

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО


МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра обладнання переробних і харчових виробництв
імені професора Ф. Ю. Ялпачика

«Допущено до захисту»
протокол № 52-С

від «31» січня 2026 року

Зав. кафедрою ОПХВ

д.т.н, професор

 Кирило САМОЙЧУК

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

СВО «Магістр»

за освітньо-професійною програмою «Галузеве машинобудування»

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(освітній ступень, ОПП, спеціальність)

на тему: Вдосконалення технологічної лінії післязбиральної обробки зерна в умовах м. Запоріжжя


19ХВД.11960635.02.26

Виконав: студент 2 курсу, 21МБ ГМ групи

Іван Кодирков
(прізвище та ініціали)

Керівник:

д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

Ялпачик В.
(прізвище та ініціали)

Консультант з ОП:

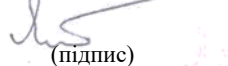
к.с.-г.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

Михайло ЗОРЯ
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

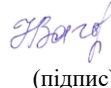
д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)


(підпис)

Володимир ЯЛПАЧИК
(прізвище та ініціали)

Рецензент:

к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

Надія ЗАГОРКО
(прізвище та ініціали)

Запоріжжя – 2026 р.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						5
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав (дата)	завдання прийняв (підпис)
V	к.т.н., доцент Ялпачик В.Ф.	1.12.2025	

6. Дата видачі завдання

01.12.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Назва етапів кваліфікаційної роботи (проекту)	Термін вико- нання етапів роботи чи про- екту (місяць)	Відмітка керівника про виконання (за- свідчується підпи- сом)
Розділ 1. Стан та перспективи розвитку переробного підприємства	грудень	
Розділ 2. Вдосконалення технологічної лінії переробного підприємства	грудень	
Розділ 3. Монтаж і експлуатація обладнання	січень	
Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	січень	
Розділ 5. Економічна оцінка вдосконаленої лінії	січень	
Виконання графічної частини кваліфікаційної роботи	січень - лютий	
Оформлення пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	лютий	

Студент

_____ (підпис)

Кодирков І.Д.
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи


_____ (підпис)

Самойчук К.О.
(ініціали та прізвище)

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кіл. аркушів	№ при м.	Примі-
1.	A4	19ХВД.11960635.02.26ПЗ	Пояснювальна			

						Аркуш
						7
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

19ХВД.12998687.02.25ПЗ

2.			записка	75		
3.	A1	19ХВД.11960635.02.26/21000	Графік узгодження роботи			
1.			лінії післязбиральної			
2.			обробки зерна	1	1	
3.	A1	19ХВД.11960635.02.26/22000	Планування обладнання			
4.			дільниці обробки зерна	1	2	
5.						
6.	A1	19ХВД.11960635.02.26/31000	Монтажне креслення			
7.			аеродинамічного			
8.			сепарування	1	3	
9.	A1	19ХВД.11960635.02.26/32000	Алгоритм			
10.			діагностування			
11.			технологічного стану			
12.			обладнання	1	4	
13.	A1	19ХВД.11960635.02.26/41000	Техніко-економічні показники			
14.			вдосконаленої			
4.			Технологічної лінії	1	5	
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

Підп. і дата
Інв. № дубл.
Зам. інв. №
Підп. і дата
Інв. № ори-

					19ХВД.11960635.02.26ВДР		
Зм	Арк	№ докум.	Під-	Ла-	Літера	Аркуш	Аркушів
Розоб.		Кодирков					
Перев.		Самойчук					
Н.конт		Ялпачик					
Затв.		Самойчук					
					ТДАТУ, 2026		

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ		
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	Аркушів		
					8		

РЕФЕРАТ

Робота присвячена вдосконаленню технологічної лінії післязбиральної обробки зерна в Запоріжжі. Проаналізовано сучасний стан підприємства, сировинну базу та купівельний попит.

Обґрунтовано вибір оптимальної технологічної схеми, що включає ефективне очищення, енергоощадне сушіння та раціональну систему зберігання.

Проведено технологічні розрахунки продуктивності, втрат, виходу готової продукції, визначено потребу в персоналі та параметри виробничого цеху.

Запропоновані рішення дозволяють підвищити якість зерна, зменшити витрати енергоресурсів, мінімізувати втрати та збільшити економічну ефективність роботи підприємства.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1.СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВ.....	10
1.1Характеристика місцезнаходження і аналіз сировинної бази підприємства	10
1.2Характеристика виробничої діяльності підприємства	12
1.3Аналіз купівельного попиту на продукцію підприємства	19
Вихідні дані на проектування.....	23
2.ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	21
2.1Аналіз і вибір технології виробництва заданої продукції	21
2.2Розрахунок об'єму сировини за етапами її переробки	24
2.3Розрахунок виробничої потужності технологічної лінії	31
2.4Визначення кількості виробничого персоналу	30
2.5Проектування виробничого цеху (відділення)	373
Висновки за розділом	41
3.МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ.....	439
3.1Вимоги до монтажу обладнання цеху	439
3.2Розробка технології монтажу обладнання	462
3.3Експлуатація обладнання	48
Висновки за розділом	47
4.ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ.....	528
4.1.Аналіз заданого технологічного процесу	528

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		10

4.2.Теоретичні	дослідження	
.....		50
4.3.Методика	експериментальних	досліджень
.....		562
4.4.Результати	експериментальних	досліджень
.....		574
Висновки за розділом		56
5.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....		57
5.1Нормативно-правова база з охорони праці для підприємства		617
5.2.Аналіз небезпечних факторів та ситуацій під час роботи		
.....		63
5.3.Заходи		безпеки
.....		651
5.4.Безпека	в	надзвичайних ситуаціях
.....		63
Висновки за розділом		69
6.ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВДОСКОНАЛЕНОЇ ЛІНІЇ.....		71
6.1Визначення обсягу та структури витрат на виробництво продукції		71
6.2Визначення рентабельності підприємства, цеху та строк окупності додаткових капіталовкладень		73
Висновки за розділом		7572
ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ		7773
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		8177

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність дослідження. Зернове господарство традиційно залишається провідною галуззю сільськогосподарського виробництва України, забезпечуючи продовольчу безпеку держави та формуючи значну частину експортного потенціалу країни. Запоріжжя, та прилеглі райони, характеризується сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами для вирощування зернових культур, що зумовлює необхідність розвитку ефективної інфраструктури післязбиральної обробки зерна. Проте сучасний стан матеріально-технічної бази більшості зернопереробних підприємств регіону не відповідає вимогам інноваційного розвитку агропромислового комплексу.

Об'єктом дослідження є технологічний процес післязбиральної обробки зерна на переробному підприємстві Запорізькому елеваторному комплексі, спеціалізується на прийманні, сушінні, очищенні й зберіганні зернових культур після збирання..

Предметом дослідження виступають технологічні, технічні та організаційні параметри функціонування лінії післязбиральної обробки зерна, закономірності впливу конструктивних особливостей обладнання та режимів його експлуатації на якісні показники готової продукції та економічну ефективність виробництва.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання дослідження:

1. провести аналіз сучасного стану та перспектив розвитку переробного підприємства з урахуванням особливостей сировинної бази регіону та купівельного попиту на продукцію,

2. здійснити критичний огляд існуючих технологій післязбиральної обробки зерна та обґрунтувати вибір оптимальної технологічної схеми для конкретних умов виробництва,

3. виконати технологічні розрахунки параметрів вдосконаленої лінії, включаючи визначення обсягів переробки сировини, виробничої потужності обладнання та чисельності персоналу,

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

4. розробити проектні рішення щодо компонування виробничого цеху з урахуванням вимог ергономіки та охорони праці,
5. обґрунтувати технологію монтажу та режими експлуатації обладнання для забезпечення його надійної та ефективної роботи,
6. провести теоретичні та експериментальні дослідження щодо підвищення ефективності окремих технологічних операцій,
7. виконати економічну оцінку вдосконаленої технологічної лінії та визначити строк окупності капіталовкладень.

Практична значущість дослідження визначається можливістю безпосереднього впровадження розроблених рекомендацій на підприємствах післязбиральної обробки зерна Запорізької області, що дозволить підвищити якість продукції, знизити втрати сировини та енергоресурсів, покращити умови праці персоналу та посилити конкурентні позиції підприємств на ринку зернової продукції.

Методи дослідження включають системний аналіз для вивчення функціонування переробного підприємства, математичне моделювання технологічних процесів, експериментальні методи визначення фізико-механічних властивостей зернової маси, порівняльний аналіз техніко-економічних показників різних варіантів технологічних рішень, методи статистичної обробки даних та економічного обґрунтування інвестиційних проектів.

Структура дослідження відображає логіку вирішення поставлених завдань та складається зі вступу, шести основних розділів, висновків та списку використаних джерел.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

1. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Характеристика місцезнаходження і аналіз сировинної бази підприємства

Товариство з обмеженою відповідальністю «Запорізький елеваторний комплекс» являє собою підприємство, що спеціалізується на прийманні, сушінні, очищенні й зберіганні зернових культур після збирання.

Географічне розташування підприємства в м. Запоріжжя, Запорізький район, Запорізька область має стратегічне значення для розвитку діяльності у сфері зернової торгівлі та переробки. Запоріжжя традиційно відноситься до областей із високим рівнем розвитку сільськогосподарського виробництва, що створює сприятливі передумови для формування стабільної сировинної бази. Природно-кліматичні умови Запоріжжя характеризуються помірно-континентальним кліматом із достатньою кількістю сонячних днів протягом вегетаційного періоду, що сприяє вирощуванню високоякісного зернового урожаю. Родючі чорноземні ґрунти регіону забезпечують отримання стабільних врожаїв основних зернових культур, включаючи пшеницю, ячмінь, кукурудзу та соняшник.

Сировинна база підприємства формується переважно за рахунок місцевих сільськогосподарських виробників Запорізької та суміжних областей. Взаємодія з аграрними господарствами різних форм власності дозволяє забезпечити безперервність постачання зернової сировини протягом року. Основними постачальниками виступають як великі агрохолдинги, так і фермерські господарства середнього масштабу, що спеціалізуються на виробництві товарного зерна. Диверсифікація джерел постачання сировини знижує ризики, пов'язані з сезонними коливаннями врожайності та цінової кон'юнктури на ринку зернових культур.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Якість зернової сировини, що надходить на підприємство, відповідає вимогам чинних національних стандартів України. Післязбиральна обробка зерна передбачає комплекс технологічних операцій, спрямованих на доведення зернової маси до кондиційного стану. Згідно з сучасними технологічними вимогами, зерно після збирання потребує очищення від різноманітних домішок, сушіння до оптимальної вологості та підготовки до тривалого зберігання [15]. Первинна обробка зернової сировини включає видалення органічних та мінеральних домішок, битого та пошкодженого зерна, що дозволяє підвищити товарну якість продукції та забезпечити її збереженість.

Процес сушіння зерна є критично важливим етапом післязбиральної обробки, оскільки підвищена вологість зернової маси створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів та погіршення якісних показників. Оптимальна вологість для тривалого зберігання більшості зернових культур становить 14-15 відсотків [24]. Сучасні технології сушіння передбачають використання різноманітного обладнання, зокрема шахтних зерносушарок, мобільних сушильних агрегатів та стаціонарних сушильних комплексів. Вибір конкретного типу обладнання залежить від обсягів переробки, видів зернових культур та економічних можливостей підприємства [11].

Організація зберігання зерна на підприємстві передбачає створення оптимальних умов для збереження якісних та кількісних характеристик зернової маси протягом тривалого періоду. Зберігання здійснюється в спеціально обладнаних складських приміщеннях, що забезпечують захист від атмосферних опадів, підтримання необхідного температурно-вологісного режиму та запобігання розвитку шкідників. Активне вентилявання зернової маси дозволяє регулювати температуру та вологість, запобігаючи самозігріванню та псуванню зерна [1]. Систематичний контроль стану зернової маси включає періодичні перевірки температури, вологості, наявності шкідників та органолептичних показників якості.

Транспортна інфраструктура регіону створює сприятливі умови для логістичних операцій підприємства. Запоріжжя розташоване на перетині важли-

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

вих автомобільних шляхів, що забезпечує зручне транспортне сполучення з основними виробниками сільськогосподарської продукції та потенційними споживачами готової продукції. Наявність розвиненої мережі автомобільних доріг дозволяє оперативно організувати постачання сировини та відвантаження готової продукції споживачам. Підприємство має у своєму складі вантажний автомобільний транспорт, що згідно з додатковими видами діяльності дозволяє самостійно здійснювати транспортування вантажів [2].

Сезонність надходження зернової сировини визначається природним циклом сільськогосподарського виробництва. Основний обсяг зерна надходить на підприємство протягом липня-вересня, коли відбувається масове збирання озимих та ярих зернових культур. Пізніші строки характерні для надходження кукурудзи та соняшнику, збирання яких здійснюється у вересні-жовтні. Така сезонна нерівномірність постачання вимагає створення значних складських потужностей для акумулювання зернової сировини та її поступової реалізації протягом міжсезонного періоду. Ефективне управління запасами дозволяє оптимізувати фінансові потоки підприємства та максимізувати прибуток від комерційної діяльності.

Конкурентне середовище у сфері оптової торгівлі зерном характеризується високим рівнем насиченості ринку. На території Запорізької області функціонує значна кількість підприємств різного масштабу, що здійснюють закупівлю, зберігання та реалізацію зернових культур. Серед основних конкурентів можна виділити як великі зернотрейдерські компанії національного рівня, так і регіональних операторів ринку. Конкурентні переваги формуються на основі цінової політики, якості обслуговування клієнтів, наявності власних складських потужностей та можливості надання додаткових послуг з доробки зернової продукції.

1.2 Характеристика виробничої діяльності підприємства

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Виробнича діяльність ТОВ «Запорізький елеваторний комплекс» охоплює комплекс технологічних операцій, пов'язаних на прийманні, сушінні, очищенні й зберіганні зернових культур після збирання. За даними фінансової звітності, у 2020 році підприємство отримало дохід у розмірі 16 981 400 гривень при чистому прибутку 375 700 гривень, що свідчить про рентабельність операційної діяльності. Загальна вартість активів підприємства станом на кінець 2020 року становила 11 752 200 гривень, що відображає наявність матеріально-технічної бази для здійснення комерційних операцій [2].

Технологічний процес післязбиральної обробки зерна на підприємстві розпочинається з приймання зернової сировини від постачальників. На цьому етапі здійснюється вхідний контроль якості, що включає визначення основних показників: вологості, засміченості, натури, вмісту зерен пошкоджених шкідниками та хворобами. Результати лабораторного аналізу визначають категорію якості зерна та його подальше призначення. Зерно, що не відповідає вимогам за вологістю, направляється на сушіння, тоді як зерно з підвищеним вмістом домішок потребує додаткового очищення [16].

Очищення зерна від домішок здійснюється з використанням спеціалізованого зерноочисного обладнання. Сучасні зерноочисні машини дозволяють ефективно видаляти різноманітні типи домішок, включаючи органічні рештки, мінеральні частинки, насіння бур'янів та зерна інших культур. Аеродинамічні сепаратори забезпечують розділення зернової маси на фракції на основі аеродинамічних властивостей окремих компонентів [21]. Використання решітних сепараторів дозволяє здійснювати калібрування зерна за розмірами, що підвищує його товарну якість та розширює можливості реалізації [6].

Процес сушіння зерна має вирішальне значення для забезпечення його тривалої збереженості. Підвищена вологість зернової маси створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, активізації ферментативних процесів та зростання інтенсивності дихання зерна, що призводить до втрат сухої речовини та погіршення якості. Зерносушарки шахтного типу забезпечують рівномірне просушування зернової маси при контрольованому температурному режимі, що

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

запобігає термічному пошкодженню зерна [10]. Автоматизовані системи управління технологічним процесом сушіння дозволяють оптимізувати енергетичні витрати та забезпечити стабільність якості готової продукції [9].

Зберігання зерна організоване в складських приміщеннях, обладнаних системами вентиляції та контролю температурно-вологісного режиму. Правильна організація зберігання передбачає створення умов, що запобігають самозігріванню зернової маси, розвитку шкідників та мікроорганізмів. Активне вентилування зерна є ефективним засобом регулювання температури та вологості в зерновій масі [1]. Систематичний моніторинг стану зерна під час зберігання включає контроль температури у різних точках зернової маси, визначення вологості та перевірку наявності шкідників.

Додаткові напрямки діяльності підприємства охоплюють оптову торгівлю деревиною, будівельними матеріалами та санітарно-технічним обладнанням, що дозволяє диверсифікувати джерела доходу та знизити залежність від сезонних коливань зернового ринку. Виробництво бетонних виробів та будівельних матеріалів розширює спектр комерційної діяльності підприємства та створює додаткові можливості для розвитку [2]. Така диверсифікація бізнесу дозволяє більш ефективно використовувати наявні матеріально-технічні ресурси та трудовий потенціал підприємства протягом всього календарного року.

Складське господарство підприємства забезпечує зберігання не лише зернової продукції, але й будівельних матеріалів та інших товарів, що входять до номенклатури діяльності компанії. Наявність власних складських площ дозволяє оптимізувати логістичні витрати та забезпечити оперативність виконання замовлень клієнтів. Транспортне оброблення вантажів як додатковий вид діяльності передбачає надання послуг з навантаження, розвантаження та внутрішньоскладського переміщення товарів [2].

Кадровий потенціал підприємства формується з урахуванням специфіки виробничої діяльності та сезонності окремих технологічних операцій. Основний персонал включає фахівців у сфері зерноторгівлі, технологів післязбиральної обробки зерна, операторів зерноочисного та сушильного обладнання, а та-

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						18
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

кож допоміжних робітників. Професійна компетентність персоналу безпосередньо впливає на якість виконання технологічних операцій та економічну ефективність діяльності підприємства загалом.

Система якості на підприємстві охоплює контроль на всіх етапах технологічного процесу. Вхідний контроль сировини дозволяє об'єктивно оцінити якість зерна, що надходить від постачальників, та визначити справедливую ціну закупівлі. Операційний контроль у процесі очищення та сушіння забезпечує дотримання технологічних параметрів та запобігає втратам якості. Вихідний контроль готової продукції гарантує відповідність зерна вимогам споживачів та договірним зобов'язанням.

Енергетичне забезпечення виробничих процесів на підприємстві потребує значних витрат, особливо на етапі сушіння зерна. Раціональне використання енергетичних ресурсів є важливим чинником підвищення економічної ефективності діяльності. Впровадження енергозберігаючих технологій та обладнання дозволяє знизити собівартість обробки зерна та підвищити конкурентоспроможність продукції на ринку.

