

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Удосконалення технологічної лінії з
виробництва солоду ячмінного**

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

_____ Олександр ГЕТМАН

Керівник: _____ Віталій КОШУЛЬКО

Дніпро 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОПУЛЬКО

(підпис)

«01» травня 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Гетману Олександру Вікторовичу

1. Тема роботи: «Удосконалення технологічної лінії з виробництва солоду ячмінного».

Керівник роботи: Копулько Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» травня 2026 року № 875.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 08 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія виробництва солоду ячмінного. 2. Наукова, нормативна, навчальна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Загальна частина. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина. 4 Впровадження елементів системи НАССР. 5 Охорона праці захист навколишнього середовища. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Мета і завдання досліджень. 2 Технологічна частина. 3 Проектна частина.
4 Впровадження елементів системи НАССР. 5 Карта безпеки праці. 6 Техніко-економічне обґрунтування. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Доцент КОПУЛЬКО Віталій	01.05.26	08.06.26

7. Дата видачі завдання 01 травня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.05-04.05.26	виконано
2	Загальна частина	05.05-07.05.26	виконано
3	Технологічна частина	08.05-14.05.26	виконано
4	Проектна частина	15.05-21.05.26	виконано
5	Впровадження елементів системи НАССР	22.05-31.05.26	виконано
6	Охорона праці захист навколишнього середовища	01.06-02.06.26	виконано
7	Техніко-економічне обґрунтування	02.06-03.06.26	виконано
8	Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел	04.06-05.06.26	виконано
9	Підготовка демонстраційного матеріалу	05.06-08.06.25	виконано

Здобувач вищої освіти _____ Олександр ГЕТМАН
(підпис)

Керівник роботи _____ Віталій КОПУЛЬКО
(підпис)

РЕФЕРАТ

Тема: «Удосконалення технологічної лінії з виробництва солоду ячмінного»

Кваліфікаційна робота містить: 86 сторінок, 9 рисунків, 18 таблиць, 0 додатків, 37 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – є технологічний процес виробництва світлого ячмінного солоду.

Предмет дослідження – є технологічна лінія з виробництва світлого ячмінного солоду, її основні конструктивно-технологічні параметри, режими роботи обладнання, а також процеси, що впливають на якість, продуктивність і енергоефективність виробництва.

Метою роботи – обґрунтування напрямів удосконалення технологічної лінії з виробництва світлого ячмінного солоду шляхом підвищення ефективності роботи обладнання, зменшення втрат сировини та енергоресурсів, а також забезпечення стабільної якості готового солоду.

Дипломна робота присвячена удосконаленню технологічної лінії з виробництва світлого ячмінного солоду. У роботі розглянуто значення солоду як основної сировини для пивоварного виробництва, охарактеризовано основні етапи технологічного процесу солододорощення, зокрема очищення, сортування, замочування, пророщування, сушіння та зберігання готової продукції. Обґрунтовано доцільність удосконалення технологічної лінії з метою підвищення якості солоду, зменшення втрат сировини, покращення енергоефективності та стабільності виробничого процесу. Результати роботи можуть бути використані під час модернізації діючих солодових підприємств або проєктування нових технологічних ліній з виробництва пивоварного солоду.

Ключові слова: Солод, ЯЧМІНЬ, ЗЕРНО, ЗАМОЧУВАННЯ, ПРОРОЩУВАННЯ, СУШІННЯ, ФЕРМЕНТИ, ЕКСТРАКТИВНІСТЬ, ВОЛОГІСТЬ, АЕРАЦІЯ, ОБЛАДНАННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Аналітичні дані галузі виробництва солоду в Україні і за кордоном	9
1.2 Характеристика сировини для виробництва солоду	13
Висновки за розділом.....	18
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	20
2.1 Опис діючої технологічної лінії	20
2.2 Пропозиції щодо удосконалення технологічної лінії з виробництва ячмінного солоду.....	21
2.3 Характеристика технологічної лінії після модернізації (удосконалення).....	21
2.4 Характеристика готового продукту	25
Висновки за розділом.....	28
3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	30
3.1 Технологічний розрахунок	30
3.2 Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання	40
3.3 Характеристика обладнання для пророщення солоду удосконаленої лінії ...	44
3.4 Особливості компонування технологічного обладнання у виробничому приміщенні цеху з виробництва ячмінного солоду.....	46
Висновки за розділом.....	52
4 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР	54
4.1 Аналіз потенційно небезпечних чинників на технологічних етапах виробництва солоду	54
4.2 Визначення критичних контрольних точок із застосуванням «дерева рішень».....	57
4.3 Встановлення критичних меж для критичних контрольних точок	59
4.4 Перевірка ефективності елементів системи НАССР	59
Висновки за розділом.....	62
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	63

5.1 Розробка карти безпеки праці під час виробництва ячмінного солоду	63
5.1.1 Характеристика небезпечних і шкідливих чинників виробництва солоду	64
5.2 Утилізація відходів підприємств з виробництва солоду	66
Висновки за розділом.....	68
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	69
6.1 Вихідні дані для розрахунку	69
6.2 Розрахунок доходу від реалізації продукції.....	70
6.3 Розрахунок витрат на сировину	71
6.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	71
6.5 Розрахунок собівартості продукції.....	72
6.6 Розрахунок прибутку та рентабельності	73
6.7 Розрахунок економічної ефективності модернізації	75
6.8 Основні техніко-економічні показники проекту	78
Висновки за розділом.....	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	80
БІБЛІОГРАФІЯ	82

ВСТУП

Солод є однією з основних сировинних складових у технології пивоваріння, оскільки саме він формує ферментативний, екстрактивний, смаковий, ароматичний і кольоровий потенціал майбутнього напою. Хоча солод може вироблятися з різних зернових культур, найбільш поширеною та технологічно доцільною сировиною для пивоварного виробництва залишається ячмінь. Його переваги пояснюються високим вмістом крохмалю, здатністю до рівномірного проростання, доброю ферментативною активністю та наявністю оболонки, яка під час фільтрування затору виконує роль природного фільтрувального шару.

Виробництво солоду є складним багатостадійним процесом, що включає приймання зерна, очищення, сортування, зберігання, замочування, пророщування, сушіння, видалення паростків, охолодження та зберігання готового продукту. Кожна з цих операцій істотно впливає на якість солоду, його екстрактивність, ферментативну активність, вологість та органолептичні властивості. Недотримання технологічних режимів може спричинити нерівномірне проростання зерна, втрату сухих речовин, зниження активності ферментів або погіршення якості готової продукції.

Основна мета солодоращення полягає в активізації життєвих процесів у зерні, накопиченні ферментів і створенні умов для часткового розщеплення складних запасних речовин. Під час пророщування активізуються амілолітичні, протеолітичні та цитолітичні ферменти, які надалі забезпечують гідроліз крохмалю, білків і клітинних оболонок у процесі пивоваріння. У потрібний технологічний момент проростання припиняють сушінням, що дозволяє стабілізувати властивості солоду, знизити його вологість і забезпечити придатність до зберігання.

Особливе значення у виробництві світлого ячмінного солоду мають процеси очищення, замочування, пророщування та сушіння. Якісне очищення й сортування забезпечують однорідність зернової маси, замочування створює умови для початку проростання, пророщування формує ферментативний комплекс, а

сушіння припиняє біохімічні процеси та надає солоду необхідних властивостей. Для світлого солоду важливо дотримуватися таких режимів, які забезпечують достатнє висушування, але не призводять до надмірного потемніння продукту та значної втрати ферментативної активності.

Актуальність теми дипломної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності технологічної лінії з виробництва світлого ячмінного солоду, зменшення втрат сировини, покращення якості готової продукції та зниження енерговитрат.

Таким чином, тема дипломної роботи «Удосконалення технологічної лінії з виробництва солоду» є актуальною, оскільки спрямована на вирішення важливого виробничого завдання – підвищення ефективності переробки ячменю у світлий солод із забезпеченням стабільної якості, раціонального використання сировини, енергоресурсів і технологічного обладнання.

Мета роботи – обґрунтування напрямів удосконалення технологічної лінії з виробництва світлого ячмінного солоду шляхом підвищення ефективності роботи обладнання, зменшення втрат сировини та енергоресурсів, а також забезпечення стабільної якості готового солоду.

Об'єкт дослідження – є технологічний процес виробництва світлого ячмінного солоду.

Предмет дослідження – є технологічна лінія з виробництва світлого ячмінного солоду, її основні конструктивно-технологічні параметри, режими роботи обладнання, а також процеси, що впливають на якість, продуктивність і енергоефективність виробництва.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Аналітичні дані галузі виробництва солоду в Україні і за кордоном

Ячмінний солод є стратегічною сировиною для пивоварної промисловості, оскільки забезпечує ферментативну активність сусла, формування екстрактивності, кольору, смаку й аромату готового пива. Основним напрямом використання світлого ячмінного солоду є виробництво пива, однак він також застосовується у виробництві солодових екстрактів, безалкогольних напоїв, хлібобулочних виробів, харчових концентратів та кормових добавок.

Світовий ринок солоду тісно пов'язаний із виробництвом пивоварного ячменю та динамікою пивоварної галузі. У 2024 році Європа залишалася одним із провідних центрів виробництва солоду: за даними Euromalt, загальна виробнича потужність солодової промисловості ЄС у 2024 році становила 10,237 млн т, що дещо вище показника 2023 року – 10,152 млн т. Це свідчить про відносну стабільність європейської солодової галузі навіть в умовах коливання попиту на пиво та змін на зерновому ринку.

Водночас виробництво солоду залежить від обсягів і якості врожаю ячменю. За прогностичними оцінками на 2025 – 2026 маркетинговий рік, виробництво ячменю в Україні оцінювалося на рівні близько 5,9 млн т, тоді як у 2024 – 2025 МР воно становило приблизно 5,8 млн т, а у 2023 – 2024 МР – 6,35 млн т. Це підтверджує, що Україна зберігає значну сировинну базу для виробництва ячмінного солоду, хоча обсяги врожаю можуть змінюватися залежно від погодних умов, структури посівних площ та експортного попиту.

В Україні виробництво солоду зосереджене переважно на великих спеціалізованих підприємствах. Одним із прикладів є солодовий завод ПрАТ «Оболонь», виробнича потужність якого становить 120 тис. т солоду на рік, а для забезпечення цієї потужності підприємство переробляє близько 170 тис. т ячменю. Це свідчить про значну матеріаломісткість виробництва та важливість

якісної підготовки, очищення, сортування і зберігання зерна перед солододорощенням (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Основні аналітичні показники ринку ячмінного солоду

Показник	Значення	Аналітичне значення
Потужність солодової промисловості ЄС у 2024 р.	10,237 млн т	ЄС є одним із провідних центрів виробництва солоду
Потужність солодової промисловості ЄС у 2023 р.	10,152 млн т	Спостерігається незначне зростання виробничих потужностей
Оцінка виробництва ячменю в Україні у 2025 – 2026 МР	5,9 млн т	Наявна сировинна база для солодового виробництва
Оцінка виробництва ячменю в Україні у 2024 – 2025 МР	5,8 млн т	Показник близький до прогнозу наступного сезону
Оцінка виробництва ячменю в Україні у 2023 – 2024 МР	6,35 млн т	Вищий рівень виробництва порівняно з наступними сезонами
Потужність солодового заводу ПрАТ «Оболонь»	120 тис. т/рік	Приклад великого промислового виробництва солоду в Україні
Потреба ячменю для потужності 120 тис. т солоду	170 тис. т/рік	Підтверджує високий рівень витрат сировини на виробництво солоду

У зовнішній торгівлі Україна виступає експортером не обсмаженого солоду. У 2024 році обсяг експорту українського солоду не обсмаженого становив 39,07 тис. т на суму майже 20,0 млн дол. США. Основними напрямками експорту були Польща, Молдова, Туреччина, Грузія та Буркіна-Фасо. Імпорт не обсмаженого солоду в Україну у 2024 році був значно меншим – 3,38 тис. т на суму близько 3,08 млн дол. США, що свідчить про переважання експортної орієнтації в цьому сегменті (таблиця 1.2, таблиця 1.3, рисунок 1.1).

Таблиця 1.2 – Зовнішня торгівля України не обсмаженим солодом у 2024 році

Напрямок торгівлі	Обсяг, тис. т	Вартість, млн дол. США	Коментар
Експорт	39,07	19,98	Україна має позитивне торговельне сальдо за цією позицією
Імпорт	3,38	3,08	Імпорт формується переважно за рахунок спеціальних або додаткових партій солоду
Сальдо за обсягом	+35,69	-	Експорт суттєво перевищує імпорт

Таблиця 1.3 – Основні країни-імпортери українського не обсмаженого солоду у 2024 році

Країна	Обсяг експорту, тис. т	Вартість, млн дол. США	Частка в експорті за обсягом, %
Польща	12,92	6,18	33,1
Молдова	9,71	4,22	24,9
Туреччина	5,46	3,07	14,0
Грузія	3,75	2,18	9,6
Буркіна-Фасо	1,90	1,13	4,9
Інші країни	5,33	3,20	13,5
Разом	39,07	19,98	100,0

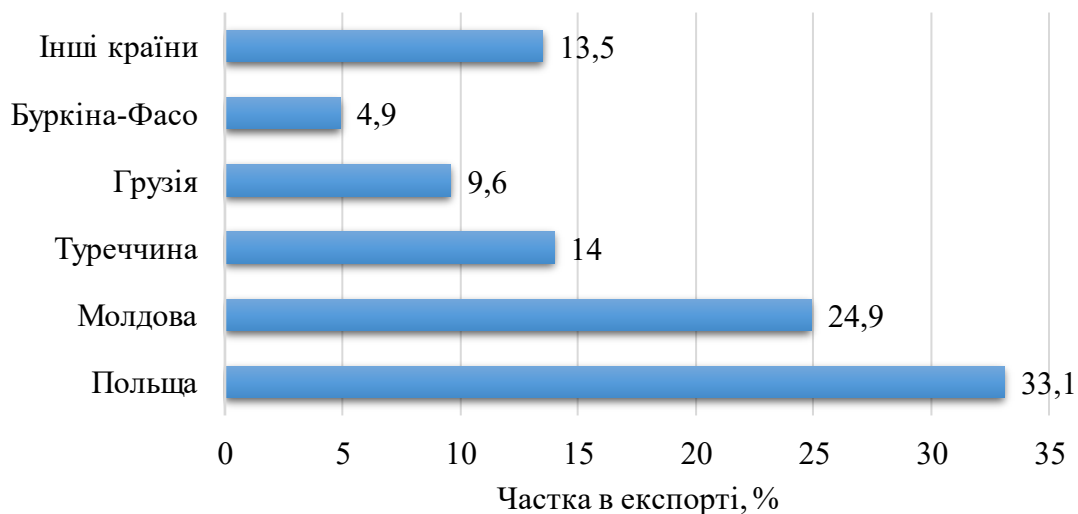


Рисунок 1.1 – Структура експорту українського не обсмаженого солоду у 2024 році, %

Аналіз структури експорту показує, що найбільшим покупцем українського солоду у 2024 році була Польща, на яку припадало понад третину загального експортного обсягу. Значні обсяги також постачалися до Молдови та Туреччини. Сукупна частка п'яти основних напрямів експорту становила понад 86 %, що свідчить про концентрацію зовнішньої торгівлі на обмеженій кількості ринків (рисунок 1.2).

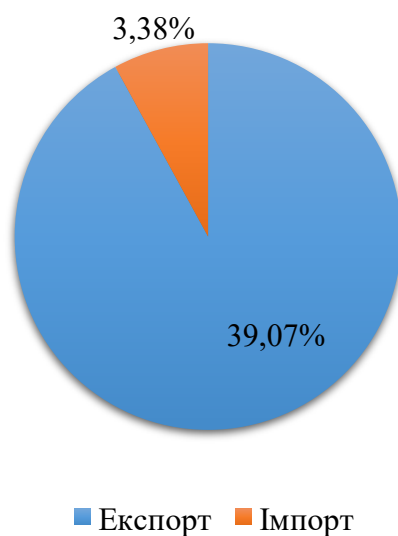


Рисунок 1.2 – Співвідношення експорту та імпорту не обсмаженого солоду в Україні у 2024 році, тис. т

Наведені дані свідчать, що українське виробництво ячмінного солоду має експортний потенціал, а внутрішній ринок значною мірою забезпечується власною продукцією. Водночас імпорту зберігається для окремих видів солоду або спеціалізованої сировини, яка може використовуватися у виробництві крафтового пива, спеціальних сортів напоїв або харчових продуктів.

