресурс]. *Торгівля і ринок України*. 2018. № 2. С. 110-122. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tiru_2018_2_15
- 17.Демчак І. М., Завалевська В. О., Гуменюк К. С. Методичні положення та норми витрат праці на виробництво продуктів борошномельно-круп'яної промисловості. Київ : Укراгропромпродуктивність, 2012. 212 с.
- 18.Демчак І. М. Методичні положення визначення економічних норм і нормативів на виробництво продуктів борошномельно-круп'яної промисловості. Київ : НДІ "Укр. агропромпродуктивність", 2011. 124 с.
- 19.Долозіна І. Л. Борошномельно-круп'яна галузь України : сучасний стан, тенденції розвитку. *Інноваційна економіка*. 2012. № 12 (38). С. 69-72.
- 20.ДСТУ 4250:2003. Продукти з меленого зерна. Визначання кислотного числа жиру (ISO 7305:1998, MOD). Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 6 с.
- 21.ДСТУ 7700:2015. Крупи ячмінні. Технічні умови. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 10 с.
- 22.Дудяк І. Д., Туз М. С. Технологія виробництва борошна, круп і комбікорму : метод. рек. щодо виконання лабораторних робіт. Миколаїв, 2015. 139 с.
- 23.Ігнатова Ю. В., Волощук С. Д. Моделювання роботи борошномельного підприємства на основі систем масового обслуговування [Електронний ресурс]. *Агросвіт*. 2015. № 8. С. 35-40. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit_2015_8_8

- 24.Ільків Л. А. Ефективність переробки зерна в АПК. *Наук. пр. Нац. ун-ту харч. технологій*. 2011. № 39. С. 51-53.
- 25.Квач Я. П., Кошельок Г. В. Сучасний стан і перспективи розвитку борошномельної галузі України [Електронний ресурс]. *Економіка харчової промисловості*. 2015. № 2. С. 18-24. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/echp_2015_2_5
- 26.Кирпикін В. Облік виробництва борошна. *Баланс*. 2012. № 42. С. 15-23.
- 27.Кудренко Н. В. Стан та перспективи розвитку борошномельно-круп'яної галузі України [Електронний ресурс]. *Інтелект XXI*. 2014. № 6. С. 22-29. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/int_XXI_2014_6_5
- 28.Кузубов О. О. Механізм стратегічного управління конкурентоспроможністю підприємств борошномельно-круп'яної промисловості : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04. Луганськ, 2014. 20 с.
- 29.Лозовський А. П. Основи технологічного проектування промислових підприємств переробних галузей : навч. посіб. Київ : Університетська книга, 2019. 320 с.
- 30.Любич В. В., Новак Л. Л., Новіков В. В. Особливості переробки зерна тритикале на крупу. *Зберігання та переробка продукції рослинництва: освіта, наука, інновації : матеріали між нар. наук.-практ. конф., 1-3 червня 2015 р. Київ, 2015. С. 40-41.*
- 31.Малютенко О. Ю. Управління стратегічними ризиками борошномельних підприємств : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04. Одеса, 2015. 20 с.
- 32.Мельник, А. Класифікація круп згідно з УКТ ЗЕД. *Вісник. Право знати все про податки і збори*. 2017. № 21. С. 37-38.
- 33.Мороз О. В., Стасенко Д. В. Аналіз сучасного стану борошномельного виробництва Вінниччини [Електронний ресурс]. *Наука й економіка*. 2015. Вип. 2. С. 58-61. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nie_2015_2_13