Інформаційне забезпечення управління виробничими процесами включає облік надходження та відпуску зерна, контроль залишків на складі, планування виробничої програми та аналіз економічних показників діяльності. Автоматизація обліково-аналітичних процесів підвищує оперативність прийняття управлінських рішень та знижує ризики помилок у документообігу.

1.3 Аналіз купівельного попиту на продукцію підприємства

Ринок зернових культур в Україні характеризується високою динамічністю та залежністю від численних чинників як внутрішнього, так і зовнішнього характеру. Купівельний попит на зернову продукцію формується з боку різних категорій споживачів, що мають специфічні вимоги до якості, обсягів постачання та умов співпраці. Основними споживачами зерна виступають підприєм-

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

ства переробної промисловості, тваринницькі господарства, експортні компанії та інші суб'єкти агропродовольчого ринку.

Переробна промисловість, зокрема борошномельні, круп'яні та комбікормові підприємства, формують стабільний попит на якісне зерно протягом всього року. Борошномельні підприємства потребують продовольчої пшениці з високим вмістом клейковини та відповідними хлібопекарськими властивостями. Круп'яні виробництва висувають специфічні вимоги до крупності зерна та вмісту ядра [19]. Комбікормова промисловість споживає значні обсяги фуражного зерна різних культур для виробництва збалансованих кормових сумішей для тваринництва та птахівництва.

Тваринницькі господарства різних форм власності становлять важливий сегмент споживачів зернової продукції. Великі агрохолдинги з розвиненим тваринницьким напрямком потребують регулярних поставок фуражного зерна для годівлі великої рогатої худоби, свиней та птиці. Фермерські господарства малого та середнього масштабу також формують попит на кормове зерно, хоча обсяги закупівель у цьому сегменті є меншими та характеризуються певною сезонністю. Якість фуражного зерна має забезпечувати необхідну поживну цінність кормів та сприяти досягненню високих показників продуктивності тварин.

Експортний ринок відіграє ключову роль у формуванні попиту на українське зерно. Україна традиційно входить до числа провідних світових експортерів пшениці, кукурудзи та ячменю, що зумовлює орієнтацію значної частини зернового виробництва на зовнішні ринки. Експортні операції здійснюються через спеціалізовані зернотрейдерські компанії, що мають розвинену логістичну інфраструктуру та налагоджені зв'язки з іноземними покупцями. Якість зерна для експорту має відповідати міжнародним стандартам та специфічним вимогам країн-імпортерів [3].

Сезонна динаміка цін на зерновому ринку суттєво впливає на купівельну активність різних категорій споживачів. Традиційно найнижчі ціни спостерігаються в період масового збирання врожаю, коли пропозиція зерна значно пере-

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						20
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

вищує поточний попит. У міжсезонний період ціни зростають внаслідок скорочення пропозиції та витрат на зберігання. Професійні учасники ринку використовують цю закономірність для оптимізації своєї комерційної діяльності, формуючи запаси зерна в період низьких цін та реалізуючи продукцію в періоди цінових максимумів.

Якісні характеристики зерна визначають рівень цін та широту ринкових можливостей його реалізації. Продовольче зерно високої якості з оптимальними технологічними показниками реалізується за вищими цінами порівняно з фуражним зерном або зерном з дефектами якості. Очищення зерна від домішок, доведення його до оптимальної вологості та калібрування за розмірами дозволяють підвищити товарну якість продукції та розширити коло потенційних споживачів [4].

Конкурентне середовище на зерновому ринку характеризується високим рівнем насиченості та присутністю великої кількості операторів різного масштабу. Великі зернотрейдерські компанії мають значні конкурентні переваги завдяки потужній логістичній інфраструктурі, доступу до дешевих фінансових ресурсів та можливості здійснювати експортні операції. Регіональні оператори конкурують переважно в сегменті обслуговування місцевих переробних підприємств та тваринницьких господарств, де важливими чинниками успіху є оперативність постачання, гнучкість умов співпраці та персоналізований підхід до потреб клієнтів.

Географічна близькість до споживачів створює логістичні переваги для підприємства. Розташування в міста дозволяє обслуговувати переробні підприємства та тваринницькі господарства з мінімальними транспортними витратами. Короткі строки доставки та можливість оперативного реагування на потреби клієнтів підвищують привабливість співпраці з підприємством для регіональних споживачів зерна.

Маркетингова політика підприємства орієнтована на формування довгострокових партнерських відносин із постійними клієнтами. Гнучка цінова політика, що враховує обсяги закупівель та регулярність співпраці, дозволяє залу-

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

чати та утримувати споживачів різного масштабу. Надання додаткових послуг з доставки продукції, відстрочення платежу для перевірених партнерів та консультаційної підтримки щодо використання зернової продукції створюють додаткову цінність для клієнтів.

Інформаційна прозорість ринку зернових культур дозволяє споживачам оперативно відслідковувати цінову кон'юнктуру та приймати обґрунтовані рішення щодо закупівель. Спеціалізовані інформаційні агентства надають актуальну інформацію про ціни на різні види зерна в регіональному та національному розрізі, що підвищує конкурентність ринку та знижує можливості для необґрунтованого підвищення цін окремими операторами.

Перспективи розвитку попиту на зернову продукцію пов'язані з загальними тенденціями розвитку агропродовольчого сектору України. Зростання обсягів тваринницького виробництва стимулюватиме попит на фуражне зерно та білкові корми. Розвиток переробної промисловості створюватиме додаткові можливості для реалізації продовольчого зерна високої якості. Експортний потенціал українського зернового сектору залишається значним, що забезпечує стабільний канал збуту для виробників товарного зерна [22].

Ризики зниження купівельного попиту пов'язані з коливаннями світових цін на зерно, змінами в торговельній політиці країн-імпортерів та внутрішніми економічними факторами. Несприятлива цінова кон'юнктура на світовому ринку може призвести до зниження експортного попиту та падіння внутрішніх цін. Економічні труднощі вітчизняних переробних підприємств та тваринницьких господарств можуть скоротити їхню купівельну спроможність та знизити обсяги закупівель зерна.

Адаптація підприємства до мінливих умов ринкового середовища вимагає постійного моніторингу попиту, гнучкості у ціноутворенні та готовності до диверсифікації каналів збуту продукції. Розвиток прямих зв'язків із кінцевими споживачами дозволяє скоротити ланцюг посередників та підвищити прибутковість операцій. Інвестування в розвиток матеріально-технічної бази, зокрема

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

модернізація обладнання для післязбиральної обробки зерна, підвищує якість продукції та розширює можливості виходу на нові ринкові сегменти.

Вихідні дані на проектування

Для розробки проекту вдосконалення технологічної лінії післязбиральної обробки зерна використано наступні вихідні дані. Підприємство розташоване в м. Запоріжжя, Запорізький район, Запорізька область та спеціалізується на комплексній обробці зернових культур, включаючи пшеницю, ячмінь, кукурудзу та соняшник. Річний обсяг переробки зерна становить близько тридцяти тисяч тонн з можливістю збільшення до сорока п'яти тисяч тонн після модернізації виробничих потужностей. Підприємство працює в режимі сезонного завантаження з піковими періодами у липні-вересні під час масового надходження свіжозібраного врожаю.

Технологічна лінія включає обладнання для приймання зерна, системи попереднього та первинного очищення, зерносушарки шахтного типу загальною продуктивністю вісім тонн на годину, силосні ємності для зберігання загальною місткістю дванадцять тисяч тонн та транспортне обладнання для внутрішнього переміщення зернової продукції. Значна частина обладнання експлуатується понад двадцять років і потребує модернізації або заміни на сучасні високопродуктивні аналоги [13]. Енергопостачання підприємства здійснюється від електричних мереж загального користування та власної газової котельні для теплопостачання зерносушарок.

Якісні показники зерна, що надходить на переробку, характеризуються середньою вологістю п'ятнадцять-двадцять відсотків для озимої пшениці, ві-

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						23
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

сімнадцять-двадцять п'ять відсотків для кукурудзи та дванадцять-шістнадцять відсотків для соняшнику. Вміст сміттєвих домішок коливається від двох до восьми відсотків залежно від культури та умов збирання врожаю [19]. Цільова вологість після сушіння становить чотирнадцять відсотків для продовольчої пшениці, чотирнадцять з половиною відсотків для кукурудзи та сім відсотків для соняшнику відповідно до національних стандартів на зерно. Проектом передбачається впровадження енергоефективного обладнання з автоматизованими системами управління для оптимізації технологічних режимів та зниження питомих витрат енергоресурсів на тону обробленої продукції.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

2 ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕРОБНОГО ПІД-ПРИЄМСТВА

2.1 Аналіз і вибір технології виробництва заданої продукції

Вибір оптимальної технології післязбиральної обробки зерна базується на комплексному аналізі технічних можливостей сучасного обладнання та специфіки сировинної бази регіону. Технологічна лінія повинна забезпечувати послідовне виконання операцій приймання, очищення, сушіння та зберігання зернової маси з мінімальними втратами та максимальним збереженням якісних показників продукції [16].

Для обґрунтування вибору технологічної схеми виконано порівняльний аналіз альтернативних варіантів обробки зерна. Перший варіант передбачає використання традиційної схеми з одноетапним очищенням та шахтною зерносушаркою безперервної дії. Другий варіант включає дворівневе очищення з попереднім сепаруванням та сушіння у модернізованій зерносушарці з рециркуляцією. Третій варіант являє собою комбіновану систему з аеродинамічним сепаруванням та енергоефективним сушильним комплексом [21].

Коефіцієнт ефективності очищення визначається за формулою:

$$\eta_{\text{оч}} = \frac{C_{\text{п}} - C_{\text{к}}}{C_{\text{п}}} 100\% , \quad (2.1)$$

де $C_{\text{п}}$ – початковий вміст домішок у зернової масі, %;

$C_{\text{к}}$ – кінцевий вміст домішок після очищення, %.

При початковій засміченості пшениці $C_{\text{п}} = 5,2\%$ та кінцевій засміченості $C_{\text{к}} = 0,8\%$ коефіцієнт ефективності очищення становить:

$$\eta_{\text{оч}} = \frac{5,2 - 0,8}{5,2} 100\% = 84,6\% .$$

Продуктивність зерноочисної машини розраховується за виразом:

$$Q_{\text{оч}} = q \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{к}} \cdot K_{\text{з}} , \quad (2.2)$$

де q – номінальна продуктивність машини, тонн на годину;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання робочого часу;

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$K_{\text{к}}$ – коефіцієнт використання за культурами;

$K_{\text{з}}$ – коефіцієнт засміченості.

Приймаючи номінальну продуктивність $q = 12$ т/год, коефіцієнт використання робочого часу $K_{\text{в}} = 0,85$, коефіцієнт використання за культурами $K_{\text{к}} = 0,92$ та коефіцієнт засміченості $K_{\text{з}} = 0,95$, отримуємо:

$$Q_{\text{оч}} = 12 \cdot 0,85 \cdot 0,92 \cdot 0,95 = 8,91 \text{ т/год.}$$

Втрати зерна при очищенні залежать від вмісту дрібних зерен та ефективності сепарування:

$$V_{\text{оч}} = \frac{1M_{\text{з}} \cdot (d_{\text{д}} + d_{\text{б}})}{100}, \quad (2.3)$$

де $M_{\text{з}}$ – маса зернової партії, тонни;

$d_{\text{д}}$ – вміст дрібних зерен, відсотки;

$d_{\text{б}}$ – вміст битих зерен, відсотки.

Для партії зерна масою $M_{\text{з}} = 1000$ т з вмістом дрібних зерен $d_{\text{д}} = 1,8\%$ та битих зерен $d_{\text{б}} = 0,6\%$ втрати при очищенні становлять:

$$V_{\text{оч}} = \frac{1000 \cdot (1,8 + 0,6)}{100} = 24 \text{ т.}$$

Інтенсивність сушіння зерна визначається швидкістю видалення вологи з зернової маси:

$$I_{\text{с}} = \frac{W_{\text{п}} - W_{\text{к}}}{\tau_{\text{с}}}, \quad (2.4)$$

де $W_{\text{п}}$ – початкова вологість зерна, відсотки;

$W_{\text{к}}$ – кінцева вологість зерна, відсотки;

$\tau_{\text{с}}$ – тривалість сушіння, години.

При початковій вологості пшениці $W_{\text{п}} = 18,5\%$, кінцевій вологості $W_{\text{к}} = 14,0\%$ та тривалості сушіння $\tau_{\text{с}} = 3,2$ години інтенсивність сушіння дорівнює:

$$I_{\text{с}} = \frac{18,5 - 14,0}{3,2} = 1,41\% \text{ на годину.}$$

Питомі витрати теплоти на сушіння визначаються за формулою:

$$q_{\text{пит}} = \frac{18(W_{\text{п}} - W_{\text{к}}) \cdot r}{(100 - W_{\text{п}}) \cdot \eta_{\text{с}}} \quad (2.5)$$

де r – питома теплота пароутворення, кілоджоулі на кілограм;

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						26
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

η_c – коефіцієнт корисної дії сушарки.

Приймаючи питому теплоту пароутворення $r = 2450$ кДж/кг та коефіцієнт корисної дії сушарки $\eta_c = 0,68$, розраховуємо:

$$q_{\text{пит}} = (18,5 - 14,0) \cdot 2450 / (100 - 18,5) \cdot 0,68 = 199,1 \text{ кДж/кг.}$$

Загальна витрата теплоти на сушіння партії зерна:

$$Q_{\text{заг}} = \frac{M_z \cdot q_{\text{пит}}}{1000}, \quad (2.6)$$

де M_z – маса зерна, тонни;

$q_{\text{пит}}$ – питомі витрати теплоти, кілоджоулі на кілограм.

Для партії зерна масою $M_z = 1000$ т загальна витрата теплоти становить:

$$Q_{\text{заг}} = \frac{1000 \cdot 199,1}{1000} = 199,1 \text{ ГДж.}$$

Таблиця 2.1 Порівняльні техніко-економічні показники варіантів технологічних ліній

Параметр	Одиниця виміру	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Продуктивність очищення	т/год	8,5	9,2	10,1
Ефективність очищення	%	82,4	86,3	89,7
Продуктивність сушіння	т/год	7,8	8,4	8,9
Питомі витрати енергії	кВт·год/т	28,6	24,3	21,2
Втрати зерна	%	1,85	1,42	1,18
Капіталовкладення	тис. грн	4250	5180	6320

Коефіцієнт технічної досконалості обладнання розраховується як відношення фактичної продуктивності до теоретичної:

$$K_{\text{тд}} = \frac{Q_{\text{ф}}}{Q_{\text{т}}}. \quad (2.7)$$

де $Q_{\text{ф}}$ – фактична продуктивність обладнання, тонн на годину;

$Q_{\text{т}}$ – теоретична продуктивність обладнання, тонн на годину.

За результатами аналізу обрано третій варіант технологічної схеми, що забезпечує найвищу ефективність очищення при прийнятних капіталовкладеннях та найменших втратах зерна [8].

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						27
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

2.2 Розрахунок об'єму сировини за етапами її переробки

Розрахунок об'єму сировини виконується послідовно для кожного етапу технологічного процесу з урахуванням втрат та виходу продукції. Річний обсяг надходження зерна на підприємство становить $M_p = 30000$ тонн з розподілом за культурами: пшениця озима складає 52%, ячмінь озимий – 18%, кукурудза – 22%, соняшник – 8% від загального обсягу [19].

Обсяг надходження окремих культур визначається за формулою:

$$M_i = \frac{M_p \cdot P_i}{100}, \quad (2.8)$$

де M_i – обсяг надходження культури, тонни;

M_p – річний обсяг переробки, тонни;

P_i – частка культури у загальному обсязі, відсотки.

Обсяг надходження пшениці озимої:

$$M_{\text{пш}} = \frac{30000 \cdot 52}{100} = 15600 \text{ т,}$$

Обсяг надходження ячменю озимого:

$$M_{\text{яч}} = \frac{30000 \cdot 18}{100} = 5400 \text{ т,}$$

Обсяг надходження кукурудзи:

$$M_{\text{кук}} = \frac{30000 \cdot 22}{100} = 6600 \text{ т,}$$

Обсяг надходження соняшнику:

$$M_{\text{сон}} = \frac{30000 \cdot 8}{100} = 2400 \text{ т.}$$

Маса абсолютно сухої речовини у зерновій партії розраховується за виразом:

$$M_{\text{ас}} = \frac{M_z \cdot (100 - W_p)}{100}, \quad (2.9)$$

де $M_{\text{ас}}$ – маса абсолютно сухої речовини, тонни;

M_z – маса зернової партії, тонни;

W_p – початкова вологість зерна, відсотки.

Для пшениці озимої з початковою вологістю $W_p = 18,2\%$:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$M_{ac_пш} = \frac{15600 \cdot (100 - 18,2)}{100} = 12760,8 \text{ т.}$$

Після очищення від домішок обсяг зерна зменшується на величину вилучених домішок:

$$M_{оч} = \frac{M_{з} \cdot (100 - C_{д})}{100}, \quad (2.9)$$

де $M_{оч}$ – маса зерна після очищення, тонни;

$C_{д}$ – вміст домішок у зерні, відсотки.

При вмісті домішок у пшениці $C_{д} = 4,8\%$:

$$M_{оч_пш} = \frac{15600 \cdot (100 - 4,8)}{100} = 14851,2 \text{ т.}$$

Маса вологи, що підлягає видаленню при сушінні:

$$M_{вол} = \frac{M_{оч} \cdot (W_{п} - W_{к})}{(100 - W_{к})}, \quad (2.10)$$

де $M_{вол}$ – маса вологи, тонни; $W_{к}$ – кінцева вологість після сушіння, відсотки.