Важливим чинником розвитку солодової галузі є зміна попиту на пиво у світі. У 2023 році країни ЄС виробили 34,3 млрд л пива, з яких 32,5 млрд л становило пиво з вмістом алкоголю понад 0,5 %, а 1,8 млрд л – безалкогольне або слабоалкогольне пиво. Це підтверджує стабільно високий попит на солод як базову сировину для пивоваріння.

Разом із тим розвиток світового ринку має неоднорідний характер. У Європі спостерігаються ознаки оптимізації виробництва через зниження споживання пива в окремих країнах, тоді як у країнах Азії та Африки, навпаки, відбувається розширення солодових потужностей. Наприклад, у 2026 році компанія Soufflet Malt оголосила про будівництво нового заводу в Індії потужністю 110 тис. т солоду на рік, а в Південній Африці реалізується проєкт солодового заводу потужністю близько 100 тис. т для забезпечення потреб пивоварної галузі.

Отже, аналітичні дані підтверджують, що виробництво ячмінного солоду залишається актуальним і перспективним напрямом переробки зернової сировини. Для України цей напрям має особливе значення завдяки наявності власної сировинної бази, діючих промислових потужностей і сформованих експортних каналів. Удосконалення технологічної лінії з виробництва світлого ячмінного солоду є доцільним, оскільки дозволяє підвищити якість готової продукції, зменшити втрати сировини, покращити енергоефективність і посилити конкурентоспроможність підприємства на внутрішньому та зовнішньому ринках.

1.2 Характеристика сировини для виробництва солоду

Для виробництва солоду використовують ячмінь, що повинен відповідати вимогам чинного ДСТУ 3769-98 «Ячмінь». Технічні умови (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Вимоги до зерна ячменю згідно ДСТУ 3769-98

Показник якості	Вимоги для ячменю 1 класу	Вимоги для ячменю 2 класу
1	2	3
Колір зерна	Світло-жовтий або жовтий, властивий здоровому зерну	Світло-жовтий, жовтий або з допустимими відтінками, властивий здоровому зерну
Стан зерна	Здорове, без самозігрівання і теплового ушкодження	Здорове, без самозігрівання і теплового ушкодження
Запах	Нормальний, властивий здоровому зерну; без затхлого, пліснявого, солодового або стороннього запаху	Нормальний, властивий здоровому зерну; без затхлого, пліснявого, солодового або стороннього запаху
Вологість, %, не більше	14,5	15,0
Маса 1000 зерен, г, не менше	40,0	38,0
Масова частка білка, % на абсолютно суху речовину, не більше	11,0	11,5
Смітна домішка, %, не більше	1,0	2,0
У тому числі мінеральна домішка, %, не більше	0,5	0,5
У тому числі галька, %, не більше	0,1	0,1
У тому числі шлак і руда, %, не більше	0,05	0,05
Кукіль, %, не більше	0,3	0,3
Фузаріозні зерна	Не допускаються	Не допускаються
Шкідлива домішка, %, не більше	0,2	0,2
У тому числі ріжки і сажка, %, не більше	0,1	0,1

1	2	3
Геліотроп опушеноплідний і триходесма сива	Не допускаються	Не допускаються
Зернова домішка, %, не більше	2,0	5,0
Дрібні зерна, %, не більше	5,0	7,0
Крупність, %, не менше	85,0	70,0
Здатність до проростання, %, не менше	95,0	92,0
Життєздатність, %, не менше	95,0	95,0
Зараженість шкідниками хлібних запасів	Не допускається, крім зараженості кліщем не вище 1 ступеня	Не допускається, крім зараженості кліщем не вище 1 ступеня
Рекомендована екстрактивність, %, не менше	79,0	77,0

Для приготування солоду теоретично може бути використано більшість видів зерна, оскільки вони містять ті ж або подібні групи речовин, утворюють при пророщування відповідні ферменти і дають подібні кінцеві продукти. Однак для приготування пивоварного солоду найбільш придатним виявляється ячмінь:

- він менш вимогливий до клімату та ґрунтів, ніж пшениця;
- пророщування ячменю порівняно легко регулюється;
- кількісне співвідношення утворюючихся при пророщування ферментів сприятливо для бажаних перетворень речовин зерна;
- квіткові оболонки півчатого ячмінного солоду утворюють пухкий фільтруючий шар, що сприяє найбільш повного відділенню суслу від дробини;
- за смаковими та технологічними властивостями пиво, отримане з ячменю, перевершує пиво з будь-якого іншого виду сировини.

Пшениця, як голозерний злак важче розмелюють і при застосуванні звичайних розмелюють установок ендосперм зерна використовується не повністю. Пшеничний солод застосовують в обмеженому обсязі для виготовлення спеціальних сортів пива або як продукт, багатий ферментами. Технологічні труднощі виникають і при застосуванні жита, яке за вмістом ферментів в солоді нерідко перевершує пшеницю.

Овес із-за щуплого зерна і товстої квіткової оболонки дає низький вихід екстракту і значний відсоток відходу. Тому ячмінь, беззаперечно, є кращою пивоварною сировиною.

Ботанічна характеристика. Ячмінь належить до сімейства злакових, рід Гордеум, який складається з 2-х видів культурного ячменю – дворядного і багаторядного, і 26 видів дикорослого ячменю. Культурний ячмінь має 190 ботанічних різновидів, кожна з яких включає ряд сортів ячменю. Різновид нутанс – найкращі пивоварні ячмені (сорт – Вінер, Ганна Лоосдорфська, Нутанс-187, Уманський, Іллінецький, Білоруський, Надя, Вінг і Хелас та ін.).

Залежно від розташування колосків у колосі, ячмінь поділяється на: багаторядний – на колосі 6 рядів зерен, на кожному уступі колоскового стрижня по 3 колоска, що утворюють зернівки. У тому числі – шестирядний

(щільноколосковий).

Вигнуті зерна легше середніх, тому такі ячмені мають меншу натуру, нерівномірне замочування і пророщування, виходить неоднорідний солод.

Дворядний (пивоварний) ячмінь включає 3 групи, залежно від типу колоса. Пивоварний ячмінь – з середньої щільності колосом. Пряmostоячий ячмінь важче вирощувати, плівчастість зерна вище, пивна якість нижче.

Будова і хімічний склад ячмінного зерна. Зародок з щитком і всмоктуючим епітелієм є живою частиною зерна, знаходиться на спинній стороні нижнього кінця зерна і складається з зачатків почечки, корінця і стебля.

Склад зерна на абсолютно суху речовину (А.С.В.): 37 – 50 % азотисті речовини, жир – 7 %, сахароза 5 – 6 %, пентозани. Ендосперм складається з кліток, що містять крохмаль 45 – 68 %, і клітин, що містять жири. Крохмаловмісні клітини – ядро ендосперму. Жировмісні клітини – алейроновий шар – по краю ендосперма (білки і жири). Алейроновий шар грає роль мембранного фільтру, пропускаючи всередину зерна H_2O і затримуючи розчинені речовини.

Між ендоспермом і зародком – шар розчиненого ендосперму. Оболонка квіткова (у пивоварного ячменю 8 – 9 %) складається з 2-х частин – внутрішньої (черевної) і покриваючої її спинної (зовнішньої). Плодова та насіннева оболонка, щільно зрощені, полегшують зерно і невіддільні від нього. Насіннева оболонка напівпроникненна: пропускає воду з розчиненими в ній речовинами, мікроорганізми затримуються, цукор та інші розчинені елементи ендосперму залишаються в зерні.

Вміст клітковини 23 %, пентозани 23 – 24 %, мінеральні речовини 10 – 70 % та ін.

Середній хімічний склад ячменю:

Вода – 12 – 20 %, сухі речовини – 88 – 80 % (води не більше 15,5 % – критична – *W*).

Білки – важливі на всіх етапах, особливо при солододорощенні, беруть участь у піноутворенні, у формуванні смаку пива, впливають на стабільність пива.

Підвищення вмісту білка в ячмені на 1 % веде до зниження екстрактивності

солоду, в середньому на 0,6 %.

Багатий білками ячмінь вимагає більш інтенсивного режиму солодоращення і більш ретельної сушки солоду. Отриманий солод дає більш розчинений білок, що позначається на піноутворенні, менш сприятливо – на стабільності і на загальному характері пива, в якому з'являється яскраво виражений хмелевий тон. Проте приготоване темне пиво з багатого білками (12 %) ячменю має добрий смак та колір тому, що солод має властивості сприятливі для утворення фарбувальних і ароматичних речовин.

Для світлого пива краще вміст білка 9 – 11 %.

Жири – при солодоращенні часто витрачаються на дихання при обміні речовин, і велика частина переходить в дробину. У суслі та пиві вміст жирів небажаний бо вони впливають на піноутворення, смак.

Ферменти. У пивоварінні представляють інтерес головним чином ті ферменти, які сприяють гідролітичним процесам розщеплення при солодоращенні.

Висновки за розділом

У розділі розглянуто сучасний стан виробництва ячмінного солоду в Україні та за кордоном. Встановлено, що солод є важливою сировиною для пивоварної промисловості, а попит на нього залежить від розвитку ринку пива, наявності якісного пивоварного ячменю та виробничих потужностей солодових підприємств. Наведені аналітичні дані свідчать, що Європа залишається одним із провідних центрів солодового виробництва, а Україна має достатню сировинну базу для розвитку цієї галузі.

Проаналізовано зовнішню торгівлю України не обсмаженим солодом. Встановлено, що у 2024 році експорт солоду суттєво перевищував імпорт, що підтверджує експортний потенціал українських виробників. Основними напрямками постачання українського солоду були Польща, Молдова, Туреччина, Грузія та Буркіна-Фасо.

Охарактеризовано ячмінь як основну сировину для виробництва світлого солоду. Визначено, що його перевагами є висока технологічна придатність, здатність до рівномірного проростання, сприятливий ферментативний склад і наявність оболонок, які утворюють природний фільтрувальний шар під час пивоваріння.

Наведено вимоги до зерна ячменю згідно з ДСТУ 3769-98. Найважливішими показниками якості для солододорощення є вологість, маса 1000 зерен, вміст білка, крупність, здатність до проростання, життєздатність, відсутність фузаріозних зерен, шкідників і сторонніх домішок.

Отже, виробництво світлого ячмінного солоду є актуальним і перспективним напрямом переробки зернової сировини. Удосконалення технологічної лінії є доцільним, оскільки дозволяє підвищити якість готового солоду, зменшити втрати сировини, покращити енергоефективність і посилити конкурентоспроможність підприємства.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Опис діючої технологічної лінії

Для отримання солоду очищений та відсортований ячмінь замочують до визначеної вологості, потім пророщують, висушують, відокремлюють ростки та витримують в солодосховищах.

Сортування ячменю перед замочуванням за величиною зерен забезпечує рівномірне замочування, пророщування ячменю і послідує якості подрібнення готового солода.

Ячмінь поділяють на сортувальних агрегатах на три фракції:

- I сорт – пивоварний ячмінь з товщиною зерен не більше 2,5 мм (сход з сита 2,5×20 мм);
- II сорт – пивоварний ячмінь з товщиною зерен 2,2 – 2,5 мм (проход через сито 2,5×20 мм; сход з сита 2,2×20 мм);
- відходи – ячмінь з товщиною зерен менше 2,2 мм. (Проход через сито 2,2×20 мм). Зазвичай використовується на корм тваринам.

Принципова технологічна схема виробництва солода приведена на рисунку 2.1.

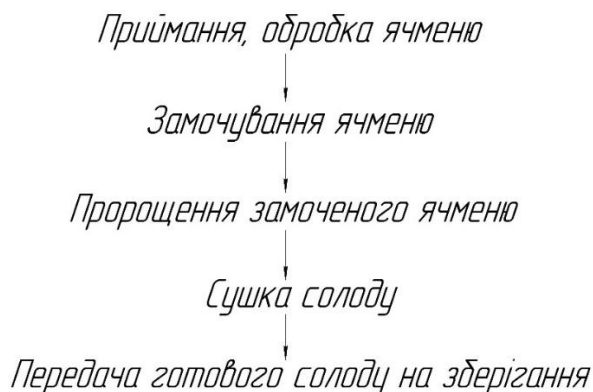


Рисунок 1.2 – Принципова технологічна схема виробництва ячмінного солоду

2.2 Пропозиції щодо удосконалення технологічної лінії з виробництва ячмінного солоду

Проаналізувавши діючу технологічну схему виробництва пивоварного солоду ми дійшли висновку, що виробництва ведеться за сучасними технологіями, але розглядаючи компанії Дніпропетровського регіону, вивчивши та проаналізувавши вітчизняні та закордонні технології виробництва пивоварного солоду, можна зробити наступні пропозиції щодо удосконалення технологічної лінії. Для збільшення продуктивності лінії пропонуємо встановити пневматичні солодовні, так як вони більш компактні, автоматизовані, до того ж цей тип солодовні не залежить від кліматичних умов і може виробляти продукцію весь рік, а також перейти на періодичний спосіб виробництва солоду.

Враховуючи середню річну потужність підприємств (100 тис. тон солоду), економічні міркування, в основу технології приймаємо заміну барабанних солодоростильних апаратів на пневматичні ящичного типу, які мають більшу продуктивність. Солодородження – в пневматичних ящиках прямокутної форми, тому як ця система може вміщувати до 300 тон ячменя, вона проста у виготовленні та економічно вигідна. Сушіння – в горизонтальній сушарці, простої компактної конструкції з високою продуктивністю та невеликими питомими витратами палива порівняно з іншими ідентичними сушарками. До того ж, сушіння може відбуватися в високому шарі солоду та питоме навантаження на поверхню решітки досить велике.

Таким чином, технологічна схема виробництва солоду представлена на рисунку 2.2.

2.3 Характеристика технологічної лінії після модернізації (удосконалення)

Зерно надходить на завод автомобільним або залізничним транспортом, поступає у прийомний бункер, звідки стрічковим транспортером і норією направляється в проміжний бункер. З бункера зерно після автоматичних ваг і

магнітного сепаратора подається в повітряно-ситовий сепаратор, де здійснюється його первинне очищення. Очищене й зважене на автоматичних вагах зерно збирається в бункері, звідки транспортерами, норією подається на зберігання в силос.

Для попередження перегріву ячменя передбачена мобільна установка з охолодженням повітрям.