34. Нікішина О. В. Ефективність механізмів стимулювання експорту борошномельної та комбікормової продукції. *Економіка харчової промисловості*. 2014. № 4 (24). С. 25-34.
35. Нікішина О. В. Методологічні засади регулювання інтегрованих ринків зерна та продуктів його переробки : автореф. дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.03. Одеса, 2016. 41 с.
36. Орленко О. В. Теоретико-методологічні та прикладні засади функціонування круп'яної індустрії України : автореф. дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.03. Запоріжжя, 2016. 40 с.
37. Орленко О. В. Формування та розвиток круп'яної індустрії України: проблеми теорії і практики : монографія. Херсон : Грінь Д. С., 2015. 417 с.
38. Осокіна Н. М., Герасимчук О. П., Матвієнко Н. П. Технологія зберігання і переробки зерна. Київ : ТОВ «Книга - плюс», 2012. 320 с.
39. Осокіна Н. М., Костецька К. В. Круп'яні властивості зерна пшениці озимої та тритикале і ячменю ярих залежно від сорту та погодних умов у Лісостепу Правобережному [Електронний ресурс]. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2012. Вип. 81 (1). С. 46-53. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/zhpumus_2012_81\(1\)_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/zhpumus_2012_81(1)_8)
40. Осокіна Н. М., Костецька К. Порівняльна оцінка круп'яних властивостей зерна ярих пшениці, тритикале та ячменю [Електронний ресурс]. *Вісник Уманського національного університету садівництва*. 2014. № 1. С. 78-83. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vumnuc_2014_1_19
41. Осташева-Венгер Н. В. Історія успіху: розвиток борошномельної промисловості півдня України і менонітське підприємництво [Електронний ресурс]. *Вопросы германской истории*. 2005. С. 54-68. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pni_2005_2005_7
42. Проблеми науки про зерно [Електронний ресурс] : лабораторний практикум / уклад. І. І. Гапонюк. Київ : НУХТ, 2019. 36 с.

- 43.Прядко Т. П. Перспектива використання екструдатів зернових культур для збагачення традиційних харчових середовищ. *Наукові здобутки молоді - вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : матеріали Міжнар. конф.*, 9 листопада 2012 р. Київ, 2012. С. 25-27.
- 44.Пузік Л. М., Пузік В. К. Технологія зберігання і переробки зерна : навч. посіб. Харків : ХНАУ, 2013. 312 с.
- 45.Родіонов О. В. Проблеми формування ділової репутації підприємств борошномельно-круп'яної промисловості : автореф. дис. ... д-ра екон. наук : 08.00.04. Луганськ, 2010. 36 с.
- 46.Савіцька С. І. Ринок ячменю: стан та перспективи розвитку. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства: Економічні науки*. 2013. Вип. 137. С. 229-233.
- 47.Стоколоса Т. Технічні вдосконалення у борошномельній промисловості Правобережної України в другій половині XIX - на початку XX ст. [Електронний ресурс]. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія : Історія*. 2016. Вип. 2 (1). С. 34-38. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU_ist_2016_2\(1\)_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NZTNPU_ist_2016_2(1)_9)
- 48.Стретович О. А. Тенденції роботи зернопереробних підприємств України. *Економіка харчової промисловості*. 2016. Т. 8, № 4. С. 46-50.
- 49.Чипак О. В. Стан та перспективи розвитку борошномельно-круп'яної галузі у Рівненській області [Електронний ресурс]. *Продуктивність агропромислового виробництва*. 2017. № 29. С. 94-99. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pav_2017_29_15
- 50.Шаповаленко О. І., Євтушенко О. О., Тертишна Ю. П. Дослідження сучасного стану круп'яних продуктів. *Підвищення ефективності ресурсозберігаючих технологій на зернопереробних підприємствах : матеріали Всеукр. конф.*, 9 березня 2013 р. Умань, 2018. С. 4-5.

51. Шаповаленко О. І., Харченко Є. І., Фурманова Ю. П., Свиридчук Н. Плющення голозерного вівса. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2017. № 140. С. 45-49.
52. Щербина О. В. Аналіз собівартості в системі управління витратами на борошномельних підприємствах [Електронний ресурс]. *Економічний вісник університету*. 2014. Вип. 23(1). С. 117-123. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecvu_2014_23\(1\)_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecvu_2014_23(1)_24)
53. Юрченко А. Ю. Теоретичні аспекти дослідження класифікаційно-факторних складових економічної стійкості борошномельних підприємств [Електронний ресурс]. *Причорноморські економічні студії*. 2017. Вип. 21. С. 109-113. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/bses_2017_21_24
54. Юрченко А. Ю. Формування та підвищення рівня економічної стійкості підприємств борошномельної галузі : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04. Херсон, 2018. 21 с.