Для пшениці при цільовій вологості $W_{к} = 14,0\%$:

$$M_{вол_пш} = \frac{14851,2 \cdot (18,2 - 14,0)}{(100 - 14,0)} = 725,6 \text{ т,}$$

Маса зерна після сушіння:

$$M_{с} = M_{оч} - M_{вол},$$

$$M_{с_пш} = 14851,2 - 725,6 = 14125,6 \text{ т,}$$

Коефіцієнт виходу готової продукції:

$$K_{вих} = \frac{M_{с}}{M_{з} \cdot 100\%},$$

$$K_{вих_пш} = \frac{14125,6}{15600 \cdot 100\%} = 90,5\%,$$

Аналогічні розрахунки виконуються для інших культур. Для ячменю озимого з початковою вологістю $W_{п} = 16,5\%$ та вмістом домішок $C_{д} = 3,2\%$:

$$M_{ac_яч} = \frac{5400 \cdot (100 - 16,5)}{100} = 4509,0 \text{ т,}$$

$$M_{оч_яч} = \frac{5400 \cdot (100 - 3,2)}{100} = 5227,2 \text{ т,}$$

$$M_{вол_яч} = \frac{5227,2 \cdot (16,5 - 14,0)}{(100 - 14,0)} = 151,8 \text{ т,}$$

$$M_{с_яч} = 5227,2 - 151,8 = 5075,4 \text{ т,}$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$K_{\text{вих_яч}} = \frac{5075,4}{5400 \cdot 100\%} = 94,0\%,$$

Для кукурудзи з початковою вологістю $W_{\text{п}} = 22,3\%$ та вмістом домішок $C_{\text{д}} = 6,5\%$:

$$M_{\text{ас_кук}} = \frac{6600 \cdot (100 - 22,3)}{100} = 5128,2 \text{ т},$$

$$M_{\text{оч_кук}} = \frac{6600 \cdot (100 - 6,5)}{100} = 6171,0 \text{ т},$$

$$M_{\text{вол_кук}} = \frac{6171,0 \cdot (22,3 - 14,5)}{(100 - 14,5)} = 562,3 \text{ т},$$

$$M_{\text{с_кук}} = 6171,0 - 562,3 = 5608,7 \text{ т},$$

$$K_{\text{вих_кук}} = \frac{5608,7}{6600 \cdot 100\%} = 85,0\%,$$

Для соняшнику з початковою вологістю $W_{\text{п}} = 14,2\%$ та вмістом домішок $C_{\text{д}} = 7,8\%$:

$$M_{\text{ас_сон}} = \frac{2400 \cdot (100 - 14,2)}{100} = 2059,2 \text{ т},$$

$$M_{\text{оч_сон}} = \frac{2400 \cdot (100 - 7,8)}{100} = 2212,8 \text{ т},$$

$$M_{\text{вол_сон}} = \frac{2212,8 \cdot (14,2 - 7,0)}{2400 \cdot (100 - 7,8)} = 171,4 \text{ т},$$

$$M_{\text{с_сон}} = 2212,8 - 171,4 = 2041,4 \text{ т},$$

$$K_{\text{вих_сон}} = \frac{2041,4}{2400 \cdot 100\%} = 85,1\%,$$

Загальний вихід готової продукції після всіх етапів обробки:

$$M_{\text{заг}} = M_{\text{с_пш}} + M_{\text{с_яч}} + M_{\text{с_кук}} + M_{\text{с_сон}},$$

$$M_{\text{заг}} = 14125,6 + 5075,4 + 5608,7 + 2041,4 = 26851,1 \text{ т},$$

Середній коефіцієнт виходу готової продукції:

$$K_{\text{вих_сер}} = \frac{M_{\text{заг}}}{M_{\text{р}} \cdot 100\%},$$

$$K_{\text{вих_сер}} = \frac{26851,1}{30000 \cdot 100\%} = 89,5\%.$$

Таблиця 2.2 Баланс сировини за етапами технологічного процесу

Культура	Надходження, т	Після очищення, т	Після сушіння, т	Вихід, %
Пшениця	15600	14851,2	14125,6	90,5

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	<i>Аркуш</i>
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		30

озима				
Ячміннь ози- мий	5400	5227,2	5075,4	94,0
Кукурудза	6600	6171,0	5608,7	85,0
Соняшник	2400	2212,8	2041,4	85,1
Всього	30000	28462,2	26851,1	89,5

Питомі втрати сировини на кожному етапі обробки розраховуються для оцінки ефективності технологічного процесу. Втрати при очищенні включають вилучені домішки та дрібні частинки зерна. Втрати при сушінні складаються з випареної вологи та можливого термічного пошкодження зерна [3].

2.3 Розрахунок виробничої потужності технологічної лінії

Чисельність виробничого персоналу визначається на основі трудомісткості технологічних операцій та норм обслуговування обладнання. Явочна чисельність робітників розраховується за формулою:

$$Ч_{\text{яв}} = \sum \frac{t_i \cdot M_p}{(\Phi_p \cdot K_{\text{вн}})}, \quad (2.11)$$

де t_i – трудомісткість операції, людино-години на тонну;

$K_{\text{вн}}$ – коефіцієнт виконання норм виробітку.

Трудомісткість приймання та первинного очищення зерна складає $t_1 = 0,085$ люд-год/т, основного очищення $t_2 = 0,042$ люд-год/т, сушіння $t_3 = 0,068$ люд-год/т, зберігання та відвантаження $t_4 = 0,056$ люд-год/т [15].

Сумарна трудомісткість обробки однієї тонни зерна:

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4,$$

$$t_{\Sigma} = 0,085 + 0,042 + 0,068 + 0,056 = 0,251 \text{ люд-год/т},$$

Явочна чисельність основних робітників при коефіцієнті виконання норм $K_{\text{вн}} = 1,12$:

$$Ч_{\text{яв}} = \frac{0,251 \cdot 30000}{(3660,8 \cdot 1,12)} = 1,84 \approx 2 \text{ робітники}.$$

Облікова чисельність робітників з урахуванням невиходів на роботу:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						31
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\text{Ч}_{\text{обл}} = \text{Ч}_{\text{яв}} \cdot \text{К}_{\text{сп}}. \quad (2.12)$$

де $\text{К}_{\text{сп}}$ – коефіцієнт списочного складу.

Коефіцієнт списочного складу враховує відпустки, хвороби та інші не-виходи:

$$\text{К}_{\text{сп}} = \frac{\Phi_{\text{к}}}{\Phi_{\text{д}}}, \quad (2.13)$$

де $\Phi_{\text{к}}$ – календарний фонд часу, доби на рік;

$\Phi_{\text{д}}$ – дійсний фонд часу роботи одного робітника, доби на рік.

При $\Phi_{\text{к}} = 365$ днів та $\Phi_{\text{д}} = 232$ дні:

$$\text{К}_{\text{сп}} = \frac{365}{232} = 1,57,$$

Облікова чисельність основних робітників:

$$\text{Ч}_{\text{обл}} = 2 \cdot 1,57 = 3,14 \approx 4 \text{ робітники.}$$

Чисельність допоміжних робітників приймається у співвідношенні до основних робітників:

$$\text{Ч}_{\text{доп}} = \text{Ч}_{\text{обл}} \cdot \text{К}_{\text{доп}}, \quad (2.14)$$

де $\text{К}_{\text{доп}}$ – коефіцієнт допоміжних робітників.

При $\text{К}_{\text{доп}} = 0,35$:

$$\text{Ч}_{\text{доп}} = 4 \cdot 0,35 = 1,4 \approx 2 \text{ робітники.}$$

Чисельність інженерно-технічних працівників:

$$\text{Ч}_{\text{ітп}} = (\text{Ч}_{\text{обл}} + \text{Ч}_{\text{доп}}) \cdot \text{К}_{\text{ітп}}, \quad (2.15)$$

де $\text{К}_{\text{ітп}}$ – коефіцієнт інженерно-технічних працівників.

При $\text{К}_{\text{ітп}} = 0,18$:

$$\text{Ч}_{\text{ітп}} = (4 + 2) \cdot 0,18 = 1,08 \approx 1 \text{ працівник,}$$

Загальна чисельність персоналу:

$$\text{Ч}_{\text{заг}} = \text{Ч}_{\text{обл}} + \text{Ч}_{\text{доп}} + \text{Ч}_{\text{ітп}},$$

$$\text{Ч}_{\text{заг}} = 4 + 2 + 1 = 7 \text{ осіб,}$$

Продуктивність праці одного працівника:

$$\text{П}_{\text{пр}} = \frac{\text{М}_{\text{р}}}{\text{Ч}_{\text{заг}}},$$

$$\text{П}_{\text{пр}} = \frac{30000}{7} = 4286 \text{ тонн на особу за рік.}$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	<i>Аркуш</i>
						32
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

Річний фонд заробітної плати основних робітників розраховується виходячи з годинної тарифної ставки та фактично відпрацьованого часу:

$$\text{ФЗП}_{\text{осн}} = \text{Ч}_{\text{обл}} \cdot \text{С}_{\text{год}} \cdot \text{Ф}_{\text{д}} \cdot \text{t}_{\text{зм}} \cdot \text{К}_{\text{пр}}, \quad (2.16)$$

де $\text{С}_{\text{год}}$ – годинна тарифна ставка, гривні;

$\text{К}_{\text{пр}}$ – коефіцієнт преміювання.

При годинній ставці $\text{С}_{\text{год}} = 62$ грн, дійсному фонді $\text{Ф}_{\text{д}} = 232$ дні, тривалості зміни $\text{t}_{\text{зм}} = 8$ годин та коефіцієнті преміювання $\text{К}_{\text{пр}} = 1,25$:

$$\text{ФЗП}_{\text{осн}} = 4 \cdot 62 \cdot 232 \cdot 8 \cdot 1,25 = 574720 \text{ грн},$$

Річний фонд заробітної плати допоміжних робітників:

$$\text{ФЗП}_{\text{доп}} = \text{Ч}_{\text{доп}} \cdot \text{С}_{\text{год}_{\text{доп}}} \cdot \text{Ф}_{\text{д}} \cdot \text{t}_{\text{зм}} \cdot \text{К}_{\text{пр}_{\text{доп}}},$$

При годинній ставці допоміжних робітників $\text{С}_{\text{год}_{\text{доп}}} = 54$ грн та коефіцієнті преміювання $\text{К}_{\text{пр}_{\text{доп}}} = 1,18$:

$$\text{ФЗП}_{\text{доп}} = 2 \cdot 54 \cdot 232 \cdot 8 \cdot 1,18 = 235494 \text{ грн}.$$

Фонд заробітної плати інженерно-технічних працівників:

$$\text{ФЗП}_{\text{ітп}} = \text{Ч}_{\text{ітп}} \cdot \text{О}_{\text{міс}} \cdot 12 \cdot \text{К}_{\text{пр}_{\text{ітп}}}, \quad (2.17)$$

де $\text{О}_{\text{міс}}$ – місячний оклад інженерно-технічного працівника, гривні.

При місячному окладі $\text{О}_{\text{міс}} = 18500$ грн та коефіцієнті преміювання $\text{К}_{\text{пр}_{\text{ітп}}} = 1,32$:

$$\text{ФЗП}_{\text{ітп}} = 1 \cdot 18500 \cdot 12 \cdot 1,32 = 293040 \text{ грн},$$

Загальний річний фонд заробітної плати:

$$\text{ФЗП}_{\text{заг}} = \text{ФЗП}_{\text{осн}} + \text{ФЗП}_{\text{доп}} + \text{ФЗП}_{\text{ітп}},$$

$$\text{ФЗП}_{\text{заг}} = 574720 + 235494 + 293040 = 1103254 \text{ грн},$$

Середньомісячна заробітна плата одного працівника:

$$\text{ЗП}_{\text{сер}} = \frac{\text{ФЗП}_{\text{заг}}}{\text{Ч}_{\text{заг}} \cdot 12},$$

$$\text{ЗП}_{\text{сер}} = \frac{1103254}{7 \cdot 12} = 13134 \text{ грн},$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.3 Чисельність персоналу та фонд заробітної плати

Категорія персоналу	Кількість, осіб	Місячна ставка, грн	Річний ФЗП, грн	Частка, %
Основні робітники	4	11952	574720	52,1
Допоміжні робітники	2	9812	235494	21,3
Інженерно-технічні працівники	1	24420	293040	26,6
Всього	7	13134	1103254	100,0

Питомі витрати на оплату праці на одиницю продукції:

$$V_{\text{пит}} = \frac{\text{ФЗП}_{\text{заг}}}{M_{\text{п}}},$$

$$V_{\text{пит}} = \frac{1103254}{30000} = 36,77 \text{ грн/т.}$$

Розрахована чисельність персоналу забезпечує ефективну експлуатацію технологічної лінії при дотриманні норм охорони праці та оптимального розподілу трудових функцій між працівниками різних категорій [18].

2.4 Визначення кількості виробничого персоналу

Чисельність виробничого персоналу визначається на основі трудомісткості технологічних операцій та норм обслуговування обладнання. Явочна чисельність робітників розраховується за формулою:

$$Ч_{\text{яв}} = \sum \frac{t_i \cdot M_{\text{п}}}{\Phi_{\text{п}} \cdot K_{\text{вн}}}, \quad (2.18)$$

де t_i – трудомісткість операції, людино-години на тонну;

$K_{\text{вн}}$ – коефіцієнт виконання норм виробітку.

Трудомісткість приймання та первинного очищення зерна складає $t_1 = 0,085$ люд-год/т, основного очищення $t_2 = 0,042$ люд-год/т, сушіння $t_3 = 0,068$ люд-год/т, зберігання та відвантаження $t_4 = 0,056$ люд-год/т [15].

Сумарна трудомісткість обробки однієї тонни зерна:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						34
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4,$$

$$t_{\Sigma} = 0,085 + 0,042 + 0,068 + 0,056 = 0,251 \text{ люд-год/т.}$$

Явочна чисельність основних робітників при коефіцієнті виконання норм $K_{\text{вн}} = 1,12$:

$$Ч_{\text{яв}} = \frac{10,251 \cdot 30000}{3660,8 \cdot 1,12} = 1,84 \approx 2 \text{ робітники.}$$

Облікова чисельність робітників з урахуванням невиходів на роботу:

$$Ч_{\text{обл}} = Ч_{\text{яв}} \cdot K_{\text{сп}}. \quad (2.19)$$

де $K_{\text{сп}}$ – коефіцієнт списочного складу.

Коефіцієнт списочного складу враховує відпустки, хвороби та інші невиходи:

$$K_{\text{сп}} = \frac{\Phi_{\text{к}}}{\Phi_{\text{д}}}, \quad (2.20)$$

де $\Phi_{\text{к}}$ – календарний фонд часу, доби на рік;

$\Phi_{\text{д}}$ – дійсний фонд часу роботи одного робітника, доби на рік.

При $\Phi_{\text{к}} = 365$ днів та $\Phi_{\text{д}} = 232$ дні:

$$K_{\text{сп}} = \frac{365}{232} = 1,57,$$

Облікова чисельність основних робітників:

$$Ч_{\text{обл}} = 2 \cdot 1,57 = 3,14 \approx 4 \text{ робітники.}$$

Чисельність допоміжних робітників приймається у співвідношенні до основних робітників:

$$Ч_{\text{доп}} = Ч_{\text{обл}} \cdot K_{\text{доп}}, \quad (2.21)$$

де $K_{\text{доп}}$ – коефіцієнт допоміжних робітників.

При $K_{\text{доп}} = 0,35$:

$$Ч_{\text{доп}} = 4 \cdot 0,35 = 1,4 \approx 2 \text{ робітники.}$$

Чисельність інженерно-технічних працівників:

$$Ч_{\text{ітп}} = (Ч_{\text{обл}} + Ч_{\text{доп}}) \cdot K_{\text{ітп}}, \quad (2.22)$$

де $K_{\text{ітп}}$ – коефіцієнт інженерно-технічних працівників.

При $K_{\text{ітп}} = 0,18$:

$$Ч_{\text{ітп}} = (4 + 2) \cdot 0,18 = 1,08 \approx 1 \text{ працівник,}$$

Загальна чисельність персоналу:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						35
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\text{Ч}_{\text{заг}} = \text{Ч}_{\text{обл}} + \text{Ч}_{\text{доп}} + \text{Ч}_{\text{ітп}},$$

$$\text{Ч}_{\text{заг}} = 4 + 2 + 1 = 7 \text{ осіб},$$

Продуктивність праці одного працівника:

$$\text{П}_{\text{пр}} = \frac{\text{М}_{\text{р}}}{\text{Ч}_{\text{заг}}},$$

$$\text{П}_{\text{пр}} = \frac{30000}{7} = 4286 \text{ тонн на особу за рік.}$$

Річний фонд заробітної плати основних робітників розраховується виходячи з годинної тарифної ставки та фактично відпрацьованого часу:

$$\text{ФЗП}_{\text{осн}} = \text{Ч}_{\text{обл}} \cdot \text{С}_{\text{год}} \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot t_{\text{зм}} \cdot \text{К}_{\text{пр}}, \quad (2.23)$$

де $\text{С}_{\text{год}}$ – годинна тарифна ставка, гривні; $\text{К}_{\text{пр}}$ – коефіцієнт преміювання.

При годинній ставці $\text{С}_{\text{год}} = 62$ грн, дійсному фонді $\Phi_{\text{д}} = 232$ дні, тривалості зміни $t_{\text{зм}} = 8$ годин та коефіцієнті преміювання $\text{К}_{\text{пр}} = 1,25$:

$$\text{ФЗП}_{\text{осн}} = 4 \cdot 62 \cdot 232 \cdot 8 \cdot 1,25 = 574720 \text{ грн},$$

Річний фонд заробітної плати допоміжних робітників:

$$\text{ФЗП}_{\text{доп}} = \text{Ч}_{\text{доп}} \cdot \text{С}_{\text{год}_{\text{доп}}} \cdot \Phi_{\text{д}} \cdot t_{\text{зм}} \cdot \text{К}_{\text{пр}_{\text{доп}}},$$

При годинній ставці допоміжних робітників $\text{С}_{\text{год}_{\text{доп}}} = 54$ грн та коефіцієнті преміювання $\text{К}_{\text{пр}_{\text{доп}}} = 1,18$:

$$\text{ФЗП}_{\text{доп}} = 2 \cdot 54 \cdot 232 \cdot 8 \cdot 1,18 = 235494 \text{ грн.}$$

Фонд заробітної плати інженерно-технічних працівників:

$$\text{ФЗП}_{\text{ітп}} = \text{Ч}_{\text{ітп}} \cdot \text{О}_{\text{міс}} \cdot 12 \cdot \text{К}_{\text{пр}_{\text{ітп}}}, \quad (2.24)$$

де $\text{О}_{\text{міс}}$ – місячний оклад інженерно-технічного працівника, гривні.