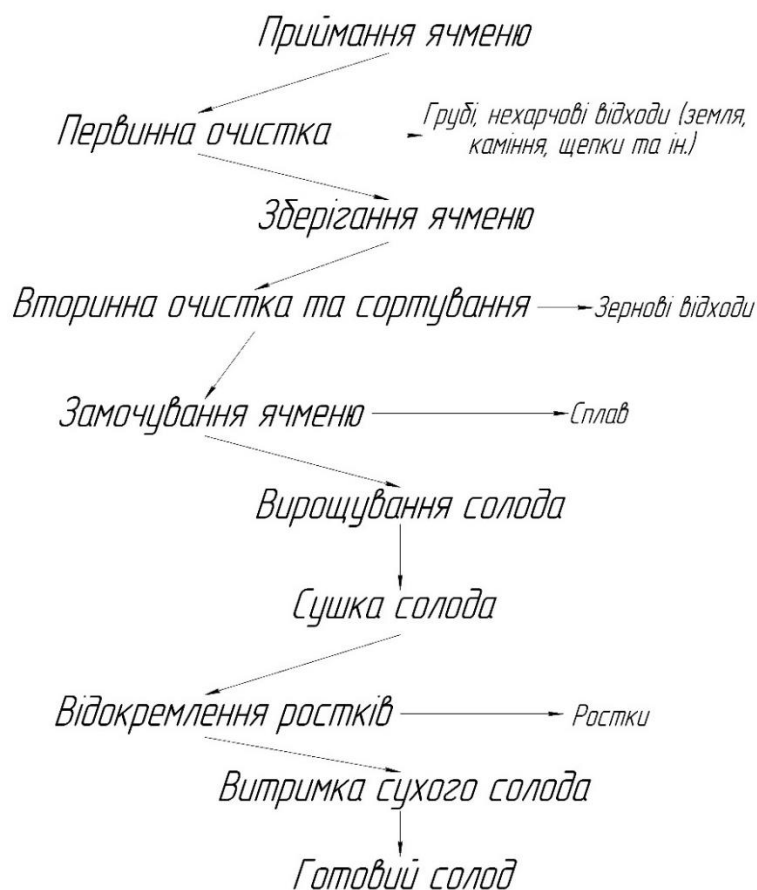


Рисунок 2.2 – Запропонована принципова технологічна схема виробництва солоду

Перед надходженням у виробництво, зерно проходить вторинне очищення. Для цього зерно із силосу стрічковим транспортером і норією подається в проміжний бункер, а відтіля через автоматичні ваги і потім у трієри, де з них виділяються короткі й кулясті домішки (половинки зерен, насіння бур'янів), а також довгі зерна вівса й вівсюга. Очищене зерно самопливом надходить до аспіратора, де одночасно відбувається очищення зерна від пилу та його

сортування на ситах аспіратора. Зернові домішки збирають до бункера. Зважене на автоматичних вагах очищене зерно системою транспортерів збирається в бункері добового запасу.

Ячмінь із бункера добового запасу самопливом надходить до бункера-змішувача, куди подається вода й суміш ячменя з водою насосом перекачують в замочні чани.

Для дезінфікування ячменю використовують розчин гіпохлориду натрію.

В замочних чанах ячмінь впродовж 2 діб замочується до необхідної вологості. Замочування відбувається наступним чином.

Тривалість першого водяного замочування при температурі води $14 \pm 1,5$ °C 2 – 10 год, наступного – 0,5 – 4 год. Кожні півгодини зерно інтенсивно перемішується повітрям протягом 5 хвилин. Тривалість повітряних замочувань 5 – 10 годин. Видалення CO₂ і тепла проводиться протягом 10 – 20 хвилин за 1 годину, зволоження протягом 6 – 8 хвилин за 2 – 3 години. Чередування водяного і повітряного замочувань проводиться до досягнення вологості ячменю 39 – 43 %.

Замочене зерно подається на грядки пророщування. Тут відбувається процес пророщення ячменя при інтенсивному продуванні замоченого ячменя кондиційованим повітрям температурою 12 °C та відносною вологістю 100 %. Ці параметри повітря досягаються охолодженням або нагріванням (в залежності від пори року) частини зовнішнього повітря за допомогою кондиціонеру. Солод продувають вентиляторами, повітря нагнітають в підситовий простір. В процесі пророщення ячменя відбувається його ворошіння. До зворощувача підведена вода, яка зволожує ячмінь через форсунки. Солод пророщують 5 діб.

Свіжопророслий солод транспортерами шнекового типу та системою транспортерів подають в одноярусну сушарку. Сушильним агентом є повітря, нагріте до 60 – 85 °C в калорифері, яке вентилятором нагнітають під решітку. Процес сушки триває 18,5 годин щонайменше.

Висушений солод транспортерами подають в проміжний бункер, звідкіля шнеком та норією поступає в ростковідбійну машину.

Ростки шнеком виводяться на реалізацію.

Чистий солод після ростковідбивання подається на полірувальну машину, зважується на автоматичних вагах та направляється в силоси на зберігання.

Запилене повітря видаляється аспіраційними вентиляторами через рукавні фільтри. Аспіраційні відходи з фільтрів вивантажують через шлюзові затвори, а очищене від пилу повітря викидається в атмосферу.

Модернізована технологічна схема виробництва солоду приведена на рисунку 2.3.

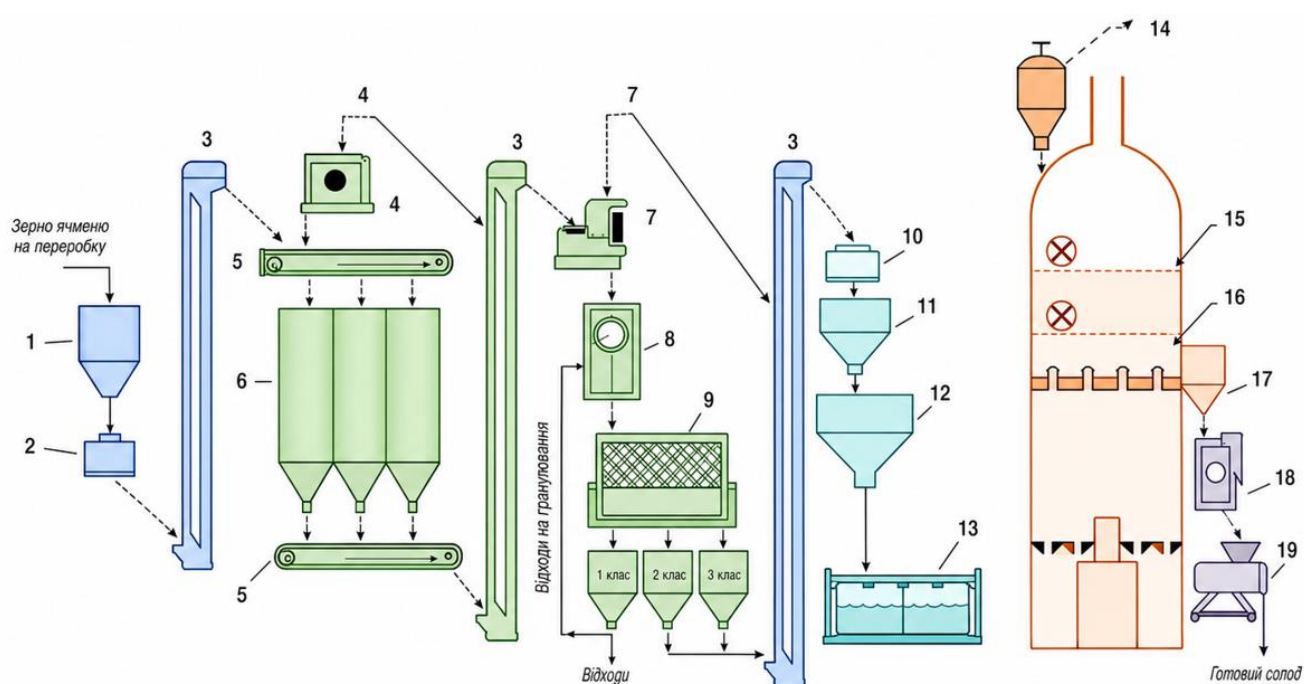


Рисунок 2.3 – Технологічна схема виробництва ячмінного солоду після модернізації

1 – приймальний бункер для ячменю; 2 – ваги; 3 – норія; 4 – сепаратор первинної очистки; 5 – стрічковий транспортер; 6 – силоси; 7 – сепаратор; 8 – трієр; 9 – сортувальна машина; 10 – автоматичні ваги; 11 – бункер для ячменю; 12 – замочні чани; 13 – пневматична ящикна солодовня; 14 – розвантажувальний бункер; 15 – верхня решітка сушарки; 16 – нижня решітка сушарки; 17 – бункер для солода; 18 – ростковідбійна машина; 19 – полірувальна машина.

2.4 Характеристика готового продукту

Пивоварний ячмінний солод за своїми якісними показниками повинен відповідати вимогам ДСТУ 4282-2004 «Солод пивоварний ячмінний». Технічні умови (таблиця 2.1).

За способом приготування розрізняють світлий, темний, карамельний і палений солод. Залежно від якості світлий солод ділять на три класи: високої якості, перший і другий, а карамельний солод ділять на два класи: перший і другий.

За показниками якості світлий і темний солод являє собою однорідну зернову масу, що не містить пліснявих зерен і шкідників, від світло-жовтого та жовтого кольору, запах солодовий, смак солодовий, солодкуватий. Не допускаються: колір зерен чорний і зелений, обумовлений цвіллю, запах і смак кислий чи сторонній присмак.

За фізико-хімічними показниками солод повинен мати необхідну вирівняність (прохід через сито $2,2 \times 20$ мм) не більше 3 – 7 %, масову долю сміттєвої домішки не більше 0,3 – 0,5 %. Кількість борошнистих зерен має бути не менше 80 – 90 %, склоподібних зерен не більше 2 – 8 %, масова частка вологи 4,5 – 6,0%, екстрактивність солоду 76 – 79 %, різниця в екстрактивності солоду тонкого і грубого помелу 1,5 – 4,0 %. ДСТУ регламентує також вміст білка 11,5 – 12,0 %, число Кольбаха 39 – 41 %, тривалість оцукрювання 15 – 25 хв, а також колір і кислотність лабораторного сусла $0,18 - 1,3 \text{ см}^3 0,1 \text{ моль/дм}^3 \text{ J2/100 см}^3$ води, і $0,9 - 1,3 \text{ см}^3 0,1 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaOH}$ на 100 см^3 .

Таблиця 2.1 – Показники якості ячмінного солоду згідно ДСТУ 4282-2018

Показник якості	Солод світлий високої якості	Солод світлий I класу	Солод світлий II класу
1	2	3	4
Зовнішній вигляд	Однорідна зернова маса, без пліснявих і пошкоджених зерен	Однорідна зернова маса, без пліснявих і пошкоджених зерен	Однорідна зернова маса, без пліснявих і пошкоджених зерен
Колір	Від світло-жовтого до жовтого	Від світло-жовтого до жовтого, допускається сірувато-жовтий відтінок	Від світло-жовтого до жовтого, допускається сірувато-жовтий відтінок
Запах	Солодовий, без кислого, пліснявого та стороннього запаху	Солодовий, без кислого, пліснявого та стороннього запаху	Солодовий, без кислого, пліснявого та стороннього запаху
Смак	Солодовий, солодкуватий, без стороннього присмаку	Солодовий, солодкуватий, без стороннього присмаку	Солодовий, солодкуватий, без стороннього присмаку
Прохід через сито 2,2×20 мм, %, не більше	2,0	3,0	7,0
Масова частка смітної домішки, %, не більше	Не допускається	0,3	0,5
Кількість борошнистих зерен, %, не менше	90,0	85,0	80,0
Кількість склоподібних зерен, %, не більше	2,0	4,0	8,0
Кількість темних зерен, %, не більше	Не допускається	Не допускається	4,0

1	2	3	4
Масова частка вологи, %, не більше	4,5	5,0	6,0
Масова частка екстракту в сухій речовині солоду тонкого помелу, %, не менше	79,0	78,0	76,0
Різниця масових часток екстрактів у сухій речовині солоду тонкого і грубого помелів, %	Не більше 1,5	1,6–2,5	Не більше 4,0
Масова частка білкових речовин у сухій речовині солоду, %, не більше	11,0	11,0	11,5
Число Кольбаха, %	39 – 41	Не нормується	Не нормується
Тривалість оцукрювання, хв, не більше	10	15	25
Колір лабораторного суслу, одиниці ЕВС, не більше	3,2	4,0	6,6
Кислотність лабораторного суслу, см ³ розчину NaOH концентрацією 1,0 моль/дм ³ на 100 см ³ суслу	0,9 – 1,1	0,9 – 1,2	0,9 – 1,3
Прозорість лабораторного суслу	Прозоре	Прозоре	Допускається незначна опалесценція
Кінцевий ступінь зброджування, %	79 – 81	75 – 78	70 – 74
В'язкість лабораторного суслу за температури 20 °С, мПа·с	1,45 – 1,54	1,55 – 1,60	1,61 – 1,78

За фізико-хімічними показниками карамельний і палений солод відрізняється від світлого і темного солоду. Вологість цих солодів 6,0 %, екстрактивність 70 – 75 %, кількість карамельних зерен не менше 25 – 93 %, кількість сміттевої домішки не більше 0,5 %. Колір фарбувальних солодів виражається в одиницях Лінтнера-Лі і повинна бути 20 для карамельного солоду і 100 для паленого.

Висновки за розділом

У розділі розглянуто діючу технологічну лінію виробництва ячмінного солоду, яка включає очищення, сортування, замочування, пророщування, сушіння, відокремлення ростків, полірування та зберігання готового продукту. Встановлено, що якісне сортування ячменю перед замочуванням є важливою умовою рівномірного поглинання вологи, пророщування зерна та одержання солоду зі стабільними технологічними властивостями.

Обґрунтовано доцільність удосконалення технологічної лінії шляхом заміни барабанних солодоростильних апаратів на пневматичні ящикного типу. Таке рішення дозволяє підвищити продуктивність виробництва, покращити керування процесом пророщування, забезпечити рівномірну аерацію зернової маси та зменшити залежність виробництва від кліматичних умов.

У модернізованій технологічній схемі передбачено первинне й вторинне очищення зерна, магнітне сепарування, трієрування, сортування, контроль зважування, замочування до вологості 39 – 43 %, пророщування протягом 5 діб, сушіння за температури сушильного агента 60 – 85 °С та подальше видалення ростків і полірування солоду.

Охарактеризовано готовий продукт – світлий пивоварний ячмінний солод, який повинен відповідати вимогам ДСТУ 4282:2018. Основними показниками його якості є зовнішній вигляд, колір, запах, смак, вологість, екстрактивність, кількість борошнистих і склоподібних зерен, вміст білкових речовин, тривалість оцукрювання, колір, прозорість і в'язкість лабораторного сусла.

Отже, запропонована модернізація технологічної лінії є обґрунтованою, оскільки сприяє підвищенню ефективності виробництва ячмінного солоду, поліпшенню якості готової продукції, зменшенню технологічних втрат і забезпеченню стабільного перебігу основних процесів солодоращення.

3 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

3.1 Технологічний розрахунок

Продуктовий баланс. Розрахунок виробництва солоду здійснюється на 100 кг відсортованого та очищеного ячменя. Екстрактивність ячменя в залежності від сорту, року врожаю коливається від 65 до 83 %. Пивоварний ячмінь повинен мати екстрактивність не менше 75 % в перерахунку на суху речовину [5].