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНОГО ТА МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІНІЇ ПЕРЕРОБКИ ЯЧМЕНЮ

Таблиця А.1 -Технічні параметри луцильно-шліфувальної машини А1-ЗШН-З

Найменування показника	Значення та характеристика
Продуктивність по вихідній сировині (ячмінь), т/год	1,5 -3,0
Кількість абразивних кругів на валу, шт.	7
Діаметр абразивних кругів, мм	450
Частота обертання основного вала, об/хв	900
Встановлена потужність електродвигуна, кВт	30,0
Ефективність вилучення квіткових оболонок за один прохід, %	75 -82
Габаритні розміри (довжинахширинахвисота), мм	1650 x 960 x1950
Маса машини, кг	1180

Таблиця А.2 - Технічні параметри вальцювого верстата БВ-2 (для подрібнення ядра)

Найменування показника	Значення та характеристика
Продуктивність на ячмінному ядрі, т/добу	до 50
Довжина робочої бочки валків, мм	600
Діаметр робочих валків, мм	250
Щільність нарізки рифлів на 1 см довжини кола валка	8 -10
Ухил рифлів, %	6 -8
Встановлена потужність приводу валків, кВт	11,0
Механізм регулювання робочого зазору	Мікрометричний,

	ручний/автомат
--	----------------

Таблиця А.3 -Технічні параметри крупосортувального розсійника БРП

Найменування показника	Значення та характеристика
Продуктивність по круповій суміші, т/год	до 2,5
Кількість технологічних секцій (кузовів), шт.	2
Кількість ярусів сит в одній секції, шт.	14
Загальна корисна площа ситової поверхні, м ²	4,8
Радіус коливань ситового кузова, мм	40 -45
Частота коливань кузова, об/хв	230
Потужність електродвигуна приводу, кВт	3,0

ДОДАТОК Б

СПЕЦИФІКАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ МОДЕРНІЗОВАНОГО КРУП'ЯНОГО ЦЕХУ ТОВ «ХЛІБНИЙ КРАЙ ПРИВІЛЬНЕ»

Таблиця В.1 - Експлікація основного технологічного та транспортного устаткування

Поз. на схемі	Найменування та марка обладнання	Кількість, шт.	Встановлена потужність, кВт	Функціональне призначення у лінії переробки
1	Авторозвантажувач ГУАР-30	1	7,5	Приймання зерна ячменю з автомобільного транспорту
2	Ваги бункерні автоматичні Норма-Т	1	0,5	Первинний облік та зважування надходження сировини
3	Сепаратор зерноочисний БСХ-100	1	2,2	Вилучення крупних, дрібних і легких смітєвих домішок
4	Магнітний сепаратор БМП	2	-	Вилучення металоманітних домішок (Критична контрольна точка)
5	Трієр-куколевідбірник БТХМ	1	1,1	Очищення ячменю від коротких домішок (насіння куколю)
6	Пропарювач періодичної дії А9-БПБ	1	1,5	Гідротермічна обробка (ГТО) ядра для круп швидкого приготування
7	Вертикальна сушарка ВС-10М	1	5,5	Зниження вологості ячменю після пропарювання до 13,5-14,0 %
8	Луцильно-шліфувальна машина А1-ЗШН-З	2	30,0	Звільнення зерна від квіткових оболонок, шліфування та полірування
9	Аспіраційна колонка АК-100	2	-	Відокремлення лузги та мучки від шліфованого ядра потоком повітря
10	Вальцьовий верстат БВ- 2	1	11,0	Подрібнення шліфованого ячмінного ядра на крупу
11	Крупосортувальний розсійник БРП	1	3,0	Сортування подрібненого ядра на фракції (ячна крупа №1, №2, №3)
12	Норія стрічкова НЦ-20	4	2,2	Вертикальне транспортування

				сировини та напівфабрикатів
13	Вагова дозувально-пакувальна машина	1	1,2	Фасування готової ячмінної крупи у споживчу тару (мішки, пакети)

ДОДАТОК В

КАРТКА БЕЗПЕКИ ПРАЦІ ОПЕРАТОРА ЛІНІЇ ПЕРЕРОБКИ ЯЧМЕНЮ

1 Загальні положення та обов'язки

1.1. До роботи оператором круп'яного цеху допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж на робочому місці, стажування та перевірку знань з охорони праці.

1.2. Оператор зобов'язаний дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку, виконувати тільки ту роботу, яка доручена безпосереднім керівником, та суворо застосовувати засоби індивідуального захисту.

1.3. Обов'язковий комплект ЗІЗ: костюм бавовняний (ГОСТ 12.4.109-82), черевики шкіряні на протиковзній підошві, респіратор протипиловий типу «Пелюстка» або серії «ЗМ» (для захисту від ячмінного пилу), захисні окуляри.

2 Основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори

2.1. Рухомі та обертові частини технологічного обладнання (шків, паси, вали машин А1-ЗШН-3 та верстатів БВ-2).

2.2. Підвищена запиленість робочої зони органічним пилом (ячмінне борошенце), що створює ризик вибухонебезпечного середовища та професійних захворювань органів дихання.

2.3. Підвищений рівень шуму (понад 80 дБА) та локальної вібрації під час роботи крупосортувальних розсійників БРП.

2.4. Небезпека ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції кабелів живлення чи відсутності заземлення станин.

3 Вимоги безпеки перед початком роботи

- 3.1. Перевірити справність спецодягу та правильно його одягнути.
- 3.2. Візуально оцінити цілісність захисних огорожень пасових та клиннопасових передач усіх машин.
- 3.3. Перевірити роботу аспіраційної системи цеху та переконатися у відсутності забивань самопливних труб.
- 3.4. Переконатися у наявності та надійності заземлювальних провідників корпусу обладнання.
- 3.5. Перевірити роботу пускових кнопок та кнопок аварійної зупинки «СТОП» на холостому ходу.

4 Вимоги безпеки під час роботи

- 4.1. Запуск обладнання проводити у чіткій послідовності: спочатку аспіраційна та транспортна системи, потім розсійники БРП, лушильні машини А1-ЗШН-3, вальцові верстати БВ-2 і в останню чергу -подача зернового потоку.
- 4.2. **Забороняється:** відкривати люки, оглядові вікна верстатів та проводити ручне очищення сит або забір проб безпосередньо під час роботи рухомих органів.
- 4.3. Регулювання робочого зазору валків верстата БВ-2 здійснювати виключно за допомогою штатних штурвалів мікрометричного гвинта.
- 4.4. Не допускати просипання крупи та накопичення пилу на станинах машин; очищення поверхонь проводити тільки щітками-кмітками (забороняється здувати пил стисненим повітрям).

5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

- 5.1. У разі раптового заклинювання валів, появи стороннього стукоту, запаху горілої ізоляції або іскріння в електродвигуні -негайно натиснути кнопку «СТОП» та знеструмити лінію.
- 5.2. При виникненні займання пилу чи пасових передач негайно припинити подачу зерна, вимкнути живлення та розпочати гасіння пожежі за допомогою вуглекислотних або порошкових вогнегасників; викликати пожежну службу за телефоном «101».

5.3. При травмуванні колеги оперативно надати першу долікарську допомогу, викликати медичний персонал та зберегти обстановку на робочому місці для розслідування, якщо це не загрожує життю інших працівників.

6 Вимоги безпеки після закінчення роботи

6.1. Послідовно перекрити подачу ячменю, дочекатися повного звільнення робочих зон машин від залишків продукту та вимкнути обладнання.

6.2. Знеструмити головні пульти управління.

6.3. Провести вологе прибирання робочого місця, ретельно очистити аспіраційні циклони.

6.4. Зняти ЗІЗ, очистити їх від пилу та помістити у спеціальну шафу. Вимити обличчя і руки з милом або прийняти душ.

6.5. Здати зміну наступному оператору, зафіксувавши всі зауваження щодо роботи машин у робочому журналі.

ДОДАТОК Г

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЯЧМЕНЮ ЯК СИРОВИНИ ДЛЯ КРУП'ЯНОГО ВИРОБНИЦТВА (ЗА ДСТУ 3761:2019)

Таблиця Г.1 -Нормативні вимоги до якості заготовчого ячменю

Найменування показника якості	Норма за ДСТУ для крупового виробництва	Фактичне значення на підприємстві
Вологість зерна, %, не більше	14,5	13,8
Натура зерна, г/л, не менше	630	645
Сміттева домішка, %, не більше	2,0	1,2
у тому числі: мінеральна домішка, %	0,5	0,1
шкідлива домішка (гірчак, сажка тощо), %	0,05	відсутня
Зернова домішка, %, не більше	7,0	3,5
у тому числі: пророслі та пошкоджені зерна, %	2,0	0,8
Вміст дрібного зерна (прохід крізь сито 2,2 x20 мм), %, не більше	5,0	2,4
Вирівняність зерна (залишок на ситах 2,5 і 2,8 мм), %, не менше	70,0	76,5
Зараженість шкідниками хлібних запасів	Не допускається	Не виявлено