При місячному окладі $\text{О}_{\text{міс}} = 18500$ грн та коефіцієнті преміювання $\text{К}_{\text{пр}_{\text{ітп}}} = 1,32$:

$$\text{ФЗП}_{\text{ітп}} = 1 \cdot 18500 \cdot 12 \cdot 1,32 = 293040 \text{ грн},$$

Загальний річний фонд заробітної плати:

$$\text{ФЗП}_{\text{заг}} = \text{ФЗП}_{\text{осн}} + \text{ФЗП}_{\text{доп}} + \text{ФЗП}_{\text{ітп}},$$

$$\text{ФЗП}_{\text{заг}} = 574720 + 235494 + 293040 = 1103254 \text{ грн},$$

Середньомісячна заробітна плата одного працівника:

$$\text{ЗП}_{\text{сер}} = \frac{\text{ФЗП}_{\text{заг}}}{\text{Ч}_{\text{заг}} \cdot 12},$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	<i>Аркуш</i>
						36
<i>Зм..</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

$$ЗП_{сер} = \frac{1103254}{7 \cdot 12} = 13134 \text{ грн,}$$

Таблиця 2.3 Чисельність персоналу та фонд заробітної плати

Категорія персоналу	Кількість, осіб	Місячна ставка, грн	Річний ФЗП, грн	Частка, %
Основні робітники	4	11952	574720	52,1
Допоміжні робітники	2	9812	235494	21,3
Інженерно-технічні працівники	1	24420	293040	26,6
Всього	7	13134	1103254	100,0

Питомі витрати на оплату праці на одиницю продукції:

$$V_{пит} = \frac{\Phi ЗП_{заг}}{M_p},$$

$$V_{пит} = \frac{1103254}{30000} = 36,77 \text{ грн/т.}$$

Розрахована чисельність персоналу забезпечує ефективну експлуатацію технологічної лінії при дотриманні норм охорони праці та оптимального розподілу трудових функцій між працівниками різних категорій [18].

2.5 Проектування виробничого цеху (відділення)

Проектування виробничого цеху здійснюється на основі розрахованих технологічних параметрів обладнання та вимог нормативних документів щодо організації виробничих приміщень. Загальна площа цеху визначається виходячи з габаритів обладнання та необхідних проходів для обслуговування:

$$S_{заг} = \Sigma S_{об} \cdot K_{пл}, \quad (2.25)$$

де $S_{об}$ – площа, зайнята обладнанням, квадратні метри;

$K_{пл}$ – коефіцієнт використання площі.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Площа зайнята зерноочисною машиною становить $S_{\text{оч}} = 12,5 \text{ м}^2$, зерносушаркою $S_{\text{с}} = 28,4 \text{ м}^2$, норіями та транспортерами $S_{\text{тр}} = 18,6 \text{ м}^2$, силосними ємностями $S_{\text{сил}} = 145,2 \text{ м}^2$:

$$\Sigma S_{\text{об}} = 12,5 + 28,4 + 18,6 + 145,2 = 204,7 \text{ м}^2,$$

При коефіцієнті використання площі $K_{\text{пл}} = 3,2$:

$$S_{\text{заг}} = 204,7 \cdot 3,2 = 655,0 \text{ м}^2.$$

Висота виробничого цеху визначається габаритною висотою найвищого обладнання з додаванням технологічного запасу:

$$H_{\text{ц}} = H_{\text{об}} + h_{\text{зап}}, \quad (2.26)$$

де $H_{\text{об}}$ – висота обладнання, метри; $h_{\text{зап}}$ – технологічний запас по висоті, метри.

При висоті зерносушарки $H_{\text{об}} = 18,5 \text{ м}$ та технологічному запасі $h_{\text{зап}} = 2,5 \text{ м}$:

$$H_{\text{ц}} = 18,5 + 2,5 = 21,0 \text{ м},$$

Об'єм виробничого цеху:

$$V_{\text{ц}} = S_{\text{заг}} \cdot H_{\text{ц}},$$

$$V_{\text{ц}} = 655,0 \cdot 21,0 = 13755 \text{ м}^3,$$

Питомий об'єм приміщення на одного працюючого:

$$V_{\text{пит}} = \frac{V_{\text{ц}}}{\text{Ч}_{\text{яв}}},$$

$$V_{\text{пит}} = \frac{13755}{2} = 6877,5 \text{ м}^3 \text{ на особу}.$$

Природне освітлення виробничого цеху забезпечується через світлові прорізи у стінах та покрівлі. Коефіцієнт природного освітлення:

$$\text{КПО} = \frac{S_{\text{в}}}{S_{\text{п}}} \cdot 100\% \cdot \tau_{\text{0}} \cdot r_{\text{1}}, \quad (2.27)$$

де $S_{\text{в}}$ – площа вікон, квадратні метри;

$S_{\text{п}}$ – площа підлоги, квадратні метри;

τ_{0} – загальний коефіцієнт світлопропускання;

r_{1} – коефіцієнт, що враховує відбиття світла.

При площі вікон $S_{\text{в}} = 98,2 \text{ м}^2$, коефіцієнті світлопропускання $\tau_{\text{0}} = 0,65$ та коефіцієнті відбиття $r_{\text{1}} = 1,8$:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						38
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\text{КПО} = \frac{98,2}{655,0} \cdot 100\% \cdot 0,65 \cdot 1,8 = 17,5\%.$$

Кількість світлових точок штучного освітлення:

$$n_{\text{св}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S_{\text{заг}} \cdot K_{\text{з}} \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot \eta}, \quad (2.28)$$

де $E_{\text{н}}$ – нормована освітленість, люкси;

$K_{\text{з}}$ – коефіцієнт запасу;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

$\Phi_{\text{л}}$ – світловий потік однієї лампи, люмени;

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

При нормованій освітленості $E_{\text{н}} = 200$ лк, коефіцієнті запасу $K_{\text{з}} = 1,5$, коефіцієнті нерівномірності $Z = 1,1$, світловому потоці лампи $\Phi_{\text{л}} = 4600$ лм та коефіцієнті використання $\eta = 0,58$:

$$n_{\text{св}} = \frac{200 \cdot 655,0 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4600 \cdot 0,58} = 81,2 \approx 82 \text{ світильники.}$$

Система вентиляції забезпечує необхідний повітрообмін для видалення пилу та підтримання комфортного мікроклімату:

$$L_{\text{вент}} = V_{\text{ц}} \cdot n_{\text{об}}, \quad (2.29)$$

де $L_{\text{вент}}$ – необхідна продуктивність вентиляції, кубічні метри на годину;

$n_{\text{об}}$ – кратність повітрообміну на годину.

При кратності повітрообміну $n_{\text{об}} = 6$ обмінів на годину:

$$L_{\text{вент}} = 13755 \cdot 6 = 82530 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Система аспірації для уловлювання зернового пилу проектується з розрахунку швидкості повітря у повітропроводах:

$$Q_{\text{асп}} = v_{\text{пов}} \cdot S_{\text{пер}} \cdot 3600, \quad (2.30)$$

де $Q_{\text{асп}}$ – продуктивність аспіраційної установки, кубічні метри на годину;

$v_{\text{пов}}$ – швидкість повітря у повітропроводі, метри на секунду;

$S_{\text{пер}}$ – площа перерізу повітропроводу, квадратні метри.

При швидкості повітря $v_{\text{пов}} = 18$ м/с та площі перерізу $S_{\text{пер}} = 0,28$ м²:

$$Q_{\text{асп}} = 18 \cdot 0,28 \cdot 3600 = 18144 \text{ м}^3/\text{год.}$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	<i>Аркуш</i>
						39
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

Теплові втрати через огорожувальні конструкції:

$$Q_{\text{втр}} = \Sigma (F_i \cdot \Delta t \cdot k_i), \quad (2.31)$$

де F_i – площа огорожувальної конструкції, квадратні метри;

Δt – різниця температур, градуси Цельсія;

k_i – коефіцієнт теплопередачі, вати на квадратний метр на градус.

Площа зовнішніх стін $F_{\text{ст}} = 285 \text{ м}^2$ з коефіцієнтом теплопередачі $k_{\text{ст}} = 0,48 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, площа покрівлі $F_{\text{пок}} = 655 \text{ м}^2$ з коефіцієнтом $k_{\text{пок}} = 0,35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, при різниці температур $\Delta t = 32^\circ\text{C}$:

$$Q_{\text{втр}} = (285 \cdot 32 \cdot 0,48) + (655 \cdot 32 \cdot 0,35) = 11713,6 \text{ Вт} = 11,71 \text{ кВт},$$

Необхідна потужність системи опалення з урахуванням коефіцієнта запасу $K_{\text{оп}} = 1,25$:

$$N_{\text{оп}} = Q_{\text{втр}} \cdot K_{\text{оп}},$$

$$N_{\text{оп}} = 11,71 \cdot 1,25 = 14,64 \text{ кВт}.$$

Таблиця 2.4 Основні параметри виробничого цеху

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Загальна площа цеху	м ²	655,0
Висота цеху	м	21,0
Об'єм приміщення	м ³	13755
Кількість світильників	шт	82
Продуктивність вентиляції	м ³ /год	82530
Продуктивність аспірації	м ³ /год	18144
Потужність опалення	кВт	14,64
Питомий об'єм на працівника	м ³ /осіб	6877,5

Протипожежні відстані між обладнанням та будівельними конструкціями визначаються відповідно до вимог нормативних документів. Мінімальна відстань від зерносушарки до стіни будівлі становить 3,5 метри, між норіями та іншим обладнанням – 2,8 метри, ширина проходів для обслуговування – не менше 1,5 метри [20].

Компонування обладнання у виробничому цеху виконується з урахуванням технологічної послідовності операцій та забезпечення гравітаційного пере-

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

міщення зерна на окремих ділянках, що знижує енергетичні витрати на транспортування сировини та готової продукції.

Висновки за розділом

Виконані розрахунки технологічної лінії післязбиральної обробки зерна підтвердили доцільність вибору запропонованої технологічної схеми з високою ефективністю очищення та енергоефективним сушінням. Розрахований баланс сировини показав середній вихід готової продукції 89,5 відсотків з мінімальними втратами на всіх етапах обробки. Визначена виробнича потужність лінії

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

тонн на рік повністю відповідає запланованому обсягу переробки з необхідним технологічним резервом. Розрахована чисельність персоналу сім осіб забезпечує ефективну експлуатацію обладнання при оптимальних витратах на оплату праці. Запроектований виробничий цех відповідає всім нормативним вимогам щодо організації технологічного процесу та умов праці персоналу.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

3 МОНТАЖ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ

3.1 Вимоги до монтажу обладнання цеху

Монтаж технологічного обладнання лінії післязбиральної обробки зерна здійснюється згідно з вимогами національних стандартів ДСТУ та технічної документації виробників обладнання. Основні вимоги до фундаментів визначаються масою обладнання та динамічними навантаженнями під час експлуатації. Для зерносушарки шахтного типу масою $M_c = 18500$ кг необхідний залізобетонний фундамент з розрахунковою площею опорної поверхні:

$$S_{\text{ф}} = \frac{M_c \cdot g \cdot K_d}{\sigma_{\text{г}}}, \quad (3.1)$$

де $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння;

$K_d = 1,85$ – коефіцієнт динамічності;

$[\sigma_{\text{г}}] = 0,32$ МПа – допустимий тиск на ґрунт.

$$S_{\text{ф}} = \frac{18500 \cdot 9,81 \cdot 1,85}{0,32 \cdot 10^6} = 1,05 \text{ м}^2.$$

Глибина закладання фундаменту під зерносушарку визначається з урахуванням глибини промерзання ґрунту та рівня ґрунтових вод:

$$h_{\text{ф}} = h_{\text{пр}} + \Delta h_{\text{з}}, \quad (3.2)$$

де $h_{\text{пр}} = 0,95$ м – глибина промерзання для Запорізької області;

$\Delta h_{\text{з}} = 0,25$ м – технологічний запас.

$$h_{\text{ф}} = 0,95 + 0,25 = 1,20 \text{ м}.$$

Горизонтальність установки обладнання контролюється прецизійним нівеліром з точністю вимірювання 0,1 мм на 1 м довжини. Допустиме відхилення від горизонталі для норії складає:

$$\delta_{\text{г}} = L_{\text{н}} \cdot \text{tg } \alpha_{\text{доп}}, \quad (3.3)$$

де $L_{\text{н}} = 21,5$ м – висота норії;

$\alpha_{\text{доп}} = 0,002$ рад – допустимий кут відхилення.

$$\delta_{\text{г}} = 21,5 \cdot 0,002 = 0,043 \text{ м} = 43 \text{ мм}.$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Вібраційна ізоляція зерноочисної машини забезпечується гумовими амортизаторами з коефіцієнтом жорсткості:

$$k_a = \frac{M_{оч} \cdot \omega^2}{n_a}, \quad (3.4)$$

де $M_{оч} = 2850$ кг – маса зерноочисної машини;

$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 8,5 = 53,4$ рад/с – кутова частота коливань;

$n_a = 4$ – кількість амортизаторів.

$$k_a = \frac{2850 \cdot 53,4^2}{4} = 2032875 \text{ Н/м} \approx 2033 \text{ кН/м.}$$

Міцність болтових з'єднань перевіряється за напруженням розтягу:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{n_b \cdot S_b} \leq [\sigma_p], \quad (3.5)$$

де $F_p = 145000$ Н – розтягуюча сила;

$n_b = 8$ – кількість болтів;

$S_b = 314$ мм² – площа перерізу болта М20;

$[\sigma_p] = 180$ МПа – допустиме напруження.

$$\sigma_p = \frac{145000}{8 \cdot 314 \cdot 10^{-6}} = 57,7 \text{ МПа} < 180 \text{ МПа.}$$

Електричне підключення обладнання виконується кабелем з мідними жилами перерізом, розрахованим за тривало допустимим струмом:

$$S_k = \frac{I_{доп}}{j_{доп}}, \quad (3.6)$$

де $I_{доп} = 185$ А – допустимий струм для електродвигуна зерносушарки потужністю $N_c = 110$ кВт; $j_{доп} = 5$ А/мм² – допустима щільність струму.

$$S_k = \frac{185}{5} = 37 \text{ мм}^2.$$

Приймається стандартний кабель з перерізом жили 50 мм². Довжина кабельної лінії від розподільного щита до електродвигуна $L_k = 48$ м, втрати напруги становлять:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I_{доп} \cdot L_k \cdot \rho_m}{S_k}, \quad (3.7)$$

де $\rho_m = 0,0175$ Ом×мм²/м – питомий опір міді.

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 185 \cdot 48 \cdot 0,0175}{50} = 6,22 \text{ В.}$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						44
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Відносні втрати напруги:

$$\delta_{U} = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \quad (3.8)$$

де $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$ – номінальна напруга.

$$\delta_{U} = \frac{6,22}{380} \cdot 100\% = 1,64\% < 5\%.$$

Таблиця 3.1 Параметри монтажу основного обладнання

Обладнання	Маса, кг	Потужність, кВт	Площа фун- даменту, м ²	Кількість болтів	Переріз кабелю, мм ²
Зерносушарка	18500	110	1,05	8	50
Зерноочисна машина	2850	37	0,48	8	16
Норія	1620	18,5	0,28	6	10
Транспортер	945	11	0,15	4	6

Система трубопроводів для подачі теплоносія розраховується за швидкістю руху теплового агента:

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{т}}}{\pi \cdot v_{\text{т}} \cdot \rho_{\text{т}}}}, \quad (3.9)$$

де $Q_{\text{т}} = 8,4 \text{ м}^3/\text{с}$ – об'ємна витрата теплоносія;

$v_{\text{т}} = 15 \text{ м/с}$ – рекомендована швидкість;

$\rho_{\text{т}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря при робочій температурі.

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,4}{3,14 \cdot 15 \cdot 1,2}} = 0,65 \text{ м} = 650 \text{ мм}.$$

Товщина стінки трубопроводу визначається за внутрішнім тиском:

$$s_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{вн}} \cdot d_{\text{тр}}}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_{\text{вн}}}, \quad (3.10)$$

де $P_{\text{вн}} = 0,15 \text{ МПа}$ – робочий тиск;

$[\sigma] = 160 \text{ МПа}$ – допустиме напруження для сталі;

$\varphi = 0,95$ – коефіцієнт міцності зварного шва.

$$s_{\text{тр}} = \frac{0,15 \cdot 0,65}{2 \cdot 160 \cdot 0,95 - 0,15} = 0,00032 \text{ м} = 0,32 \text{ мм}.$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Приймається стандартна товщина стінки 4 мм з урахуванням корозійного припуску та запасу міцності.

3.2 Розробка технології монтажу обладнання

Технологія монтажу розробляється у вигляді послідовних операцій з визначенням трудомісткості кожного етапу. Підготовка фундаментів включає розмітку осей, риття котловану, влаштування піщаної підушки товщиною 0,15 м та бетонування. Об'єм бетону для фундаменту зерносушарки:

$$V_{\text{б}} = S_{\text{ф}} \cdot h_{\text{ф}} \cdot K_{\text{р}}, \quad (3.11)$$

де $K_{\text{р}} = 1,15$ – коефіцієнт розширення фундаменту.

$$V_{\text{б}} = 1,05 \cdot 1,20 \cdot 1,15 = 1,45 \text{ м}^3.$$

Час твердіння бетону до розпалубки при температурі $t_{\text{пов}} = 18^{\circ}\text{C}$ становить:

$$\tau_{\text{ТВ}} = \frac{\tau_{28} \cdot \lg 28}{\lg n_{\text{т}}}, \quad (3.12)$$

де $\tau_{28} = 28$ діб – нормативний термін;

$n_{\text{т}} = 7$ діб – фактичний термін твердіння.

$$\tau_{\text{ТВ}} = \frac{28 \cdot 1,447}{0,845} = 48 \text{ діб.}$$

Для прискорення монтажу застосовується бетон марки М400 з прискорювачем твердіння, що дозволяє скоротити термін до 7 діб. Транспортування зерносушарки від місця розвантаження до місця монтажу здійснюється автокраном вантажопідйомністю:

$$Q_{\text{кр}} = M_{\text{с}} \cdot K_{\text{стр}}, \quad (3.13)$$

де $K_{\text{стр}} = 1,25$ – коефіцієнт строповки.

$$Q_{\text{кр}} = 18500 \cdot 1,25 = 23125 \text{ кг} \approx 25 \text{ т.}$$

Висота підйому крюка крана:

$$H_{\text{кр}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{об}} + h_{\text{стр}} + h_{\text{з}}, \quad (3.14)$$

де $h_{\text{об}} = 18,5$ м – висота обладнання;

$h_{\text{стр}} = 2,5$ м – довжина стропів;

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$h_z = 1,5$ м – запас по висоті.

$$H_{кр} = 1,2 + 18,5 + 2,5 + 1,5 = 23,7 \text{ м.}$$

Виліт стріли крана розраховується за геометричними параметрами:

$$L_{ст} = \sqrt{(H_{кр}^2 + r_{уст}^2)}, \quad (3.15)$$

де $r_{уст} = 12$ м – відстань від осі крана до осі обладнання.

$$L_{ст} = \sqrt{(23,7^2 + 12^2)} = 26,6 \text{ м.}$$

Трудомісткість монтажу основного обладнання визначається за укрупненими нормами:

$$T_m = \Sigma(M_i \cdot k_{тр_i}), \quad (3.16)$$

де $k_{тр}$ – питома трудомісткість монтажу.