Для одержання 100 кг очищеного ячменя ($G_{o.я.}$) необхідно товарного ячменя, кг:

$$G_{m.я.} = 100 \cdot \frac{100}{(100 - e_1)}, \quad (3.1)$$

де e_1 – сума відходів ячменю при очищенні та сортуванні (12 % від маси) плюс втрати при вивантаженні (0,15 % від маси) та зберігання ячменя на складі (0,09 % від маси).

$$G_{m.я.} = \frac{10^4}{(100 - 12,24)} = 113,95 \text{ кг.}$$

При насипній густині товарного ячменя $\rho_{m.я.} = 630 \text{ кг/м}^3$, об'єм товарного ячменя буде дорівнювати, м^3 :

$$V_{m.я.} = \frac{G_{m.я.}}{\rho_{m.я.}}, \quad (3.2)$$

$$V_{m.я.} = \frac{113,95}{630} = 0,18 \text{ м}^3.$$

Маса ячменя – сходу із сита $2,2 \times 20$ мм (III сорт):

$$G_{IIIз} = (G_{т.я.} - 100) \cdot \frac{e_2}{e_1}, \quad (3.3)$$

де e_2 – відсоток відходів ячменя III сорту (6,2 % від маси).

$$G_{IIIз} = (113,95 - 100) \cdot \frac{6,2}{12,24} = 7,06 \text{ кг.}$$

При насипній густині ячменя III сорту $\rho_{IIIз} = 520$ кг/м³ об'єм ячменя III сорту (м³):

$$V_{IIIз} = \frac{G_{IIIз}}{\rho_{IIIз}}, \quad (3.4)$$

$$V_{IIIз} = \frac{7,06}{520} = 0,014 \text{ м}^3$$

Маса зернових відходів (кг) буде дорівнювати:

$$G_{з.в.} = (G_{т.я.} - 100) \cdot \frac{e_3}{e_1}, \quad (3.5)$$

де e_3 – відсоток зернових відходів (4,2 % від маси).

$$G_{з.в.} = (113,95 - 100) \cdot \frac{4,2}{12,24} = 4,78 \text{ кг.}$$

При насипній густині зернових відходів $\rho_{з.в.} = 500 \text{ кг/м}^3$ об'єм їх (м^3):

$$V_{з.в.} = \frac{G_{з.в.}}{\rho_{з.в.}}, \quad (3.6)$$

$$V_{з.в.} = \frac{4,79}{500} = 0,0095 \text{ м}^3$$

Маса домішок (кг):

$$G_{\partial} = (G_{м.я.} - 100) \cdot \frac{e_4}{e_1}, \quad (3.7)$$

де e_4 – відсоток домішок (1,6 % від маси).

$$G_{\partial} = (113,95 - 100) \cdot \frac{1,6}{12,24} = 1,82 \text{ кг}$$

При насипній густині домішок (бур'янистих відходів) $\rho_{з.в.} = 400 \text{ кг/м}^3$ їхній об'єм (м^3):

$$V_{\partial} = \frac{G_{\partial}}{\rho_{\partial}}, \quad (3.8)$$

$$V_{\partial} = \frac{1,82}{400} = 0,0045 \text{ м}^3.$$

Кількість сухих речовин ячменя, що надходять для замочування (у кг), обчислюємо по формулі:

$$G_{c.p.} = G_{o.я.} \cdot \frac{(100 - W_{o.я.})}{100}, \quad (3.9)$$

де $G_{o.я.}$ – маса очищеного й відсортованого ячменя, кг;

$W_{o.я.}$ – вологість очищеного ячменя (14 – 15 % від маси).

$$G_{c.p.} = 100 \cdot \frac{(100 - 14,5)}{100} = 85,75 \text{ кг.}$$

Маса замоченого ячменя (кг):

$$G_{з.я.} = G_{c.p.} \cdot \frac{(100 - e_5)}{(100 - W_{з.я.})}, \quad (3.10)$$

де e_5 – втрати сухих речовин при замочуванні на сплав (1 %) і на вилуговування (0,6 % від маси);

$W_{з.я.}$ – вологість замоченого ячменя (43 % від маси).

$$G_{з.я.} = 85,5 \cdot \frac{(100 - 1,6)}{(100 - 43)} = 148,03 \text{ кг.}$$

Об'єм замоченого ячменя (м^3):

$$V_{з.я.} = \frac{G_{з.я.}}{\rho_{з.я.}}, \quad (3.11)$$

де $\rho_{з.я.}$ – насипна густина замоченого зерна ($\rho_{з.я.} = 660 \text{ кг/м}^3$).

$$V_{з.я.} = \frac{147,6}{660} = 0,22 \text{ м}^3.$$

Маса повітряно-сухого сплаву (кг):

$$G_{c.n-c.} = G_{o.я.} \cdot \frac{e_6}{100}, \quad (3.12)$$

де e_6 – відсоток повітряно-сухого сплаву (1 % від маси).

$$G_{c.n-c.} = 100,29 \cdot \frac{1}{100} = 1,003 \text{ кг.}$$

При насипній густині повітряно-сухого сплаву $\rho_{c.n-c.} = 400 \text{ кг/м}^3$, об'єм його (м^3):

$$V_{c.n-c.} = \frac{G_{c.n-c.}}{\rho_{c.n-c.}}, \quad (3.13)$$

$$V_{c.n-c.} = \frac{1}{400} = 0,0025 \text{ м}^3$$

Маса вологого сплаву (кг):

$$G_{c.вол.} = \frac{(100 - W_{c.n-c.}) \cdot G_{c.n-c.}}{(100 - W_{c.вол.})}, \quad (3.14)$$

де $W_{c.n-c.}$ – вологість повітряно-сухого сплаву (15 % від маси);

$W_{c.вол.}$ – вологість вологого сплаву (30 % від маси).

$$G_{c.вол.} = \frac{(100 - 15) \cdot 1}{(100 - 30)} = 1,21 \text{ кг.}$$

При насипній густині вологого сипаву $\rho_{c.вол.} = 500 \text{ кг/м}^3$ його об'єм (м^3):

$$V_{c.вол.} = \frac{G_{c.вол.}}{\rho_{c.вол.}}, \quad (3.15)$$

$$V_{c.n-c.} = \frac{1,21}{500} = 0,0024 \text{ м}^3$$

Масу свіжепророслого солоду $G_{c.c.}$ (кг) визначаємо:

$$G_{c.c.} = \frac{G_{cp} \cdot (100 - e_5 - e_7)}{(100 - W_{c.c.})} = \left[G_{o.я.} \cdot \frac{(100 - W_{o.я.})}{100} \right] \cdot \frac{(100 - e_5 - e_7)}{100 - W_{c.c.}}, \quad (3.16)$$

де e_7 – відсоток втрат сухих речовин на подих при пророщенні зерна (5,7 % від маси);

$W_{c.c.}$ – вологість свіжепророслого солоду (42 % від маси).

$$G_{c.c.} = \frac{85,5 \cdot (100 - 1,6 - 5,7)}{(100 - 42)} = 137 \text{ кг.}$$

Об'єм свіжепророслого солоду (м^3):

$$V_{c.c.} = \frac{G_{c.c.}}{\rho_{c.c.}}, \quad (3.17)$$

де $\rho_{c.c.}$ – насипна густина свіжепророслого солоду, $\rho_{c.c.} = 370 \text{ кг/м}^3$.

$$V_{c.c.} = \frac{136,65}{370} = 0,37 \text{ м}^3$$

Маса свіже висушеного солоду (кг):

$$G_{c.в.} = \frac{G_{cp} \cdot (100 - e_5 - e_7 - e_8)}{(100 - W_{c.в.})}, \quad (3.18)$$

де e_8 – відсоток втрат на паростки (4,3 % від маси);

$W_{c.в.}$ – вологість свіжевисушеного солоду (3 % від маси).

$$G_{c.в.} = \frac{85,5 \cdot (100 - 1,6 - 5,7 - 4,3)}{(100 - 3)} = 78,14 \text{ кг.}$$

Об'єм свіжевисушеного солоду (м^3):

$$V_{c.в.} = \frac{G_{c.в.}}{\rho_{c.в.}}, \quad (3.19)$$

де $\rho_{c.в.}$ – насипна густина свіжевисушеного солоду $\rho_{c.в.} = 510 \text{ кг/м}^3$.

$$V_{c.в.} = \frac{77,92}{510} = 0,15 \text{ м}^3.$$

Маса солоду, що відлежався:

$$G_{в.с.} = \frac{G_{c.в.} \cdot (100 - W_{c.в.})}{(100 - W_{в.с.})}, \quad (3.20)$$

де $W_{в.с.}$ – вологість солоду, що відлежався (у середньому 5,0 – 5,5 % від маси),

приймаємо $W_{в.с.} = 5,17 \%$.

$$G_{\text{в.с.}} = \frac{77,92 \cdot (100 - 3)}{(100 - 5,17)} = 79,93 \text{ кг.}$$

Об'єм солоду, що відлежався (м^3):

$$V_{\text{в.с.}} = \frac{G_{\text{в.с.}}}{\rho_{\text{в.с.}}}, \quad (3.21)$$

де $\rho_{\text{в.с.}}$ – насипна густина солоду, що відлежався, $\rho_{\text{в.с.}} = 530 \text{ кг/м}^3$.

$$V_{\text{в.с.}} = \frac{79,3}{530} = 0,15 \text{ м}^3.$$

Маса товарного солоду (кг) послуг зберігання й полірування:

$$G_{\text{м.с.}} = \frac{G_{\text{в.с.}} \cdot (100 - e_9 - e_{10})}{(100 - W_{\text{в.с.}})}, \quad (3.22)$$

де e_9 – втрати солоду при зберіганні на елеваторі (0,07 % від маси);

e_{10} – втрати солоду при поліруванні (0,55 % від маси).

$$G_{\text{м.с.}} = \frac{79,7 \cdot (100 - 0,07 - 0,55)}{100} = 79,3 \text{ кг.}$$

Маса паростків (кг) на реалізацію:

$$G_n = \frac{e_{11} \cdot (100 - W_{\text{о.я.}})}{(100 - W_n)}, \quad (3.23)$$

де e_{11} – відходи на утворення паростків (4,3 % від маси);

W_n – вологість паростків (10 % від маси).

$$G_n = \frac{4,3 \cdot (100 - 14,5)}{(100 - 10)} = 4,085 \text{ кг.}$$

Втрати ячменя (кг) при розвантаженні й зберіганні знаходимо за формулою:

$$G_n = \frac{G_{т.я.} \cdot e_{12}}{100} + \frac{G_{о.я.} \cdot e_{13}}{100}, \quad (3.24)$$

де e_{12} – втрати ячменя при розвантаженні (0,15 % від маси);

e_{13} – втрати ячменя при зберіганні на складі (0,09 % від маси).

$$G_n = \frac{113,95 \cdot 0,15}{100} + \frac{100 \cdot 0,09}{100} = 0,26 \text{ кг.}$$

За наведеними формулами зробимо розрахунок всіх продуктів по стадіях солодового виробництва на 100 кг очищеного й відсортованого ячменя та на 100 кг товарного солоду для подальших практичних розрахунків на 100 тис. т товарного солоду в рік й отримані дані зведемо в табл. 3.1.

В результаті модернізації продуктивність лінії умовно зростає на 20000 т/рік і складе 100000 т/рік. Маса товарного ячменя на добу (пункт 1, графа 5 табл. 3.1) обчислена виходячи з максимального добового прийому. Відповідно до норм технологічного проектування річний запас ячменя на завод поступає впродовж 120 діб.

Добова кількість зернових і бур'янистих відходів розраховано з умови первинного очищення всього прийнятого в максимальний добовий прийом ячменя й вторинного очищення добової кількості ячменя, що подається на замочування.

Таблиця 3.1 – Продуктовий баланс виробництва солоду

№ п/п	Продукт	Маса продукту, кг		Маса продукту, т	
		на 100 кг очищеного и відсортованого ячменя	на 100 кг товарного солоду	На 100000 т товарного солоду в рік	
				на добу	у рік (330 днів)
1	Товарний ячмінь	113,95	143,87	2997,3	143870
2	Очищений і відсортований ячмінь	100,29	126,62	383,7	126620
3	Ячмінь – сход із сита з осередками 2,2×20мм (III сорт)	7,06	8,91	27	8910
4	Зернові відходи	4,78	6,03	18,27	6030
5	Бур'янисті відходи	1,82	2,29	6,94	2290
6	Замочений ячмінь	148,03	186,9	566,36	186900
7	Повітряно-сухий сплав	1,0	1,2626	3,83	1262,6
8	Вологий сплав	1,21	1,53	4,64	1530
9	Свіже пророслий солод	137	172,97	524,16	172970
10	Свіже висушений солод	78,14	98,66	298,97	98660
11	Солод, що відлежався	79,93	100,92	305,82	100920
12	Товарний солод	79,43	100,29	303,91	100290
13	Паростки	4,085	5,16	15,64	5160
14	Втрати ячменя при розвантаженні й зберіганні	0,26	0,33	1,0	330

Кількість продуктів на 100 кг товарного солоду знаходимо множенням даних графі 3 на $(\frac{100}{79,2})$ та заносимо до графі 4. В 6 графі показані дані кількості продуктів на 100000 т товарного солоду, які знаходимо помноженням графі 4 на

100000. В 5 графі знаходяться дані щодо кількості продуктів на добу, отримані розділенням даних графі 6 на 330 робочих днів. [5]

3.2 Розрахунок необхідної кількості технологічного обладнання

Оскільки при модернізації було змінено склад солодоростильного обладнання, то нашу думку буде доцільно провести розрахунок технологічного обладнання саме цього відділення.

Приймаємо цикл солодородження 5 діб.

Кількість солодоростильних агрегатів повинна бути кратною кількості діб пророщення, тобто 5.

Об'єм замоченого ячменя, який загружається в солодоростильний апарат, м³:

$$V_{\text{я}} = \frac{1,4 \cdot G_{\text{о.я.}}}{\rho_{\text{яч}}}, \quad (3.25)$$

де 1,4 – коефіцієнт збільшення об'єму при замочуванні ячменя;

$\rho_{\text{яч}}$ – насипна густина повітряно-сухого ячменя, $\rho_{\text{яч}} = 650 \text{ кг/м}^3$.

$$V_{\text{я}} = \frac{1,4 \cdot 382600}{824} = 824 \text{ м}^3.$$

Площа поверхні ситчатого днища:

$$F_{\text{д}} = \frac{V_{\text{я}}}{h}, \quad (3.26)$$

де h – висота шару ячменя в апараті, приймаємо 1,6 м.

$$F_{\partial} = \frac{824}{1,6} = 515 \text{ м}^2.$$

Довжина солодоростильного ящика:

$$L = \frac{F_{\partial}}{b}, \quad (3.27)$$

де b – ширина солодоростильного апарата.

На практиці шириною b задаються з урахуванням ширини робочої зони випуску серійних шнекових зворощувачів і відповідно до рекомендацій конструктивного характеру: b до 10 м, приймаємо 9 м.

$$L = \frac{515}{9} = 57,22 \text{ м}$$

За габаритними параметрами обираємо шнековий зворощувач марки Ш-4-ВВШ-8, кількість шнеків 8. Зворощувач виконує наступні операції:

- вирівнює ячмінь після загрузки;
- орошає ячмінь в ящику;
- вивантажує сухий солод та транспортер.

Ш-4-ВВШ-8 має наступні технічні показники:

Продуктивність:

- при ворущінню, т/год.....54,0
- при вивантаженні солоду, т/год.....21,0

Витрата води на зрошення на 1т солоду, м³/т.....2

Крок витка, мм.....335

Потужність, кВт.....18

Маса, кг.....5150

Витрата повітря для пророщення ячменя в солодоростильних ящиках.
Кількість кондиційованого повітря розраховують, виходячи з тепла, яке утворюється при проростанні. За витратою повітря підбирають вентилятори. В таблиці 3.2. приведений тепловий баланс запропонованої пневматичної солодовні.

Таблиця 3.2 – Тепловий баланс пневматичної солодовні

Прихід тепла, кДж	Витрата тепла, кДж
1. Тепло, яке вноситься в апарат з замоченим зерном, $Q_1 = G_3 \cdot c_3 \cdot t_1$.	1. Тепло, яке виноситься з апарату з солодом, $Q_5 = G_c \cdot c_c \cdot t_2$.
2. Тепло, яке утворюється при пророщуванні, $Q_2 = 17982 \cdot S$.	2. Тепло, яке виноситься із апарату з відпрацьованим повітрям, $Q_6 = L_b \cdot I_2$.
3. Тепло апарата при загрузці, $Q_3 = G_a \cdot c_a \cdot t_1$.	3. Тепло апарата при розгрузці, $Q_7 = G_a \cdot c_a \cdot t_2$.
4. Тепло, яке вноситься в апарат з повітрям, $Q_4 = L_b \cdot I_1$.	4. Втрати тепла в навколишнє середовище, $Q_8 = \alpha \cdot F \cdot \Delta t_\tau$.

де G_3 , G_c , G_a – відповідно маса замоченого ячменя, солоду при вивантаженні, нагрівних частин апарату. Згідно з продуктовими розрахунками в середньому на кожну тону очищеного ячменя доводиться замоченого ячменя 1480,3 кг при вологості 45 %, а свіжепророслого солоду 1370 кг при вологості 43 % (табл. 3.1);

t_1 і t_2 – температура зерна при завантаженні та вивантаженні солоду, 12 – 13 °C та 15 – 16 °C відповідно;

c_3 , c_c , c_a – питомі теплоємності зерна, солода, матеріалу апарата, $c_3 = 2,67$ кДж/(кг·K); $c_c = 2,61$ кДж/(кг·K);

17982 – кількість тепла, яке виділяється при пророщуванні ячменя на кожний кг втрат сухих речовин, кДж/кг;

S – втрата сухих речовин при пророщуванні 1 т сухого ячменя = 45 кг/т

I_1 та I_2 – ентальпії кондиційованого та відпрацьованого повітря, $I_1 = 34,4$ кДж/кг; $I_2 = 41,4$ кДж/кг;

L_b – витрата повітря на продування солоду, кг;

α – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні апарату оточуючому повітрю, Вт/м²·К;

F – площа поверхні апарату, м²;

Δt_τ – різниця температур солоду й повітря, °С;

τ – тривалість пророщення солоду, $\tau = 120$ год.