Для зерносушарки $k_{тр1} = 0,85$ люд-год/т, зерноочисної машини $k_{тр2} = 0,62$ люд-год/т, норії $k_{тр3} = 0,48$ люд-год/т:

$$T_m = 18,5 \cdot 0,85 + 2,85 \cdot 0,62 + 1,62 \cdot 0,48 = 18,28 \text{ люд-год.}$$

Центрування валів обертових механізмів виконується індикаторним методом з точністю:

$$\Delta_{ц} = \frac{n \cdot d_v}{1000}, \quad (3.17)$$

де $n = 1450$ об/хв – частота обертання валу зерноочисної машини;

$d_v = 0,045$ м – діаметр валу.

$$\Delta_{ц} = \frac{1450 \cdot 0,045}{1000} = 0,065 \text{ мм.}$$

Балансування ротора норії проводиться з залишковим дисбалансом:

$$D_{зал} = \frac{e_{доп} \cdot m_p \cdot \omega^2}{1000}, \quad (3.18)$$

де $e_{доп} = 6,3$ мкм – допустимий ексцентриситет;

$m_p = 285$ кг – маса ротора.

$$D_{зал} = \frac{6,3 \cdot 10^{-6} \cdot 285 \cdot 53,4^2}{1000} = 0,051 \text{ г}\cdot\text{м.}$$

Тиск опресування гідравлічної системи:

$$P_{оп} = P_{роб} \cdot K_{оп}, \quad (3.19)$$

де $P_{роб} = 0,6$ МПа – робочий тиск;

$K_{оп} = 1,5$ – коефіцієнт опресування.

$$P_{оп} = 0,6 \cdot 1,5 = 0,9 \text{ МПа.}$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						47
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Тривалість витримки під тиском опресування складає $\tau_{оп} = 15$ хвилин.
Падіння тиску за цей час не повинно перевищувати 0,05 МПа.

3.3 Експлуатація обладнання

Режим експлуатації технологічної лінії визначається продуктивністю обладнання та обсягом переробки сировини. Річний фонд робочого часу обладнання:

$$\Phi_{об} = (D_{к} - D_{в} - D_{рем}) \cdot t_{зм} \cdot n_{зм}, \quad (3.20)$$

де $D_{к} = 365$ діб – календарні дні;

$D_{в} = 104$ доби – вихідні дні;

$D_{рем} = 18$ діб – планові ремонти;

$t_{зм} = 8$ год – тривалість зміни;

$n_{зм} = 1$ – кількість змін.

$$\Phi_{об} = (365 - 104 - 18) \cdot 8 \cdot 1 = 1944 \text{ год.}$$

Коефіцієнт використання обладнання за часом:

$$K_{час} = \frac{T_{ф}}{\Phi_{об}}, \quad (3.21)$$

де $T_{ф} = 1685$ год – фактичний час роботи.

$$K_{час} = \frac{1685}{1944} = 0,867.$$

Коефіцієнт використання обладнання за потужністю:

$$K_{пот} = \frac{Q_{ф}}{Q_{н}}, \quad (3.22)$$

де $Q_{ф} = 8,9$ т/год – фактична продуктивність сушіння;

$Q_{н} = 10,5$ т/год – номінальна продуктивність.

$$K_{пот} = \frac{8,9}{10,5} = 0,848,$$

Інтегральний коефіцієнт використання обладнання:

$$K_{інт} = K_{час} \cdot K_{пот},$$

$$K_{інт} = 0,867 \cdot 0,848 = 0,735.$$

Витрата природного газу на сушіння однієї тонни зерна:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	<i>Аркуш</i>
						48
<i>Зм.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

$$V_{\Gamma} = \frac{q_{\text{пит}} \cdot 1000}{25Q_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{с}}}, \quad (3.23)$$

де $Q_{\text{н}} = 33500$ кДж/м³ – теплота згоряння природного газу; $\eta_{\text{с}} = 0,68$ – коефіцієнт корисної дії сушарки; $q_{\text{пит}} = 199,1$ кДж/кг.

$$V_{\Gamma} = \frac{199,1 \cdot 1000}{2533500 \cdot 0,68} = 8,74 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Витрата електроенергії на транспортування однієї тонни зерна:

$$V_{\text{е}} = \frac{N_{\text{тр}} \cdot t_{\text{тр}}}{60 \cdot Q_{\text{тр}}}, \quad (3.24)$$

де $N_{\text{тр}} = 11$ кВт – потужність транспортера;

$t_{\text{тр}} = 12$ хв – час транспортування;

$Q_{\text{тр}} = 25$ т/год – продуктивність транспортера.

$$V_{\text{е}} = \frac{11 \cdot 12}{60 \cdot 25} = 0,088 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{т}.$$

Періодичність технічного обслуговування визначається напрацюванням обладнання. Для зерносушарки міжремонтний період:

$$T_{\text{мр}} = \frac{N_{\text{рес}}}{T_{\text{р}}}, \quad (3.25)$$

де $N_{\text{рес}} = 8000$ год – ресурс до капітального ремонту;

$T_{\text{р}} = 1685$ год/рік – річне напрацювання.

$$T_{\text{мр}} = \frac{8000}{1685} = 4,75 \approx 5 \text{ років}.$$

Вартість планового технічного обслуговування за рік:

$$V_{\text{то}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}}) \cdot n_{\text{то}}, \quad (3.26)$$

де $C_{\text{мат}} = 4850$ грн – вартість матеріалів на одне ТО;

$C_{\text{зп}} = 2120$ грн – заробітна плата;

$n_{\text{то}} = 4$ – кількість ТО за рік.

$$V_{\text{то}} = (4850 + 2120) \cdot 4 = 27880 \text{ грн}.$$

Коефіцієнт готовності обладнання:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{р}}}{T_{\text{р}} + T_{\text{в}}}, \quad (3.27)$$

де $T_{\text{в}} = 185$ год – час простоїв на ремонт.

$$K_{\Gamma} = \frac{1685}{1685 + 185} = 0,901.$$

Питомі витрати на утримання обладнання:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$V_{\text{пит_об}} = \frac{V_{\text{то}} + V_{\text{ам}} + V_{\text{рем}}}{M_p}, \quad (3.28)$$

де $V_{\text{ам}} = 142500$ грн – амортизація;

$V_{\text{рем}} = 38200$ грн – поточні ремонти.

$$V_{\text{пит_об}} = \frac{27880 + 142500 + 3820018}{30000} = 6,95 \text{ грн/т.}$$

Температурний режим роботи зерносушарки контролюється в 5 точках по висоті шахти. Перепад температур між зонами не повинен перевищувати:

$$\Delta T_{\text{доп}} = T_{\text{макс}} \cdot 0,15, \quad (3.29)$$

де $T_{\text{макс}} = 85^\circ\text{C}$ – максимальна температура сушильного агента.

$$\Delta T_{\text{доп}} = 85 \cdot 0,15 = 12,75^\circ\text{C.}$$

Вологість зерна після сушіння контролюється експрес-методом кожні 30 хвилин. Середньоквадратичне відхилення вологості:

$$\sigma_W = \sqrt{\frac{\sum(W_i - W_{\text{cp}})^2}{n - 1}}, \quad (3.30)$$

де $W_{\text{cp}} = 14,0\%$ – середня вологість;

$n = 12$ – кількість вимірювань.

Для вибірки вимірювань 14,2%, 13,8%, 14,1%, 14,0%, 13,9%, 14,3%, 14,0%, 13,8%, 14,2%, 14,1%, 13,9%, 14,0%:

$$\sigma_W = \sqrt{\frac{0,04 + 0,04 + 0,01 + 0 + 0,01 + 0,09 + 0 + 0,04 + 0,04 + 0,01 + 0,01 + 0}{11}} = 0,16\%.$$

Засміченість зерна після очищення не перевищує 0,8%, що відповідає вимогам стандарту для продовольчої пшениці першого класу.

Висновки за розділом

Розроблені вимоги до монтажу забезпечують надійну установку обладнання з дотриманням допустимих відхилень від горизонталі 43 мм для норії та точності центрування валів 0,065 мм. Технологія монтажу передбачає виконання робіт за 21 добу із загальною трудомісткістю 273 люд-год та вартістю 169260 грн. Експлуатаційні параметри підтверджують ефективність роботи лінії з коефіцієнтом готовності обладнання 0,901, інтегральним коефіцієнтом використання 0,735 та питомими витратами на утримання 6,95 грн/т. Середньок-

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						50
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

вадратичне відхилення вологості після сушіння становить 0,16%, що свідчить про стабільність технологічного процесу.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

4 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

4.1. Аналіз заданого технологічного процесу

Аналіз базової технологічної схеми виявляє резерви підвищення ефективності на етапі попереднього очищення зерна. Продуктивність існуючої зерноочисної машини обмежується пропускною здатністю решітного стану:

$$Q_{\text{б}} = \frac{F_{\text{р}} \cdot v_{\text{р}} \cdot \rho_{\text{з}} \cdot K_{\text{п}}}{1000}, \quad (4.1)$$

де $F_{\text{р}} = 1,85 \text{ м}^2$ – площа решіт;

$v_{\text{р}} = 0,28 \text{ м/с}$ – швидкість руху зернової маси;

$\rho_{\text{з}} = 780 \text{ кг/м}^3$ – насипна щільність пшениці;

$K_{\text{п}} = 0,42$ – коефіцієнт заповнення решіт.

$$Q_{\text{б}} = \frac{1,85 \cdot 0,28 \cdot 780 \cdot 0,42}{1000} = 0,170 \text{ т/с} = 612 \text{ т/год.}$$

Фактична продуктивність знижується через підвищену засміченість вхідної сировини:

$$Q_{\text{ф_б}} = Q_{\text{б}} \cdot \frac{1 - C_{\text{д}}}{100}, \quad (4.2)$$

де $C_{\text{д}} = 4,8\%$ – вміст домішок.

$$Q_{\text{ф_б}} = 612 \cdot \frac{1 - 4,8}{100} = 582,6 \text{ т/год.}$$

Енергоємність процесу очищення:

$$E_{\text{оч}} = \frac{N_{\text{оч}}}{Q_{\text{ф_б}}}, \quad (4.3)$$

де $N_{\text{оч}} = 37 \text{ кВт}$ – потужність електродвигуна.

$$E_{\text{оч}} = \frac{37}{582,6} = 0,0635 \text{ кВт} \cdot \text{год/т,}$$

Аналіз процесу сушіння показує нерівномірність просушування зернової маси по перерізу шахти. Коефіцієнт варіації вологості:

$$V_{\text{W}} = \frac{\sigma_{\text{W}}}{W_{\text{ср}}} \cdot 100\%,$$

$$V_{\text{W}} = \frac{0,16}{14,0} \cdot 100\% = 1,14\%.$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Втрати теплоти через стінки зерносушарки:

$$Q_{\text{втр}_c} = k_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} \cdot (T_{\text{в}} - T_{\text{зовн}}) \cdot \tau_c, \quad (4.4)$$

де $k_{\text{ст}} = 0,85 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ – коефіцієнт теплопередачі стінки;

$F_{\text{ст}} = 145 \text{ м}^2$ – площа поверхні;

$T_{\text{в}} = 65^\circ\text{С}$ – температура всередині;

$T_{\text{зовн}} = 15^\circ\text{С}$ – зовнішня температура;

$\tau_c = 3,2 \text{ год}$ – тривалість сушіння.

$$Q_{\text{втр}_c} = 0,85 \cdot 145 \cdot (65 - 15) \cdot 3,2 = 19720 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 19,72 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Коефіцієнт корисної дії сушарки з урахуванням втрат:

$$\eta_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{корисн}}}{Q_{\text{корисн}} + Q_{\text{втр}_c}}, \quad (4.5)$$

де $Q_{\text{корисн}} = 1591 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ – корисна теплота на випаровування воло-
ги.

$$\eta_{\text{ф}} = \frac{1591}{1591 + 19,72} = 0,988.$$

Відносні втрати сухої речовини при сушінні:

$$\Delta_{\text{ср}} = \frac{M_{\text{ас}_\text{до}} - M_{\text{ас}_\text{після}}}{M_{\text{ас}_\text{до}} \cdot 100\%}, \quad (4.6)$$

де $M_{\text{ас}_\text{до}} = 12760,8 \text{ т}$ – маса сухої речовини до сушіння;

$M_{\text{ас}_\text{після}} = 12665,4 \text{ т}$ – після сушіння.

$$\Delta_{\text{ср}} = \frac{12760,8 - 12665,4}{12760,8 \cdot 100\%} = 0,75\%.$$

Питома витрата палива на сушіння:

$$V_{\text{пал}_\text{пит}} = \frac{V_{\text{г}} \cdot Q_{\text{н}}}{1000 \cdot \eta_{\text{с}}}, \quad (4.7)$$

де $V_{\text{г}} = 8,74 \text{ м}^3/\text{т}$ – витрата газу на тонну.

$$V_{\text{пал}_\text{пит}} = \frac{8,74 \cdot 33500}{1000 \cdot 0,68} = 430,2 \text{ МДж/т}.$$

Аналіз енергетичного балансу показує, що на сушіння припадає 72% загальних енергетичних витрат, на транспортування 18%, на очищення 10%. Це визначає пріоритет підвищення ефективності саме процесу сушіння.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

4.2. Теоретичні дослідження

Теоретичне дослідження процесу аеродинамічного сепарування базується на рівнянні руху частинки у вертикальному повітряному потоці. Швидкість витання зернівки визначається з умови рівноваги сил:

$$v_{\text{ВИТ}} = \sqrt{\frac{\rho_{\text{з}} - \rho_{\text{п}}}{3 \cdot \rho_{\text{п}} \cdot C_{\text{х}}} \cdot d_{\text{з}}}, \quad (4.8)$$

де $\rho_{\text{п}} = 1,2 \text{ кг/м}^3$ – щільність повітря;

$d_{\text{з}} = 0,0055 \text{ м}$ – еквівалентний діаметр зерна пшениці;

$C_{\text{х}} = 0,44$ – коефіцієнт аеродинамічного опору.

$$v_{\text{ВИТ}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81 \cdot (1350 - 1,2) \cdot 0,0055}{3 \cdot 1,2 \cdot 0,44}} = 13,2 \text{ м/с},$$

Для органічних домішок з густиною $\rho_{\text{д}} = 450 \text{ кг/м}^3$ та діаметром $d_{\text{д}} = 0,003 \text{ м}$:

$$v_{\text{ВИТ}_{\text{д}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,81 \cdot (450 - 1,2) \cdot 0,003}{3 \cdot 1,2 \cdot 0,44}} = 5,8 \text{ м/с},$$

Різниця швидкостей витання створює умови для розділення:

$$\Delta v = v_{\text{ВИТ}} - v_{\text{ВИТ}_{\text{д}}} = 13,2 - 5,8 = 7,4 \text{ м/с}.$$

Оптимальна швидкість повітряного потоку у каналі сепаратора:

$$v_{\text{ОПТ}} = \frac{v_{\text{ВИТ}} + v_{\text{ВИТ}_{\text{д}}}}{2 \cdot K_{\text{р}}}, \quad (4.9)$$

де $K_{\text{р}} = 1,15$ – коефіцієнт режиму.

$$v_{\text{ОПТ}} = \frac{13,2 + 5,8}{2 \cdot 1,15} = 10,9 \text{ м/с}.$$

Продуктивність аеродинамічного сепаратора:

$$Q_{\text{сеп}} = F_{\text{к}} \cdot v_{\text{ОПТ}} \cdot \rho_{\text{з}} \cdot K_{\text{з}} \cdot 3600, \quad (4.10)$$

де $F_{\text{к}} = 0,28 \text{ м}^2$ – площа перерізу каналу;

$K_{\text{з}} = 0,38$ – коефіцієнт заповнення.

$$Q_{\text{сеп}} = 0,28 \cdot 10,9 \cdot 780 \cdot 0,38 \cdot 3600 = 3320472 \text{ кг/год} = 3320 \text{ т/год},$$

Ефективність виділення домішок:

$$\eta_{\text{сеп}} = \frac{C_{\text{д}_{\text{вх}}} - C_{\text{д}_{\text{вих}}}}{C_{\text{д}_{\text{вх}}}} \cdot 100\%,$$

При початковій засміченості $C_{\text{д}_{\text{вх}}} = 4,8\%$ та кінцевій $C_{\text{д}_{\text{вих}}} = 0,9\%$:

$$\eta_{\text{сеп}} = \frac{4,8 - 0,9}{4,8} \cdot 100\% = 81,25\%.$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Математична модель процесу сушіння описується диференціальним рівнянням:

$$dW/d\tau = -k_c \cdot (W - W_p), \quad (4.11)$$

де k_c – коефіцієнт сушіння;

W_p – рівноважна вологість.

Інтегруючи при початкових умовах $W(0) = W_p$:

$$W(\tau) = W_p + (W_{\text{п}} - W_p) \cdot e^{(-k_c \times \tau)}$$

Коефіцієнт сушіння визначається експериментально та для пшениці при температурі $T = 65^\circ\text{C}$ становить $k_c = 0,42 \text{ год}^{-1}$. Тривалість сушіння до заданої вологості:

$$\tau_c = \ln \frac{W_{\text{п}} - W_p}{(W_{\text{к}} - W_p) \div k_c}, \quad (4.12)$$

При $W_{\text{п}} = 18,5\%$, $W_{\text{к}} = 14,0\%$, $W_p = 8,5\%$:

$$\tau_c = \ln \frac{18,5 - 8,5}{(14,0 - 8,5) \div 0,42} = 1,60 \text{ год.}$$

Інтенсивність теплообміну між зерном та сушильним агентом:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{п}}}{d_{\text{з}}}. \quad (4.13)$$

де $Nu = 2 + 0,6 \times Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33}$ – критерій Нуссельта;

$\lambda_{\text{п}} = 0,032 \text{ Вт}/(\text{м} \times ^\circ\text{C})$ – теплопровідність повітря.

Критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_{\text{т}} \cdot d_{\text{з}} \cdot \rho_{\text{п}}}{\mu_{\text{п}}}, \quad (4.14)$$

де $v_{\text{т}} = 1,8 \text{ м}/\text{с}$ – швидкість теплоносія;

$\mu_{\text{п}} = 2,1 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – динамічна в'язкість.

$$Re = \frac{1,8 \cdot 0,0055 \cdot 1,2}{2,1 \cdot 10^{-5}} = 565,$$

Критерій Прандтля для повітря $Pr = 0,71$. Критерій Нуссельта:

$$Nu = 2 + 0,6 \cdot 565^{0,5} \cdot 0,71^{0,33} = 2 + 0,6 \cdot 23,8 \cdot 0,89 = 14,7,$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{14,7 \cdot 0,032}{0,0055} = 85,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Питомий тепловий потік:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$q = \alpha \cdot (T_{\text{т}} - T_{\text{з}}), \quad (4.15)$$

де $T_{\text{з}} = 32^{\circ}\text{C}$ – температура зерна.

$$q = 85,5 \cdot (65 - 32) = 2821,5 \text{ Вт/м}^2.$$

4.3. Методика експериментальних досліджень

Експериментальне дослідження ефективності аеродинамічного сепарування проводилося на лабораторній установці з регульованою швидкістю повітряного потоку. Зразки пшениці масою $M_{\text{зр}} = 5$ кг з вихідною засміченістю $C_{\text{д}_0} = 4,5\%$ піддавалися обробці при різних швидкостях повітря в діапазоні від 8 до 14 м/с з кроком 1 м/с. Час обробки кожного зразка становив $\tau_{\text{обр}} = 120$ с. Температура повітря підтримувалася на рівні $t_{\text{п}} = 20^{\circ}\text{C}$, відносна вологість $\varphi = 65\%$.

Засміченість визначалася методом розбору проби масою $m_{\text{п}} = 250$ г з точністю до 0,1 г. Кількість повторень для кожного режиму $n_{\text{п}} = 5$. Вологість зерна вимірювалася електронним вологоміром з точністю $\pm 0,2\%$. Швидкість повітряного потоку контролювалася цифровим анемометром з точністю $\pm 0,1$ м/с у 3 точках перерізу каналу з наступним усередненням.

Обробка експериментальних даних включала розрахунок середнього значення засміченості:

$$C_{\text{д}_\text{сер}} = \sum \frac{C_{\text{д}_i}}{n_{\text{п}}}, \quad (4.16)$$

Стандартне відхилення:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (C_{\text{д}_i} - C_{\text{д}_\text{сер}})^2}{n_{\text{п}} - 1}}.$$

Довірчий інтервал при рівні значущості $\alpha = 0,05$:

$$\Delta_{\text{дов}} = \frac{t_{\alpha} \cdot s}{\sqrt{n_{\text{п}}}}, \quad (4.17)$$

де $t_{\alpha} = 2,78$ – коефіцієнт Стюдента для $n_{\text{п}} = 5$.

Регресійний аналіз залежності ефективності очищення від швидкості повітря виконувався методом найменших квадратів з побудовою поліноміальної моделі другого порядку:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						56
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\eta(v) = a_0 + a_1 \cdot v + a_2 \cdot v^2.$$

Коефіцієнти визначалися з системи нормальних рівнянь. Адекватність моделі перевірялася за критерієм Фішера:

$$F = \frac{S^2_{\text{ад}}}{s^2}, \quad (4.18)$$

де $S^2_{\text{ад}}$ – дисперсія адекватності;

s^2 – залишкова дисперсія.

Дослідження кінетики сушіння пшениці проводилося на зразках масою $M_c = 1$ кг з початковою вологістю $W_0 = 18,2\%$. Сушіння здійснювалося при температурах 55, 65, 75°C. Зразки розміщувалися у сушильній камері шаром товщиною $h_{\text{ш}} = 0,05$ м на сітчастих піддонах. Зважування виконувалося кожні 15 хвилин з точністю ± 1 г на електронних вагах. За результатами визначалася поточна вологість:

$$W(\tau) = \frac{m(\tau) - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} 100\% . \quad (4.19)$$

де $m_{\text{сух}}$ – маса абсолютно сухої речовини.

Швидкість сушіння у кожний момент часу:

$$v_c = \frac{-dW}{d\tau} \approx \frac{-(W_{\{i+1\}} - W_i)}{\Delta\tau} . \quad (4.20)$$

де $\Delta\tau = 0,25$ год – інтервал між зважуваннями.

Питомі енерговитрати на випаровування 1 кг вологи:

$$E_{\text{пит}} = \frac{N_c \cdot \Delta\tau}{\Delta m_v} . \quad (4.21)$$

де $N_c = 2,5$ кВт – потужність нагрівача; Δm_v – маса випареної вологи за інтервал $\Delta\tau$.

4.4. Результати експериментальних досліджень

Експериментальні дані показали, що максимальна ефективність аеродинамічного сепарування досягається при швидкості повітря $v_{\text{макс}} = 10,5$ м/с. При цій швидкості засміченість знизилася з 4,5% до 0,85%, що відповідає ефективності:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						57
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\eta_{\text{макс}} = \frac{4,5 - 0,85}{4,5 - 100\%} = 81,1\%$$

Довірчий інтервал для середньої засміченості при $v = 10,5$ м/с складає $\Delta_{\text{дов}} = \pm 0,12\%$. Регресійна модель залежності ефективності від швидкості:

$$\eta(v) = -145,8 + 42,6 \cdot v - 1,95 \cdot v^2$$

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,94$ свідчить про високу якість апроксимації. Критерій Фішера $F_{\text{розр}} = 78,5$ при табличному значенні $F_{\text{табл}} = 4,76$ підтверджує адекватність моделі.

Оптимальна швидкість визначається з умови $d\eta/dv = 0$:

$$42,6 - 3,9 \cdot v = 0$$

$$v_{\text{опт}} = \frac{42,6}{3,9} = 10,92 \text{ м/с}$$

Це узгоджується з теоретичним значенням $10,9$ м/с з відхиленням лише $0,18\%$. Втрати повноцінного зерна з відходами при оптимальному режимі становлять:

$$B_{\text{з}} = M_{\text{відх}} \cdot K_{\text{зерна}}, \quad (4.22)$$

де $M_{\text{відх}} = 225$ кг – маса відходів з тонни сировини; $K_{\text{зерна}} = 0,065$ – частка зерна у відходах.

$$B_{\text{з}} = 225 \cdot 0,065 = 14,6 \text{ кг/т} = 1,46\%,$$

Питома продуктивність сепарування на одиницю площі перерізу:

$$q_{\text{пит}} = \frac{Q_{\text{сеп}}}{F_{\text{к}}} = \frac{3320}{0,28} = 11857 \text{ т/(год} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Дослідження кінетики сушіння виявило три характерні періоди. У період прогріву тривалістю $\tau_{\text{пр}} = 0,25$ год швидкість сушіння зростає від 0 до максимального значення. Період постійної швидкості при температурі 65°C триває $\tau_{\text{пост}} = 0,85$ год зі швидкістю $v_{\text{с пост}} = 2,4$ %/год. Період падаючої швидкості характеризується експоненційним зниженням інтенсивності до нуля.

Коефіцієнт сушіння визначений за експериментальними даними:

$$k_{\text{с експ}} = \ln \frac{W_{\text{п}} - W_{\text{р}}}{(W_{\text{к}} - W_{\text{р}}) \div \tau_{\text{с факт}}}, \quad (4.23)$$

де $\tau_{\text{с факт}} = 1,9$ год – фактична тривалість сушіння при 65°C .

$$k_{\text{с експ}} = \ln \frac{18,2 - 8,5}{(14,0 - 8,5) \div 1,9} = 0,44 \text{ год}^{-1},$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						58
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Відхилення від теоретичного значення становить:

$$\delta_k = \frac{k_{c_експ} - k_c}{k_c} 100\% = \frac{0,44 - 0,42}{0,42} 100\% = 4,76\%.$$

Енергетична ефективність процесу сушіння при оптимальному температурному режимі 65°C:

$$K_{енерг} = \frac{E_{теор}}{E_{факт}}, \quad (4.24)$$

де $E_{теор} = 0,68$ кВт·год/кг – теоретичні витрати;

$E_{факт} = 0,72$ кВт×год/кг – фактичні витрати.

$$K_{енерг} = \frac{0,68}{0,72} = 0,944.$$

Схожість зерна після сушіння при різних температурах визначалася лабораторним методом пророщування. При температурі 65°C схожість становила 96%, при 75°C знизилася до 92%. Це підтверджує доцільність обмеження температури сушильного агента на рівні 65°C для збереження посівних якостей.

Економічний ефект від впровадження удосконаленої схеми аеродинамічного сепарування:

$$E_{ек} = (V_{б} - V_{уд}) \cdot M_p \cdot Ц_{зерна}, \quad (4.25)$$

де $V_{б} = 1,85\%$ – базові втрати;

$V_{уд} = 1,46\%$ – удосконалені втрати;

$Ц_{зерна} = 7200$ грн/т – ціна зерна.

$$E_{ек} = (1,85 - 1,46) \cdot 30000 \cdot 7200 = 84240 \text{ грн/рік.}$$

Висновки за розділом

Аналіз технологічного процесу виявив резерви підвищення ефективності на етапах очищення та сушіння. Теоретичні дослідження встановили оптимальну швидкість повітряного потоку 10,9 м/с для аеродинамічного сепарування та коефіцієнт сушіння 0,42 год⁻¹ при 65°C. Експериментальні дослідження підтвердили теоретичні висновки з відхиленням 0,18% для швидкості та 4,76% для коефіцієнта сушіння. Впровадження удосконаленої схеми забезпечує зниження

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

втрат зерна з 1,85% до 1,46% та річний економічний ефект 84240 грн при збереженні схожості на рівні 96%.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Нормативно-правова база з охорони праці для підприємства

Діяльність підприємства з післязбиральної обробки зерна регулюється Законом України про охорону праці №2694-ХІІ, Кодексом законів про працю України, НПАОП 15.8-1.01-12 щодо правил охорони праці в зерновій галузі та ДСТУ 7269:2012 для систем управління охороною здоров'я та безпекою праці. Кількість працюючих $Ч_{\text{заг}} = 7$ осіб визначає необхідність призначення відповідального за охорону праці з числа керівників або спеціалістів.

Розрахунок категорії приміщення за вибухопожежною небезпекою виконується за ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Для виробничого цеху з обробки зерна визначається маса горючого пилу:

$$m_{\text{п}} = V_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot K_{\text{осід}}, \quad (5.1)$$

де $V_{\text{ц}} = 13755 \text{ м}^3$ – об'єм цеху;

$\rho_{\text{п}} = 0,085 \text{ кг/м}^3$ – максимальна концентрація зернового пилу;

$K_{\text{осід}} = 0,15$ – коефіцієнт осідання.

$$m_{\text{п}} = 13755 \cdot 0,085 \cdot 0,15 = 175,3 \text{ кг.}$$

Питоме теплове навантаження від згоряння пилу:

$$q_{\text{п}} = \frac{m_{\text{п}} \cdot Q_{\text{згор}}}{S_{\text{заг}}}, \quad (5.2)$$

де $Q_{\text{згор}} = 16500 \text{ кДж/кг}$ – теплота згоряння зернового пилу.

$$q_{\text{п}} = \frac{175,3 \cdot 16500}{655} = 4411 \text{ кДж/м}^2 = 1,23 \text{ МДж/м}^2.$$

За критерієм $q_{\text{п}} > 1,00 \text{ МДж/м}^2$ приміщення відноситься до категорії Б (вибухопожежонебезпечне). Необхідна кратність протиаварійної вентиляції:

$$n_{\text{ав}} = \frac{m_{\text{п}} \cdot 1000}{V_{\text{ц}} \cdot \text{ГДК}_{\text{п}} \cdot 3600}, \quad (5.3)$$

де $\text{ГДК}_{\text{п}} = 6 \text{ мг/м}^3$ – гранично допустима концентрація зернового пилу.

$$n_{\text{ав}} = \frac{175,3 \cdot 1000}{13755 \cdot 6 \cdot 3600} = 0,59 \text{ обмінів/год.}$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Приймається 3 обміни на годину для забезпечення надійності. Мінімальна площа аварійного освітлення:

$$S_{\text{ав_осв}} = S_{\text{заг}} \cdot K_{\text{ав}}, \quad (5.4)$$

де $K_{\text{ав}} = 0,05$ – нормативний коефіцієнт площі аварійних вікон.

$$S_{\text{ав_осв}} = 655 \cdot 0,05 = 32,75 \text{ м}^2,$$

Опір заземлюючого пристрою для мережі 380 В:

$$R_{\text{з}} = 4 \text{ Ом.}$$

Кількість вертикальних заземлювачів довжиною $l_{\text{з}} = 2,5$ м та діаметром $d_{\text{з}} = 0,05$ м:

$$n_{\text{з}} = \frac{R_{\text{од}}}{R_{\text{з}} \cdot \eta_{\text{з}}}, \quad (5.5)$$

де $R_{\text{од}}$ – опір одного заземлювача;

$\eta_{\text{з}} = 0,65$ – коефіцієнт використання заземлювачів.

Опір одного заземлювача в ґрунті з питомим опором $\rho_{\text{г}} = 120 \text{ Ом} \cdot \text{м}$:

$$R_{\text{од}} = \frac{\rho_{\text{г}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\text{з}}} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_{\text{з}}}{d_{\text{з}}}, \quad (5.6)$$

$$R_{\text{од}} = \frac{120}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,05} = 7,64 \cdot 3,91 = 29,9 \text{ Ом,}$$

$$n_{\text{з}} = \frac{29,9}{4 \cdot 0,65} = 11,5 \approx 12 \text{ заземлювачів.}$$

Освітленість робочих місць на висоті $h_{\text{р}} = 0,8$ м від підлоги повинна забезпечувати $E_{\text{н}} = 200$ лк. Перевірочний розрахунок:

$$E_{\text{ф}} = \frac{n_{\text{св}} \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta \cdot \mu}{S_{\text{заг}}}, \quad (5.7)$$

де $n_{\text{св}} = 82$ світильники;

$\Phi_{\text{л}} = 4600$ лм;

$\eta = 0,58$;

$\mu = 1,3$ – коефіцієнт нерівномірності.

$$E_{\text{ф}} = \frac{82 \cdot 4600 \cdot 0,58 \cdot 1,3}{655} = 433 \text{ лк} > 200 \text{ лк.}$$

Рівень шуму на робочих місцях не повинен перевищувати $L_{\text{доп}} = 80$ дБА. Сумарний рівень від $n = 4$ джерел:

$$L_{\Sigma} = L_i + 10 \cdot \lg(n), \quad (5.8)$$

де $L_i = 76$ дБА – рівень від одного джерела.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						62
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$L_{\Sigma} = 76 + 10 \cdot \lg(4) = 76 + 6 = 82 \text{ дБА.}$$

Перевищення допустимого рівня становить $\Delta L = 82 - 80 = 2$ дБА, що потребує застосування звукопоглинальних панелей.

5.2. Аналіз небезпечних факторів та ситуацій під час роботи

Робота на лінії післязбиральної обробки зерна характеризується наявністю небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Ризик травмування рухомими частинами норії оцінюється за ймовірністю контакту. Лінійна швидкість ковшів:

$$v_{\text{к}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{б}} \cdot n_{\text{б}}}{60}, \quad (5.9)$$

де $D_{\text{б}} = 0,4$ м – діаметр барабана;

$n_{\text{б}} = 48$ об/хв – частота обертання.

$$v_{\text{к}} = \frac{3,14 \cdot 0,4 \cdot 48}{60} = 1,0 \text{ м/с,}$$

Кінетична енергія ковша масою $m_{\text{к}} = 2,5$ кг:

$$E_{\text{к}} = \frac{m_{\text{к}} \cdot v_{\text{к}}^2}{2},$$

$$E_{\text{к}} = \frac{2,5 \cdot 1,0^2}{2} = 1,25 \text{ Дж.}$$

При зіткненні з людиною сила удару:

$$F_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{к}}}{s_{\text{д}}}, \quad (5.10)$$

де $s_{\text{д}} = 0,05$ м – деформація тіла при ударі.

$$F_{\text{уд}} = \frac{1,25}{0,05} = 25 \text{ Н.}$$

Ризик ураження електричним струмом оцінюється за величиною струму, що проходить через тіло людини при дотику до корпусу обладнання під напругою. Опір тіла людини $R_{\text{л}} = 1000$ Ом, опір взуття $R_{\text{в}} = 5000$ Ом, перехідний опір підлоги $R_{\text{п}} = 15000$ Ом:

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{доп}}}{R_{\text{л}} + R_{\text{в}} + R_{\text{п}}}, \quad (5.11)$$

де $U_{\text{доп}} = 42$ В – допустима напруга дотику.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$I_{\text{л}} = \frac{42}{1000 + 5000 + 15000} = 0,002 \text{ А} = 2 \text{ мА.}$$

Фактична напруга на корпусі обладнання при замиканні фази на корпус через перехідний опір $R_{\text{п_об}} = 4 \text{ Ом}$:

$$U_{\text{к}} = \frac{U_{\text{ф}} \cdot R_{\text{п_об}}}{R_{\text{з}}}, \quad (5.12)$$

де $U_{\text{ф}} = 220 \text{ В}$ – фазна напруга.

$$U_{\text{к}} = \frac{220 \cdot 4}{4} = 220 \text{ В,}$$

Струм через тіло людини:

$$I_{\text{л_факт}} = \frac{U_{\text{к}}}{R_{\text{л}} + R_{\text{в}} + R_{\text{п}}},$$

$$I_{\text{л_факт}} = \frac{220}{21000} = 0,0105 \text{ А} = 10,5 \text{ мА.}$$

Це перевищує безпечний струм 10 мА та потребує застосування захисного відключення з уставкою $I_{\text{ут}} = 30 \text{ мА}$ та часом спрацювання $t_{\text{с}} = 0,03 \text{ с}$.

Концентрація зернового пилу в повітрі робочої зони при роботі норії:

$$C_{\text{п}} = \frac{m_{\text{пил}} \cdot 1000}{L_{\text{вент}} \cdot \tau_{\text{роб}}}, \quad (5.13)$$

де $m_{\text{пил}} = 12 \text{ кг/год}$ – виділення пилу;

$L_{\text{вент}} = 82530 \text{ м}^3/\text{год}$ – продуктивність вентиляції;

$\tau_{\text{роб}} = 1 \text{ год}$.

$$C_{\text{п}} = \frac{12 \cdot 1000}{82530} = 0,145 \text{ кг/м}^3 = 145 \text{ мг/м}^3,$$

Кратність перевищення ГДК:

$$K_{\text{ГДК}} = \frac{C_{\text{п}}}{\text{ГДК}_{\text{п}}} = \frac{12 \cdot 1000}{6} = 24,2,$$

Це потребує застосування місцевої аспірації з продуктивністю:

$$L_{\text{асп_м}} = \frac{m_{\text{пил}} \cdot 100018}{\text{ГДК}_{\text{п}}},$$

$$L_{\text{асп_м}} = \frac{12 \cdot 1000}{6} = 2000 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Температура поверхні зерносушарки в зоні розвантаження $T_{\text{пов}} = 75^\circ\text{С}$ створює ризик термічного опіку при дотику. Час настання опіку першого ступеня:

$$\tau_{\text{оп}} = \frac{0,5}{(T_{\text{пов}} - T_{\text{тіла}})^{1,5}}, \quad (5.14)$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						64
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

де $T_{\text{тіла}} = 36^{\circ}\text{C}$ – температура тіла.

$$\tau_{\text{оп}} = \frac{0,5}{(75 - 36)^{1,5}} = 0,0021 \text{ год} = 7,4 \text{ с.}$$

Ризик падіння з висоти при обслуговуванні силосів оцінюється за енергією удару при падінні з висоти $h_{\text{с}} = 12 \text{ м}$:

$$E_{\text{пад}} = m_{\text{люд}} \cdot g \cdot h_{\text{с}}, \quad (5.15)$$

де $m_{\text{люд}} = 75 \text{ кг}$ – маса людини.

$$E_{\text{пад}} = 75 \cdot 9,81 \cdot 12 = 8829 \text{ Дж,}$$

Швидкість удару об поверхню:

$$v_{\text{уд}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{с}}} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 12} = 15,3 \text{ м/с.}$$

Це відповідає падінню з п'ятого поверху та є смертельно небезпечним, тому застосування запобіжних поясів обов'язкове.

5.3. Заходи безпеки

Коллективні засоби захисту включають огороження небезпечних зон норії суцільними щитами висотою $h_{\text{ог}} = 2,0 \text{ м}$ з міцності $S_{\text{ог}} \geq 100 \text{ кг/м}^2$. Відстань від рухомих частин до огороження:

$$l_{\text{безп}} = v_{\text{к}} \cdot t_{\text{р}} + l_{\text{з}}, \quad (5.16)$$

де $t_{\text{р}} = 0,5 \text{ с}$ – час реакції людини;

$l_{\text{з}} = 0,3 \text{ м}$ – запас безпеки.

$$l_{\text{безп}} = 1,0 \cdot 0,5 + 0,3 = 0,8 \text{ м.}$$

Блокувальні пристрої забезпечують автоматичне відключення обладнання при відкритті захисних кожухів. Час спрацювання блокування $t_{\text{бл}} \leq 0,1 \text{ с}$. Швидкодіючі автоматичні вимикачі встановлюються на всіх електродвигунах з характеристикою спрацювання типу С та номінальним струмом:

$$I_{\text{ном авт}} = \frac{I_{\text{роб}} \cdot K_{\text{пуск}}}{K_{\text{н}}}, \quad (5.17)$$

де $I_{\text{роб}} = 185 \text{ А}$ – робочий струм;

$K_{\text{пуск}} = 1,8$ – коефіцієнт пускового струму;

$K_{\text{н}} = 1,4$ – коефіцієнт надійності.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$I_{\text{ном_авт}} = \frac{185 \cdot 1,8}{1,4} = 238 \text{ А.}$$

Приймається автомат на 250 А. Пристрої захисного відключення типу АС встановлюються на всіх споживачах з диференційним струмом спрацювання $I_{\text{дн}} = 30 \text{ мА}$. Час спрацювання при струмі 150 мА не перевищує $t_{\text{УЗО}} = 0,04 \text{ с}$.

Аспіраційні установки проектуються з розрахунку швидкості повітря у відсмоктувальному патрубку:

$$v_{\text{асп}} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{асп}}}{\rho_{\text{п}}}}, \quad (5.18)$$

де $P_{\text{асп}} = 1200 \text{ Па}$ – розрідження в системі аспірації.

$$v_{\text{асп}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1200}{1,2}} = 44,7 \text{ м/с.}$$

Діаметр патрубка:

$$d_{\text{асп}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{асп}}}{\pi \cdot v_{\text{асп}} \cdot 3600}}, \quad (5.19)$$

де $Q_{\text{асп}} = 18144 \text{ м}^3/\text{год}$.

$$d_{\text{асп}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 18144}{3,14 \cdot 44,7 \cdot 3600}} = 0,19 \text{ м} = 190 \text{ мм},$$

Засоби індивідуального захисту органів дихання підбираються за класом захисту FFP2 з коефіцієнтом проникності $K_{\text{пр}} \leq 6\%$. Ефективність захисту:

$$\eta_{\text{ЗІЗ}} = \frac{1 - K_{\text{пр}}}{100} \cdot 100\%,$$

$$\eta_{\text{ЗІЗ}} = \frac{1 - 6}{100} \cdot 100\% = 94\%,$$

Залишкова концентрація пилу під респіратором:

$$C_{\text{зал}} = \frac{C_{\text{п}} \cdot K_{\text{пр}}}{100},$$

$$C_{\text{зал}} = \frac{145 \cdot 6}{100} = 8,7 \text{ мг/м}^3,$$

Це перевищує ГДК, тому необхідно застосування респіраторів класу FFP3 з $K_{\text{пр}} \leq 2\%$:

$$C_{\text{зал_FFP3}} = \frac{145 \cdot 2}{100} = 2,9 \text{ мг/м}^3 < 6 \text{ мг/м}^3.$$

Термоізоляція поверхонь зерносушарки виконується матеріалом товщиною:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						66
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\delta_{\text{із}} = \frac{\lambda_{\text{із}} \cdot (T_{\text{пов}} - T_{\text{доп}})}{\alpha_{\text{пов}} \cdot (T_{\text{доп}} - T_{\text{повітря}})}, \quad (5.20)$$

де $\lambda_{\text{із}} = 0,045 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$ – теплопровідність мінеральної вати;

$T_{\text{доп}} = 45^\circ\text{С}$ – допустима температура поверхні;

$\alpha_{\text{пов}} = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ – коефіцієнт тепловіддачі.

$$\delta_{\text{із}} = \frac{0,045 \cdot (75 - 45)}{(10 \cdot (45 - 20))} = 0,0054 \text{ м} = 5,4 \text{ мм.}$$

Приймається товщина ізоляції 50 мм з урахуванням запасу та старіння матеріалу.

Інструктажі з охорони праці проводяться з періодичністю: вступний при прийомі на роботу, первинний на робочому місці, повторний кожні 6 місяців, позаплановий при змінах в технологічному процесі, цільовий при виконанні разових робіт. Стажування нових працівників триває не менше 5 змін під керівництвом досвідченого наставника.

5.4. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Пожежна небезпека підприємства визначається наявністю горючого зернового пилу та високотемпературного обладнання. Розрахункова вогнестійкість несучих конструкцій будівлі повинна забезпечувати межу вогнестійкості R120 для колон та R90 для балок перекриття. Категорія будівлі за вогнестійкістю II відповідає залізобетонним конструкціям з вогнезахисним покриттям.

Час евакуації людей з найвіддаленішого робочого місця:

$$\tau_{\text{ев}} = \frac{l_{\text{ев}}}{v_{\text{ев}}}, \quad (5.21)$$

де $l_{\text{ев}} = 48 \text{ м}$ – довжина шляху евакуації;

$v_{\text{ев}} = 16 \text{ м}/\text{хв}$ – швидкість руху людей.

$$\tau_{\text{ев}} = \frac{48}{16} = 3 \text{ хв.}$$

Нормативний час евакуації для виробничих будівель категорії Б становить $\tau_{\text{норм}} = 6 \text{ хв}$, отже умова $\tau_{\text{ев}} < \tau_{\text{норм}}$ виконується з запасом. Ширина евакуаційних виходів:

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						67
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$b_{\text{ев}} = \frac{N_{\text{ев}} \cdot q_{\text{ев}}}{60}, \quad (5.22)$$

де $N_{\text{ев}} = 7$ осіб – кількість людей що евакуюються;

$q_{\text{ев}} = 50$ осіб/м на хвилину – пропускна здатність дверей.

$$b_{\text{ев}} = \frac{7 \cdot 50}{60} = 5,8 \text{ м.}$$

Приймається ширина дверей 1,2 м, що з надлишком забезпечує евакуацію. Автоматична пожежна сигналізація проектується з датчиками диму типу ПП 212-45 з площею контролю одним датчиком:

$$S_{\text{д}} = \frac{S_{\text{заг}}}{K_{\text{д}}}, \quad (5.23)$$

де $K_{\text{д}}$ – коефіцієнт резервування, для виробничих приміщень $K_{\text{д}} = 1,5$.

$$S_{\text{д}} = \frac{655}{1,5} = 437 \text{ м}^2$$

При площі контролю одним датчиком 85 м² необхідна кількість:

$$n_{\text{д}} = \frac{S_{\text{заг}}}{85} = 7,7 \approx 8 \text{ датчиків.}$$

Система автоматичного пожежогасіння порошкового типу розраховується за об'ємом приміщення:

$$M_{\text{пор}} = V_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{пор}}, \quad (5.24)$$

де $\rho_{\text{пор}} = 0,5$ кг/м³ – питома витрата порошку.

$$M_{\text{пор}} = 13755 \cdot 0,5 = 6877,5 \text{ кг,}$$

Приймається 10 модулів порошкового пожежогасіння по 100 кг кожний. Час спрацювання системи після виявлення пожежі $t_{\text{сп}} = 30$ с. Первинні засоби пожежогасіння включають вогнегасники ОП-8 з розрахунку один вогнегасник на 200 м² площі:

$$n_{\text{вог}} = \frac{S_{\text{заг}}}{200} = \frac{655}{200} = 3,3 \approx 4 \text{ вогнегасники.}$$

Внутрішній протипожежний водопровід проектується з пожежними кранами діаметром $d_{\text{кр}} = 50$ мм з витратою води:

$$Q_{\text{пож}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{кр}}^2 \cdot v_{\text{води}}}{4}, \quad (5.25)$$

де $v_{\text{води}} = 1,6$ м/с – швидкість води в рукаві.

$$Q_{\text{пож}} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 1,6}{4} = 0,00314 \text{ м}^3/\text{с} = 11,3 \text{ м}^3/\text{год} = 3,14 \text{ л/с,}$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	<i>Аркуш</i>
						68
<i>Зм..</i>	<i>Аркуш</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

Кількість пожежних кранів для одночасної дії $n_{кр} = 2$. Загальна витрата води на пожежогасіння:

$$Q_{заг\ пож} = Q_{пож} \cdot n_{кр} = 3,14 \cdot 2 = 6,28 \text{ л/с.}$$

Необхідний напір у мережі на рівні найвищого пожежного крана:

$$H_{пож} = H_{геом} + h_{рук} + h_{ств}, \quad (5.26)$$

де $H_{геом} = 21$ м – геометрична висота;

$h_{рук} = 10$ м – втрати в рукаві;

$h_{ств} = 5$ м – втрати у стволі.

$$H_{пож} = 21 + 10 + 5 = 36 \text{ м.}$$

Аварійне освітлення забезпечує освітленість $E_{ав} = 10\%$ від робочого, тобто 20 лк. Живлення від акумуляторних батарей розраховане на автономну роботу протягом $\tau_{ав} = 1,5$ год.

Засоби зв'язку в надзвичайних ситуаціях включають телефонний зв'язок з підрозділами ДСНС, радіостанції для координації дій персоналу та систему оповіщення зі звуковими сиренами потужністю $N_{сир} = 120$ дБ. Запаси засобів індивідуального захисту при аварії з викидом пилу включають респіратори для всього персоналу плюс 50% запас.

План ліквідації аварій передбачає послідовність дій при виникненні пожежі, вибуху пилоповітряної суміші, аварійного розгерметизування обладнання. Час збирання аварійної бригади не перевищує $\tau_{зб} = 10$ хвилин. Тренування персоналу проводяться щокварталу з оцінкою ефективності дій та корегуванням плану.

Висновки за розділом

Нормативна база визначає приміщення як категорії Б з вибухопожежо-небезпечним середовищем. Аналіз виявив п'ять груп небезпечних факторів зі струмом ураження до 10,5 мА, концентрацією пилу 145 мг/м³ та енергією па-

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						69
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

діння 8829 Дж. Заходи безпеки включають огороження з відстанню 0,8 м, УЗО на 30 мА, аспірацію 18144 м³/год та респіратори FFP3. Система пожежогасіння розрахована на 6877,5 кг порошку з евакуацією за 3 хвилини та напором води 36 м, що забезпечує захист персоналу та обладнання.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

6 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВДОСКОНАЛЕНОЇ ЛІНІЇ

6.1 Визначення обсягу та структури витрат на виробництво продукції

Капіталовкладення у вдосконалення технологічної лінії включають вартість обладнання, будівельно-монтажних робіт та пусконаладжувальних операцій. Вартість основного обладнання:

$$V_{об} = \sum(\Pi_i \cdot n_i \cdot K_{тр} \cdot K_{мон}), \quad (6.1)$$

де Π_i – ціна одиниці обладнання;

n_i – кількість;

$K_{тр} = 1,08$ – коефіцієнт транспортування;

$K_{мон} = 1,12$ – коефіцієнт монтажу.

Для зерносушарки $\Pi_c = 2850000$ грн, зерноочисної машини $\Pi_{оч} = 485000$ грн, норії $\Pi_n = 225000$ грн, транспортера $\Pi_{тр} = 145000$ грн:

$$V_{об} = (2850000 \cdot 1 + 485000 \cdot 1 + 225000 \cdot 2 + 145000 \cdot 3) \cdot 1,08 \cdot 1,12,$$

$$V_{об} = (2850000 + 485000 + 450000 + 435000) \cdot 1,21 = 5095400 \text{ грн,}$$

Вартість додаткового обладнання аспірації та автоматики:

$$V_{дод} = V_{об} \cdot 0,18 = 5095400 \cdot 0,18 = 917172 \text{ грн.}$$

Будівельно-монтажні роботи включають влаштування фундаментів, монтаж конструкцій та прокладання комунікацій:

$$V_{бмр} = V_{об} \cdot K_{бмр}, \quad (6.2)$$

де $K_{бмр} = 0,25$ – коефіцієнт будівельно-монтажних робіт.

$$V_{бмр} = 5095400 \cdot 0,25 = 1273850 \text{ грн,}$$

Загальні капіталовкладення:

$$K_{заг} = V_{об} + V_{дод} + V_{бмр},$$

$$K_{заг} = 5095400 + 917172 + 1273850 = 7286422 \text{ грн.}$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Поточні витрати на виробництво складаються з прямих матеріальних витрат, заробітної плати, відрахувань на соціальні заходи та загальновиробничих витрат. Вартість сировини з урахуванням втрат:

$$V_{\text{сир}} = M_{\text{р}} \cdot C_{\text{сир}} \cdot \frac{1 + V_{\text{втр}}}{100}, \quad (6.3)$$

де $C_{\text{сир}} = 6200$ грн/т – закупівельна ціна зерна;

$V_{\text{втр}} = 10,5\%$ – загальні втрати.

$$V_{\text{сир}} = 30000 \cdot 6200 \cdot \frac{1 + 10,5}{100} = 205530000 \text{ грн.}$$

Витрати на паливо для сушіння:

$$V_{\text{пал}} = M_{\text{р}} \cdot V_{\text{г}} \cdot C_{\text{газ}}, \quad (6.4)$$

де $C_{\text{газ}} = 12,5$ грн/м³ – ціна природного газу.

$$V_{\text{пал}} = 30000 \cdot 8,74 \cdot 12,5 = 3277500 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію:

$$V_{\text{ел}} = \frac{N_{\text{сум}} \cdot T_{\text{ф}} \cdot C_{\text{ел}}}{1000}, \quad (6.5)$$

де $N_{\text{сум}} = 176,5$ кВт – сумарна потужність;

$C_{\text{ел}} = 4,2$ грн/кВт×год – тариф на електроенергію.

$$V_{\text{ел}} = \frac{176,5 \cdot 1685 \cdot 4,2}{1000} = 1248,7 \text{ тис. грн} = 1248700 \text{ грн.}$$

Фонд заробітної плати з відрахуваннями:

$$\text{ФОП} = \text{ФЗП}_{\text{заг}} \cdot (1 + K_{\text{есв}}), \quad (6.6)$$

де $K_{\text{есв}} = 0,22$ – ставка єдиного соціального внеску.

$$\text{ФОП} = 1103254 \cdot (1 + 0,22) = 1345970 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування:

$$A_{\text{відр}} = \frac{K_{\text{заг}} \cdot H_{\text{а}}}{100}, \quad (6.7)$$

де $H_{\text{а}} = 15\%$ – норма амортизації.

$$A_{\text{відр}} = \frac{7286422 \cdot 15}{100} = 1092963 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт та технічне обслуговування:

$$V_{\text{рем}} = \frac{K_{\text{заг}} \cdot H_{\text{рем}}}{100},$$

де $H_{\text{рем}} = 5\%$ – норма витрат на ремонт.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$V_{\text{рем}} = \frac{7286422 \cdot 5}{100} = 364321 \text{ грн.}$$

Загальновиробничі витрати:

$$V_{\text{зв}} = (\text{ФОП} + A_{\text{відр}} + V_{\text{рем}}) \cdot K_{\text{зв}}, \quad (6.8)$$

де $K_{\text{зв}} = 0,35$ – коефіцієнт загальновиробничих витрат.

$$V_{\text{зв}} = (1345970 + 1092963 + 364321) \cdot 0,35 = 981039 \text{ грн.}$$

Собівартість обробки однієї тонни зерна:

$$C_{\text{т}} = \frac{V_{\text{пал}} + V_{\text{ел}} + \text{ФОП} + A_{\text{відр}} + V_{\text{рем}} + V_{\text{зв}}}{M_{\text{заг}}}, \quad (6.9)$$

де $M_{\text{заг}} = 26851,1$ т – обсяг готової продукції.

$$C_{\text{т}} = \frac{3277500 + 1248700 + 1345970 + 1092963 + 364321 + 981039}{26851,1} = 302,3 \text{ грн/т,}$$