Рівняння теплового балансу:

$$L_b = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 \quad (3.28)$$

Тепло апарата при розгрузці Q_7 практично не відрізняється від тепла при його загрузці Q_3 , то цими величинами знехтуємо. Підставив дані в рівняння (3.28) отримаємо:

$$L_b = \frac{G_3 \cdot c_3 \cdot t_1 + 17982 \cdot S - G_c \cdot c_c \cdot t_2 - \alpha \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau}{(I_2 - I_1)}, \quad (3.29)$$

$$L_b = \frac{1480,3 \cdot 2,67 \cdot 12 + 17982 \cdot 45 - 1370 \cdot 2,61 \cdot 15 - 350 \cdot 540 \cdot 120 \cdot 4}{(41,4 - 4,4)} = 101863,7 \text{ м}^3/\text{год.}$$

До установки приймаємо вентилятор продуктивністю 200 тис м³/год. Загальна кількість вентиляторів – 5 шт.

Камера для кондиціонування повітря: при провітрюванні кондиційованим повітрям 566,36 т ячменя на добу [5] при швидкості повітря в камері 1,5 м/с, площа перерізу камери складе:

$$\frac{101863,7}{3600} \cdot \frac{566,36}{3600 \cdot 1,5} = 2,96 \text{ м}^2.$$

$$\text{Довжина камери} - 3,2 \text{ м, ширина: } \frac{2,96}{3,2} = 0,9 \text{ м.}$$

Витрата води на зволоження повітря:

$$W_y = \frac{L_b(d_2 - d_1) \cdot 100}{3}, \quad (3.30)$$

де d_2 і d_1 зміст вологи кондиційованого та свіжого повітря, кг/кг;

3 – відсоток максимально випарюваної холодної води.

$$W_y = \frac{101863,7 \cdot (98 - 75) \cdot 100}{3} = 780955 \text{ кг/год.}$$

Кількість форсунок:

$$n = \frac{W_y}{W_1}, \quad (3.31)$$

де W_1 – витрата води однією форсункою, $W_1 = 333589 \text{ м}^3$.

Тоді

$$n = \frac{780955}{333589} = 2,4 = 3 \text{ шт.}$$

Отже, проведені розрахунки свідчать про доцільність проведення модернізації. Згідно розрахунків необхідно встановити для кожного циклу солородорощення один солородоростильний агрегат. Оскільки циклів солородорощення п'ять тому і кількість апаратів буде також п'ять.

3.3 Характеристика обладнання для пророщення солоду удосконаленої лінії

Умови пророщування в ящикній солодовні, як показують її параметри, є

універсальними і використовуються при вирощуванні солоду при самих різноманітних методах.

Температуру в солодовнях даного типу можна контролювати в широких межах. Встановлюється температура шляхом змішування свіжого та рециркуляційного повітря.

Температура верхнього шару солоду приблизно на 2 °C вище температури нижнього, такий температурний перепад спостерігається під час пророщування солоду.

Автоматизація ведення гряди здійснюється наступним чином: зміна температури повітря, що подається керує роботою холодильної установки або системи зрошування повітря, а різниця температур пророщуваного матеріалу та повітря, що подається визначає частоту обертання вентилятора. Регулювання температури повітря, що подається по температурі верхнього шару небажане, так як спричиняє зневоднення матеріалу, що пророщується.

Вологість матеріалу, що пророщується зменшується зі збільшенням температури повітря, що подається в гряді на 0,5 – 0,7 % за добу, особливо при невеликій різниці температур (близько 2 °C). Втрати вологи вирівнюють шляхом зрошення.

Висока якість ящичних солодів при цілеспрямованому використанню окремих факторів пророщування вже не ставиться під сумнів. Можливо задовольняти самі різноманітні вимоги і одночасно скоротити час пророщування в гряді на 2 – 3 доби. Перевагами ящичної солодовні є економія площі та робочої сили, стабільність технологічного процесу, незалежність від погоди та клімату, можливість автоматизації.

Догляд за ящиками для пророщування включає багаторазову очистку, що уникнути заростання біологічною плівкою та зараження мікроскопічними грибами. Рекомендується проводити періодичну дезінфекцію хлоровмісними речовинами.

Видалення гряди повинно проводитися на протязі 2 – 3 годин. В солодовнях даного типу використовується для розвантаження гряди система Kooha. Вона

заснована на підйомному ефекті спіралей ворушилки, що підіймають солод в поперечний шнек, що забезпечує його переміщення в приймальний пристрій телескопічної труби всмоктувальної установки. В даному випадку можлива велика продуктивність пристрою, тому що всмоктувальна установка завжди заповнюється рівномірно. При досягненні максимальної довжини телескопічну трубу у разі необхідності можна продовжити відповідним відрізком. Для обслуговування даної установки необхідний один робочий.

Схема роботи пневматичної ящикної солодовні приведена на рис. 3.1.

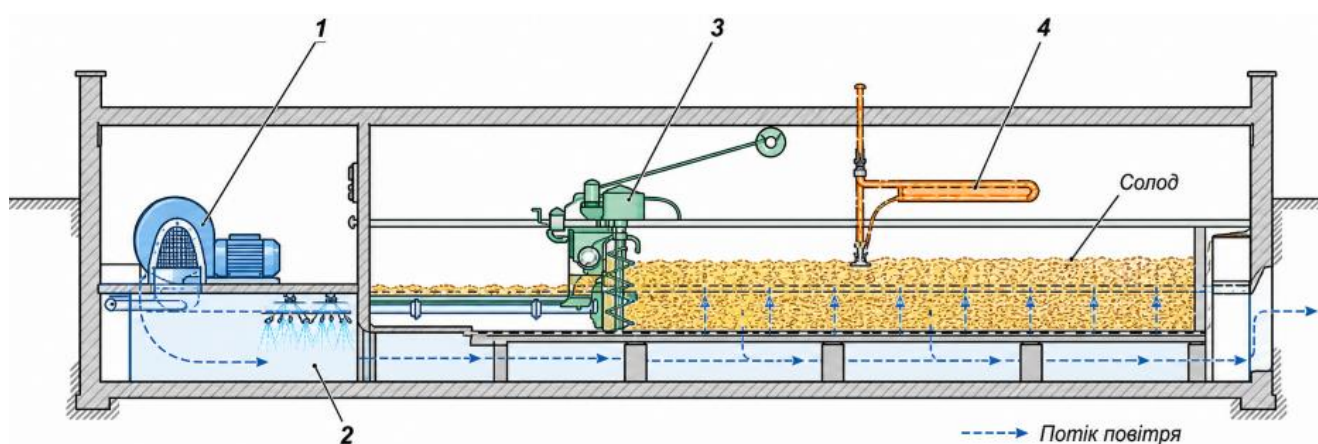


Рисунок 3.1 – Схема роботи пневматичної ящикної солодовні «Saladin»

1 – вентилятор з системою охолодження повітря; 2 – зволожувач; 3 – зволожувач солоду системи Kosh з пневматичним пристроєм; 4 – трубопровід замочної ємкості.

3.4 Особливості компонування технологічного обладнання у виробничому приміщенні цеху з виробництва ячмінного солоду

Оскільки умовами удосконалення технологічної лінії не було передбачено встановлення додаткового обладнання, а тільки заміну менш ефективних солодоростильень на більш ефективні та більш продуктивні, то розрахунок площі виробничого приміщення проводити не будемо, а тільки розглянемо особливості компонування обладнання у виробничому приміщенні цеху.

Компонування технологічного обладнання у виробничому приміщенні цеху з виробництва ячмінного солоду виконано з урахуванням послідовності технологічного процесу, вимог безпечної експлуатації машин і апаратів, санітарно-гігієнічних умов виробництва та необхідності забезпечення зручного технічного обслуговування обладнання. Основним принципом планування є прямоточність руху сировини, напівфабрикатів і готової продукції, що дозволяє уникнути зустрічних потоків, скоротити довжину транспортних комунікацій, зменшити кількість перевантажень зерна та знизити втрати сировини.

Планування виробничого приміщення прийнято у вигляді прямокутної будівлі з габаритними розмірами 30,0×15,0 м. Такі розміри забезпечують можливість розміщення основного технологічного обладнання, організації проходів для персоналу, зон обслуговування машин, транспортних комунікацій, аспіраційної системи, системи кондиціонування повітря та допоміжних пристроїв. У межах приміщення технологічну лінію поділено на функціональні зони: приймання та первинного очищення ячменю, зберігання сировини, вторинного очищення і сортування, замочування, пророщування, сушіння, ростковідбивання, полірування та направлення готового солоду на зберігання.

Планування цеху виконано відповідно до вимог Правил охорони праці для працівників виробництва солоду, пива та безалкогольних напоїв, затверджених наказом Міністерства соціальної політики України № 635 від 18.04.2017, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 17.05.2017 за № 633/30501. Зазначені Правила поширюються на підприємства, які здійснюють виробництво солоду, і встановлюють вимоги до безпечного виконання робіт у технологічних процесах виробництва солоду, пива та безалкогольних напоїв. Санітарне обґрунтування планувальних рішень здійснено з урахуванням ДСанПіН 4.4.4.-152-2008 «Державні санітарні норми і правила для підприємств, що виробляють солод, пиво та безалкогольні напої».

У лівій частині виробничого приміщення розміщено зону приймання ячменю. У цій зоні передбачено приймальний бункер, ваги, норію, магнітний сепаратор, сепаратор первинного очищення та стрічковий транспортер. Таке

розміщення дозволяє безпосередньо після надходження зерна автомобільним або залізничним транспортом виконати його зважування, видалення металоманітних домішок, первинне очищення від пилу, легких і крупних сторонніх включень та подальше транспортування до силосів. Розміщення приймального обладнання біля входу сировини в цех скорочує шлях переміщення зерна і зменшує запилення інших виробничих зон.

Після первинного очищення ячмінь подається до силосів, розташованих поблизу приймально-очисної ділянки. Таке розміщення забезпечує зручне зберігання зерна до подальшої переробки та мінімізує кількість транспортних операцій. Для попередження перегрівання ячменю передбачено мобільну охолоджувально-повітряну установку, яка забезпечує подачу охолодженого повітря до зони зберігання сировини. Розміщення силосів у безпосередній близькості до приймальної зони є раціональним, оскільки дозволяє швидко приймати значні обсяги зерна та зберігати його до подачі у виробництво.

Ділянку вторинного очищення і сортування розміщено в центральній частині верхнього ряду обладнання. До її складу входять сепаратор вторинного очищення, трієр, сортувальна машина-аспіратор, автоматичні ваги та бункер добового запасу ячменю. Таке послідовне компонування забезпечує остаточне очищення сировини від коротких, кулястих, довгих і щуплих домішок, пилу та некондиційних зерен. Після цього ячмінь надходить у бункер добового запасу, що забезпечує безперервність подачі сировини на замочування.

Замочне відділення розміщено у правій верхній частині виробничого приміщення. У цій зоні встановлено замочні чани, трубопроводи для подачі води, систему аерації, насосне обладнання та вузол дозування розчину гіпохлориту натрію для дезінфекції зерна. Розміщення замочних чанів після бункера добового запасу забезпечує короткий і логічний шлях подачі підготовленого ячменю на замочування. Оскільки ця зона характеризується підвищеною вологістю, у ній необхідно передбачити водостійке покриття підлоги, ухили до трапів, ефективну вентиляцію, захист електрообладнання від вологи та можливість санітарної обробки.

Після замочування зерно подається до пневматичної ящичної солодовні, розташованої у правій нижній частині плану. Таке розташування дозволяє мінімізувати шлях транспортування вологого зерна від замочних чанів до ділянки пророщування. Пневматична ящична солодовня розміщена так, щоб забезпечити зручне завантаження замоченого ячменю, рівномірне розподілення його по грядці, роботу зворушувача, подачу кондиційованого повітря в підситовий простір і вивантаження свіжопророслого солоду. Поруч із солодовнею передбачено систему кондиціонування повітря, вентилятори та комунікації для подачі зволожувальної води.

Сушильне відділення розташовано в центральній нижній частині виробничого приміщення. До його складу входять розвантажувальний бункер, одноярусна сушарка з верхньою та нижньою решітками, калорифер, вентилятор і повітропроводи для подачі нагрітого повітря. Центральне розміщення сушарки є доцільним, оскільки вона приймає свіжопророслий солод із солодовні та передає висушений продукт на подальшу доробку. Для сушильного відділення передбачено окрему зону обслуговування, що обумовлено підвищеною температурою процесу, необхідністю контролю режимів сушіння та вимогами пожежної безпеки.

Після сушіння солод надходить у бункер для солоду, звідки подається до ростковідбійної машини. Далі очищений від ростків солод направляється на полірувальну машину, після чого зважується та транспортується у силоси або склад готової продукції. Ростковідбійна і полірувальна машини розміщені в лівій нижній частині приміщення, що відповідає завершальним операціям технологічного процесу. Ростки виводяться окремим потоком на реалізацію або утилізацію, що запобігає забрудненню готового солоду побічними продуктами.

Планування цеху виконано за лінійно-послідовною схемою з елементами П-подібного руху технологічного потоку. Верхній ряд обладнання призначений для приймання, очищення, сортування, зберігання та замочування ячменю, а нижній – для пророщування, сушіння, ростковідбивання, полірування і направлення готового солоду на зберігання. Таке компонування дозволяє раціонально

використати площу виробничого приміщення, розділити зони підготовки сировини та доробки готового продукту, скоротити довжину транспортних ліній і підвищити зручність обслуговування обладнання.

Під час планування враховано необхідність організації проходів між обладнанням та між обладнанням і стінами будівлі. У цеху передбачено головний виробничий прохід шириною 1,5 м, який забезпечує безпечне пересування персоналу, доступ до обладнання та можливість евакуації у разі аварійної ситуації. Біля сушарки, солодовні та замочних чанів також прийнято проходи шириною 1,5 м, оскільки ці ділянки потребують регулярного контролю, обслуговування та санітарної обробки. Додаткові робочі проходи між окремими машинами прийнято шириною 1,0 м, що забезпечує доступ до вузлів обладнання для огляду, очищення та поточного ремонту.

Відстань між обладнанням і стінами будівлі прийнято в межах 0,8 – 1,0 м, що дозволяє виконувати технічне обслуговування, ремонт, санітарне очищення та контроль стану обладнання. Для норій і бункерів враховано спеціальні вимоги Правил охорони праці. Зокрема, при влаштуванні приймка для башмака норії з трьох сторін мають бути передбачені проходи шириною не менше 0,8 м, а за наявності проходів між вбудованими бункерами для безтарного зберігання та стінами будівлі їх ширина повинна бути не менше 0,7 м. Тому прийняті у плануванні відстані відповідають мінімальним нормативним вимогам і забезпечують безпечну експлуатацію обладнання.

Окрему увагу приділено організації аспірації. До аспіраційної системи підключено найбільш запилені ділянки: сепаратори, трієри, аспіратори, транспортери, норії, ростковідбійну та полірувальну машини. Запилене повітря відводиться аспіраційними вентиляторами через рукавні фільтри, після чого очищене повітря викидається в атмосферу, а аспіраційні відходи збираються окремо. Таке рішення покращує санітарно-гігієнічні умови праці, зменшує запиленість виробничого середовища та знижує пожежо- і вибухонебезпеку.

На рисунку 3.2 представлена загальна схема планування обладнання у виробничому приміщенні цеху з виробництва ячмінного солоду.

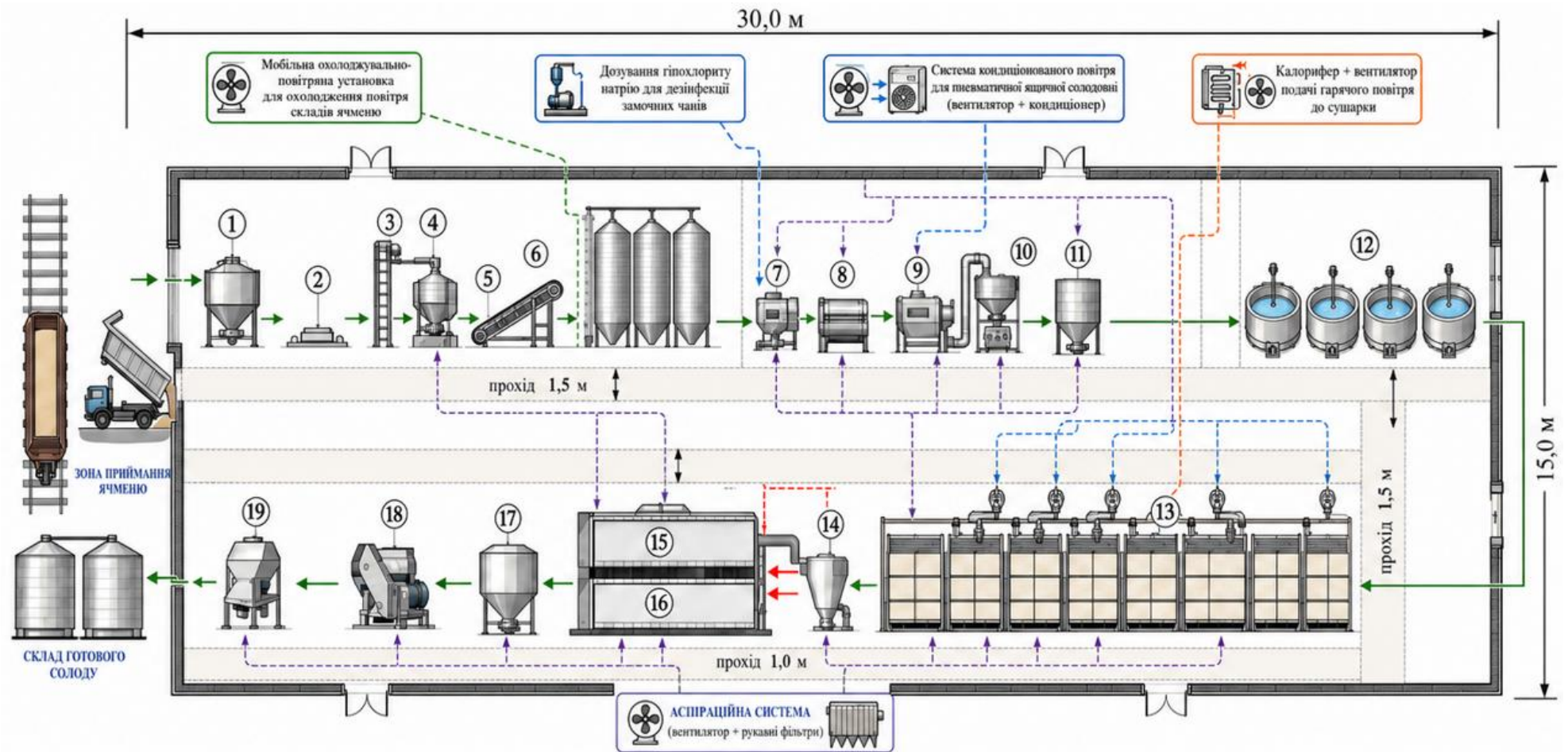


Рисунок 3.2 – Планування виробничого приміщення цеху

1 – приймальний бункер для ячменю; 2 – ваги; 3 – норія; 4 – сепаратор первинної очистки; 5 – стрічковий транспортер; 6 – силоси; 7 – сепаратор; 8 – трієр; 9 – сортувальна машина; 10 – автоматичні ваги; 11 – бункер для ячменю; 12 – замочні чани; 13 – пневматична ящикна солодовня; 14 – розвантажувальний бункер; 15 – верхня решітка сушарки; 16 – нижня решітка сушарки; 17 – бункер для солода; 18 – ростковідбійна машина; 19 – полірувальна машина.

Таким чином, планування цеху з виробництва ячмінного солоду виконано з урахуванням технологічної послідовності, функціонального зонування, вимог охорони праці, санітарії та пожежної безпеки. Прийняті габаритні розміри приміщення 30,0×15,0 м, раціональне розміщення обладнання, організація проходів шириною 1,0 – 1,5 м і дотримання нормативних відстаней до стін та бункерів забезпечують безпечну, зручну та ефективну експлуатацію технологічної лінії. Запропоноване компонування сприяє зниженню втрат сировини, покращенню умов праці, підвищенню продуктивності та стабільному отриманню якісного ячмінного солоду.

Висновки за розділом

У проєктній частині виконано технологічний розрахунок виробництва ячмінного солоду на основі продуктового балансу. Встановлено, що для отримання 100 тис. т товарного солоду на рік необхідно переробити близько 143,87 тис. т товарного ячменю, що підтверджує високу матеріаломісткість солодового виробництва та важливість раціонального використання сировини.

У результаті модернізації продуктивність технологічної лінії умовно збільшується на 20 тис. т/рік і становить 100 тис. т солоду на рік. За розрахунками, добове виробництво товарного солоду складає близько 303,91 т, а добова потреба в очищеному і відсортованому ячмені – 383,7 т.

Обґрунтовано доцільність заміни солодоростильного обладнання на пневматичні ящичні солодовні, які забезпечують кращий контроль температури, вологості, аерації та перебігу процесу пророщування. Для забезпечення п'ятидобового циклу солодоращення прийнято 5 солодоростильних апаратів, що відповідає тривалості технологічного процесу.

Підібрано основне обладнання для пророщування солоду, зокрема шнековий зворощувач Ш-4-ВВШ-8, який забезпечує вирівнювання шару ячменю, його зволоження, ворущіння та вивантаження. Для забезпечення необхідного

повітрообміну прийнято 5 вентиляторів продуктивністю 200 тис. м³/год, що дозволяє підтримувати стабільні умови пророщування.

Розглянуто особливості компонування технологічного обладнання у виробничому приміщенні. Встановлено, що обладнання повинно розміщуватися за ходом технологічного процесу з розділенням чистих і забруднених зон, мінімізацією транспортних операцій, забезпеченням доступу до машин для обслуговування та дотриманням норм проходів між обладнанням і будівельними конструкціями.

Отже, проведені розрахунки та запропоновані проєктні рішення підтверджують доцільність удосконалення технологічної лінії виробництва ячмінного солоду. Модернізація дозволяє підвищити продуктивність підприємства, стабілізувати процес пророщування, зменшити технологічні втрати, поліпшити якість готового солоду та забезпечити більш ефективну організацію виробничого процесу.

4 ВПРОВАДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ НАССР

4.1 Аналіз потенційно небезпечних чинників на технологічних етапах виробництва солоду

Система НАССР є профілактичною системою управління безпечністю харчових продуктів, яка ґрунтується на виявленні, оцінюванні та контролі небезпечних чинників на всіх етапах виробництва. Відповідно до підходів Codex Alimentarius, НАССР передбачає аналіз небезпечних факторів, визначення критичних контрольних точок, установлення критичних меж, моніторинг, коригувальні дії, перевірку ефективності системи та ведення документації. Критична контрольна точка – це етап, на якому контроль є необхідним для запобігання небезпечному чиннику, його усунення або зменшення до прийняттого рівня.

У межах кваліфікаційної роботи елементи системи НАССР розглянуто для технологічної лінії виробництва світлого ячмінного солоду. Обраний харчовий продукт є сировиною для пивоварного виробництва, тому його безпечність має важливе значення для подальшої якості та безпечності готового пива. Основними небезпечними чинниками при виробництві солоду можуть бути біологічні, хімічні та фізичні фактори.

Виробництво світлого ячмінного солоду включає такі основні технологічні етапи: очищення, сортування, зберігання зерна, замочування, пророщування, сушіння, охолодження, видалення паростків, зберігання готового солоду, пакування та відвантаження. На кожному з цих етапів можуть виникати небезпечні чинники, тому їх необхідно проаналізувати та визначити, які операції потребують особливого контролю, таблиця 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз потенційно небезпечних чинників на технологічних етапах виробництва солоду

Технологічний етап	Потенційно небезпечний чинник	Характер небезпеки	Причина виникнення	Заходи контролю
1	2	3	4	5
Приймання та очищення зерна	Залишкові фізичні домішки	Фізичний	Неефективна робота сепараторів, сит, аспірації	Контроль роботи очисного обладнання
Сортування зерна	Потрапляння дрібного, пошкодженого або битого зерна	Біологічний, технологічний	Недостатнє калібрування	Контроль фракційного складу зерна
Замочування	Розвиток мікрофлори у воді та зерновій масі	Біологічний	Неякісна вода, тривале замочування, недостатня аерація	Контроль якості води, температури, тривалості замочування
	Залишки мийних і дезінфекційних засобів	Хімічний	Недостатнє ополіскування обладнання після санітарної обробки	Контроль санітарної підготовки обладнання
Пророщування	Інтенсивний розвиток плісневих грибів і бактерій	Біологічний	Підвищена температура, надмірна вологість, недостатня аерація	Контроль температури, вологості, перемішування, аерації
Сушіння солоду	Вживання або розвиток мікрофлори через недостатнє висушування	Біологічний	Недотримання температурного режиму, висока залишкова вологість	Контроль температури сушіння та кінцевої вологості
	Надмірне потемніння, зниження ферментативної активності	Технологічний	Перевищення температури сушіння	Контроль температурних режимів

1	2	3	4	5
Видалення паростків	Потрапляння частинок обладнання, металевих домішок	Фізичний	Зношування робочих органів машини	Технічний огляд, магнітний контроль
Зберігання готового солоду	Повторне зволоження, пліснявіння, зараження шкідниками	Біологічний	Порушення умов зберігання	Контроль вологості, температури, санітарного стану складу
Пакування та відвантаження	Сторонні домішки, пил, пошкодження пакування	Фізичний	Недостатня герметичність тари, порушення санітарії	Контроль тари, чистоти обладнання, умов транспортування

Проведений аналіз показує, що найбільш суттєвими небезпечними чинниками при виробництві світлого ячмінного солоду є наявність мікотоксинів у сировині, розвиток мікрофлори під час замочування та пророщування, недостатнє висушування солоду, а також потрапляння сторонніх металевих домішок у готовий продукт. Саме ці ризики можуть безпосередньо впливати на безпечність продукції та потребують особливого контролю.

4.2 Визначення критичних контрольних точок із застосуванням «дерева рішень»

Другий принцип системи НАССР передбачає визначення критичних контрольних точок (таблиця 4.2). Для цього використовують логічну послідовність запитань – так зване «дерево рішень». Його застосування дозволяє встановити, чи є конкретний технологічний етап критичним для безпечності продукту.

Якщо на етапі існує суттєва небезпека, контроль є необхідним, а наступні операції не забезпечують її усунення або зниження до прийнятного рівня, такий етап визначається як критична контрольна точка.

У результаті застосування «дерева рішень» для технології виробництва світлого ячмінного солоду визначено такі критичні контрольні точки: ККТ-1 – очищення ячменю; ККТ-2 – замочування зерна ячменю; ККТ-3 – сушіння солоду; ККТ-4 – магнітний контроль після видалення паростків; ККТ-5 – зберігання готового солоду.

Таблиця 4.2 – Результати визначення ККТ за «деревом рішень»

Етап виробництва	Суттєвий небезпечний чинник	П1	П2	П3	П4	П5	Рішення
Приймання та очищення зерна	Фізичні домішки: каміння, пил, органічні домішки	Так	Так	Так	Так	Частково	ККТ-1
Сортування зерна	Пошкоджене, дрібне, заражене зерно	Так	Так	Ні	Так	Частково	ОПП / контрольна точка
Замочування	Розвиток мікрофлори, забруднена вода	Так	Так	Ні	Так	Частково	ККТ-2
Пророщування	Розвиток плісняви, бактерій, перегрівання зернової маси	Так	Так	Ні	Так	Частково	Посилений контроль
Сушіння	Недостатнє зниження вологості, виживання мікрофлори	Так	Так	Так	Так	Ні	ККТ-3
Видалення паростків і магнітний контроль	Металеві домішки	Так	Так	Так	Так	Ні	ККТ-4
Зберігання готового солоду	Повторне зволоження, пліснявіння	Так	Так	Ні	Так	Ні	ККТ-5
Пакування і відвантаження	Пошкодження тари, сторонні домішки	Так	Так	Ні	Так	Частково	Контрольна точка

4.3 Встановлення критичних меж для критичних контрольних точок

Критичні межі – це граничні значення параметрів, які відокремлюють допустимий стан технологічного процесу від недопустимого. Для кожної ККТ повинні бути встановлені конкретні вимірювані показники: температура, вологість, тривалість, наявність або відсутність сторонніх домішок, результати лабораторних аналізів (таблиця 4.3).

Наведені критичні межі є технологічно обґрунтованими для виробництва світлого ячмінного солоду та можуть уточнюватися відповідно до вимог нормативної документації підприємства, специфікації на сировину, виду обладнання та показників якості готової продукції.

4.4 Перевірка ефективності елементів системи НАССР

Для підтвердження ефективності впроваджених елементів НАССР на підприємстві необхідно проводити внутрішні перевірки, аналіз записів моніторингу, лабораторний контроль сировини й готової продукції, перевірку справності обладнання, калібрування засобів вимірювання температури та вологості. Важливе значення має навчання персоналу, оскільки ефективність системи НАССР залежить не лише від технічного стану обладнання, а й від правильності дій працівників на кожному технологічному етапі.

Документування є обов'язковим елементом системи НАССР. На підприємстві доцільно вести журнали вхідного контролю ячменю, контролю умов зберігання зерна, замочування, пророщування, сушіння, магнітного контролю, зберігання готового солоду, санітарної обробки обладнання та коригувальних дій. План НАССР — це набір письмових процедур, спрямованих на мінімізацію потенційного негативного впливу небезпечних чинників на здоров'я споживачів.

Таблиця 4.3 – Критичні межі для критичних контрольних точок

ККТ	Етап	Небезпечний чинник	Критична межа	Метод контролю	Періодичність контролю
1	2	3	4	5	6
ККТ-1	Приймання та очищення зерна	Мікотоксини, пліснява, пестициди, зараженість шкідниками	Приймання тільки партій, що відповідають чинним нормативним документам і супровідним документам якості; відсутність видимої плісняви; відсутність живих шкідників; вологість ячменю не більше 14,5 %	Вхідний лабораторний контроль, візуальний огляд, перевірка документів	Кожна партія
ККТ-2	Замочування зерна ячменю	Самозігрівання, розвиток плісняви, зараження шкідниками	Температура зернової маси не вище 18 °С при тривалому зберіганні; вологість зерна не більше 14,5 %; відсутність ознак самозігрівання і плісняви	Термометрія силосів, визначення вологості, огляд	Щоденно для температури; не рідше 1 разу на тиждень для вологості
ККТ-3	Сушіння солоду	Недостатнє висушування, розвиток мікрофлори	Кінцева вологість світлого солоду 4,0 – 5,0 %; температура сушильного агента на завершальній стадії не вище 80 – 85 °С	Вологомір, контроль температури сушильного агента, лабораторний аналіз	Кожна партія

1	2	3	4	5	6
ККТ-4	Магнітний контроль	Металеві домішки	Відсутність металевих домішок у готовому солоді; справність магнітного уловлювача; регулярне очищення магнітів	Перевірка магнітного уловлювача, огляд затриманих часток	Кожна зміна
ККТ-5	Зберігання готового солоду	Повторне зволоження, пліснявіння, зараження шкідниками	Вологість готового солоду не більше 5,0 %; відносна вологість повітря у складі не більше 70 %; температура зберігання бажано не вище 20 °С; відсутність шкідників і плісняви	Контроль мікроклімату складу, визначення вологості солоду, санітарний огляд	Щоденно для температури й вологості повітря; не рідше 1 разу на тиждень для стану продукції

Висновки за розділом

У результаті аналізу технологічної лінії виробництва світлого ячмінного солоду визначено основні потенційно небезпечні чинники біологічного, хімічного та фізичного походження. Найбільш суттєвими ризиками є надходження неякісної сировини, забруднення ячменю мікотоксинами, розвиток плісняви під час зберігання та пророщування, недостатнє висушування солоду, повторне зволоження готової продукції та потрапляння металевих домішок.

Із застосуванням «дерева рішень» згідно з другим принципом системи НАССР встановлено п'ять критичних контрольних точок: приймання ячменю, зберігання ячменю, сушіння солоду, магнітний контроль після видалення паростків і зберігання готового солоду. Для кожної ККТ визначено критичні межі, методи моніторингу, періодичність контролю, відповідальних осіб, документацію та коригувальні дії. Запропоновані елементи системи НАССР дозволяють підвищити рівень безпеки світлого ячмінного солоду, забезпечити стабільність технологічного процесу та зменшити ризик виготовлення небезпечної або неякісної продукції.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Розробка карти безпеки праці під час виробництва ячмінного солоду

Виробництво ячмінного солоду належить до технологічно складних процесів харчової та переробної промисловості, оскільки поєднує операції приймання, очищення, транспортування, замочування, пророщування, сушіння, охолодження, відділення паростків, зберігання та відвантаження готової продукції. На кожному з цих етапів працівники можуть зазнавати впливу небезпечних і шкідливих виробничих чинників: рухомих частин машин, пилу зернового походження, підвищеної температури, вологості, шуму, вібрації, електричного струму, слизьких поверхонь, хімічних речовин для санітарної обробки, а також ризику падіння з висоти під час обслуговування силосів, норій, транспортерів і сушильного обладнання.

Розробка карти безпеки праці (рисунок 5.1) є важливим елементом профілактики виробничого травматизму, оскільки дозволяє систематизувати небезпечні чинники, визначити потенційні ризики та встановити конкретні заходи безпеки для працівників. Закон України «Про охорону праці» визначає засади реалізації права працівників на безпечні й здорові умови праці та регулює відносини між роботодавцем і працівником у сфері безпеки, гігієни праці та виробничого середовища. Згідно з вимогами законодавства, роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці умови праці відповідно до нормативно-правових актів і забезпечити функціонування системи управління охороною праці.

Карта безпеки праці для виробництва ячмінного солоду призначена для використання працівниками виробничої лінії, майстрами змін, інженером з охорони праці, механіками, електриками, операторами обладнання та персоналом, який виконує санітарну обробку виробничих приміщень і машин. Її впровадження дозволяє підвищити рівень організації безпечної праці, зменшити ймовірність

травмування, поліпшити виробничу дисципліну та забезпечити своєчасне реагування на небезпечні ситуації.

5.1.1 Характеристика небезпечних і шкідливих чинників виробництва солоду

Основними виробничими ризиками при виготовленні ячмінного солоду є травмування рухомими частинами обладнання, затягування одягу або кінцівок у транспортні механізми, ураження електричним струмом, падіння під час обслуговування обладнання на висоті, опіки від гарячих поверхонь сушарки, подразнення органів дихання зерновим пилом, ковзання на вологій підлозі у відділенні замочування, контакт із мийними та дезінфекційними засобами, а також підвищене фізичне навантаження під час ручного переміщення тари або допоміжних матеріалів.

Особливу увагу слід приділяти зерновому пилу, який утворюється під час приймання, очищення, транспортування та пересипання ячменю. Пил погіршує санітарно-гігієнічні умови праці, подразнює органи дихання, знижує видимість у робочій зоні, а за певних умов може створювати пожежо- та вибухонебезпечне середовище. Тому на підприємстві необхідно регулярно контролювати стан виробничої зони та проводити інструментально-лабораторні дослідження умов праці на робочих місцях із визначенням шкідливих і небезпечних факторів виробничого середовища.

Не менш важливим є контроль роботи аспіраційних систем, вентиляції, пиловловлювального обладнання, блокувальних пристроїв, огорожень рухомих механізмів, аварійних вимикачів та засобів пожежогасіння. Усі працівники, допущені до роботи на технологічній лінії, повинні проходити вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі з охорони праці відповідно до характеру виконуваних робіт. Для підприємств харчової промисловості проведення інструктажів з охорони праці є обов'язковим елементом організації безпечного виробництва.



Рисунок 5.1 – Картка безпеки праці під час виробництва ячмінного солоду

5.2 Утилізація відходів підприємств з виробництва солоду

Під час виробництва ячмінного солоду утворюється значна кількість побічних продуктів і відходів, які за правильного підходу можуть бути не лише утилізовані, а й повторно використані як цінна вторинна сировина. Основними видами відходів солодового виробництва є відходи очищення ячменю, зерновий пил, биті й щуплі зерна, солодові паростки, стічні води після замочування та миття обладнання, осади очисних споруд, відпрацьована тара і пакувальні матеріали. Раціональне поводження з цими відходами дозволяє зменшити негативний вплив підприємства на довкілля, скоротити витрати на вивезення відходів, підвищити рівень ресурсозбереження та створити додаткову економічну цінність.

Виробництво солоду є відносно екологічно перспективним з погляду повторного використання відходів, оскільки значна їх частина має органічне походження. Це дає змогу застосовувати такі напрями утилізації, як кормове використання, компостування, анаеробне зброджування з отриманням біогазу, виробництво органічних добрив, використання в паливних гранулах або брикетах, а також повернення окремих фракцій у суміжні технологічні процеси після відповідного очищення та контролю безпечності. Загальна схема утилізації відходів виробництва солоду представлена на рисунку 5.2.



Рисунок 5.2 – Загальна схема утилізації відходів виробництва солоду

Висновки за розділом

Розроблена карта безпеки праці дозволяє систематизувати виробничі ризики, визначити необхідні засоби індивідуального захисту та встановити порядок безпечної роботи на кожному етапі технологічного процесу. Її впровадження сприяє зниженню ймовірності травмування працівників, поліпшенню виробничої дисципліни та своєчасному реагуванню на аварійні ситуації.

Встановлено, що основними відходами виробництва солоду є відходи очищення ячменю, зерновий пил, солодові паростки, стічні води, осади очисних споруд і пакувальні матеріали. Значна частина цих відходів має органічне походження та може бути використана повторно.

Найбільш доцільними напрямками утилізації є використання солодових паростків і зернових фракцій у комбікормовому виробництві, компостування органічних залишків, отримання біогазу, очищення та повторне використання стічних вод, а також переробка пакувальних матеріалів.

Отже, запропоновані заходи з охорони праці та утилізації відходів дозволяють підвищити безпеку виробництва, зменшити негативний вплив на довкілля, скоротити обсяги відходів і забезпечити більш раціональне використання ресурсів підприємства.

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

6.1 Вихідні дані для розрахунку

Техніко-економічний розрахунок виконано для модернізованої технологічної лінії з виробництва світлого ячмінного солоду. Згідно з технологічним і проектним розділами, після модернізації річна продуктивність лінії становить 100000 т товарного солоду на рік, а тривалість роботи підприємства прийнято 330 діб на рік. Добове виробництво товарного солоду становить 303,91 т/добу. Для забезпечення такої продуктивності необхідно переробити 143870 т товарного ячменю на рік (таблиця 6.1). Також у процесі виробництва утворюються побічні продукти: ячмінь III сорту, зернові відходи та солодові паростки, які можуть бути реалізовані або використані як кормова сировина.

Для економічного розрахунку прийнято такі орієнтовні ціни: вартість пивоварного ячменю – 11200 грн/т, ціна реалізації товарного світлого ячмінного солоду – 20000 грн/т. Орієнтир вартості ячменю прийнято з урахуванням актуального діапазону цін на пивоварний ячмінь в Україні, який у 2026 році на відкритих аграрних майданчиках і в аналітичних повідомленнях перебував приблизно в межах 10600 – 11200 грн/т.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Позначення	Значення
Річна продуктивність за товарним солодом, т/рік	Q	100000
Тривалість роботи підприємства, діб/рік	T	330
Добова продуктивність за товарним солодом, т/добу	Q_d	303,91
Річна потреба в товарному ячмені, т/рік	$G_{\text{я}}$	143870
Ціна товарного ячменю, грн/т	$C_{\text{я}}$	11200
Ціна реалізації товарного солоду, грн/т	C_c	20000
Річний обсяг ячменю III сорту, т/рік	G_{III}	8910
Річний обсяг зернових відходів, т/рік	$G_{\text{зв}}$	6030
Річний обсяг солодових паростків, т/рік	G_n	5160
Орієнтовні капітальні вкладення в модернізацію, млн грн	K	150,0

6.2 Розрахунок доходу від реалізації продукції

Основним видом продукції є світлий ячмінний солод. Дохід від реалізації товарного солоду визначаємо за формулою:

$$D_c = Q \cdot C_c, \quad (6.1)$$

де D_c – дохід від реалізації солоду, грн;

Q – річний обсяг виробництва солоду, т;

C_c – ціна реалізації 1 т солоду, грн/т.

$$D_c = 100000 \cdot 20000 = 2000000000 \text{ грн.}$$

Отже, річний дохід від реалізації основної продукції становить 2000,0 млн грн.

Крім основної продукції, підприємство отримує побічні продукти, які можуть бути реалізовані. До них належать ячмінь III сорту, зернові відходи та солодові паростки.

Таблиця 6.2 – Розрахунок доходу від реалізації побічної продукції

Вид продукції	Кількість, т/рік	Орієнтовна ціна, грн/т	Дохід, млн грн
Ячмінь III сорту	8910	7000	62,37
Зернові відходи	6030	4000	24,12
Солодові паростки	5160	5000	25,80
Разом	-	-	112,29

Загальний річний дохід підприємства з урахуванням реалізації товарного солоду та побічної продукції становить:

$$D_{\text{заг}} = D_c + D_{\text{ноб}}, \quad (6.2)$$

$$D_{\text{заг}} = 2000,0 + 112,29 = 2112,29 \text{ млн. грн.}$$

6.3 Розрахунок витрат на сировину

Основною статтею витрат у виробництві солоду є витрати на закупівлю ячменю. Вони визначаються за формулою:

$$B_{\text{я}} = G_{\text{я}} \cdot C_{\text{я}}, \quad (6.3)$$

де $B_{\text{я}}$ – витрати на закупівлю ячменю, грн;

$G_{\text{я}}$ – річна потреба в ячмені, т;

$C_{\text{я}}$ – ціна 1 т ячменю, грн/т.

$$B_{\text{я}} = 143870 \cdot 11200 = 1611344000 \text{ грн.}$$

Отже, витрати на закупівлю товарного ячменю становлять 1611,34 млн грн/рік.

6.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

До складу експлуатаційних витрат включено витрати на сировину, воду, електроенергію, теплову енергію, хімічні засоби, оплату праці, амортизацію, ремонт обладнання, загальновиробничі та інші витрати. Вартість електроенергії для підприємств залежить від постачальника, класу напруги, тарифів на розподіл і передачу, для дипломного розрахунку прийнято узагальнену розрахункову ціну електроенергії 10 грн/кВт·год.

Таблиця 6.3 – Річні експлуатаційні витрати модернізованої лінії

Стаття витрат	Розрахунок / обґрунтування	Сума, млн грн/рік
Сировина – товарний ячмінь	143870 т×11200 грн/т	1611,34
Вода на замочування, миття та санітарні потреби	Прийнято розрахунково	17,50
Електроенергія	Робота норій, транспортерів, вентиляторів, зворушувачів, насосів	80,00
Теплова енергія для сушіння	Нагрівання повітря до 60 – 85 °С	100,00
Хімічні засоби	Гіпохлорит натрію, мийні та дезінфекційні засоби	6,00
Оплата праці з нарахуваннями	Заробітна плата виробничого персоналу та ЄСВ	11,00
Амортизація обладнання	150,0 млн грн / 10 років	15,00
Поточний ремонт і технічне обслуговування	5 % від капітальних вкладень	7,50
Загальновиробничі витрати	Управління, лабораторний контроль, охорона, допоміжні служби	110,00
Інші виробничі витрати	Тара, зв'язок, внутрішньоцехове переміщення, втрати	20,00
Разом	-	1978,34

Загальна сума річних експлуатаційних витрат становить 1978,34 млн грн.

6.5 Розрахунок собівартості продукції

Повна виробнича собівартість 1 т товарного солоду без урахування доходу від реалізації побічної продукції визначається за формулою:

$$C_1 = \frac{B_{\text{заг}}}{Q}, \quad (6.4)$$

де C_1 – собівартість 1 т солоду, грн/т;

$B_{\text{заг}}$ – загальні річні витрати, грн;

Q – річний обсяг виробництва солоду, т.

$$C_1 = \frac{1978344000}{100000} = 19783,44 \text{ грн/тону}$$

Оскільки частина витрат компенсується реалізацією побічної продукції, уточнену собівартість 1 т товарного солоду визначаємо за формулою:

$$C_{\text{уточ}} = \frac{B_{\text{заг}} - D_{\text{поб}}}{Q}, \quad (6.5)$$

$$C_{\text{уточ}} = \frac{1978344000 - 112290000}{100000} = 18660,54 \text{ грн/тону}$$

Отже, розрахункова собівартість 1 т товарного солоду з урахуванням реалізації побічної продукції становить 18660,54 грн/т.

Таблиця 6.4 – Розрахунок собівартості 1 т товарного солоду

Показник	Значення
Загальні річні витрати, млн грн	1978,34
Дохід від реалізації побічної продукції, млн грн	112,29
Річний обсяг виробництва солоду, т	100000
Повна собівартість без урахування побічної продукції, грн/т	19783,44
Уточнена собівартість з урахуванням побічної продукції, грн/т	18660,54
Ціна реалізації солоду, грн/т	20000
Розрахунковий прибуток з 1 т солоду, грн/т	1339,46

6.6 Розрахунок прибутку та рентабельності

Прибуток до оподаткування визначаємо за формулою:

$$\Pi = D_{\text{заг}} - B_{\text{заг}}, \quad (6.6)$$

де Π – прибуток до оподаткування, грн;

$D_{\text{заг}}$ – загальний дохід, грн;

$B_{\text{заг}}$ – загальні витрати, грн.

$$\Pi = 2112,29 - 1978,34 = 133,95 \text{ млн. грн.}$$

Податок на прибуток приймаємо на рівні 18 %:

$$\Pi_{\text{под}} = \Pi \cdot 0,18, \quad (6.7)$$

$$\Pi_{\text{под}} = 133,95 \cdot 0,18 = 24,11 \text{ млн. грн.}$$

Чистий прибуток:

$$\Pi_{\text{ч}} = \Pi - \Pi_{\text{под}}, \quad (6.8)$$

$$\Pi_{\text{ч}} = 133,95 - 24,11 = 109,84 \text{ млн. грн.}$$

Рентабельність виробництва визначаємо за формулою:

$$R = \frac{\Pi}{B_{\text{заг}}} \cdot 100, \quad (6.9)$$

$$R = \frac{133,95}{1978,34} \cdot 100 = 6,77\%$$

Рентабельність реалізації за чистим прибутком:

$$R_p = \frac{П_q}{Д_{заг}} 100, \quad (6.10)$$

$$R_p = \frac{109,84}{2112,29} 100 = 5,20\%$$

Таблиця 6.5 – Фінансові результати роботи модернізованої лінії

Показник	Значення
Дохід від реалізації солоду, млн грн/рік	2000,00
Дохід від реалізації побічної продукції, млн грн/рік	112,29
Загальний дохід, млн грн/рік	2112,29
Загальні витрати, млн грн/рік	1978,34
Прибуток до оподаткування, млн грн/рік	133,95
Податок на прибуток, млн грн/рік	24,11
Чистий прибуток, млн грн/рік	109,84
Рентабельність виробництва, %	6,77
Рентабельність реалізації, %	5,20

6.7 Розрахунок економічної ефективності модернізації

Модернізація технологічної лінії передбачає заміну менш ефективних солодоростильних апаратів на пневматичні ящичні солодовні, що дозволяє збільшити продуктивність лінії з 80000 до 100000 т солоду на рік, тобто на 20000 т/рік. У проєктному розділі також передбачено встановлення 5 солодоростильних апаратів, що відповідає п'ятидобовому циклу пророщування.

Орієнтовні капітальні вкладення в модернізацію наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Орієнтовні капітальні вкладення в модернізацію

Стаття капітальних вкладень	Сума, млн грн
Придбання пневматичних ящичних солодовень	90,00
Система кондиціювання, вентилятори, повітропроводи	20,00
Засоби автоматизації та контролю температури і вологості	10,00
Монтажні та пусконаладжувальні роботи	20,00
Проектні роботи та резерв непередбачених витрат	10,00
Разом капітальні вкладення	150,00

Додатковий економічний ефект від модернізації формується за рахунок збільшення обсягу виробництва на 20000 т/рік, реалізації додаткової побічної продукції, зменшення питомих втрат сировини та поліпшення енергоефективності процесу пророщування.

Розрахунково приймаємо, що додатковий маржинальний ефект від виробництва 1 т солоду після покриття основних змінних витрат становить 2774,46 грн/т. Тоді річний ефект від приросту виробництва:

$$E_{\text{доо}} = 20000 \cdot 2774,46 = 55,49 \text{ млн. грн.}$$

Додатковий ефект від зниження втрат сировини, поліпшення керованості процесу пророщування, скорочення ручної праці та економії енергоресурсів приймаємо на рівні 15,0 млн грн/рік.

Водночас модернізація спричиняє додаткові постійні витрати у вигляді амортизації та ремонту нового обладнання:

$$B_{\text{доо}} = 15,0 + 7,5 = 22,5 \text{ млн.грн/рік}$$

Тоді додатковий прибуток до оподаткування від модернізації:

$$\Pi_{\text{м}} = 55,49 + 15,0 - 22,5 = 47,99 \text{ млн.грн/рік}$$

Чистий додатковий прибуток:

$$\Pi_{\text{мч}} = 47,99 \cdot (1 - 0,18) = 39,35 \text{ млн.грн/рік}$$

Термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Pi_{\text{мч}}}, \quad (6.11)$$

де K – капітальні вкладення, млн грн;

$\Pi_{\text{мч}}$ – чистий додатковий прибуток від модернізації, млн грн/рік.

$$T_{\text{ок}} = \frac{150,0}{39,35} = 3,81 \text{ року}$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень:

$$E = \frac{\Pi_{\text{мч}}}{K} \cdot 100, \quad (6.12)$$

$$E = \frac{39,35}{150,0} \cdot 100 = 26,23\%$$

Таблиця 6.7 – Економічна ефективність модернізації

Показник	Значення
Приріст продуктивності, т/рік	20000
Додатковий ефект від приросту виробництва, млн грн/рік	55,49
Ефект від економії ресурсів і зменшення втрат, млн грн/рік	15,00
Додаткові витрати на амортизацію і ремонт, млн грн/рік	22,50
Додатковий прибуток до оподаткування, млн грн/рік	47,99
Чистий додатковий прибуток, млн грн/рік	39,35
Капітальні вкладення, млн грн	150,00
Термін окупності, років	3,81
Ефективність капітальних вкладень, %	26,23

6.8 Основні техніко-економічні показники проєкту

Таблиця 6.8 – Зведені техніко-економічні показники модернізованої технологічної лінії

Показник	Значення
Річна продуктивність лінії, т солоду/рік	100000
Добова продуктивність, т/добу	303,91
Річна потреба в товарному ячмені, т/рік	143870
Вихід товарного солоду з 1 т товарного ячменю, т	0,695
Дохід від реалізації основної продукції, млн грн/рік	2000,00
Дохід від реалізації побічної продукції, млн грн/рік	112,29
Загальний дохід, млн грн/рік	2112,29
Загальні виробничі витрати, млн грн/рік	1978,34
Собівартість 1 т солоду без урахування побічної продукції, грн/т	19783,44
Собівартість 1 т солоду з урахуванням побічної продукції, грн/т	18660,54
Прибуток до оподаткування, млн грн/рік	133,95
Чистий прибуток, млн грн/рік	109,84
Рентабельність виробництва, %	6,77
Рентабельність реалізації, %	5,20
Капітальні вкладення в модернізацію, млн грн	150,00
Чистий додатковий прибуток від модернізації, млн грн/рік	39,35
Термін окупності модернізації, років	3,81
Ефективність капітальних вкладень, %	26,23

Висновки за розділом

Проведені техніко-економічні розрахунки свідчать, що модернізація технологічної лінії з виробництва ячмінного солоду є економічно доцільною. За річної продуктивності 100000 т товарного солоду підприємство може отримати загальний дохід близько 2112,29 млн грн, з яких 2000,0 млн грн припадає на реалізацію основної продукції, а 112,29 млн грн – на реалізацію побічних продуктів.

Розрахункова собівартість 1 т товарного солоду з урахуванням реалізації побічної продукції становить 18660,54 грн/т, що нижче прийнятої ціни реалізації 20000 грн/т. Очікуваний чистий прибуток підприємства становить 109,84 млн грн/рік, рентабельність виробництва – 6,77 %.

Орієнтовні капітальні вкладення в модернізацію становлять 150,0 млн грн. За рахунок збільшення продуктивності, скорочення втрат сировини, поліпшення керованості процесу пророщування та зниження питомих витрат чистий додатковий прибуток від модернізації становить 39,35 млн грн/рік. Термін окупності капітальних вкладень дорівнює 3,81 року, що підтверджує доцільність упровадження пневматичних ящикних солодовень у технологічну лінію виробництва ячмінного солоду.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі обґрунтовано доцільність удосконалення технологічної лінії з виробництва світлого ячмінного солоду. Встановлено, що ячмінний солод є важливою сировиною для пивоварної промисловості, а Україна має достатню сировинну базу та експортний потенціал для розвитку цього напряму виробництва.

Проаналізовано діючу технологічну лінію виробництва солоду, яка включає очищення, сортування, замочування, пророщування, сушіння, відокремлення ростків, полірування та зберігання готової продукції. Визначено, що ключовими етапами, які найбільше впливають на якість солоду, є підготовка зерна, замочування, пророщування та сушіння.

Запропоновано модернізувати технологічну лінію шляхом заміни барабанних солодоростильних апаратів на пневматичні ящичні солодовні. Таке рішення забезпечує кращий контроль температури, вологості й аерації, підвищує рівномірність пророщування зерна, зменшує залежність виробництва від кліматичних умов і сприяє стабільному отриманню якісного солоду.

У проєктній частині виконано продуктивний розрахунок виробництва. Встановлено, що для отримання 100 тис. т товарного солоду на рік необхідно переробити близько 143,87 тис. т товарного ячменю. Після модернізації продуктивність лінії зростає на 20 тис. т/рік, а добове виробництво товарного солоду становить близько 303,91 т.

Для забезпечення п'ятидобового циклу солодощення прийнято 5 пневматичних ящичних солодовень. Також підібрано основне обладнання, зокрема шнековий зворощувач Ш-4-ВВШ-8 та 5 вентиляторів продуктивністю 200 тис. м³/год, що дозволяє підтримувати необхідні умови пророщування.

Розглянуто питання безпечності виробництва. Із застосуванням принципів НАССР визначено 5 критичних контрольних точок: приймання ячменю, зберігання ячменю, сушіння солоду, магнітний контроль після видалення

паростків і зберігання готового солоду. Для кожної ККТ встановлено критичні межі, методи моніторингу та коригувальні дії.

Розроблено заходи з охорони праці та захисту навколишнього середовища. Запропонована карта безпеки праці дозволяє систематизувати виробничі ризики, а схема утилізації відходів передбачає використання солодових паростків і зернових фракцій у комбікормовому виробництві, компостування органічних залишків, отримання біогазу, очищення стічних вод і переробку пакувальних матеріалів.

Техніко-економічні розрахунки підтвердили ефективність запропонованої модернізації. За річної продуктивності 100 тис. т солоду загальний дохід підприємства становить близько 2112,29 млн грн, собівартість 1 т солоду з урахуванням реалізації побічної продукції – 18660,54 грн/т, чистий прибуток – 109,84 млн грн/рік, а рентабельність виробництва – 6,77 %.

Орієнтовні капітальні вкладення у модернізацію становлять 150,0 млн грн. Чистий додатковий прибуток від модернізації складає 39,35 млн грн/рік, а термін окупності – 3,81 року. Отже, удосконалення технологічної лінії з виробництва ячмінного солоду є технологічно, організаційно та економічно доцільним.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. ДСТУ 4282:2018. Солод пивоварний ячмінний. Загальні технічні умови. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79566.
2. ДСТУ 3769-98. Ячмінь. Технічні умови. Київ : Держспоживстандарт України, 1998. URL: https://august.in.ua/sites/default/files/upload/files/dstu3769-98_0.pdf.
3. НПАОП 15.9-1.28-17. Правила охорони праці для працівників виробництва солоду, пива та безалкогольних напоїв : наказ Мінсоцполітики України від 18.04.2017 № 635. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0633-17>.
4. ДСанПіН 4.4.4.-152-2008. Державні санітарні норми і правила для підприємств, що виробляють солод, пиво та безалкогольні напої : наказ МОЗ України від 11.12.2007 № 811. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1411-07>.
5. Euromalt statistics. Euromalt. URL: <https://www.euromalt.be/euromalt-statistics>.
6. Brewers malt. ПрАТ «Оболонь». URL: https://obolon.ua/ua/production/brewers_malt.
7. Ukraine exports of malt, not roasted, 2024. World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/UKR/year/2024/tradeflow/Export/s/partner/ALL/product/110710>.
8. Ukraine imports of malt, not roasted, 2024. World Integrated Trade Solution. URL: <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/UKR/year/2024/tradeflow/Import/s/partner/ALL/product/110710>.
9. Introductory guide to malting barley. UK Malt. URL: <https://www.ukmalt.com/wp-content/uploads/2020/11/G05-Introductory-guide-to-malting-barley.pdf>.

10. Guide to Malting Barley Production in the Northeast. University of Vermont Extension, 2019. URL: https://www.uvm.edu/d10-files/documents/2024-08/BarleyProductionGuide_FINALAug2019.pdf.
11. Домарецький В. А. Технологія солоду та пива : підручник. Київ : Інкос, 2004. 426 с. URL: <https://elc.library.ontu.edu.ua/library-w/DocumentDescription?docid=OdONAHТ-cnv.BibRecord.27381>.
12. Мелетьєв А. Є., Домарецький В. А., Тодосійчук С. Р., Куц А. М. та ін. Технологія солоду, пива та безалкогольних напоїв у задачах і прикладах: навчальний посібник. Київ: НУХТ, 2007. 256 с. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/bitstreams/a055524c-4c63-485e-bd94-0ea5352f254c/download>.
13. Мелетьєв А. Є., Тодосійчук С. Р., Кошова В. М. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв : підручник. Вінниця: Нова Книга, 2007. 392 с. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/bitstreams/a055524c-4c63-485e-bd94-0ea5352f254c/download>.
14. Іванов С. В., Домарецький В. А., Прибильський В. Л. та ін. Інноваційні технології продуктів бродіння і виноробства : підручник. Київ : НУХТ, 2012. 487 с. URL: <https://library.nuft.edu.ua/inform/brodinnya2018.pdf>.
15. Ковалевський К. А. Технологія бродильних виробництв: навчальний посібник. Київ: Інкос, 2016. 340 с. URL: <https://www.ksau.kherson.ua/files/photo/IXB/181/%D0%91%D0%B0%D0%BA%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D1%80/181%20-%20%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D0%B1%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D1%85%20%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2.pdf>.
16. Євлаш В. В. та ін. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів: навчальний посібник. Харків: ДБТУ, 2021. URL: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/8589/1/BEZPEKA_%20PROD_SYR_OV_21.pdf.

17. Кукла Б. В. Організація виробництва пива: реферат. Біла Церква: БНАУ, 2024. URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/12258/1/orhanizatsiia_vyrobnystva_pyva.pdf.
18. Chumak O. P. Production of brewing malt. Харків : НТУ «ХПІ», 2025. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstreams/1b802110-2528-4d05-a5fe-ff4cd0e1e9f5/download>.
19. Kunze W. Technology Brewing and Malting. Berlin : VLB Berlin, 2014. URL: https://www.vlb-berlin.org/sites/default/files/2018-02/TechnologyBrewingMalting2014_Content.pdf.
20. Briggs D. E. Malts and Malting. London ; New York : Blackie Academic, 1998. 796 p. URL: <https://archive.org/details/maltsmalting0000brig>.
21. Briggs D. E., Boulton C. A., Brookes P. A., Stevens R. Brewing: Science and Practice. Cambridge : Woodhead Publishing, 2004. 900 p. URL: <https://www.sciencedirect.com/book/edited-volume/9781855734906/brewing>.
22. Hough J. S., Briggs D. E., Stevens R., Young T. W. Malting and Brewing Science. Vol. 1: Malt and Sweet Wort. New York: Springer, 1981. 388 p. URL: <https://link.springer.com/book/9780412165801>.
23. Eßlinger H. M. Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets. Weinheim : Wiley-VCH, 2009. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527623488>.
24. Hardwick W. A., ed. Handbook of Brewing. Boca Raton : CRC Press, 2006. URL: <https://rexresearch1.com/BrewingLibrary/HandbkBrewing.pdf>.
25. Palmer G. H. Cereal Science and Malting Technology — The Future. Journal of the Institute of Brewing. 2003. URL: https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/o_futuro_do_cereal_e_da_malteacao_1601493562960.pdf.
26. Rani H., Bhardwaj R. D., Kumar V., Sharma A. Quality attributes for barley malt: “The backbone of beer”. Journal of Food Science. 2021. URL: <https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1750-3841.15858>.

27. Galiwango S. K. et al. The Barley Malting Microbiome: Influence on Malt Quality, Control and Characterization Methods. *BrewingScience*. 2024. URL: <https://brewingscience.de/index.php/brewingscience/article/view/243/152>.
28. Schmitt M. et al. Barley proteins: relation to malt quality in a context of climate change and need of sustainability — The new challenge. *BrewingScience*. 2022. URL: <https://brewingscience.de/index.php/brewingscience/article/view/146/68>.
29. Evans D. E. The impact of terroir on barley and malt quality – a critical review. *Journal of the Institute of Brewing*. 2023. URL: <https://jib.cibd.org.uk/index.php/jib/article/view/38>.
30. Rydzak L. et al. Modification of the Malting Process of Barley Grains with the Use of Vacuum Impregnation. *Processes*. 2023. Vol. 11, No. 10. Article 2830. URL: <https://www.mdpi.com/2227-9717/11/10/2830>.
31. Півоваров О. А., Ковальова О. С., Тertiшний О. О., Кошулько В. С. Інноваційні технології у виробництві цукристих речовин та продуктів харчування: Навчальний посібник. Дніпро: 2026. 622 с.
32. Півоваров О.А., Ковальова О.С., Кошулько В.С. Інноваційні технології та обладнання бродильних виробництв: Навчальний посібник. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2025. 396 с.
33. Антоненко, В. А., Ковальова, О. С., Кошулько, В. С., Олексієнко, В. О., & Алексеєнко, В. А. (2021). Способи консервації пророщених зерен. Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернетконференція, С.200-202.
34. Kovaliova O, Pivovarov O, Vasylieva N, Koshulko V. Obtaining of rice malt with the use of plasma-chemically activated aqueous solutions. *Food science and technology*.2022;16(4):64-76. <https://doi.org/10.15673/fst.v16i4.2542>
35. Pivovarov, O., Kovaliova, O., & Koshulko, V. (2020). Effect of plasmochemically activated aqueous solution on process of food sprouts production. *Ukrainian Food Journal*, 9(3), 575–587. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2020-9-3->

36. Kovaliova, O., Pivovarov, O., & Koshulko, V. (2020). Study of hydrothermal treatment of dried malt with plasmochemically activated aqueous solutions. *Food Science and Technology*, 14(3), 113–121. <https://doi.org/10.15673/fst.v14i3.1799>

37. Kovalova, O., Pivovarov, O., & Koshulko, V. (2022). Effect of plasma-chemically activated aqueous solutions on the process of disinfection of food production equipment. *Food Science and Technology*, 16(3), 61–70. <https://doi.org/10.15673/fst.v16i3.2392>