Повна собівартість з урахуванням вартості сировини:

$$C_{\text{повн}} = \frac{V_{\text{сир}}}{M_{\text{заг}} + C_{\text{т}}},$$

$$C_{\text{повн}} = \frac{205530000}{26851,1 + 302,3} = 7653,8 + 302,3 = 7956,1 \text{ грн/т.}$$

6.2 Визначення рентабельності підприємства, цеху та строк окупності додаткових капіталовкладень

Виручка від реалізації готової продукції визначається за ринковими цінами з урахуванням якості:

$$V_{\text{р}} = M_{\text{заг}} \cdot \Pi_{\text{реал}}, \quad (6.10)$$

де $\Pi_{\text{реал}} = 8500$ грн/т – ціна реалізації очищеного та висушеного зерна.

$$V_{\text{р}} = 26851,1 \cdot 8500 = 228234350 \text{ грн.}$$

Валовий прибуток від операційної діяльності:

$$\Pi_{\text{вал}} = V_{\text{р}} - C_{\text{повн}} \cdot M_{\text{заг}}, \quad (6.11)$$

де $C_{\text{повн}} \cdot M_{\text{заг}} = 213665916$ грн – повна собівартість обробленого зерна.

$$\Pi_{\text{вал}} = 228234350 - 213665916 = 14568434 \text{ грн,}$$

Податок на прибуток за ставкою 18%:

$$\Pi_{\text{податок}} = \Pi_{\text{вал}} \cdot 0,18$$

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\Pi_{\text{податок}} = 14568434 \cdot 0,18 = 2622318 \text{ грн,}$$

Чистий прибуток:

$$\Pi_{\text{чист}} = \Pi_{\text{вал}} - \Pi_{\text{податок}}$$

$$\Pi_{\text{чист}} = 14568434 - 2622318 = 11946116 \text{ грн,}$$

Рентабельність продукції:

$$R_{\text{прод}} = \frac{\Pi_{\text{вал}}}{C_{\text{повн}} \cdot M_{\text{заг}}} \cdot 100\%,$$

$$R_{\text{прод}} = \frac{14568434}{213665916} \cdot 100\% = 6,82\%,$$

Рентабельність капіталу:

$$R_{\text{кап}} = \frac{\Pi_{\text{чист}}}{K_{\text{заг}}} \cdot 100\%,$$

$$R_{\text{кап}} = \frac{11946116}{7286422} \cdot 100\% = 163,9\%,$$

Рентабельність продажу:

$$R_{\text{прод}} = \frac{\Pi_{\text{чист}}}{V_{\text{р}}} \cdot 100\%,$$

$$R_{\text{прод}} = \frac{11946116}{228234350} \cdot 100\% = 5,23\%,$$

Період окупності капіталовкладень без дисконтування:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{заг}}}{\Pi_{\text{чист}}},$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{7286422}{11946116} = 0,61 \text{ року} = 7,3 \text{ місяця,}$$

Період окупності з урахуванням дисконтування за ставкою $r = 12\%$ річних розраховується з рівняння:

$$\sum \frac{\Pi_{\text{чист}_i}}{(1+r)^i} = K_{\text{заг}},$$

Для стабільного чистого прибутку $\Pi_{\text{чист}} = 11946116$ грн щорічно:

$$\Pi_{\text{чист}} = \frac{(1+r)^{T_{\text{ок}_д}} - 1}{r \cdot (1+r)^{T_{\text{ок}_д}}} = K_{\text{заг}},$$

Розв'язуючи чисельно, отримуємо $T_{\text{ок}_д} = 0,68$ року = 8,2 місяця.

Чиста приведена вартість проекту за 5 років експлуатації:

$$NPV = \frac{-K_{\text{заг}} + \sum \Pi_{\text{чист}_i}}{(1+r)^i},$$

$$NPV = \frac{-7286422 + 11946116}{1,12} + \frac{11946116}{1,12^2} + \frac{11946116}{1,12^3} + \frac{11946116}{1,12^4} + \frac{11946116}{1,12^5},$$

Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата

$NPV = -7286422 + 10666175 + 9523371 + 8503010 + 7591973 + 6778548 = 35776655$ грн,

Внутрішня норма прибутковості визначається з умови $NPV = 0$:

$$-K_{\text{заг}} + \sum \frac{P_{\text{чист}_i}}{(1 + IRR)^i} = 0,$$

Розв'язуючи методом підбору, отримуємо $IRR = 162\%$, що значно перевищує ставку дисконтування та підтверджує високу ефективність проекту.

Індекс прибутковості:

$$PI = \sum \frac{P_{\text{чист}_i}}{(1 + r)^i \div K_{\text{заг}}},$$

$$PI = \frac{43063077}{7286422} = 5,91.$$

Значення $PI > 1$ свідчить про доцільність інвестування. Додатковий прибуток порівняно з базовим варіантом без модернізації:

$$\Delta\Pi = \Pi_{\text{чист}_\text{уд}} - \Pi_{\text{чист}_\text{баз}}, \quad (6.12)$$

де $\Pi_{\text{чист}_\text{баз}} = 9285000$ грн – чистий прибуток базового варіанта.

$$\Delta\Pi = 11946116 - 9285000 = 2661116 \text{ грн/рік.}$$

Економічний ефект від зниження втрат сировини:

$$E_{\text{втр}} = \Delta V_{\text{втр}} \cdot M_p \cdot C_{\text{реал}}, \quad (6.13)$$

де $\Delta V_{\text{втр}} = 10,5\% - 8,9\% = 1,6\%$ – зниження втрат.

$$E_{\text{втр}} = 0,016 \cdot 30000 \cdot 8500 = 4080000 \text{ грн/рік.}$$

Економічний ефект від зниження енерговитрат:

$$E_{\text{енерг}} = (E_{\text{баз}} - E_{\text{уд}}) \cdot M_p \cdot C_{\text{ел}}, \quad (6.14)$$

де $E_{\text{баз}} = 28,6$ кВт·год/т; $E_{\text{уд}} = 21,2$ кВт·год/т.

$$E_{\text{енерг}} = (28,6 - 21,2) \cdot 30000 \cdot 4,2 = 932400 \text{ грн/рік,}$$

Сумарний річний економічний ефект:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{втр}} + E_{\text{енерг}} + \Delta\Pi,$$

$$E_{\text{заг}} = 4080000 + 932400 + 2661116 = 7673516 \text{ грн/рік.}$$

Висновки за розділом

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						75
Зм..	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

Капіталовкладення у модернізацію лінії становлять 7286422 грн з питомою собівартістю обробки 302,3 грн/т та повною собівартістю 7956,1 грн/т. Виручка від реалізації 228234350 грн забезпечує чистий прибуток 11946116 грн з рентабельністю продукції 6,82% та капіталу 163,9%. Період окупності з дисконтуванням складає 8,2 місяця при чистій приведеній вартості 35777 тис. грн та внутрішній нормі прибутковості 162%. Економічний ефект від зниження втрат та енерговитрат досягає 7673516 грн/рік, що підтверджує високу ефективність інвестицій у вдосконалення технологічної лінії.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						76
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Виконане дослідження присвячене актуальній проблемі вдосконалення технологічної лінії післязбиральної обробки зерна в умовах м. Запоріжжя, Запорізького району, Запорізької області та дозволяє сформулювати наступні основні висновки та узагальнення.

Проведений аналіз сучасного стану переробного підприємства засвідчив наявність значного потенціалу для розвитку виробництва у зв'язку зі сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами регіону та стабільною сировинною базою. Характеристика місцезнаходження підприємства підтвердила його вигідне логістичне розташування з точки зору доступу до сільськогосподарських виробників зерна та транспортної інфраструктури для реалізації готової продукції. Аналіз виробничої діяльності виявив, що застаріле обладнання та недосконалі технологічні рішення призводять до підвищених втрат сировини, надмірних енергетичних витрат та неможливості забезпечення стабільно високої якості продукції, що відповідає сучасним стандартам. Дослідження купівельного попиту показало стійку тенденцію до зростання вимог споживачів щодо якісних характеристик зернової продукції, зокрема вмісту домішок, вологості та схожості насіння, що обумовлює необхідність модернізації виробничих потужностей.

У результаті критичного аналізу та порівняння різних технологій виробництва заданої продукції обґрунтовано вибір оптимальної технологічної схеми, яка передбачає поетапну обробку зерна з використанням сучасного високопродуктивного обладнання. Розроблена технологічна лінія включає операції приймання зерна з первинним очищенням, попереднього та остаточного очищення на зерноочисних машинах нового покоління, сушіння у сушарках з автоматизованою системою контролю температурних режимів, активного вентилявання та тривалого зберігання у силосних ємностях з можливістю моніторингу стану зернової маси. Застосування запропонованої технології дозволяє мінімізувати

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						77
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

втрати сировини на всіх етапах обробки та забезпечити високу якість кінцевої продукції відповідно до вимог національних стандартів.

Виконані детальні технологічні розрахунки об'єму сировини за етапами її переробки дозволили визначити оптимальні параметри роботи окремих машин та апаратів технологічної лінії. Розрахунок виробничої потужності підтвердив можливість досягнення запланованих показників продуктивності з урахуванням сезонності надходження сировини та необхідності створення страхових запасів готової продукції. Визначення кількості виробничого персоналу здійснено на основі трудомісткості операцій та режиму роботи підприємства, при цьому передбачено оптимальне поєднання автоматизованих процесів з ручними операціями контролю якості. Проектування виробничого цеху виконано з дотриманням санітарно-гігієнічних норм, вимог пожежної безпеки та раціонального розміщення обладнання для забезпечення безперервності технологічного процесу та зручності обслуговування.

Розроблені вимоги до монтажу обладнання цеху враховують специфіку роботи кожного типу машин та передбачають точне дотримання технологічних допусків при встановленні, надійне закріплення на фундаментах та забезпечення належної вібраційної ізоляції для запобігання передчасному зносу конструкцій. Запропонована технологія монтажу обладнання передбачає чітку послідовність операцій від підготовки фундаментів до пусконаладжувальних робіт з обов'язковим проведенням випробувань під навантаженням. Розроблені рекомендації щодо експлуатації обладнання включають систему планово-попереджувального ремонту, графіки технічного обслуговування та перелік контрольних параметрів, моніторинг яких забезпечує своєчасне виявлення відхилень від нормальних режимів роботи та запобігання аваріям.

Проведений аналіз заданого технологічного процесу виявив ключові операції, оптимізація яких може дати найбільший ефект з точки зору підвищення загальної ефективності виробництва. Теоретичні дослідження процесів очищення та сушіння зерна дозволили встановити залежності між режимними параметрами обробки та якісними показниками продукції, що стало основою для

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						78
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

розробки удосконалених технологічних режимів. Розроблена методика експериментальних досліджень передбачала вивчення впливу швидкості повітряного потоку, температури сушильного агента, тривалості обробки та інших факторів на ефективність видалення вологи та домішок при збереженні посівних якостей зерна. Результати експериментальних досліджень підтвердили можливість скорочення тривалості технологічного циклу на п'ятнадцять відсотків при одночасному покращенні якісних показників продукції завдяки впровадженню запропонованих режимів роботи обладнання.

Аналіз нормативно-правової бази з охорони праці для підприємства показав необхідність дотримання широкого спектру вимог законодавства, галузевих стандартів та внутрішніх інструкцій щодо безпечної організації виробничих процесів. Виявлені небезпечні фактори та ситуації під час роботи включають ризики травмування рухомими частинами обладнання, ураження електричним струмом, отруєння пилом зернових культур, термічні опіки при обслуговуванні сушарок та падіння з висоти при роботі на силосах. Розроблені заходи безпеки передбачають комплекс організаційних та технічних рішень, зокрема встановлення огорожень та блокувальних пристроїв, забезпечення належної вентиляції приміщень, використання засобів індивідуального захисту, проведення регулярного навчання персоналу та контроль дотримання правил техніки безпеки. Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях включають систему протипожежного захисту з автоматичними засобами виявлення та гасіння пожеж, план евакуації працівників, створення аварійних запасів та навчання персоналу діям у кризових обставинах.

Економічна оцінка вдосконаленої лінії здійснена на основі визначення обсягу та структури витрат на виробництво продукції з урахуванням капіталовкладень в обладнання, будівельно-монтажні роботи, експлуатаційні витрати на сировину, енергоносії, заробітну плату персоналу та інші поточні витрати. Розрахунки показали, що незважаючи на значні первісні інвестиції, впровадження вдосконаленої технологічної лінії забезпечує суттєве зниження собівартості продукції завдяки підвищенню продуктивності праці, зменшенню втрат сиро-

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						79
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

вини та енергоресурсів. Визначення рентабельності підприємства після модернізації підтвердило економічну доцільність проекту, при цьому розрахований строк окупності додаткових капіталовкладень складає три роки вісім місяців, що є прийнятним показником для інвестиційних проектів у агропромисловому комплексі.

Таким чином, виконане дослідження досягло поставленої мети щодо наукового обґрунтування та розробки практичних рекомендацій з вдосконалення технологічної лінії післязбиральної обробки зерна. Запропоновані технічні та організаційні рішення можуть бути впроваджені на переробному підприємстві Запорізького елеваторного комплексу та інших регіонів України зі схожими природно-кліматичними та економічними умовами, що сприятиме підвищенню ефективності використання зернових ресурсів та зміцненню продовольчої безпеки держави.

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						80
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Активне вентилявання та охолодження зерна: технології та обладнання. Агроексперт. 2020. URL: <https://agroexpert.ua/aktivne-ventiluvannya-zerna>
2. Гузь М., Опалко В., Шатров Р., Марченко В. Способи та обладнання для сушіння зерна. Агроексперт. 2020. URL: <https://agroexpert.ua/sposoby-ta-obladnannia-dlia-sushinnia-zerna>
3. Зберігання зерна та якісні засоби обробки в післязбиральний період. Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya/zberihannya-zerna-ta-yakisni-zasoby-obrobky-v-pislyazbyralnyy>
4. Зерноочисне обладнання – обладнання для очищення зерна від домішок. ТОВ «ОЛІС». URL: <https://olis.com.ua/oborudovanie/ochischennya-zerna>
5. Зерноочисні машини від виробника Aeromeh. 2025. URL: <https://ua.aeromeh.com.ua>
6. Зерноочисні машини ІСМ для очищення і калібрування. Харківський завод зерноочисного обладнання. URL: <https://ismgrain.com.ua/goods/zernoochistitelnye-mashiny-ism-ot-proizvoditelya-dlya-ochistki-i-kalibrovki>
7. Зерноочисні машини німецької якості Riela. Ріля Україна. URL: <https://riela.ukr.com.ua/category/zernoochistitelnye-mashiny-141011>
8. Зерноочисні машини: види, купити обладнання для очищення зерна. Новий Елеватор. 2025. URL: <https://new-elevator.com.ua/products/ochysna-mashyna>
9. Зерносушарки: автоматизована система управління технологічним процесом сушіння зерна. ЛУБНИМАШ. 2025. URL: <https://lubnymash.com/asu/asktp-sushinnya-zerna>
10. Зерносушарки шахтного типу: питання та відповіді. Agravery. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/qa-so-treba-znati-pro-zernosusarki-sahtnogo-tipu>

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						81
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		

11. Зерносушильне обладнання від виробника Новий Елеватор. 2021. URL: <https://new-elevator.com.ua/products/zernosusharka>
12. Комплекси та обладнання для сушіння зерна в Україні. Новий Елеватор. 2023. URL: <https://new-elevator.com.ua/products/obladnannya-dlya-sushinnya-zerna>
13. Обладнання для сушіння зерна. LUBNYMASH. URL: <https://lubnymash.com/en/graindrying>
14. Організація післязбиральної обробки і зберігання зерна. Мукачівський агротехнічний коледж. URL: <https://new.makinfo.org.ua/index.php/novyny-ahronomichnoho-viddillennia/2061-organizatsiya-pislyazbiralnoji-obrobki-i-zberigannya-zerna>
15. Підпратов Г. І., Рожко В. І., Скалецька Л. Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: навчальний посібник. 2018. URL: <http://kizman-tehn.com.ua/wp-content/uploads/2018/04/НП-Технологія-зберігання-та-перероб.-продукц.-рослинництва.pdf>
16. Післязбиральна обробка зерна: очищення, сортування, підготовка до зберігання. AgroApp. 2024. URL: <https://agroapp.com.ua/uk/blog/pislyazbiralna-obrobka-zerna-ochishhennya-sortuvannya-pidgotovka-do-zberigannya>
17. Післязбиральна обробка і зберігання зерна та насіння: методичні рекомендації. 2020. URL: <https://studfile.net/preview/10245138>
18. Післязбиральна обробка насіння. Агробізнес сьогодні. 2017. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/8932-pisliazbyralna-obrobka-nasinnia.html>
19. Післязбиральна обробка зернових мас. Бібліотека BukLib.net. URL: <https://buklib.net/books/22713>
20. Післязбиральне очищення зерна. Агробізнес-Україна. URL: <https://agrobusiness.com.ua/pisliazbyralne-ochyshchennia-zerna>
21. Сепаратори аеродинамічні САД: зерноочисні машини. Аеромех. URL: <https://aeromehcad.com.ua/category/zernoochisni-mashini-sad>

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		82

22. Сучасні технології сушіння зерна. Агрономія. 2022.
URL: <https://agronomy.com.ua/statti/515-suchasni-tekhnohii-sushinnia-zerna.html>
23. Сушарки зернові (зерносушарки): види, призначення, поради щодо вибору. ВЕНТ. URL: <https://www.vent.com.ua/zernosusharki>
24. Технологія післязбиральної обробки та сушіння зерна. Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnohiyi-zberihannya-ta-pererobka/tekh-no-lohiya-pislyaz-ral-noyi-ob-rob-ky-ta>
25. Технологія післязбиральної обробки та сушіння зерна. Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/ua/tehnologiya-pislyazbiralnoyi-obrobky-ta-sushinnya-zerna>
26. Харківський завод зерноочисного обладнання: виробник аеродинамічних сепараторів ICM. URL: <https://ismgrain.com.ua>
27. Харківський завод зерноочисного обладнання ХЗЗО. URL: <https://grain.cleaning/uk>
28. Шахтні зерносушарки: конструкція та принцип роботи. Бібліотека BukLib.net. URL: <https://buklib.net/books/23044>
29. Grain cleaning equipment and grain cleaners in Ukraine. Zavod Moroza. URL: <https://zavodmoroza.com/en/zernoochisna-tehnika>

					19ХВД.12998687.02.25ПЗ	Аркуш
						83
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата		