

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій ім.
акад. І.С. Гулого
Кафедра Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»
Директор інституту (декан факультету)
_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 2024 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Олександр ГАВВА
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

Зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв
На тему Дослідження процесу сушіння пивної дробини у
барабанному апараті в умовах ПрАТ «Оболонь» та його
модернізація

Виконав: здобувач V курсу,

групи ОХ-2-4М

Чугаєвський Вадим Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник Удодов Сергій Олександрович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент

_____ (прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Київ 2024 р

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій ім. акад. І.С.

Гулого

Кафедра Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітньо професійна програма Інжиніринг харчових виробництв

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Олександр ГАВВА

“ ___ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Чугаєвського Вадима Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу сушіння пивної дробини у барабанному апараті в умовах ПрАТ «Оболонь» та його модернізація

керівник роботи Удодов С.О., к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвердені наказом закладу вищої освіти від “ ___ ” _____ 20__ р. № _____

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Технічна та технологічна документація на обладнання.

Технічні умови. Науково-технічна документація. Креслення. Навчальні посібники.

Методичні рекомендації. Словники.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Анотація. Вступ. Техніко-соціальне обґрунтування. Аналіз технологічних та

технічних рішень процесу сушіння пивної дробини. Програма та методика досліджень.

Результати наукових досліджень. Підбір конструкційних матеріалів. Розрахункова

частина. Монтаж та технічний сервіс обладнання. Техніка безпеки при експлуатації

обладнання. Система керування. Технологія машинобудування. Висновки. Література.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Загальний вигляд. 2. Вузол модернізований. 3. Креслення машинобудування.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологія машинобудування			

7. Дата видачі завдання _____ 21.11.2023 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	10.11.2023	
2	Анотація	20.11.2023	
3	Аналітичний огляд технологічних та технічних рішень процесу сушіння пивної дробини	30.11.2023	
4	Дослідна частина та узагальнення результатів	20.12.2023	
5	Опис апаратурно-технологічної схеми переробки пивної дробини	27.12.2023	
6	Розрахункова частина	30.12.2023	
7	Підбір конструкційних матеріалів	11.01.2024	
8	Монтаж та технічний сервіс обладнання	15.01.2024	
9	Техніка безпеки при експлуатації обладнання	20.01.2024	
10	Технологія машинобудування	23.01.2024	
11	Висновки	27.01.2024	
12	Література	27.01.2024	
13	Креслення	01.02.2024	

Здобувач

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Вадим ЧУГАЄВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Сергій УДОДОВ
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему:

«Дослідження процесу сушіння пивної дробини у барабанному апараті в умовах ПрАТ «Оболонь» та його модернізація»

У пояснювальній записці магістерської роботи ретельно обґрунтовано актуальність означеної теми, надана характеристика стану техніки та технології вітчизняної та закордонної галузі пивоварної промисловості, здійснений глибокий аналітичний огляд технічних та технологічних рішень процесу переробки солодової пивної дробини. Проаналізовані основні теоретичні основи процесу сушіння вологих матеріалів, висвітлені основні характеристики солодової пивної дробини та визначені основні параметри, що впливають на процес сушіння пивної дробини.

Науково-дослідною частиною роботи досліджено процес висушивання сирої пивної дробини. Розроблена методика проведення експериментальних досліджень та проведені безпосередньо дослідження у промислових умовах ПрАТ «Оболонь». В результаті проведених досліджень визначені найбільш доцільні та раціональні параметри процесу сушки вологої пивної дробини. На підставі проведених досліджень були розроблені рекомендації щодо раціонального режиму висушивання сирої пивної дробини, які рекомендовані до впровадження у промисловість. Робота складається з листів пояснювальної записки та 4 аркушів креслень формату А1.

Ключові слова : пивна дробина, сушарка, установка, вологість, процес висушивання.

ABSTRACT

In the explanatory note of the master's work, the relevance of the indicated topic is carefully substantiated, the characteristic of the state of technology and technology of the domestic and foreign branches of the brewing industry is given, a deep analytical review of the technical and technological solutions of the process of processing malt beer crushers is carried out. The main theoretical foundations of the process of drying wet materials were analyzed, the main characteristics of the malt beer shot were highlighted and the main parameters affecting the drying process of the beer shot were determined.

The research part of the work investigated the process of drying raw beer shot. The methodology for conducting experimental studies and direct research in the industrial conditions of PJSC Obolon were developed. As a result of the conducted studies, the most expedient and rational parameters of the process of drying a wet beer shot were determined. Based on the studies, recommendations were developed for a rational drying regime for raw beer shot, which are recommended for implementation in industry.

The work consists of sheets of explanatory note and 4 sheets of A1 format drawings.

Key words: beer grain, dryer, installation, humidity, drying process.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Техніко-соціальне обґрунтування проекту	10
2. Аналітичний огляд технологічних та технічних рішень	13
2.1. Характеристика пивної дробини.....	13
2.2. Якість пивної дробини, що підвержена консервації	15
2.3. Переробка дробини пивної способом «Біокомплекс»	23
2.4. Технологічні аспекти переробки пивної дробини способом сушіння.....	30
2.5. Теоретичні закономірності процесу сушки	34
2.6. Шляхи використання пивної дробини	36
3. Методика проведення наукових досліджень	39
4. Дослідна частина та узагальнення результатів.....	45
4.1. Експериментальна частина.....	45
4.2. Моделювання за допомоги програми Flow Vision.....	64
5. Опис апаратурно-технологічної схеми переробки пивної дробини..	69
6. Розрахункова частина.....	72
6.1. Розрахунок технологічних параметрів	72
6.2. Тепловий розрахунок.....	74
6.3. Кінематичний розрахунок.....	80
6.4. Конструктивний розрахунок.....	84
6.5. Розрахунок теплової ізоляції.....	90
7. Підбір конструкційних матеріалів для виготовлення обладнання.....	99
8. Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання.....	100
8.1. Монтаж.....	100
8.2. Ремонт.....	105
8.3. Експлуатація.....	108
9. Техніка безпеки та охорона праці при експлуатації обладнання.....	113
Висновки.....	119
Список використаних джерел.....	121

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удадов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чураєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст		221900.КР.32.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1	

ВСТУП

Харчова промисловість є однією із найважливіших галузей народного господарства України, що включає декілька складних та самостійних підгалузей, таких як: пиво-безалкогольна, спиртова, цукрова, хлібопекарська, м'ясо-молочна та багато інших.

У структурі виробництва предметів споживання питома вага галузі сягає порядку 55,0 %, продукції агропромислового комплексу — 35,0 %.

Матеріально-технічна база підприємств харчової індустрії в останні роки суттєво змінилася. Так, наряду з існуючим обладнанням, що було змонтоване в попередні роки, з'явилося технологічне обладнання виготовлене вітчизняними підприємствами або поставлені закордонними. Сучасні виставки, що відбуваються в межах нашої країни та за кордоном пропонують нові зразки технологічного інноваційного обладнання для виробництва, пакування та фасування харчових продуктів.

Досягнення високих техніко-економічних показників, випуск високоякісної харчової продукції сьогодні можливий тільки за умов використання сучасного технологічного обладнання. Його надійну роботу забезпечує добре знання суті фізико - хімічних процесів, що відбуваються на різних технологічних стадіях виробництва, конструкцій технологічного обладнання та раціональних прийомів його експлуатації, технічного обслуговування. У достатній ступені це значно полегшує оцінку технічної досконалості обладнання, сприяє підвищенню його ефективності, надійності та довговічності. В кінцевому випадку - забезпечує правильний вибір потужності та режиму роботи.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удодов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чузаєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> Вступ	221900.КР.32.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/3

Сучасне пивоварна індустрія, орієнтуючись на запити кінцевого споживача, виготовляє нові сорти напоїв, Якість останніх висока і у значній мірі залежить від вхідної сировини – питної води, хмелю та пивоварного ячменю. Незважаючи на деякі труднощі при виробництві пивних напоїв, обсяги останнього впевнено зростають.

Останнім часом, можна відмітити, що грошовий обіг пивного ринку зростає за рахунок розширення асортименту та подорожчання продукції. Приблизно на 20% у рік. Збільшення також відбувається і за рахунок збільшення попиту на середньо ціновий і преміум-сегменти вартості напоїв. Масовий інтерес до дорогих марок напоїв підігривають мілкі українські виробники - міні-пивзаводи та міні-пивоварні. На сьогодні приблизно 93-95% ринку пива контролюють чотири гіганти - монополісти: InBev, "Оболонь", Carlsberg Group і SabMiller. Міні підприємства не можуть витримати середню ціну, яку диктують ці компанії

Незважаючи на труднощі із збутом продукції з кожним роком споживання пива в Україні зростає. Інтенсивна робота пивоварних підприємств призводить до деяких проблем, а саме - появи великої кількості різного роду відходів. Наприклад – пивна дробина, залишкові пивні дріжджі, промивні води, лушпиння, пил, різного роду осад і т.п. Значну частину органічних відходів пивоварних підприємств займає солодова (пивна) дробина (82-87%). Остання утворюється під час фільтрації пивного затору після відділення рідкої фази - пивного суслу. Пивна дробина складається з 2- фаз - рідкої (45 %) і твердої (55 %) . Тверда фаза дробини містить м'яку оболонку й нерозчинну частину зерна. Використання пивної дробини у звичайному вигляді практично недоцільне – лише тільки як корм худобі. Це пов'язано з рядом труднощів: сира пивна дробина швидко закисає й пліснявіє (термін зберігання свіжої дробини не більше 24 год). По-друге,

транспортування мокрої дробини до місця споживання худобі – є недоцільне та дороге (це подвоює ціну відходу).

З метою вирішення даної проблеми пропонуються різні способи збереження дробини для кормових цілей. Так, наприклад - консервування, центрифугування і фільтрування. Однак, більша частина запропонованих способів так і не знайшла широкого свого впровадження в промисловості по причині низької ефективності.

З метою усунення вищезначених проблем та підвищення стійкості при зберіганні і транспортабельності пивної дробини пропонується спосіб сушіння пивної дробини з подальшим її гранулюванням. Калорійність такої сушеної дробини дорівнює порядком 439,9 кал. (на 1 т). Висушена пивна дробина-екологічно чистий продукт, стійкий при зберіганні і є транспортабельним.

1.ТЕХНІКО-СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Процес удосконалення в пивоварній галузі промисловості є безперервним та розвивається в наступних напрямках:

- розроблення та впровадження нової більш ефективної техніки і технологій, які підвищують продуктивність та якість кінцевого продукту;
- механізації та автоматизації трудоміких процесів у виробництві;
- скорочення матеріальних та теплоенергетичних ресурсів.

За останні десятиріччя, завдяки впровадженню нового технологічного обладнання, сучасних технологій значно інтенсифікуються технологічні процеси, зменшуються витрати води, палива та електроенергії, підвищується вихід кінцевого продукту, зменшуються усі затрати та покращується якість кінцевої продукції.

З метою ефективної утилізації відходів пивоварного виробництва в даній магістерській роботі пропонується високоефективна установка для переробки пивної дробини.

Інтенсивна робота пивоварних підприємств призводить до появи великої кількості різного роду органічних відходів: відходи солоду при сортуванні, пил, лушпиння, промивні води, залишкові пивні дріжджі, осад і т.п. Значну частину відходів пивоварних підприємств на сьогодні займає солодова (пивна) дробина (82-87%).

Остання є джерелом вільної органічної речовини та містить в своєму складі зернові оболонки, нерозчинні частинки зерна, багаті біологічно - активними речовинами і майже весь жир і білок ячменю. Однак, за рахунок вмісту в дробині великої кількості вологи (70-80%), створюються умови для розвитку гнильної мікрофлори. Тому, пивна дробина схильна до швидкого псування та створює певні проблеми з її утилізацією.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удодов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чуцаєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 1.ТЕХНІКО-СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	221900.KP.32.001.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/3	

Останні наукові дослідження сирої пивної дробини свідчать про незначну різницю по якості корму по основних хімічних показниках у перерахунку на суху речовину. Мікробіологічні дослідження свідчать, що при звичайному способі зберігання вже на третю добу починається бурхливий розвиток цвілевих грибів (*Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillum*). Останні активно виділяють в навколишнє середовище мікотоксини - отруйні продукти життєдіяльності, які є причиною отруєнь і захворювань у тварин.

Отримані дані змушують до пошуку ефективних шляхів збереження пивної дробини, як нетрадиційного біологічно цінного та корисного джерела корму. Вони повинні бути направлені на запобігання розвитку цвілевих грибів і накопичення мікотоксинів.

Відомі наступні способи попередньої обробки сирої пивної дробини: центрифугування, консервування, фільтрування та сушка. Можливі комбінації даних методів. Визначено наприклад, що силос, отриманий при консервації пивної дробини традиційними методами, за допомоги спеціальних заквасок або ферментних препаратів, через низьку кислотну стабільність, доцільно згодовувати протягом короткого періоду часу. З метою збільшення терміну зберігання силосу використовують хімічні речовини. Кормові продукти, що можливо отримати шляхом центрифугування або фільтрування сирої пивної дробини, є екологічно чистими. Вони збагачені високим вмістом білка, мінеральних речовин і вітамінами.

Однак, використання пивної дробини у свіжому вигляді пов'язане з рядом труднощів. Сира пивна дробина швидко закисає й пліснявіє (термін її зберігання не більше 24 год). Транспортування пивної дробини до місця споживання худобі є недоцільним та дорогим. Отже, найбільш раціональним та доцільнішим способом підвищення стійкості та транспортабельності пивної дробини є висушівання пивної дробини з подальшим її гранулюванням та внесенням біологічно активних речовин.

Пивна дробина у висушеному вигляді, на відміну від сирої, зберігається півроку. Вона біологічна активна - містить вітаміни групи В та необхідні для життя мікроелементи. Оброблена пивна дробина використовується на корм худобі. До сушки пивну дробину необхідно відпресувати на дискових пресах та знизити її вологість приблизно до 65-67 %. Далі відбувається її висушивання та гранулювання.

В магістерській роботі пропонується застосувати трубчасту сушарку. Остання являє собою циліндр, який складається з двох частин. Всередині циліндру розташований вал. На валу кріпиться 4 трубні решітки, в які розвальцьована велика кількість трубок. На зовнішній поверхні трубок розташовані під певним кутом лопаті за допомоги яких дробина перемішується, а також одночасно поступово переміщується в горизонтальному напрямку в інший бік при обертанні валу. По мірі переміщення пивна дробина вона висушується.

Впроваджене обладнання має значний технічний, технологічний та соціальний ефект.

Дана розробка є актуальною і економічно доцільною. Ефективність впровадження установки визначається підвищенням прибутковості підприємства завдяки збуту відходів пивоварного виробництва - пивної дробини, як біологічно цінного та корисного корму.

Підсумовуючи можна висловити, що сьогодні таке підприємство має перспективи свого розвитку, оскільки передбачає вищий рівень продуктивності праці, ефективне використання матеріальних і енергетичних ресурсів, впровадження у виробництво нових і удосконалених технологій та високоефективного обладнання.

2. Аналітичний огляд технологічних та технічних рішень

2.1 Характеристика пивної дробини

Пивна дробина - осад, що утворюється в процесі фільтрації пивного затору у фільтраційному апараті. Він є біологічно цінним, натуральним та корисним продуктом з високим вмістом протеїну (у 2-3 рази більшим, ніж в ячмені). На сьогодні це є високоякісний корм для худоби без хімічних інгредієнтів [16].

Пивна дробина складається з 2-х фаз - рідкої (45 %) і твердої (55 %). Тверда фаза пивної дробини містить оболонку й нерозчинну частину зерна.

Дробина солодова має коричневий колір, солодкуватий смак та солодовий запах, а також густу консистенцію груборозмеленого зернового продукту. В останній присутнє 75 % білкових речовин і 80 % жиру.

Основний состав дробини залежить від типу солоду, кількості несолодженої сировини, а також сорту пива.

Пивна дробина вологістю приблизно 78-79,5% містить орієнтовно 5% білкових речовин, 1,5% жиру й 9,7% екстрактивних речовин. Зола пивної дробини збагачена кальцієм, магнієм, фосфорними солями, вміст яких залежить від складу зернопродуктів та води.

В таблиці 2.1 наведені параметри для свіжої і щойно відпресованої пивної дробини. Як бачимо, пивна дробина за 79,6% вологості (натуральної) має достатню кількість поживних і мінеральних речовин.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удодов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чуцаєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 2. Аналітичний огляд технологічних та технічних рішень	221900.KP.32.002.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/26	

Таблиця 2.1. Фізико-хімічні показники свіжої вологої дробини

показники	дробина волога	дробина пресована
Суха речовина %	20,4	33.0
Вологість %	79,6	67.0
Білок сирий %	5,1	8.3
Жир сирий %	1,5	1,9
Клітковина сира %	3,3	5,5
Зола сира %	0,8	1,2
Екстрактивні безазотисті	9,7	16.1
Крохмаль %	0,9	1,5
Цукор. %	0,05	0,09
Величина рН	5,44	5,67
Кислота молочна %	0,00	0,00
Кислота оцтова %	0,00	0,00

Аналіз сухої дробини свідчить, що остання містить 27 % білкових речовин, 15,5% лігніну, 51% цукрів. З метою підвищення вмісту повноцінного протеїну та вітамінів групи В в умовах пивзаводу ПрАТ «Оболонь» при висушуванні вносяться також пивні дріжджі.

Таблиця 2.2. Фізико-хімічні показники сухої пивної дробини

	Норма	
	пивна дробина суха стандарт	пивна дробина суха збагачена дріжджами
1	2	3
Масова частка вологи,%,не більше	12,0	12,0
Масова частка сирого протеїну, %,не	20,0	22,0
Масова частка сирого клітковини,%,не	16,0	16,0
Масова частка сирого золи,%, не більше	6,0	6,0
Масова частка білкових речовин,%, не	27,0	27,0
Масова частка сирого жиру,%,не більше	4,0	4,0

Пивна дробина у висушеному вигляді, на відміну від сирого, зберігається до півроку. Вона містить вітаміни групи В та необхідні для життя

мікроелементи.

Вихідна кількість пивної дробини залежить від якості та екстрактивності солоду, несолодженої сировини та від ступеня використання екстракту сусла. Загальна норма утворення пивної дробини вологістю порядку 86 % приймається в межах 2,5 т пивної дробини на 1000 дал пива.

2.2 Якість пивної дробини, що підвержена консервації

За даними закордонних науковців, існує безліч способів консервування пивної дробини. Так, наприклад спеціалісти ТОВ “Цитрон-агро”, що виготовляє біологічні закваски для консервування силосуразом із науковцями кафедри годівлі сільськогосподарських тварин і технології кормів ім. П. Д. Пшеничного НАУ здійснили дослідження з консервування зразків свіжої пивної дробини натуральної вологості (77%) амілолітичним молочнокислим стрептококом (АМС). Після 6 місяців зберігання законсервованих зразків пивної дробини спеціалісти дослідили її хімічний склад (табл. 2.3) .

Таблиця 2.3. Хімічний склад консервованої пивної дробини, г/кг

Волога	Суха	Сира	Сирий	Сира	Сирий	БЕР	Са	Р
754,3	245,3	12,1	66,2	49,5	28,5	89,4	0,10	1,64
0	100	49,4	269,6	201,4	116,0	363,8	0,40	6,69

З наведених у даних наочно бачимо, що у законсервованій пивній дробині після 6 міс. зберігання достатня кількість поживних речовин порівняно зі свіжою, а також вона має доволі високу енергетичну цінність.

2.3 Основні способи переробки пивної дробини

Щорічно на пивоварних підприємствах накопичується значна кількість пивної дробини вологістю 70-80%. Остання містить в середньому більше 20% сухих речовин з високим рівнем протеїну (12-15%). Це перевищує майже в 3 рази його вміст у вихідній сировині - ячменю. На полігонах підприємств в даний час накопичилося сотні тисяч тонн пивної дробини. Вона уявляє собою суміш рослинних і мікробних білків, органічних кислот, складних вуглеводів і інших речовин. Уся ця маса біологічної сировини вже на третій день починає виділяти в біосферу отруйні продукти гідролізу та гниє. У такому вигляді відходи здатні лежати в «могильниках» до 50 років. При цьому вони активно забруднюють біосферу своїми виділеннями. Продукти розпаду, поступово проникаючи в ґрунт, отруюють ґрунтові води. Із часом господарські землі стають непридатними до використання на тривалий час.

Підприємства пивоварної галузі зацікавлені у продажу пивної дробини. Особливо це актуально у теплий період року, коли вона схильна до інтенсивного розкладання.

Таким чином, пивоварним підприємствам економічно недоцільно відправляти пивну дробину на сміттєзвалища. Доцільним є єдиний шлях: відходи слід переробляти самостійно або реалізовувати стороннім організаціям. Однак охочих придбавати пивну дробину мала. Причина - дуже короткий термін її реалізації. Практика роботи підприємств показує, що на пивоварному заводі середньої потужності йде у відходи орієнтовно 35000 тонн пивної дробини. Як наочно бачимо, розумний підхід до реалізації пивної дробини може надати відчутний дохід переробнику цих відходів та усунути загрозу забруднення навколишнього середовища.

У сучасному виробництві пивна дробина - вторинний продукт пивоваріння, який успішно вживаний як кормова добавка до раціону у

рибному господарстві, а також продуктивних тварин в свіжому вигляді або в сухому вигляді.

Отже, максимально підвищити харчову цінність кормових добавок, що випускаються в даний час, з дробини для тварин можливо шляхом удосконалення способів її переробки. Таких способів розроблено достатньо багато.

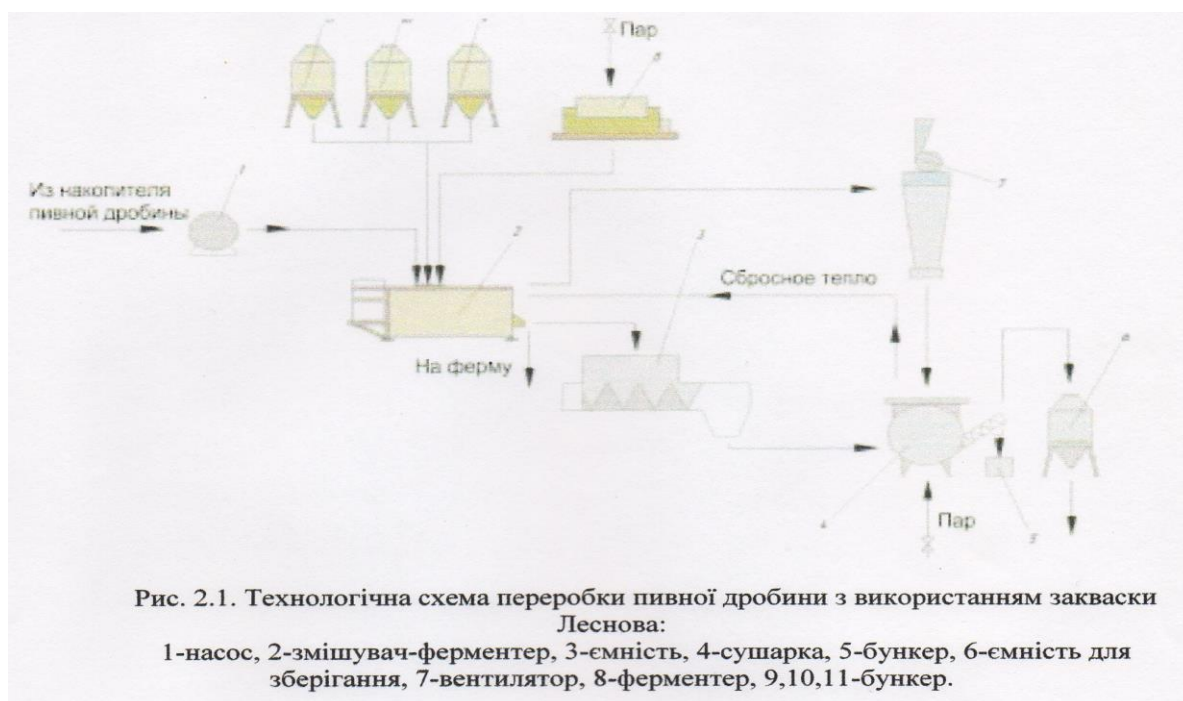
Один із таких перспективних є *біоферментація пивної дробини*.

Біоферментація із застосуванням закваски Леснова, разом з підвищенням енергетичної цінності одержуваного корму, збільшує білкову складову за рахунок утворення додатково мікробного білка. Технологія Леснова передбачає твердофазну ферментацію. Остання в короткі терміни 8-12 годин забезпечує значне підвищення протеїнової складової. В результаті - в оброблюваній сировині зменшується вміст клітковини та збільшується кількість кормових одиниць, легкокорозчинних цукрів, перетравного протеїну. В процесі біоферментації синтезуються також вітаміни.

Традиційним способом стабілізації вологої дробини у всіх розробниках є процес сушки. Але, обов'язково перед сушкою пивної дробини (45% - рідкої і 55% - твердої фракції) застосовують метод попереднього віджимання. З цією метою пивна дробина із бункера поступає за допомогою шестеренного насоса в шнековий прес. Тут із пивної дробини віджимається не менше 20% рідини, тим самим знижуючи її вологість до 60%. Однак, за таких умов втрачається також від 15 до 20% розчинних поживних речовин: амінокислот, вітамінів, макро і мікроелементів. Це все переходить у рідку фракцію та скидається в каналізацію.

У подальшому вологий концентрат поступає в накопичувальний бункер, з якого за допомоги шнека-дозатора біомаса поступає на сушку, в якій продукт висушується до 10-12% вологи. Після висушування продукт застосовують в комбікормовому виробництві, фасують та реалізують.

Наукова новизна запропонованого способу полягає в тому, що пропонується застосовувати твердофазну ферментацію із застосуванням універсальної закваски Леснова, яка є альтернативою вживанню кормових дріжджів і традиційних ферментів. Дана технологія біоферментації є нескладною та недорогою. Вона є екологічно чиста, не має шкідливих викидів в біосферу. (рис. 2.1).



З накопичувального бункера пивна дробина за допомоги шестеренного насосу 1 поступає відразу у змішувач-ферментер 2. Рідка пивна дробина нагрівається за рахунок надмірного тепла від барабанної сушарки (можуть використовуватися і інші джерела нагріву сировини). Одночасно з бункерів 9-11 подаються компоненти з мінеральних солей, малоцінної рослинної сировини і робочої закваски Леснова в змішувачферментер 2, де перемішуються всі інгредієнти з рідкою пивною дробиною. За рахунок введення нових інгредієнтів знижується вологість до 55-65% та регулюється кислотність суміші. Робоча закваска

готується за спеціальною інструкцією з сухої закваски у ферментері 8 з розрахунку 5 частин сухої закваски Леснова на 1 тону оброблюваної сировини. Маса, що готується, залишають на 10-12 годин в спокійному стані для дозрівання при температурі у ферментері 40-60°C. Постійна температура підтримується за рахунок теплоізоляції змішувача-ферментера 3, циркуляції надмірного тепла від сушильного агрегату і позитивної температури (не менше 10°C) навколишнього середовища у виробничому приміщенні. Достатнє одне перемішування ферментованої маси після 6 годин біоферментації при двухступінчатій технологічній схемі внесення робочої закваски Леснова.

За завершенням біоферментації отриманий продукт вологістю 50-65% поступає на сушку або на реалізацію у вологому вигляді на корм худобі. Готовий продукт можливо перевозити автотранспортом, розфасовувати його у поліетиленову тару тощо. Він повинен бути реалізований протягом доби при достатньо низькій температурі навколишнього середовища. Продукт може зберігатися до 2-х діб. Кормова добавка має слабкий хлібний запах. При тривалому зберіганні утворюється інший запах - притаманний моченим яблукам.

З метою довготривалого зберігання та комерційної реалізації доцільно готовий продукт обробляти через барабанну сушарку. З інтервалом у 2 години для біоферментації завантажуються і запускається наступний змішувач-ферментер 2.

Вологий концентрат поступає в накопичувальний бункер з дозатором 3, далі на сушарку 4. Після висушування продукт можна додавати в комбікорми, гранулювати, фасувати.

Спосіб введення в кінцевий продукт дорогих концентрованих жирів, білків, мінеральних речовин.

Пивна дробина як відхід пивоварного виробництва є кормовою сировиною із певними недоліками:

- довготривале зберігання сирого продукту неможливе через розвиток небажаних мікроорганізмів;
- незначна кількість білка;
- надлишок клітковини;
- незначний відсоток фосфору, жиру, кальцію.

Створення комбікормів на основі пивної дробини потребує введення в кінцевий продукт концентрованих жирів, білків, мінеральних речовин. В таблиці 2.4 наведений хімічний склад свіжої дробини.

Таблиця 2.4. Хімічний склад свіжої дробини

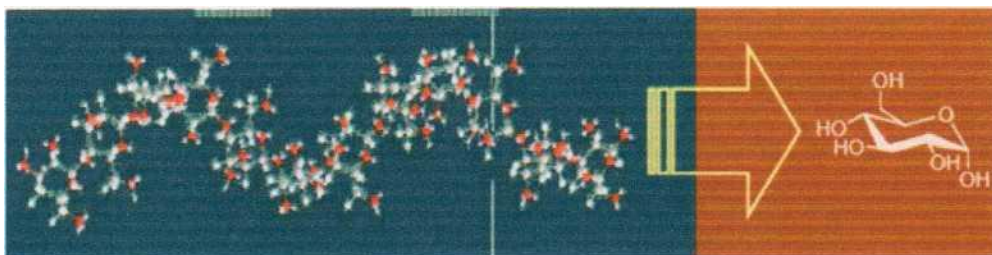
дробина пивна свіжа в 1 кг	
протеїн перетравний, г	42
суха речовина, г	232
клітковина сира, г	39
кальцій, г	0,5
фосфор, г	ІД
жир сирий, г	17
енергія обмінна для КРС,	2,35
БЕВ, г	107
протеїн сирий, г	58
зола сира, г	11

Розроблені та впроваджені у практику пивоваріння наступні способи переробки пивної дробини, які переслідують підвищення рівня живильних речовин у складі пивної дробини:

1. Ферментативне зниження рівня клітковини

При годуванні свиней, птахів, хутрових і домашніх тварин існують обмеження за змістом в раціонах клітковини. Так, корми, багаті клітковиною, придатні тільки для раціонів жуйних тварин. Розроблений процес конверсії целюлози до засвоювання та розчинення вуглеводів,

забезпечення їх більш глибоким засвоєнням.



Перехід підприємства на випуск пивної дробини з пониженим рівнем клітковини — це відносно дешевий та простий і спосіб підвищення цінності кормової сировини. Однак дробина залишиться лише тільки одним з дешевих рослинних компонентів раціону.

2. Переробка дробини з виробництвом дріжджового кормоконцентрата

Для випуску пивної дробини на світовий ринок повноцінних комбікормових продуктів розроблена технологія дріжджового кормового концентрату на вуглеводах і органічних кислотах БЕВ і продуктів розщеплювання клітковини.

Цей процес передбачає:

- Ферментативну обробку пивної дробини;
- Штучне відділення нерозчинного залишку (кека);
- Технологію вирощування кормових дріжджів на розчинних вуглеводах і органічних кислотах;
- Згущування та флотацію дріжджової біомаси;
- Сушку згущуючої маси дріжджівразом із сирими залишками дробини;
- Переробку анаеробним способом залишкових ХПК, азоту і фосфору.

Матеріальний баланс процесу, розрахований виходячи з потоку дробини 8000 кг/год вологістю 75% вказує, що в цьому випадку на виході можливо отримати порядку 1500 кг/год високобілкового продукту вологістю 10% та вмістом білка 45%.

Запропонована технологія надає комбінований концентрат корму з відмінними показниками кормової цінності. Останній може бути використаний як основа раціонів для всіх видів сільськогосподарської худоби. Склад продукту переробки пивної дробини наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 2.6. Склад продукту переробки пивної дробини:

Зміст в 1 кг	Дріжджовий
протеїн перетравний, г	374,7
Речовин суха а, г	850
клітковина сира, г	67,5
кальцій, г	4,0
фосфор, г	11,3
жир сирий, г	93,0
енергія обмінна для КРС,	7,3
БЕВ, г	133,2
протеїн сирий, г	470,6
зола сира, г	85,7

Показова виробнича компоновка виробничої ділянки вказана на рис.2.2.

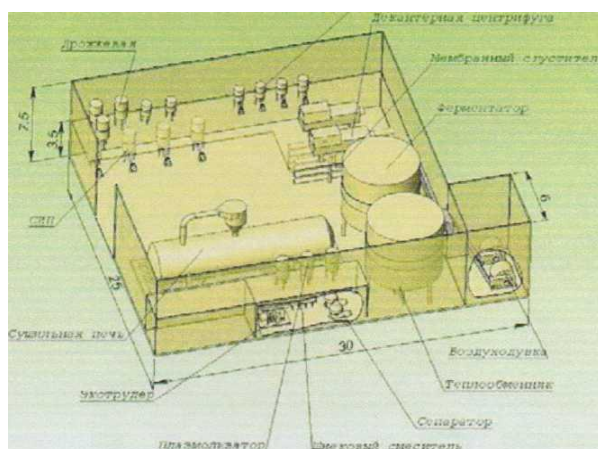
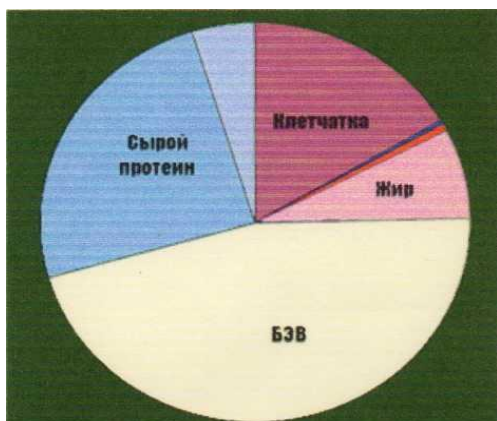


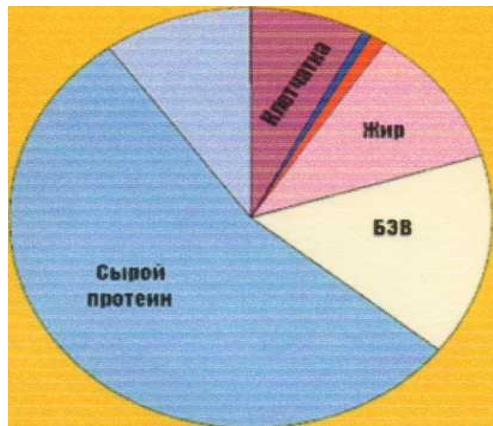
Рис.2.2. Показова компоновка виробничої ділянки

У результаті процесу переробки пивної дробини вдається досягти принципово поліпшення кормової цінності продукції по всіх критичних компонентах: збільшити вміст білка, жиру, мінеральних речовин, понизити рівень клітковини.

Пивна дробина сушена



Кормоконцентрат дріжджовий



Отже, запропоноване технологічне рішення дозволяє пивоварному підприємству позбавитися зайвих відходів і перейти до випуску повноцінної основи раціонів сухих кормосумішей для сільськогосподарських і домашніх тварин, у яких білок та зерно замінені високоякісним дріжджовим кормоконцентратом

2.3 Переробка дробини пивної способом «Біокомплекс»

Переробка пивної дробини (рис.2.3.) полягає в наступному: сировина рідка (дробина) поступає в ємкість-накопичувач самопливом, звідкіль конвейєром або насосом подається на сепаратор. Тут відбувається її віджимання, після чого виділена тверда фракція направляється на сушку і грануляцію.

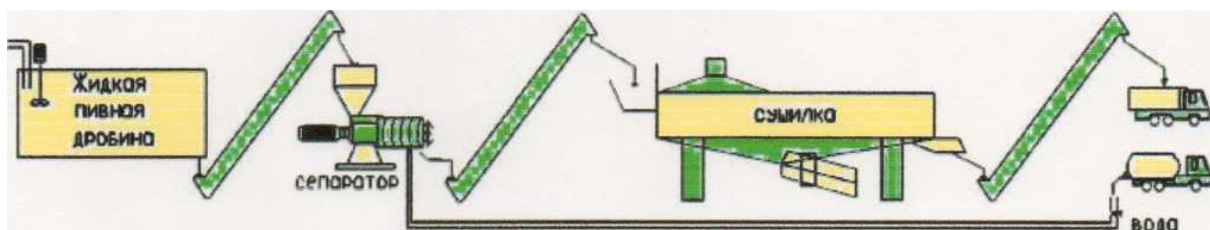


Рис.2.3. Апаратурно-технологічна схема переробки пивної дробини способом «Біокомплекс»

Серцевиною запропонованого технічного рішення є шнековий прес-сепаратор, що визнаний кращим з доступних на сьогодні технологій для виконання задачі по розділенню рідкої дробини або барди на фракції.

Обладнання уявляє собою шнековий прес, в якому пресування відбувається за допомоги шнека, що дозволяє видавлювати всю вільну воду. Це єдине обладнання що ефективно відділяє тверді складові, які виходять достатньо сухими.

Обладнання характеризується низькою вартістю, доступністю та високою продуктивністю і здатний переробити до 20 м³/год рідкої пивної дробини споживаючи при цьому всього 5,5 кВт/год електроенергії.

Шнековий пресовий сепаратор виготовляється в різних модифікаціях: із ситовими циліндрами з розміром осередків від 0,25 мм до 1,00 мм. Це сприяє му застосуванню сепаратора при різному вмісті вологи в дробині.

З метою отримання відсепарованої твердої фракції у вигляді високоякісної сухої кормової добавки біокомплекс пропонує сушарки продуктивністю від 500кг/год до 1000кг/год. Останні працюють на газу, електричній енергії або рослинних відходах (тирсі, соломі, лушпинні, і ін.).

Висушування пивної дробини здійснюється при температурі теплоносія не більш 80°C, що виключає деструкцію білка та гарантовано дозволяє отримати початкову біологічну активність кінцевого продукту. Сушарка, що використовується «Біокомплексом» показана на рис 2.4.



Рис.2.4. Сушарка «Біокомплекс»

Пивна дробина, що відсепарована є прекрасною сировиною для виробництва високоякісної вуглеводно-білкової кормової добавки. При цьому рівень засвоюваного протеїну в кормовій добавці УБК збільшується до 24-28%, підвищується біологічна активність, вітамінний вміст і жирність продукту, живильні речовини переходять в доступні для переварення форми.

Переробка пивної дробини способом сушіння

Дробина пивна - є побічним продуктом пивоваріння. Вона з варильного відділення направляється для видалення вологи у вигляді сирі пивної дробини з подальшим її висушуванням (рис. 2.5) у проміжкову буферну ємність. Остання дозволяє швидко спорознювати фільтраційний апарат.

Сира пивна дробина подається за допомоги пневматичного конвейера в бункерну установку для сирі пивної дробини або в ємність попереднього зберігання перед шнековим пресом і установкою сушки

сирої пивної дробини (трубна установка сушки пивної дробини). Безперервний процес роботи преса і установки для сушки вимагають необхідність ще однієї проміжної зберігання продукту в ємності перед шнековим пресом.

Після процесу висушування пивної дробини зневоднена пивна дробина потрапляє в бункер. З останнього вона вивантажується безпосередньо в мішки або транспортується на піддони.

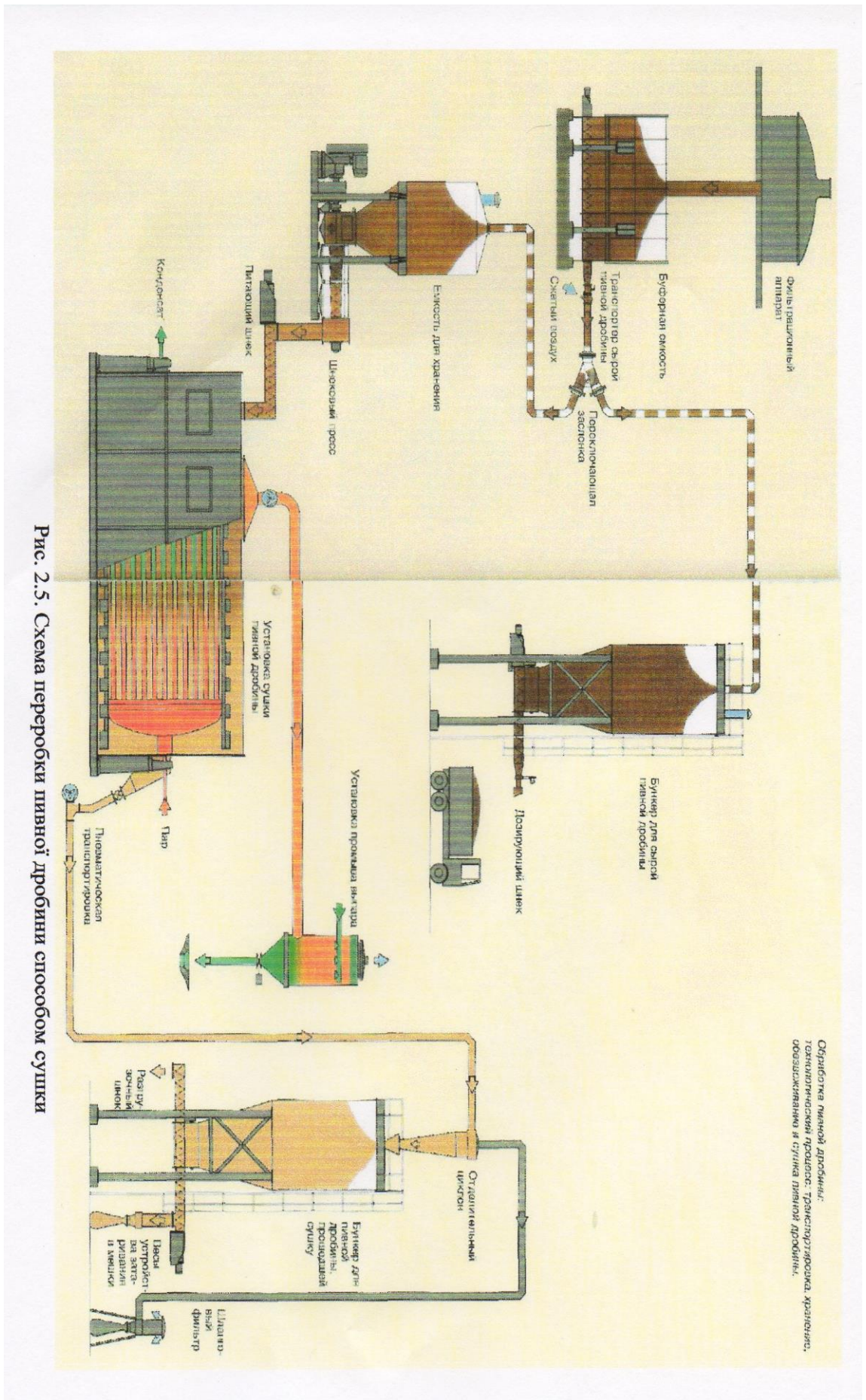


Рис. 2.5. Схема переробки пивної дробини способом сушки

Переробка пивної дробини шляхом теплової утилізації

За теплової обробки дробина пивна переробляється фактично без залишку. Даний спосіб ефективен, економічен. Може служити джерелом енергії, безпечним для навколишнього середовища. Сира дробина з виробничого процесу передається від бункера до стрічкового пресу безперервної дії (рис.1.6.). Там дробина механічно зневоднюється до вмісту в ній сухих речовин близько 42 % і стає біологічно стабільною. Цей матеріал можна зберігати 2-3 дні в проміжному бункері у разі вимушеної зупинки устаткування. Одержану після пресу воду можна спрямувати на очисні споруди, що застосовують анаеробну обробку, або повернути в пивоварний процес. При анаеробній обробці води утворюється метановмісний газ, який можна використовувати як додаткове пальне в процесі спалювання, а воду після пресу можна повернути у виробничий процес. Відповідні випробування показали, що не слід побоюватися погіршення якості пива. Пивна дробина після віджимання готова для спалювання як горючий матеріал в спеціальній печі для біомаси без додаткової обробки. Отриману енергію у вигляді насиченої пари чи гарячої води застосовують у виробництві. За допомоги такого обладнання можливо покрити до 90 % споживаної енергії. Золу після спалювання можливо використовувати як добавку до добрива.

Спалювання пивної дробини складається в основному з 2-х головних компонентів: стрічкового пресу і печі для біомаси.. Продукт рівномірно розподіляється по 2-х стрічках фільтр-пресів і під тиском прямує через систему валів. Завдяки спеціальному розташуванню зневоднюючих і віджимних валів різного діаметру при високому зрізаючому та стискаючому зусиллях досягається вміст залишкової вологості в пивній дробині 58 %.

Для суильної печі використовують механічні колосникові ґрати з повітряним охолодженням. Дана технологія спалювання була спеціально пристосована для утилізації пивної дробини. Завдяки надійній футеровці топкової камери пивна дробина висушується за рахунок теплоти випромінювання. Теплова потужність парового котла, сягає від 0,5 МВт до 15 МВт.

Даний метод теплової утилізації забезпечує перетворення дробини пивної з відходу виробництва у високо біологічно цінний матеріал. Так, з 1т сирої пивної дробини із залишковою вологістю менше 80 % можна отримати близько 1 МВтч теплової енергії. Дробина пивна використовується як енергоносіє безпосередньо в технології пивоваріння. Потреба в джерелах енергії зовнішніх - мазут, природний газ, вугілля значно скорочуються. Як наслідок – виробництво пива стає значно менш залежним від зростання цін на енергоносії.

Енергетична утилізація дробини пивної значно покращує показники підприємства: зменшується споживання зовнішніх енергоносіїв до 90%; забезпечується надійна утилізація дробини пивної, відсутні витрати на утилізацію; немає залежності від зростання цін на енергоносії; можливе подальше використання води після пресування і спалювання інших залишкових матеріалів, наприклад етикеток.

Вищеописана система підвищує незалежність від зовнішнього впливу. Вона екологічно сприятлива і дає значну конкурентну перевагу для пивоварного виробництва.

Консервація пивної сирої дробини

Значна вартість тепло-енергоносіїв унеможлиблює висушування пивної дробини до вологості 15-17%. Як наслідок - унеможлиблює і реалізацію останньої як концентрованого корму. Тому, одним із запропонованих виходів із ситуації, що склалася, може бути

консервування свіжої пивної дробини або ж частково віджатої до вологості 70- 60% або додавання до останньої сировини з нижчою вологістю.

Дробину пивну можливо консервувати у чистому вигляді за вологості 60%.

Під час технології силосування дробини пивної високої вологості з метою зменшення останньої, до силосної маси можна додавати соломку, половину абозелену масу. Пивну дробину силосують у спеціально облаштованих траншеях. Останню розрівнюють і ретельно ущільнюють важким трактором. Дробину пивну закладають таким чином, щоб довжина щоденно заповненої частини траншеї становила не менше 4-6 м, що відповідає 100-120 т корму. асу ущільнюють постійно в процесі заповнення траншеї.

Для консервування пивної дробини застосовують біологічний консервант закваски, яка виготовлена на основі амілолітичного молочнокислого стрептокока (АМС). Внесення закваски у пивну дробину з проводять робочим розчином: співвідношенні 1 л закваски на 10 л води. Робочу суміш вносять у пивну дробину рівномірно, розбризкуючи по всій масі. Норма - 1л робочого розчину на 1 т пивної дробини.

2.4 Технологічні аспекти переробки пивної дробини способом сушіння

Для зневоднення широко використовують процес висушування вологих матеріалів. Останню можна видалити різними способами: механічним, фізико-хімічним і тепловим. При першому способі вологу відтискують у пресах або в центрифугах. Спосіб фізико-хімічний базується на застосуванні вологовідбірних засобів. Зневоднювальними засобами є хлористий кальцій, сірчана кислота, силікагель. При тепловій обробці

волога випаровується з поверхні матеріалу і дифундує в навколишнє середовище. Сушінням називають термічний процес видалення вологи з матеріалів внаслідок її випаровування і дифузії [11].

Сушіння одночасно є тепловим і дифузійним процесом. Волога дифундує із середніх прошарків матеріалу до його поверхні, переходить крізь граничну оболонку, а потім дифундує всередину газової фази. При цьому виноситься з матеріалу значна кількість теплової енергії.

Розрізняють – штучне та природне сушіння. Останнє відбувається на відкритому повітрі без штучного підігрівання і відведення сушильного агента. Приклад - природне сушіння солі у відкритих морських акваторіях.

У харчовій промисловості в основному застосовують штучне висушівання. Мета висушування — підвищення стійкості матеріалів під час його довготривалого зберігання, поліпшення якісних показників, консервування, зменшення маси. Значну та суттєву роль сушіння відіграє у пивоварному виробництві. Тут висушують пивоварний солод, відходи виробництва (пивну дробину). Процес висушівання також широко використовують у інших споріднених галузях - отримання сухого молока, сухих фруктів і овочів. У кондитерському, хлібопекарському, макаронному виробництвах сушать хліб, сухарі, макарони, кондитерські вироби тощо.

Способи висушівання вологих матеріалів розрізняються переважно способом підведення теплоти й зумовлені фізико-хімічними властивостями цих матеріалів. Найпоширеніший спосіб - конвективне висушівання. Воно характеризується безпосереднім контактом матеріалу з потоком теплоагенту (повітря, димових газів). Волога при цьому випаровується за допомоги теплоти нагрітого газу /повітря або пари/, який одночасно поглинає і виносить із сушарки утворену водяну пару.

Рідше, але має місце контактний (кондуктивний) метод висушівання. При цьому теплота від теплоносія (звичайно водяної пари) до матеріалу передається через металеву стінку, перегородку що розділяє їх.

Також на практиці для дуже термочутливих матеріалів застосовують сублімаційне сушіння. При цьому волога із матеріалу в замороженому стані переходить у парову фазу, оминувши рідку (сублімує). Цей процес здійснюється у глибокому вакуумі.

2.5. Вологий матеріал як об'єкт сушіння

За природою харчові продукти є вологими матеріалами. Вони містять значну кількість води. Це є колоїдні тіла, а за структурою — капілярно-пористі матеріали. Волога перебуває в різному молекулярному зв'язку із сухим скелетом матеріалу. Пори останнього можуть бути заповнені водою, водяною парою і повітрям. Зазвичай волога у матеріалі розподілена нерівномірно. Розрізняють середню концентрацію вологи в матеріалі або ж концентрацію в даній точці.

Вологістю називають відношення маси вологи в матеріалі до маси всього вологого матеріалу і виражають у відсотках:

$$\omega = \frac{m_e}{m} \cdot 100\%$$

де m_e — маса вологи (води), кг; m - загальна маса вологого матеріалу, кг.

У теорії сушіння часто користуються не вологістю матеріалу, а вологовмістом ω , %, що є відношенням маси вологи в матеріалі до маси абсолютно сухої речовини в ньому:

$$\omega^c = \frac{m_e}{m - m_e} \cdot 100\%$$

Процес сушки матеріалу значнійою мірі залежить від характеру зв'язку вологи з матеріалом. Згідно з класифікацією П. О. Ребіндера, яку широко застосовують у сушильній практиці, усі форми зв'язку вологи поділяють на 3 великі групи: 1) хімічний; 2) фізико-хімічний; 3) фізико-механічний.

Хімічний зв'язок - є найміцнішим. Для його порушення сушіння не достатньо. Потрібне ще прожарювання або хімічний вплив.

Фізико-хімічний зв'язок - є менш міцним. Волога, що пов'язана з

матеріалом фізико-хімічно, може бути видалена за допомогою сушки. Цій формі зв'язку відповідають адсорбційно зв'язана волога і волога, що утримується осмотично.

Волога адсорбційно зв'язана - утримується молекулярним силовим полем на поверхні колоїдних частинок. Останні характеризуються значною дисперсністю частинок, умовний радіус яких становить 0,1...0,001 мкм. Внаслідок такої дисперсності колоїдні тіла мають величезну внутрішню поверхню. Отже, і значну вільну поверхневу енергію. Завдяки цьому відбувається адсорбційне зв'язування води. Для видалення такої вологи вона має бути перетворена в пару. Після цього починається її переміщення до зовнішньої поверхні тіла.

Зв'язок осмотичний є найсильнішим у розчинах. Цей зв'язок виражається в тому, що тиск пари над розчином менший від тиску пари над розчинником. Осмотичним зв'язком утримується волога набухання і структурна волога. Цьому стану волозі відповідає мала енергія зв'язку. Остання зв'язана з матеріалом не так міцно, як адсорбційна волога. Волога внутрішньоклітинна де розчинені низькомолекулярні сполуки, утримується осмотичними силами. Волога що потрапляє всередину клітинок матеріалу при його утворенні називається структурною.

Матеріал може не тільки віддавати вологу але й за певних умов поглинати її із середовища. Це відбувається якщо парціальний тиск пари біля поверхні матеріалу менший за парціальний тиск у навколишньому повітрі, то матеріал буде зволожуватись. Якщо внутрішній та зовнішній тиски зрівняються - встановлюється рівновага. Перехід вологи припиняється. Вологість матеріалу в цьому усталеному стані називають

рівноважною вологістю.

Встановлено, що для більшості матеріалів рівноважна вологість не залежить від температури, а залежить лише від відносної вологості повітря.

Таким чином, під час висушівання з матеріалу не можна видалити абсолютно усю вологу. Матеріал після закінчення процесу сушки на кінцевій стадії характеризується рівноважною вологістю. Отже, знаючи початкову кількість води в матеріалі W , можна розрахувати кількість води, що видаляється:

$$W_{\text{вид}} = W_n - W_p$$

де W_p — кількість води в матеріалі у стані рівноваги. Для збільшення $W_{\text{вид}}$, потрібно для висушування використовувати повітря з меншою відотною вологістю.

2.5. Теоретичні закономірності процесу сушки

Процес сушки супроводжується цілим рядом взаємопов'язаних процесів - перенесенням теплоти від теплоагенту до матеріалу, випаровуванням води, подальшим перенесенням води з поверхні матеріалу в навколишнє середовище, перенесенням води всередині матеріалу. Всі вони визначають характер процесу та його тривалість [26].

Вагоме значення має перенесення води з поверхні матеріалу в навколишнє середовище (зовнішнє масоперенесення) та і перенесення води всередині матеріалу до його поверхні (внутрішній масоперенос). Розуміння закономірностей внутрішнього та зовнішнього тепло-масообміну відіграє

велике значення для розробки оптимального режиму сушіння продукту.

Під час сушіння вологість продукту є функцією часу та координат. Процес сушки є нестационарним процесом. Диференціальне рівняння процесу сушки матеріалу в загальній формі можливо записати:

$$\frac{du}{dt} = a \cdot \Delta^2 u \pm a \cdot \delta \Delta^2 t$$

Згідно умов одновимірної задачі, без урахування термо-вологодовідності рівнянню мажно надати вигляд:

$$\frac{du}{dt} = a \cdot \frac{d^2 u}{dx^2}$$

Розв'язання цього рівняння для першого періоду сушки дозволяє визначити тривалість його першого періоду та критичну вологість, яка визначає кінець періоду постійної швидкості за рівнянням:

$$\tau_1 = \frac{W_1 - W_{k1}}{N}$$

$$W_{k1} = 100u_{k1} + 100 \frac{q^1 \cdot R}{3 \cdot a^1 \cdot \gamma_0}$$

Тривалість другого періоду сушки матеріалу визначається за рівнянням:

$$\tau_2 = \frac{1}{K} \ln \left(\frac{W_{kn} - W_p}{W_2 - W_p} \right)$$

Отже, загальну тривалість процесу сушки можна визначити за наступним рівнянням:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{W_1 - W_{k1}}{N} + \frac{1}{K} \ln \left(\frac{W_{kn} - W_p}{W_2 - W_p} \right)$$

2.6. Шляхи використання пивної дробини

Шляхи використання пивної дробини — виробництво кормів та продуктів харчування. У сільгосподарстві пивна сира дробина найчастіше служить добавкою до білкових кормів. Вона має високу засвоюваність: білкових речовин — на 71-76 %, жиру — на 80-82 %, безазотистих екстрактивних речовин — на 60-65 %, клітковини — на 40-45 %. Сьогодні вже розроблені на основі пивної дробини корми і кормові добавки для різних видів та вікових груп тварин тощо [11].

Дробина пивна у свіжому (сирому) та і сухому вигляді є гарним білковим та молокогінним кормом. Останній використовується для відгодівлі крупного рогатої худоби, свиней та овець. Живильна цінність 5 кг сирої дробини відповідає 1 кг вівса. Крім того, пивна дробина значно збагачена азотом. Використання пивної дробини у свіжому вигляді залежить від способу її видалення з варильного відділення.

Дробину пивну з успіхом використовують для виробництва білкових концентратів. Останні можуть бути отримані: гідролізом з подальшим бродінням продуктів гідролізу, газифікацією, подальшим синтезом метанолу і його біоконверсією або екстракцією.

Пивну дробину останнім часом використовують також в дієтичні продукти харчування – макаронні, хлібобулочні, кондитерські вироби, молочні і м'ясні системи. У харчовому виробництві рідко використовують сирі пивну дробину. Головним чином її висушують і перемелюють в муку. Її застосовують у різні технології.

Отримана мука багата целюлозою, білком, жирні кислоти, містить основні мікроелементи (*Ca, P, Mn, Fe, Si*), вітаміни E і P. Біологічна цінність муки з пивної дробини дозволяє замінювати нею 10-15 % пшеничної муки.

Із внесенням пивної дробини у тісто підвищуються його водопоглинальна здатність і час піднімання. В той же час стійкість зменшується. У тісто необхідно вводити додаткову кількість води, що дозволяє збільшувати вихід хліба та економити муку. Вироби запо органолептичними і фізико-хімічними показниками практично не відрізняються від класичних приготованих звичайним способом. Однак містять більшу кількість харчових волокон, білкових речовин та мінеральних.

Внесення пивної дробини у рецептуру хліба муки сприяє уповільненню процесу очерствіння. Така частична заміна пшеничної муки при виготовленні хлібобулочних виробів з економічної точки зору дуже вигідно для країн, вимушених постійно закупляти пшеницю. У розвинутих країнах більш перспективне вживання пивної дробини у виробництві пластівців, печива, бісквітів і інших кондитерських виробів. Отримані вироби відповідають всім якісним вимогам, вони мають золотисто-кавовий колір, тонкошарову структуру, рівномірну випеченість, смак і запах.

Внесення пивної дробини до муки дозволяє знизити собівартість борошняних кондитерських виробів та збагатити їх харчову цінність.

Це також дозволяє значно розширити і різноманітити асортимент кондитерських виробів.

Відома технологія виробництва ксиліту з пивної дробини. Так із 1т пивної дробини виходить 150 кг білкової пасти або 50 кг білкового концентрату. Останні використовують у хлібопекарському виробництві в якості живильної добавки. Трохи внесевши зміни у технологію, на цьому ж обладнанні з пивної дробини можливо отримати також етиловий спирт. Попутно - вугілля активоване, діокід вуглецю у вигляді сухого льоду, паливні брикети, ентеросорбіти медичного і ветеринарного призначення, кисень, водень, фуранові смоли — зв'язуючий компонент для різних видів ракетного палива. Окрім ксиліту дробина пивна є джерелом отримання глютамінової кислоти, глюкози, амінокислот, глютамата натрію, ліпідів тощо.

Пивоварні підприємства також можуть використовувати пивну дробину як джерело енергії. Це дозволить забезпечити до 60 % їх потреби в енергії.

Дробину пивну також використовують вати як органічне добриво і меліорант з метою поліпшення оліпшуючий структури ґрунту. З метою отримання органічного добрива пивну дробину змішують з сечовиною, рисовими висівками, рибокістковою мукою або активним мулом. У суміш додають бактерії роду *Юіосіосост*. Здійснюють бродіння маси протягом 35-40 діб при 1—3 разовому за добу періодичному перемішуванні.

Пивну дробину суху використовують при виробництві звичної і силікатної цегли, також у виробництві паперу. В якості реагенту дробину пивну використовують для обробки мінералізованих бурових розчинів. Дробину також широко використовують в якості живильного середовища для вирощування штамів мікроорганізмів продуцентів комплексів ферментних препаратів. З метою виробництва косметичних препаратів - таких як, емульсій, паст, розчинів, мазей, кремів, гелів, лосьйонів, пудри та мила здійснюють екстракцію пивної дробини за допомоги рідкого або газоподібного CO₂.

Висновок.

Здійснений глибокий та ретельний аналітичний огляд стану питання технологічних та технічних рішень переробки пивної дробини виявив:

- пивна дробина з подальшим її гранулюванням є найбільш доцільною та раціональною для подальшої її використання;
- пивна суха дробина – є екологічно чистим продуктом, стійким у довготривалому зберіганні та одночас транспортабельним продуктом.

3. Методика проведення наукових досліджень

Наукова мета роботи - розробка високо технологічного та ефективного методу переробки свіжої відфільтрованої пивної дробини шляхом часткового її обезводнення із подальшим сушінням та гранулюванням. дослідження процесу сушіння пивної дробини. **Головна ціль роботи** - подовження терміну зберігання відфільтрованої пивної дробини та збереження в ній максимуму поживних речовин.

Основна задача наукового дослідження - виявлення та встановлення найбільш доцільних та раціональних параметрів процесу висушування пивної дробини. Тому заплановано проведення наукових досліджень процесу сушіння пивної дробини на основі сучасних теоретичних досліджень в галузі тепло- і масообміну сушки вологих матеріалів.

3.1. Об'єкт та методика досліджень

Об'єкт досліджень

У магістерській роботі здійснені дослідження процесу висушування відфільтрованої пивної дробини. Практичні дослідження проводилися у виробничих умовах пивоварного підприємства ПрАТ «ОБОЛОНЬ» на багатотрубній сушарці виробництва німецької фірми Anhydro.

Будова та принцип роботи багатотрубної трубчастої сушарки

Сушарка трубчаста багатотрубна для висушування відфільтрованої пивної дробини (рис.3.1) складається із циліндричного корпусу 1, опор 2, трубовалу 3, трубних решіток 4, гріючих трубок 5, кутників 6, датчика температури 7, лопатей 8, шахти розвантажувальної 9, патрубку живильного 10, клапанів подачі повітря 11, патрубку відводу вторинної пари 12, приводу 13, люк-лазу 14.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удодов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чузаєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 3. Методика проведення наукових досліджень		221900.КР.32.003.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/6

Технологічне обладнання представляє собою сталевий циліндричний апарат. З обох його сторін закріплені ребра жорсткості. Циліндричний корпус 1 апарату кріпиться опорами 2, що знаходяться в нижній його частині.

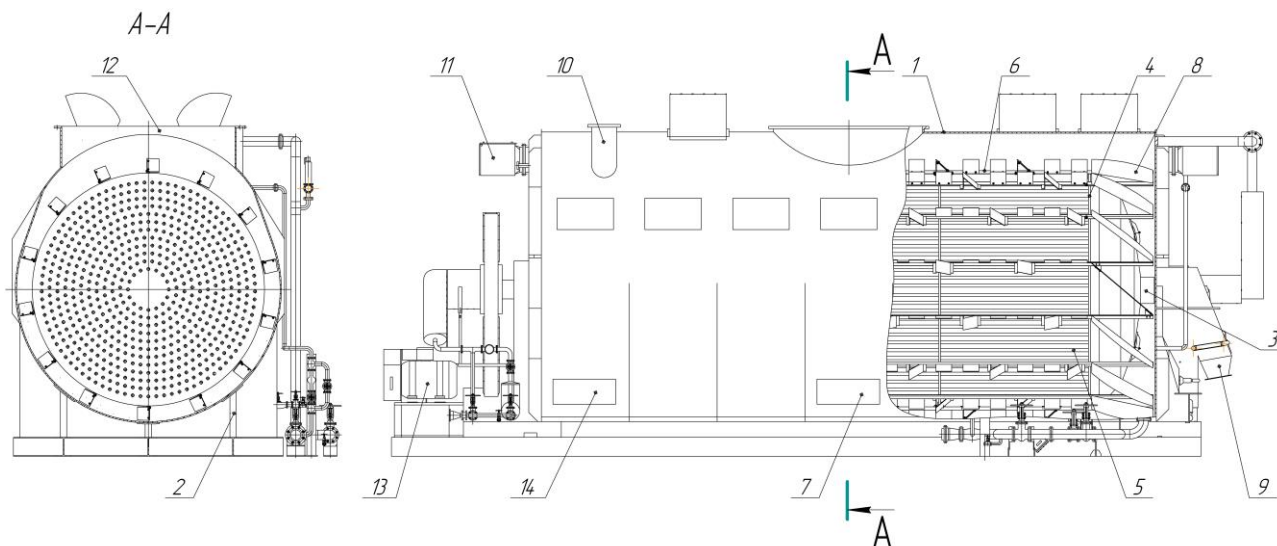


Рис.3.1. Сушарка багатотрубна барабанна

1-циліндричний корпус, 2-опори, 3-трубовал, 4-трубна, 5-грючі трубки, 6-кутники, 7- датчик температурний, 8-великі лопаті, 9-розвантажувальна шахта,10-живильний патрубок,11-клапани подачі повітря, 12-патрубок виходу вторинної пари, 13- привід, 14 – люк-лаз.

У середині циліндричного корпусу сушарки знаходиться трубовал 3. На останньому закріплені трубні решітки 4. В решітки ввальцьовані велика кількість трубок 5 (610 шт. діаметром 50x3мм). Трубки розташовані рівномірно по всій площині трубних решіток (див. розріз), окрім центральної частини. До зовнішньої поверхні трубних решіток приварені кріплення. До останніх прикріплені кутники, що розташовані повздовж сушарки. Вони розділені навпіл з метою можливості проведення ремонтних робіт. До кутників прикріплені лопаті, які виконують функцію перемішування та переміщення пивної дробини. Лопаті, що закріплені повздовж кутників 6 призначені для перемішування. Ті що встановлені похило під кутом 7 служать для переміщення пивної дробини по гвинтовій спіралі повздовж сушарки. З торців сушарки встановлені великі лопаті 8. Лопаті, що

знаходяться з лівого боку перемішують і переміщують продукт, а лопаті з правого боку перемішують, переміщують і вивантажують готову дробину у розвантажувальну шахту 9.

Трубовал обертається двигуном 13 через зубчасту передачу.

Віджата пивна дробина з преса надходить до живильного патрубку 10 в міжтрубний простір. Останній розташований у верхній частині сушарки. Гріюча пара подається в трубовал. Потрапляє у розподільчий простір де рівномірно розділяється по трубкам. Подачу пивної дробини можливо регулювати аналогічно кількості подачі пари. Дробина та пар відповідно виходять з сушарки із протилежних напрямків. Пара перетворюється у конденсат. З протилежної сторони рухається сира пивна дробина і вивантажується із сушарки через розвантажувальну шахту 9. До закінчення сушки вона висихає. Прискоренню процесу сушки сприяє повітря, що всмоктується через клапани 11.

Пара вторинна надходить дочерез фільтру. У останньому відбирається волога, яка видаляється в навколишнє середовище.

За допомоги датчиків 14, що розташовані на початку, в середині та в кінці сушарки, здійснюється контроль температури.

В подальшому суха пивна дробина поступає у два розгалужені канали. Частина пивної дробини повертається назад в змішувач через рециркуляційний шнек. Друга частина через повітряну трубку надходить у ємкість над гранулятором де вона зберігається. Продуктивність установки сягає порядку 700 тонн сирої дробини на добу.

3.3. Характеристика пивної дробини як об'єкту сушіння

Відфільтрована сира пивна дробина є колоїдною капілярно-пористою речовиною. За геометричними параметрами часточок пивна дробина є грубо-дисперсною середою.

Вологість дробини на початку висушивання сягає 500% на суху речовину.

Дослідження виду зв'язків вологи з пивною дробиною, визначення

рівноважної вологості має як теоретичне так і практичне значення при дослідженні процесу сушки сирої пивної дробини.

В основу класифікації форм зв'язку вологи в колоїдних, капілярно-пористих матеріалах, що запропонував П. А. Ребіндер, встановлено характер і природа утворення форм зв'язків, а також і енергія зв'язку цих форм з матеріалом. По даній класифікації форми зв'язку вологи ділиться на хімічний, фізико-хімічний і фізико-механічний зв'язок. Хімічно зв'язана волога всередині матеріалу не представляє інтересу для вивчення процесу обезводнення, оскільки вона при цьому не відділяється [26].

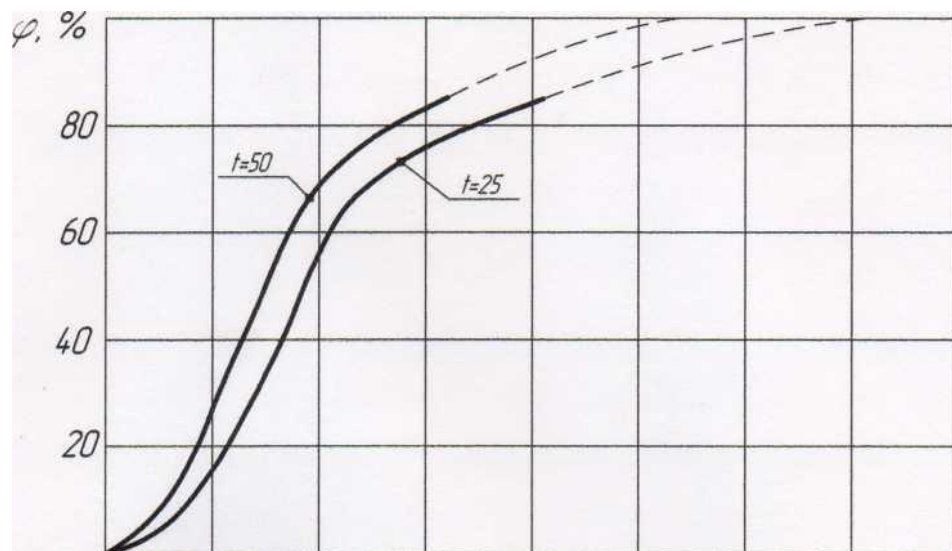
Основним методом вивчення форм зв'язку вологи з матеріалом є метод вивчення залежності рівноважного вологовмісту від відносної вологості оточуючого повітря. При зміні величини відносної вологості повітря і визначенні відповідний цій вологості повітря рівноважний вологовміст дробини, то в результаті експерименту можна отримати залежність

$$W_p = f(\varphi)$$

Якщо під час досліду рівновага досягалася в результаті випаровування вологи з матеріалу, то крива характеризує залежність W_p від φ називається ізотермою десорбції.

Для отримання ізотерми десорбції ми застосовували динамічний метод, при якому через пивну дробину продувалося повітря із швидкістю 2 л/хв. При цьому температура і відносна вологість повітря протягом всього досліду підтримувалася постійними. Рівноважний стан для дробини настав через 12—14 год при відносній вологості $\varphi = 45\%$ і через 36—48 годин при $\varphi = 45—86\%$. За результатами проведених досліджень було побудовано дві ізотерми (рис. 4.2) для $t = 25^\circ\text{C}$ і $t = 50^\circ\text{C}$. Ізотерми для пивної дробини мають вигляд, характерний для ізотерми колоїдних капілярно-пористих тіл. Як встановлено дослідом, вплив температури на

рівноважну вологість для дробини позначається на всьому інтервалі φ .
 Виявлено, що найбільший вплив температури спостерігається при великих значеннях φ .



0 6 12 18 24 30 36 42 $Wp, \%$

Рис. 3.2. Ізотерми десорбції пивної дробини

Рівноважна вологість при $\varphi = 1$ відповідає максимальній поглинаючій здатності дробини і називається гігроскопічною вологістю ($W_{г12}$).

Гігроскопічний вологовміст є важливим показником, знання величини якого необхідне для визначення умов зберігання, а також вибору параметрів сушильного агента.

Визначення параметру W_{ziz} експериментальним шляхом є складним. У більшості випадків його визначають по ізотермі десорбції екстраполюванням кривої. Запропонованим шляхом була визначена гігроскопічна вологість для дробини у нашому випадку:

$$W_{ziz} = 43\% \text{ при } t = 25^{\circ}\text{C}.$$

За результатами досліджень визначена залежність W_p від φ , яка виражається рівнянням:

$$W_p = \frac{1.1 \cdot \varphi + 766}{\varphi - 125}$$

Це рівняння найбільш точно виражає залежність W_p від φ в інтервалі

$$\varphi = 10 \dots 90\%.$$

Висновки.

Отже, здійснений аналіз форм зв'язку вологи з сирою пивною дробиною по методу А. В. Ликова дозволив встановити:

- основна маса вологи в сирій дробині є вільною. Вона має слабкі зв'язки. Цю вологу доцільно і раціонально видалити простим і дешевим механічним способом.
- використання технологічного обладнання для механічного обезводнення сирі пивної дробини значно полегшує задачу створення сушильної установки для цих цілей, а також додатково сприятиме скороченню тривалості процесу висушивання дробини та витратам тепла.

4. Дослідна частина та узагальнення результатів

4.1. Експериментальна частина

Висушивання свіжої відфільтрованої пивної дробини визначається рядом чинників: температурою, відносною вологістю та швидкістю подачі сушильного агенту, питомим навантаженням сирої пивної дробини, напрямом потоку тепло агенту по відношенню до напрямку потоку руху пивної дробини. Із врахуванням вищезначеного, для вибору найбільш доцільного та раціонального режиму сушки, потрібно дослідити вплив кожного параметру, що впливає на режим сушки.

Дослідження впливу параметрів повітря на процес сушки здійснюється при постійному режимі. Отже, змінюючи якийсь із параметрів, можливо визначити його вплив на характер протікання процесу сушки.

Експериментальні дослідження впливу основних параметрів сушильного агента на сам процес висушивання пивної дробини здійснювали у багатотрубній барабанній сушарці. В якості сушильного агенту використовувалось нагріте повітря.

З метою вивчення впливу основних параметрів сушильного агента (b , V , ϕ) на процес висушивання здійснено декілька серій дослідів. У кожному з них досліджувався вплив одного з параметрів нагрітого повітря на процес висушивання. Також виявлено вплив товщини шару пивної дробини на тривалість висушивання.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удодов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чцгаєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 4. Дослідна частина та узагальнення результатів	221900.КР.32.004.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/20

Експериментальні дослідження засвідчили вплив параметрів нагрітого повітря на тривалість процесу висушівання. Значний вплив температури нагрітого повітря позначається протягом усього періоду висушівання. За результатами дослідів залежність швидкості сушки пивної дробини від температури сушильного агенту може бути виражена наступним рівнянням:

$$\frac{dW}{d\tau} = A_1 e^{-b \cdot t}$$

Значення коефіцієнтів A_1 і b відмінні для різних періодів сушки. Так, для періоду постійної швидкості: $A = 0,85$, $b = 0,016$.

Виявлено, що вплив швидкості руху теплоагенту є ефективним протягом усього періоду процесу сушки. Однак, наприкінці сушки він зменшується.

Дослідами також встановлено, що зниження відносної вологості ϕ позитивно позначається протягом усього періоду сушки.

Дослідження впливу режиму сушки на його тривалість .

Вплив температури сушильного агенту

Дослідження впливу температури сушильного агенту проводилося при постійній його швидкості - 1,3 м/сек та відносній вологості - $\phi = 7\%$ в інтервалі температур від 80°C до 180°C. Отримані криві сушіння для температур 180, 160, 140, 120, 100, 80°C представлені на рис. рис.4.3

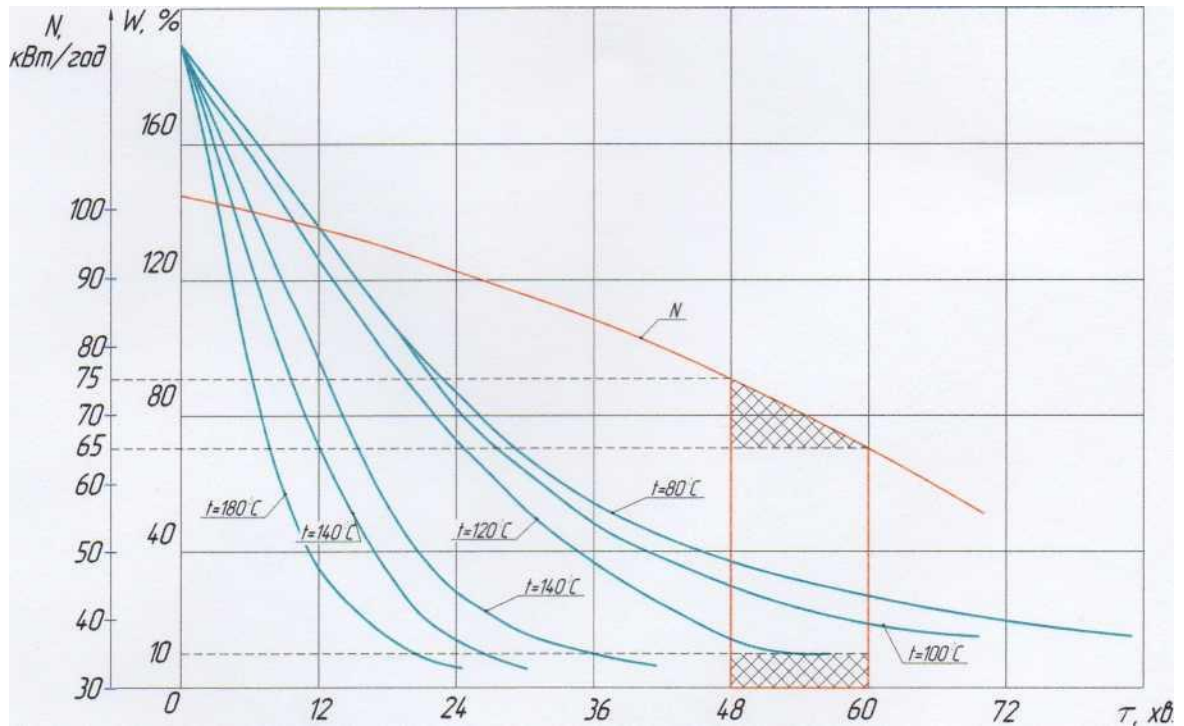


Рис.4.3. Вплив температури сушильного агенту на тривалість сушіння пивної дробини при $V_{const}=1,3\text{м/с}$, $\phi_{const}=7\%$

З графіків наочно бачимо, що із збільшенням температури сушильного агенту тривалість процесу сушки різко скорочується. Так, наприклад при температурі 100°C тривалість сушки до вологості 10% складає 72 хв, а при температурі 180°C – час скорочується до 24 хв. Отже, при збільшенні температури сушильного агенту в 1,8 раза тривалість сушки пивної дробини зменшується у 3 рази.

Отримана також крива енерговитрат. Встановлено, що оптимальною температурою сушки пивної дробини при досягненні матеріалом вологості 10% є температура $t=120^{\circ}\text{C}$. Тривалість сушки при цьому сягає 50 хв, а витрати енергії є мінімальними.

Вплив температури сушильного агенту на швидкість протікання процесу сушки можливо також прослідкувати по кривим зміни швидкості сушки, які наведені на рис.4.4.

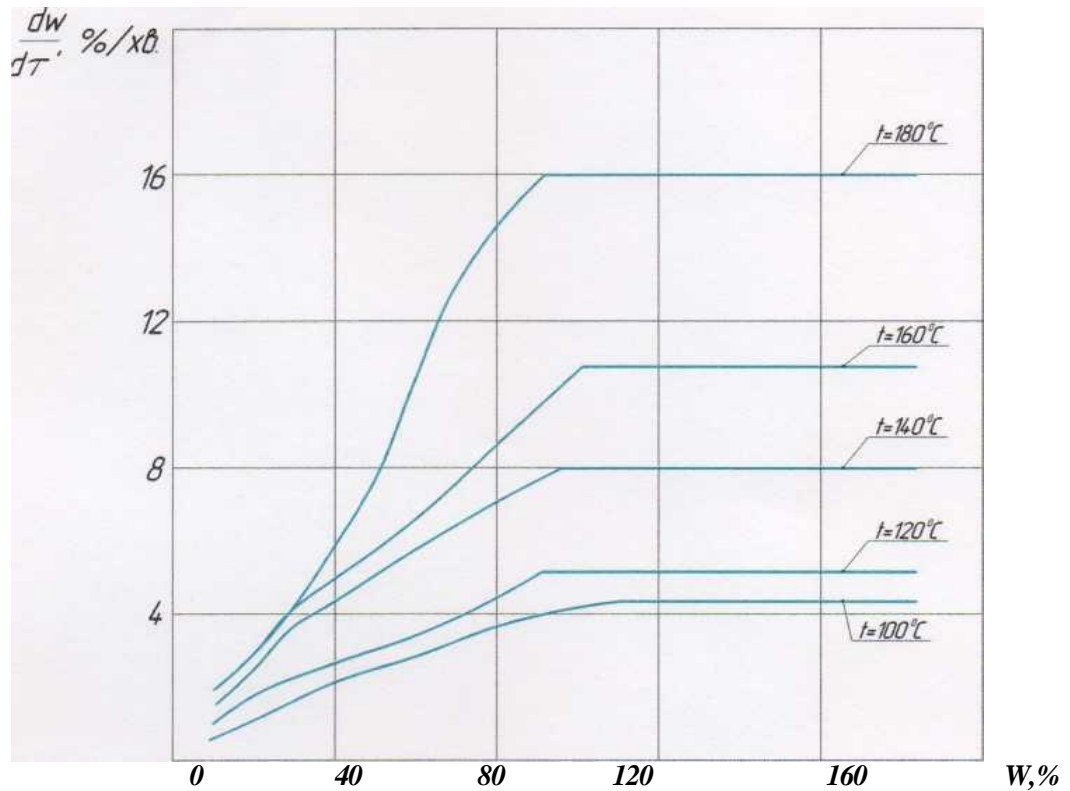


Рис.4.4. Вплив температури сушильного агенту на криві швидкості сушіння: при $V=1.3$ м/с, φ const=7%

Із отриманих експериментальних кривих зміни швидкості сушки можливо виявити, що вплив температури сушильного агенту на швидкість сушки є ефективним протягом усього періоду сушки. Як видно, у 1 періоді сушки при $t = 180^\circ\text{C}$ швидкість дорівнює 15,7 хв, а при 100°C $\frac{dW}{d\tau} = 4.3\text{хв}$.

Відношення швидкостей дорівнює $\frac{15.7}{4.3} = 3,66$.

Наприкінці 2 періоду сушки при вологості пивної дробини 10% відношення цих швидкостей дорівнює 3,5.

Встановлена також аналогічна залежність швидкості сушки пивної дробини від температури сушильного агенту, яка спостерігається і в інтервалах температур 160, 140, 120°C. Із вищевказаного випливає, що вплив

температури сушильного агенту на швидкість процесу сушки є позитивним фактором протягом усього періоду.

Дослідженнями також встановлена залежність швидкості сушки від температури сушильного агенту. Це можливо відображено як:

$$\frac{dW}{d\tau} = 0,85e^{n \cdot t}$$

A, n - коефіцієнти, значення яких визначаються для кожного етапу сушки.

Результати обробки експериментальних даних вказують, що рівняння з великою точністю відображає залежність величин, що визначені із проведених дослідів.

Так, для 1 періоду процесу висушування пивної дробини визначені коефіцієнти A і n відповідно: A=0,85, n=0,016.

Отже, залежність зміни швидкості сушки від температури сушильного агенту у першому періоді може бути представлена, як:

Температура пивної

$$\frac{dW}{d\tau} = 0,85e^{0,016 \cdot t}$$

дробини підвищується з 1 періоду сушки. Цю подію, що температура пивної дробини змінною у 1 періоді, коли швидкість сушки сталою, можна пояснити тим, що при жорсткому режимі сушки його перший період відбувається при беперервному підвищенні температури матеріалу, що висушується.

Вплив швидкості руху сушильного агенту на процес висушування пивної дробини

Вплив швидкості руху сушильного агенту на хід протікання сушки можливо наочно побачити на зміні кривих сушіння і кривих швидкості зміни сушки (рис.4.5, 4.6).

Так, бачимо, що на рис.4.5 швидкість руху сушильного агенту змінювалась від 0,96 до 1,6 м/с. При збільшенні швидкості повітря з 0,96 до 1,6 м/с тривалість сушки зменшилася з 70 хв до 30 хв при постійній температурі сушильного агенту 120°C і $\varphi = 7\%$

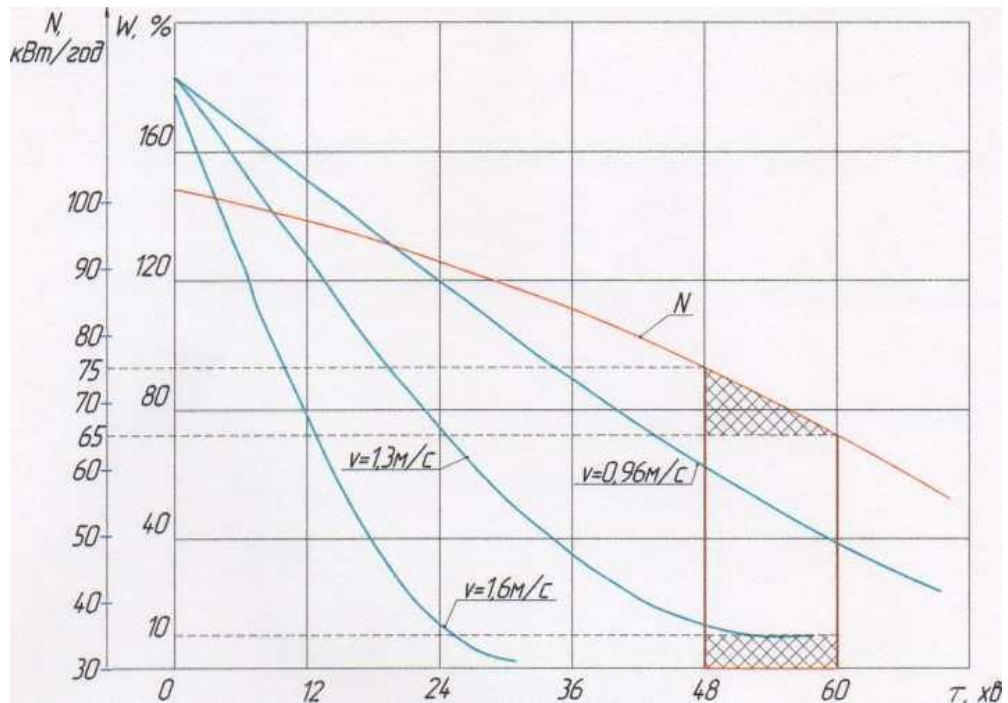


Рис.4.5. Вплив зміни швидкості руху сушильного агенту на тривалість сушки при $t_{\text{const}}=120^{\circ}\text{C}$ і $\varphi_{\text{const}}=7\%$

Із графіку наочно бачимо: найдоцільнішим режимом сушки є висушивання пивної дробини при швидкості $V=1.3$ м/с та температурі $t=120^{\circ}\text{C}$. При даних параметрах досягається висушування матеріалу до заданої вологості 10% та спостерігаються мінімальні витрати енергії. Тривалість процесу сушіння буде в межах 48 - 60 хв.

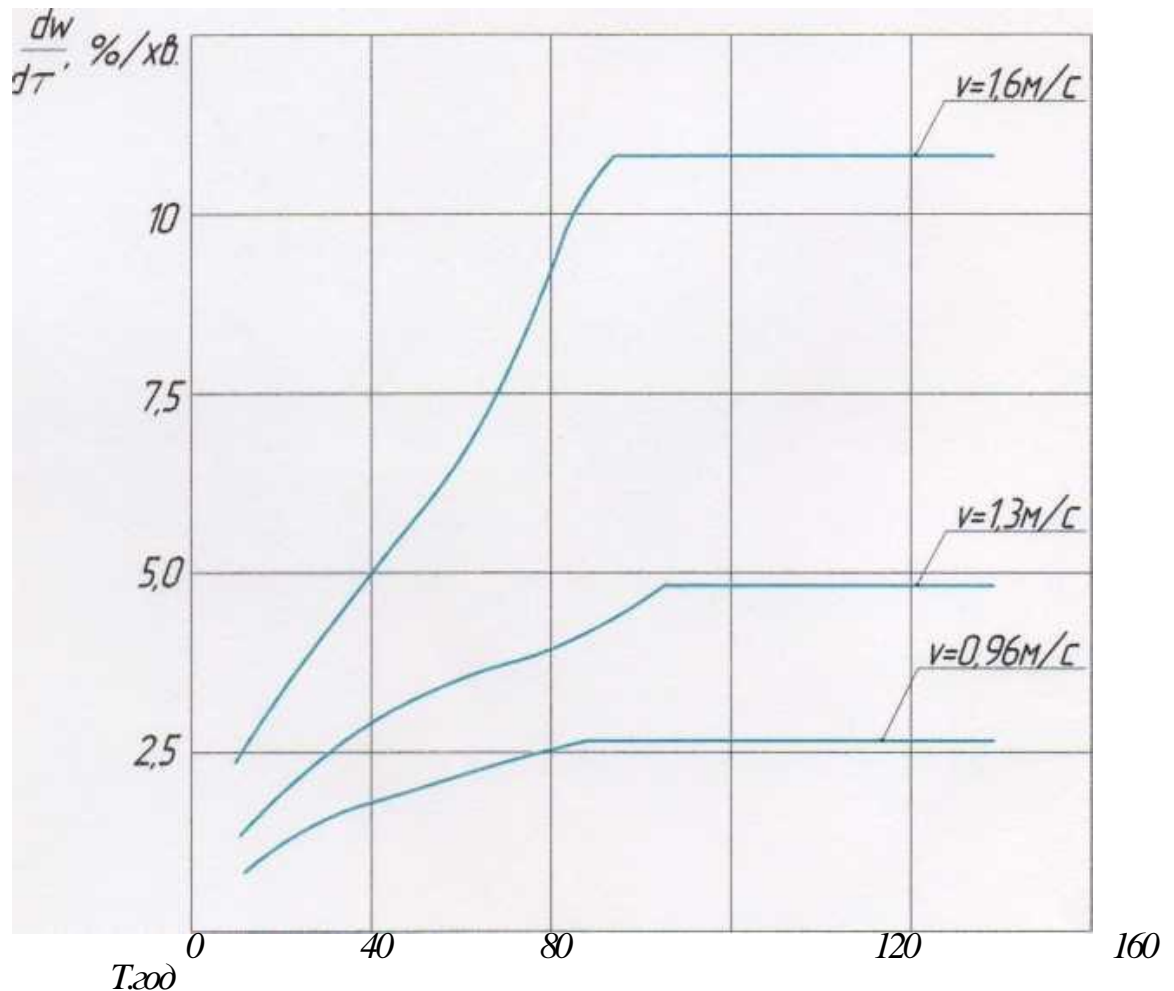


Рис.4.6. Вплив зміни швидкості руху сушильного агенту на криві швидкості сушки при $t_{const}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $\phi_{const}=7\%$

Вплив швидкості подачі сушильного агенту на інтенсивність сушіння є найбільш ефективним в першому періоді сушіння. Наприкінці сушіння вплив швидкості теплоагенту знижується. Так, в першому періоді при $v=1,6\text{ м/с}$ швидкість сушіння дорівнює $10,7\%/хв$, при $v=0,96\text{ м/с}$ $\frac{dW}{d\tau}=2.6\text{ } \%/хв$. Відношення швидкостей дорівнює $\frac{10.7}{2.6} = 4,11$

Наприкінці процесу сушіння пивної дробини при вологості 10% відношення цих швидкостей складає $3,43$. Таким чином вплив швидкості повітря на процес сушіння найбільш ефективний в першому періоді. Вкінці процесу сушіння воно дещо знижується.

По експериментальним даним залежність швидкості сушіння від швидкості руху повітря може бути виражене рівнянням:

$$\frac{dW}{d\tau} = B \cdot e^{m \cdot v},$$

де B , m - коефіцієнти, значення яких визначаються за дослідними даними для кожного періоду сушіння.

В результаті обробки дослідних даних визначені значення коефіцієнтів B і m для першого періоду сушіння: $B=0,81$, $m=2,21$.

Вплив відносної вологості сушильного агенту на процес

При проведенні дослідження впливу відносної вологості сушильного агенту на тривалість та швидкість процесу сушіння засвідчило, що зменшення відносної вологості позитивно впливає на процес висушивання. Особливо наприкінці процесу сушки пивної дробини цей вплив набуває рішучого значення.

Отримані криві сушіння та швидкості протікання процесу, що описують вплив відносної вологості, наведені на рис.4.7, 4.8. Зменшення відносної вологості сушильного агенту з 45% до 7% зменшує тривалість сушки з 70 хв до 50 хв та збільшує відповідно інтенсивність видалення вологи з матеріалу.

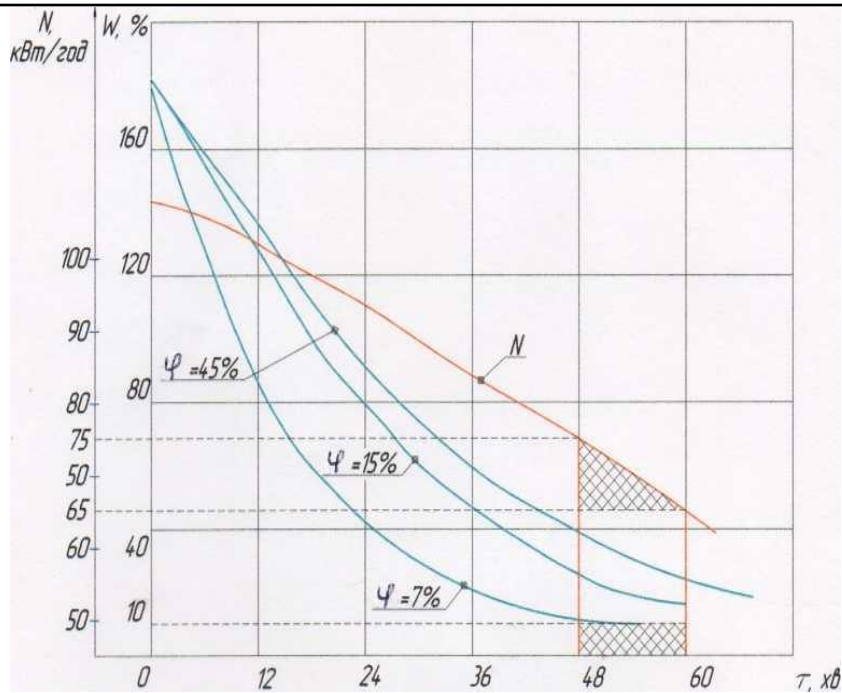


Рис. 4.7. Вплив відносної вологості сушильного агенту на тривалість процесу сушіння при $t_{\text{const}}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{const}}=1,3\text{ м/с}$.

Отже, найбільш раціональним та доцільнішим режимом сушки пивної дробини, при якому вологість матеріалу, що висушується, досягає 10% - є висушивання дробини при відносній вологості сушильного агенту $\varphi = 7\%$. Витрати енергії при цьому спостерігаються найменшими. Тривалість висушивання лежить в межах 48 - 60 хв. При цьому температура сушильного агенту сягає $t=120^{\circ}\text{C}$, а швидкість подачі сушильного агенту $V=1.3\text{ м/с}$.

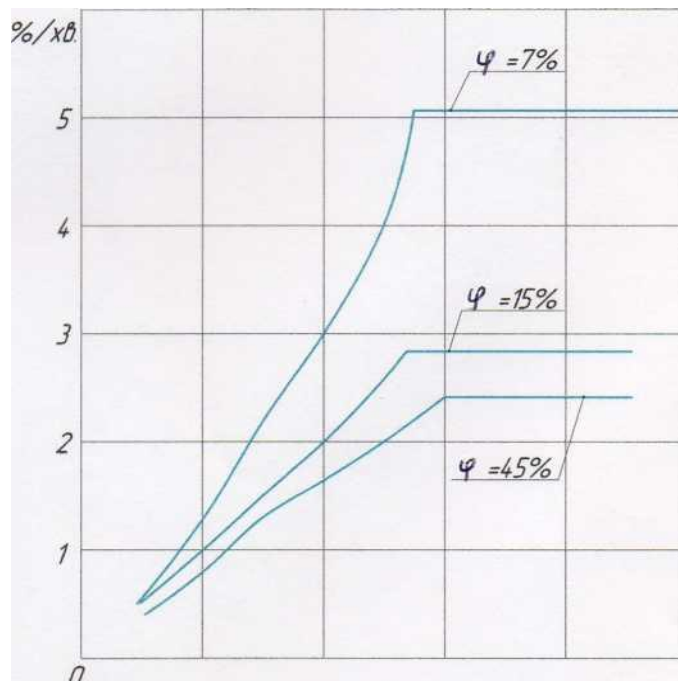


Рис. 4.8. Вплив відносної вологості сушильного агенту на криві швидкості сушки: при $t_{\text{const}}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{const}} = 1,3\text{ м/с}$.

Вплив відносної вологості сушильного агенту на інтенсивність протікання процесу сушки наочно видно на рис.4.8. Зменшення відносної вологості повітря із 45% до 7% прискорює процес видалення вологи з матеріалу. Так, при відносній вологості сушильного агенту $\varphi = 7\%$ видаляється 5,2 %/хв вологи, а при $\varphi = 45\%$ - 2.4 %/хв.

Отже, як встановлено, швидкість сушіння пивної дробини при продуванні сушильного агенту крізь шар дробини залежить від параметрів, які визначають зовнішній тепло- і масообмін.

Значний вплив на швидкість висушівання надає також маса завантаженої дробини. Вплив кількості пивної дробини, що завантажена, на тривалість протікання процесу висушівання представлено на рис.4.9.

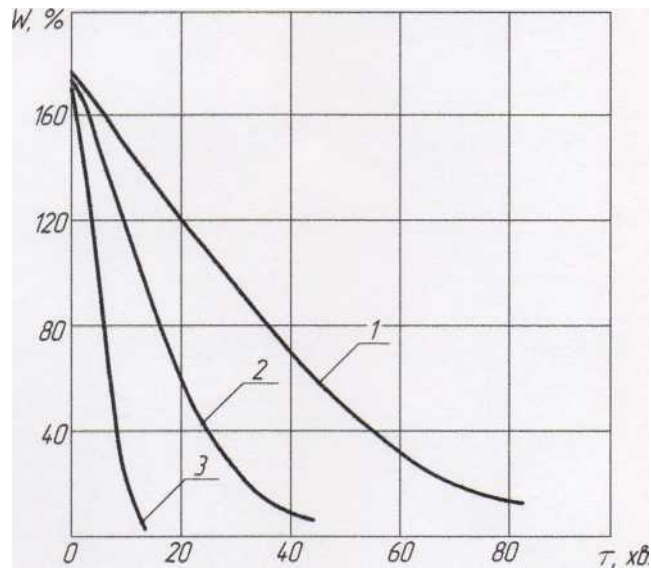


Рис.4.9. Вплив товщини шару пивної дробини на тривалість висушивання: при $t=120^{\circ}\text{C}$, $v=0,96$ м/с, $\varphi = 7\%$,
 $1-h=60\%$, $2-h=40\%$, $3-h=20\%$.

При зменшенні кількості дробини пивної, що завантажена, із 8838кг до 2946кг (при $t=120^{\circ}\text{C}$, $v=0,95$ м/с, $\varphi = 7\%$) тривалість процесу висушивання зменшилася з 80 хв до 10 хв.

Отже, таким чином, доцільно при висушиванні пивної дробини забезпечити таку її кількість, щоб забезпечилися найкращі умови вологообміну. Окрім того, при зменшенні кількості дробини що завантажується, зменшується опір шару дробини. Як наслідок - покращується процес сушки.

Визначення коефіцієнтів перенесення вологи пивною дробиною

Основними коефіцієнтами перенесення вологи при висушиванні пивної дробини є термоградієнтний коефіцієнт δ та коефіцієнт потенціалопровідності a' . З метою розрахунку вологообміну в процесі сушки, а також для визначення критичної вологості необхідно визначити залежність коефіцієнта a' від вологості.

При висушиванні пивної дробини нагрітим атмосферним повітрям у 200°C , всередині матеріалу, що висушується може виникати градієнт температур. Його наявність призводить до переміщення вологи у напрямку потоку тепла. Переміщення вологи у цьому випадку всередині матеріалу

обумовлено вологопровідністю та термовологопровідністю. Для визначення коефіцієнта потенціалопровідності необхідно визначити значення термоградієнтного коефіцієнта і його залежності від вологості.

Визначення коефіцієнта δ експериментальним шляхом можливо бути здійснено методом стаціонарного, або нестаціонарного потоку тепла. В основу здійснених нами досліджень був узятий метод стаціонарного потоку тепла, як найпростіший, що надає надійні результати.

Із диференціального рівняння перенесення вологи в умовах стаціонарності $\left| \frac{du}{d\tau} = 0 \right|$ можна записати:

$$\frac{du}{dx} = -\delta \frac{dt}{dx},$$

$$\delta = \frac{du/dx}{dt/dx}.$$

звідкіля:

При незначній різниці температури повздовж осі зразка, що досліджується, коефіцієнт δ залишається величиною постійною і визначається відношенням:

$$\delta = -\frac{\Delta u}{\Delta t}.$$

Визначення коефіцієнта δ експериментальним шляхом здійснювалося лоя на лабораторній установці. Остання складається з двох термостатів (гарячого і холодного). Досліди здійснювалися при температурі гарячого термостата $+60^{\circ}\text{C}$, а холодного $+5^{\circ}\text{C}$. При цьому, циліндр діаметром 30 мм та , завдовжки 60 мм з навішуванням пивної дробини розташовувався між термостатами. Пивна дробина

бралася із різною початковою вологістю - від 10 до 200%. Вага абсолютно сухого матеріалу підтримувалася протягом усіх дослідів постійною. Температура по довжині зразка вимірювалася термопарами, що розташовувалися на відстані 12 мм один від одного по осі циліндра.

Стаціонарний розподіл температури досягався протягом 8—10 годин, а поля вологості - 36-48 годин. Для визначення поля вологості зразок пивної дробини розрізали на п'ять рівних частин. Вологість кожної частини матеріалу визначалася шляхом його висушування.

Дослідні дані по розподілу температури та вологості по довжині зразка були представлені рівнянням вигляду:

$$t = t_0 - Ax$$

$$u = u_0 + Bx$$

Термоградієнтний коефіцієнт визначався по відношенню:

$$\delta = -\frac{B}{A}.$$

У результаті обробки експериментальних даних була отримана залежність коефіцієнта δ від середнього вологовмісту (рис. 4.10).

Із графіка наочно бачимо, що термоградієнтний коефіцієнт в процесі сушки суттєво змінюється. Так, крива в залежності від вологості має максимум, який відповідає значенню коефіцієнта δ рівному 3,45%/°C.

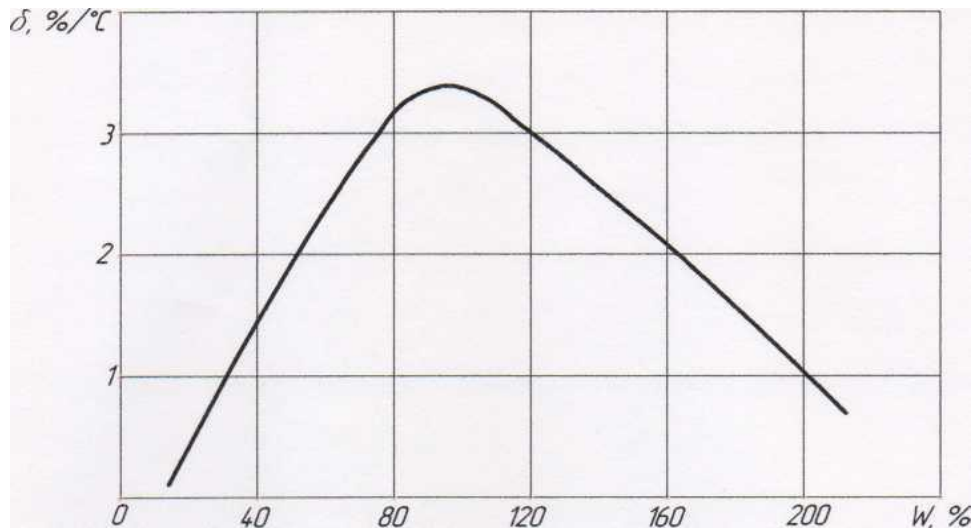


Рис.4.10. Залежність коефіцієнта δ від середнього вологовмісту

Досліди показали, що із зменшенням вологості дробини від 200% до 94% термоградієнтний коефіцієнт зростає до максимального значення $\delta = 3,45\%/^{\circ}\text{C}$. після цього із зменшенням вологості коефіцієнт δ зменшується до $0,33\%/^{\circ}\text{C}$ при вологості 23,4%.

Виявлені характерні залежності коефіцієнта δ від вологості пивної дробини можливо пояснити наступним чином. Отже, зростання термоградієнтного коефіцієнта до екстримального значення ($3,45\%/^{\circ}\text{C}$) при збільшенні вологості обумовлюється переміщенням вологи у вигляді пари (адсорбційно пов'язана волога) та у вигляді пари і рідини (капілярна волога набухання).

Зменшення δ після екстримального значення можна пояснити тим, що із збільшенням вологості пивної дробини її пори насичуються вологою, а кількість стиснутого /зажатого/ сушильного агенту зменшується. Це і призводить до зменшення термоградієнтного коефіцієнта.

Кількісна залежність термоградієнтного коефіцієнта для цього випадку виражається:

$$\delta = \frac{3 \cdot (U_{\max} - U) \cdot T_k}{2 \cdot (T_k - T_0) \cdot T_0},$$

де U - вологість матеріалу,

U_{\max} - максимальна вологість матеріалу,

T_k - критична температура води.

Із наведеного рівняння наочно бачимо, що із збільшенням вологості коефіцієнт δ зменшується.

Проведені дослідження виявили, що термоградієнтний коефіцієнт для пивної дробини має значну величину (3,45%/°C). Тому, для запобігання гальмуючої дії термовологопровідності необхідно дробину рівномірно прогріти перед її подачею до сушарки. З цією метою доречно зберегти температуру гарячої пивної дробини, що надходить після фільтраційного апарату та бажано не допускати її охолодження в процесі механічного обезводнення.

Визначення коефіцієнту потенціалопровідності a' здійснювали методом, що заснован на використанні даних, отриманих безпосередньо в процесі сушки (по кривих розподілу вологості і температури).

Для розрахунку коефіцієнта a' використовується рівняння:

$$a' = \frac{q'}{\gamma_0 \left(\frac{du}{dx} \pm \delta \frac{dt}{dx} \right)}$$

Як бачимо із рівняння для розрахунку коефіцієнта необхідно з дослідів визначити значення:

$$q' = \frac{du}{dx},$$

В результаті досліджень була визначена залежність коефіцієнта a' від вологості пивної дробини (рис. 4.11). По отриманих значеннях коефіцієнта розрахована критична вологість для пивної дробини $W_k = 72\%$.

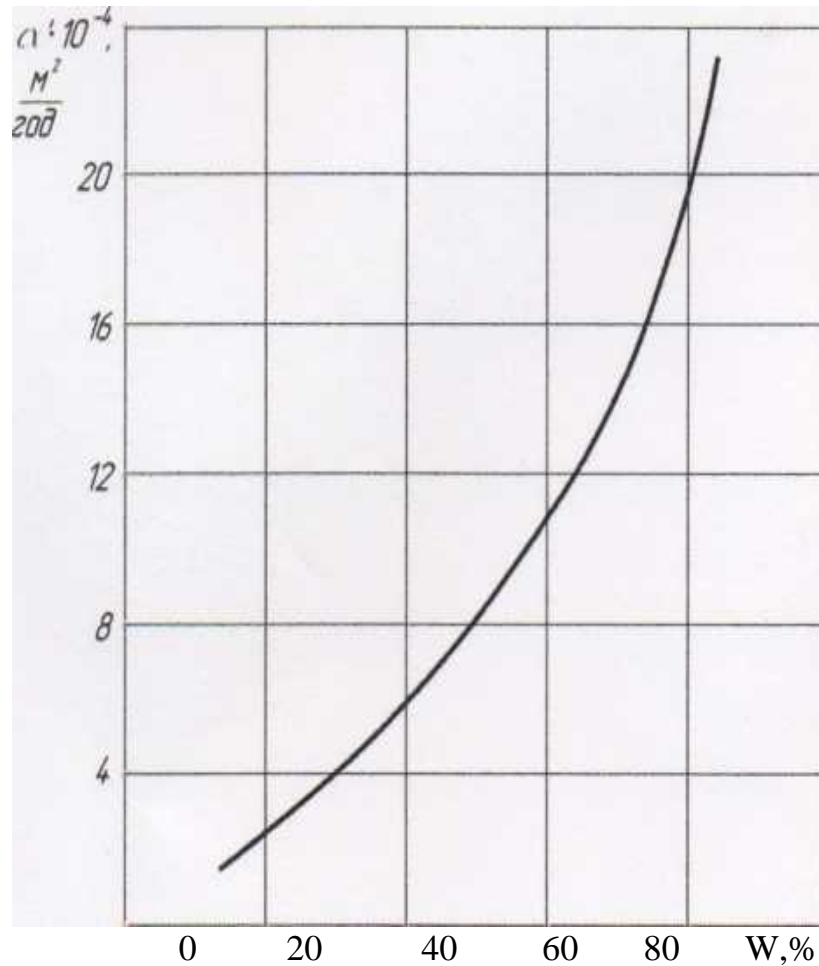


Рис.4.11. Залежність коефіцієнта a' від вологості пивної дробини

Із графіку наочно бачимо, що по мірі зменшення вологості дробини, коефіцієнт a' зменшується. Це характерно для переміщення капілярної вологи у пивній дробині у вигляді пари. Такий характер переміщення вологи характеризується збільшенням опору переміщення за рахунок заглиблення поверхні випаровування в процесі сушки матеріалу. При цьому

волога від зони випаровування до поверхні тіла рухається не в рідкому стані, а в пароподібному.

Вибір найбільш доцільного та раціонального режиму сушки пивної дробин

В результаті застосування теорії тепло- і масообміну до механізму процесу висушивання пивної дробини, отримані результати дозволили найбільш раціонально та доцільно підійти до вибору режиму сушки та типу конструкцій сушильної установки. Загально відомо, що одним з найефективніших способів сушки дрібнозернистих матеріалів є сушка шляхом продуванням сушильним агентом крізь шар матеріалу. Проведеними дослідженнями форм зв'язків вологи виявлено, що більша частина вологи у пивній дробині є вільною. Отже її доцільно видалити спочатку механічним способом, як найпростішим та дешевим.

Механічним обезводненням видаляється значна частина вологи з пивної дробини.

При віджиму 100 кг вологої пивної дробини до вологості 67% видаляється вологи:

$$W_1 = 100 \frac{80 - 67}{100 - 67} = 40 \text{ кг}$$

На сушку після віджиму надходить: $100 - 40 = 60$ кг

В процесі висушивання вологість пивної дробини знижується до 10%. При цьому випаровується вологи:

$$W_2 = 60 \frac{67 - 10}{100 - 10} = 38 \text{ кг}$$

Отже, при віджиму пивної дробини видаляється більше половини усієї кількості вологи.

В якості сушильного агенту для висушивання пивної дробини доцільно використовувати гостру пару з температурою 160 °С, або нагріте повітря до температури 120 °С.

Висновки.

В результаті здійснених експериментальних та теоретичних досліджень можливо зробити наступні рекомендації по вибору найбільш доцільного та раціонального раціонального способу отримання сухої дробини:

Обезводнення дробини пропонується здійснювати у дві стадії:

1. зневоднення механічним способом за допомоги шнекового преса від початкової вологості - 80% до вологості 67%;

2. сушку пивної дробини проводити від початкової вологості 67% до вологості 10-12% сушильним агентом – нагрітим повітрям з температурою до 160 °С.

3. сушку пивної дробини необхідно проводити шляхом продування нагрітим повітрям крізь шар матеріалу. При зменшенні кількості продукту, що завантажується в сушильний апарат - тривалість сушки суттєво скорочується.

4. конструкція установки для висушивання пивної дробини повинна забезпечувати протитечію руху нагрітого повітря і дробини.

5. конструкції віджимних пресів та сушильної установки повинні забезпечувати безперервність вищезначених процесів.

сира пивна дробина після обезводнення на пресах має вологість 67% (на загальну вагу). За геометричними розміром часток пивна дробина є дрібнозернистим матеріалом. При вологості 67% дробина здатна до злипання. З метою уникнення цього явища доречно передбачити в конструкції сушильної установки пристрій для перемішування шару дробини.

Отже, проведені дослідження процесу висушивання пивної дробини з метою розробки найбільш доцільного та раціонального способу отримання сухої дробини.

Досліджені та вивчені форми зв'язку вологи з дробиною та встановлено:

а) дробина є капілярно-пористою колоїдною речовиною з великим вмістом

вільної вологи;

б) визначені та побудовані ізотерми десорбції для пивної дробини при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$;

в) визначена гігроскопічна вологість дробини $W_{giz} = 43\%$ при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Здійснені дослідження по сушці пивної дробини, які дозволили визначити вплив основних параметрів сушильного агента на тривалість протікання процесу сушки.

Моделювання за допомогою програми Flow Vision

Програмою Flow Vision було промодельовано процес сушіння пивної дробини в багатотрубній барабанній сушарці. Було досліджено швидкість проходження продукту в апараті та температуру всередині апарату.

Під час моделювання процесу сушіння в багатотрубній барабанній сушарці в програмі Flow Vision основними параметрами для дослідження були швидкість поступання пивної дробини в апарат, температура продукту і температура теплового агента.

Як вже відомо, важливу роль в процесі сушіння відіграє швидкість подачі продукту в апарат. Якщо швидкість занадто висока, то відбувається нерівномірне прогрівання продукту на першій стадії сушіння, що в другому періоді сушіння не дає бажаного результату, тобто дробина отримується з більш високою вологістю, ніж потрібно. Якщо швидкість подачі замала, то виникає небезпека затління продукту в апараті, що може спричинити вибух.

Не менш важливу роль має температура теплового і сушильного агента. Якщо їхня температура буде занадто високою, то виникає небезпека загорання матеріалу всередині апарату. Максимально допустима температура теплового агента при сушінні сягає 180°C. При низькій температурі будуть спостерігатися великі енергозатрати та збільшується тривалість процесу.

Тому, є дуже важливим правильно підібрати швидкість подачі дробини в апарат та температуру гріючого і сушильного агента для ефективної роботи сушарки.

Як видно з досліджень зміни температури в апараті, спочатку в першій частині апарату відбувається нагрівання продукту до температури 104°C. Далі продукт поступово переміщується в іншу частину апарату і по мірі переміщення він нагрівається до температури 120°C і висушується (рис. 4.12).

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удадов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чугаєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 4.2 Моделювання за допомогою програми Flow Vision	221900.KP.32.004.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/4

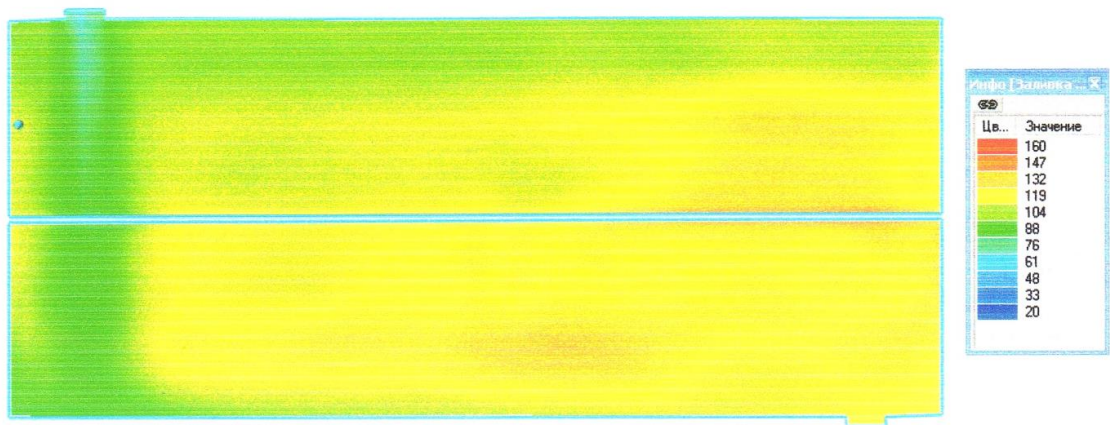


Рис. 4.12. Поле значень коливання температури

Найбільш гаряча зона знаходиться в пристінній зоні гріючих трубок, правій частині апарату та в центральній нижній зоні (рис. 4.13).

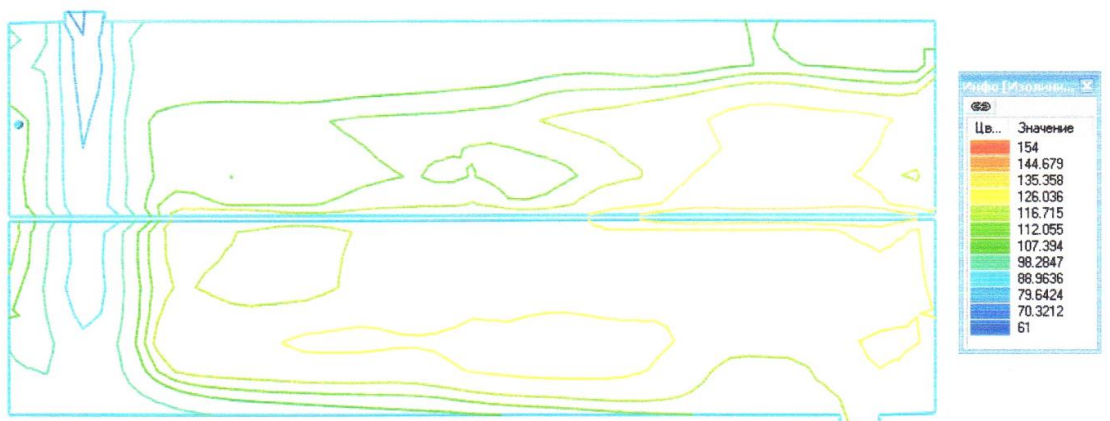


Рис. 4.13. Епюри коливань температури

Із графіка зміни температури (рис.4.14) можна побачити, що на вході

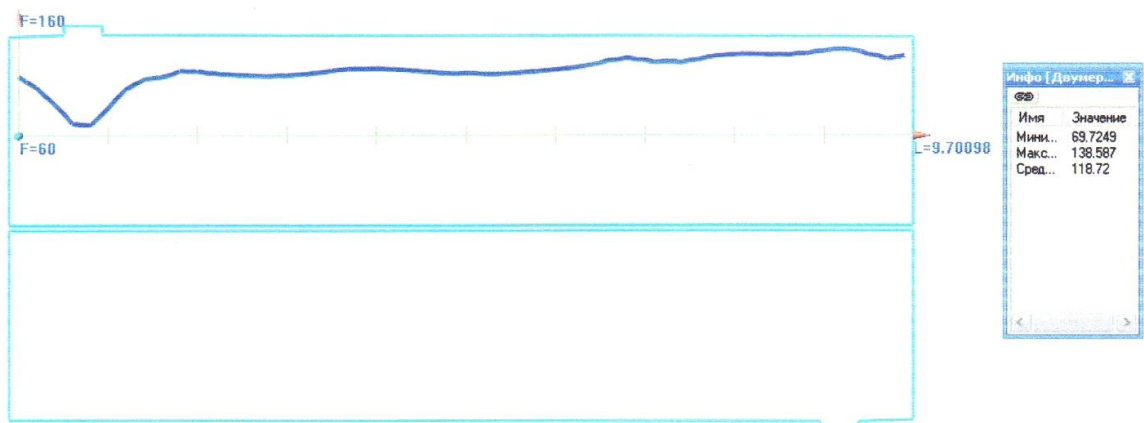


Рис.4.14. Графік зміни температур

в апарат температура є найменшою і сягає 60°C , далі вона поступово підвищується і на виході з апарату становить 95°C .

Дослідження зміни швидкості показують, що максимальна швидкість дробини є на вході в апарат, потім вона поступово зменшується і всередині розподіляється рівномірно. Ближче до розвантажувального патрубку швидкість дробини знову починає зростати і різко збільшується при вході в розвантажувальну шахту (рис.4.15).

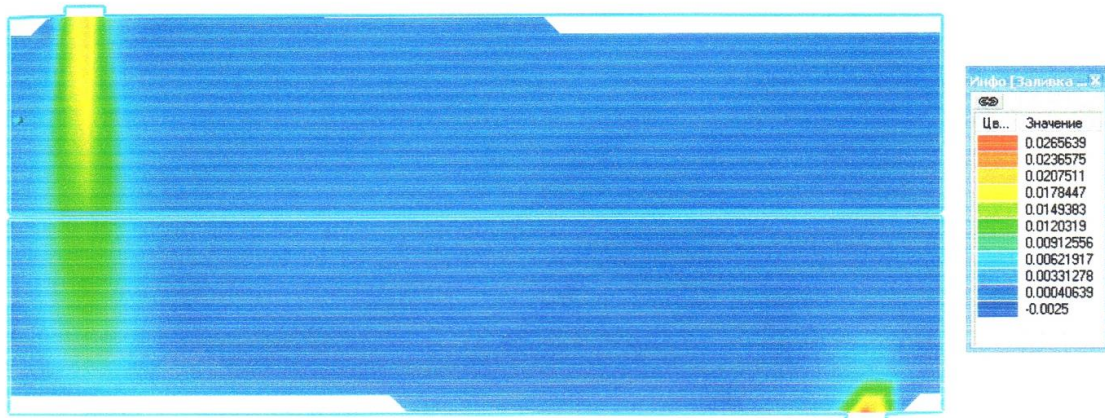


Рис. 4.15. Поле значень зміни швидкості

Більш чітко зони розподілу швидкостей показані на рис. 4.16.

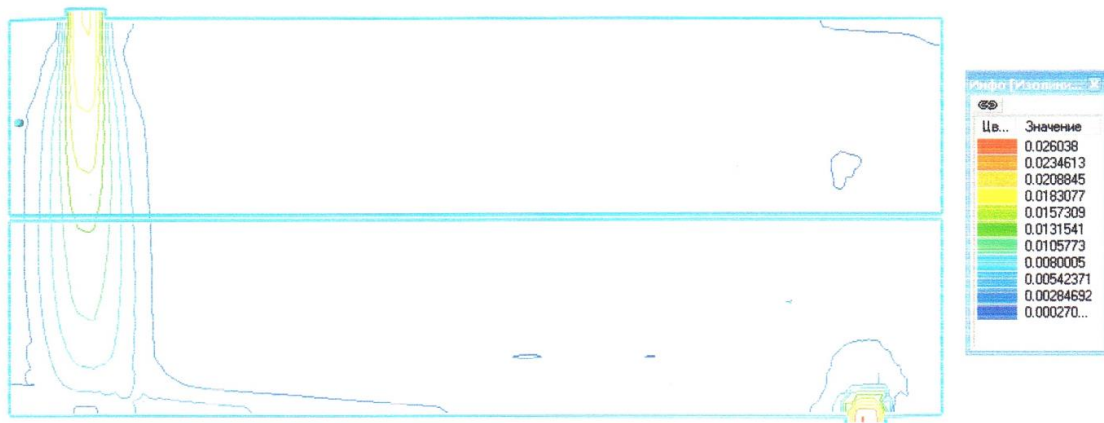


Рис. 4.16. Епюри зміни швидкостей

Як видно з графіка зміни швидкості максимальна швидкість буде на вході дробини в апарат і сягає $0,022$ м/с, далі швидкість продукту стає рівномірною.

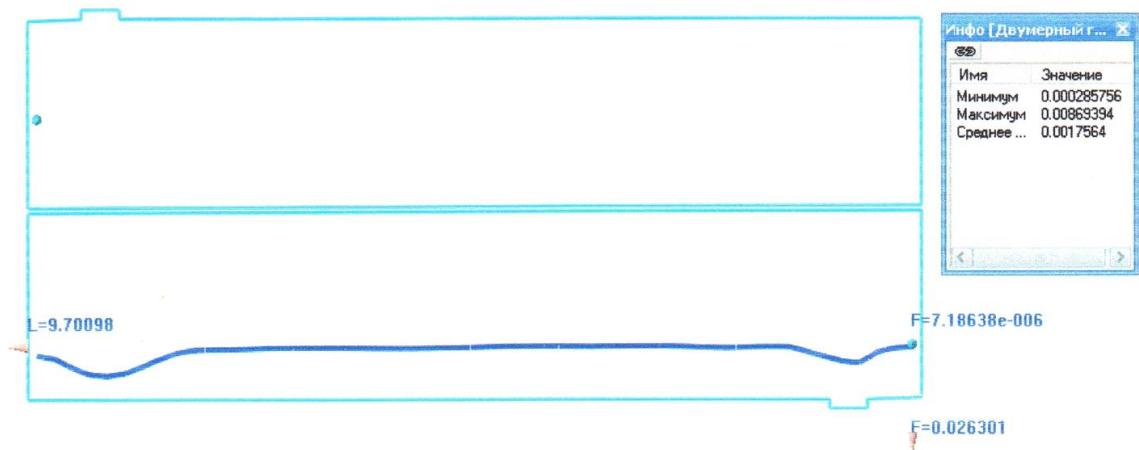


Рис. 4.17. Графік зміни швидкості

На виході з апарату швидкість продукту знову починає зростати, так як зменшується діаметр отвору, по якому проходить дробина.

5. ОПИС АПАРАТУРНО - ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПЕРЕРОБКИ ПІВНОЇ ДРОБИНИ

Пивна солодова дробина – є продуктом, що утворюється в процесі фільтрації пивного затору після відділення рідкої фази - пивного сусла.

Наприкінці технологічної стадії приготування пивного затору утворюється затір, який складається із суміші нерозчинених та розчинених іу воді речовин.

Розчин екстрактивних речовин у воді називають пивним суслom. Нерозчинена тверда фаза - пивна солодова дробина. Пивна солодова дробина складається в основному із м'якинної оболонки зерна, зародку та інших речовин, що не є розчиненими у воді.

В технології пивоваріння використовують тільки рідку фазу – пивне сусло. Воно повинно бути відокремлено від густої частини – пивної дробини. Даний процес розділення фаз у пивоварінні іменують фільтруванням пивного затору.

Фільтрація пивного затору є технологічним процесом, у якому густа фаза – пивна дробина виконує функцію фільтруючого матеріалу. Процес фільтрування пивного затору відбувається у дві окремі фази, які проходять одна за одною:

- спочатку відбувається збір першого відфільтрованого пивного сусла;
- після чого - вилуговування пивної дробини шляхом вимивання з останньої затриманих у ній екстрактивних речовин (так звані - промивни води).

Подальше використання пивної дробини у свіжому вигляді пов'язане з певними труднощами. Сира пивна дробина, по-перше, дуже швидко псується – вона закисає та пліснявіє (термін зберігання такої дробини не

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удодов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чугаєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 5. Опис апаратурно-технологічної схеми переробки пивної дробини		221900.KP.32.005.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/4

перевищує 24 год). По-друге, подальше транспортування сирії пивної дробини до місця його споживання коштовне та вимагає певних труднощів.

З метою усунення вищезначених проблем, а також підвищення стійкості при транспортуванні та зберіганні пивної дробини запропонован спосіб висушивання пивної дробини з подальшим її гранулюванням для надання біологічної цінності цьому продукту.

До висушивання пивної дробини її пропонується відпресувати на дискових пресах, знизив її вологість орієнтовно до 67 %. Далі пивну солодову дробину підвержують сушці та гранулюванню.

У відповідності з технологічною інструкцією процес віджиму, сушку та грануляцію вологої пивної дробини здійснюють з урахуванням специфічних умов та обладнання, що використовується для цих цілей.

Солодову пивну дробину / див. рис.5.1/ із вологістю порядку 80% із варильного відділення через 4 клапани 2, що перемикаються, подають пневматичними конвеєрними трубопроводами у дві ємкості 20, 29:

-із ємкості 20, вологу пивну дробину за допомоги шнека 4 безпосередньо відвантажують на автотранспорт;

-із ємкості 29, волога пивна дробина самопливом надходить на два гвинтові преса 3. Тут відбувається віджим пивної дробини до вологості 67%.

Кожен з гвинтових пресів здатний віджати від 11200 до 14600 кг/год пивної дробини з вологості 78-80% до 67%, залежності від заданих параметрів гранульованої дробини (суха пивна дробина стандарт, або суха пивна дробина збагачена). Відпресована вода - 5,745 кг/год при віджиму скидається у каналізацію.

Дробину після віджиму можливо подати:

- у третю ємкість за допомоги шнека та норії 1, звідкіля уже шнеком з бункера пивна дробини вивантажується на автотранспорт;
- на багатотрубну сушарку.

За рецептурою до віджатої сухої пивної збагаченої додають автолізовані дріжджі вологістю 80%. Автоліз дріжджів - це їх термічна обробка. Останній здійснюють за допомоги теплообмінника 25. Продукт нагрівають до температури 85°C. Дріжджі автолізовані збирають у ємкість 7, звідкіля їх передають на змішувач із подвійним валом 6.

Пивна солодова дробина змішана із дріжджами шнековим конвейєром направляється у попередньо розігріту сушильну установку 8. По ходу переміщення до розвантажувального пристрою, дробина висушується. Кількісно вологи на виході орієнтовно 10%. Волога, що випарена у сушильній установці, через фільтр 24 вентилятором 10 викидається у навколишнє середовище. Сушильним агентом для сушарки є гострий пар тиском 0,8 МПа. Висушену пивну дробину вологістю 10% та температурою 82°C за допомоги пневмотранспорту передаю у силос 26. Відпрацьоване повітря очищують на фільтрі 15 і викидають у атмосферу. Частка пивної дробини, що вивантажена із сушарки, направляється до системи механічної рециркуляції. Остання складається із: горизонтального та вертикальний шнеку 11, і далі, через з'єднувальний жолоб направляється у змішувач 6.

Із силосу 26, висушений продукт самопливом потрапляє у кондиціонуючі та живильні шнеки 12. Тут відбувається зрошування водою та подається на гранулятори 13, де продукт пресується до гранул діаметром 8 мм. Завдяки дії високого тиску продукт у гранулах нагрівається до температури 78 - 85°C. Далі, продукт повітрям охолоджується до температури 35°C. Після охолоджувача 22 гранули направляють у силос 30 шнеками 17 на елеватор для зберігання. Відпрацьоване охолоджуюче повітря очищують на фільтрі та видаляють вентилятором 14у атмосферу. Із силосу зберігання пивна дробина, ланцюговим конвейєром 19 гранули відвантажують у залізничні вагони

або на автотранспорт.

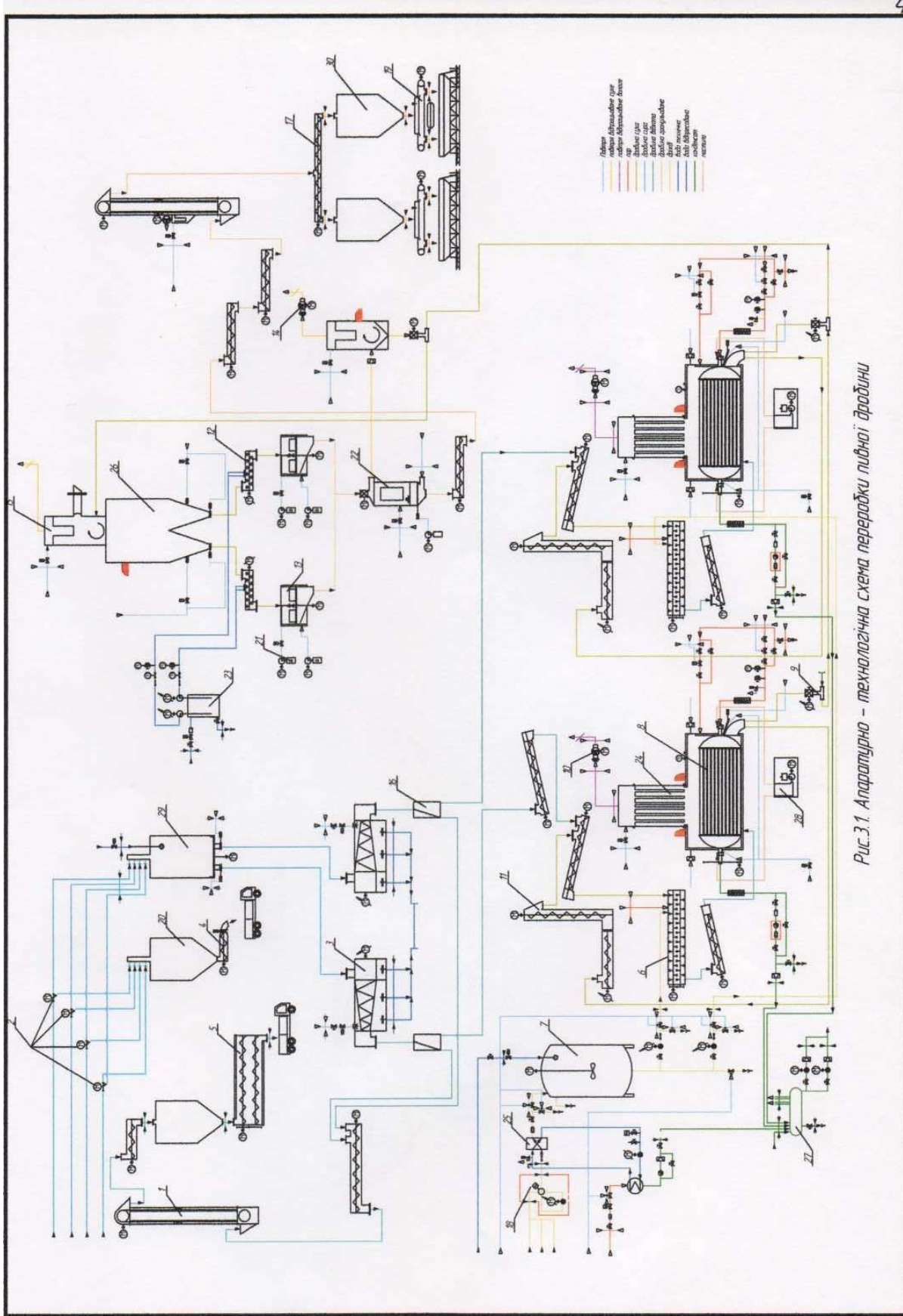


Рис.3.1. Апаратурно – технологічна схема перегонки пивної дробини

Опис апаратурно-технологічної схеми					Арк. 4
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Дана установка, що розраховується пропонується для встановлення на пивзаводі «Оболонь». Всі приведені дані для розрахунку взято згідно з параметрами, що використовуються на заводі і є оптимальними для даного процесу сушіння. Розрахунок ведеться при максимальній продуктивності сушарки.

Дані для розрахунку:

1. Вологість сирі дробини після фільтрації $W_0 = 80 \%$.
2. Вологість відпресованої дробини $W_1 = 67 \%$.
3. Вологість дробини після сушіння $W_2 = 10 \%$.
4. Продуктивність сушарки по висушеному матеріалу $G=3240$ кг/год.

6.1. Розрахунок технологічних параметрів сушарки

6.1.1. Матеріальний баланс сушарки

Продуктивність сушильної установки і кількість видаленої вологи визначають з рівняння матеріального балансу і сухих речовин [5].

$$\frac{G_1(100 - W_1)}{100} = \frac{G_2(100 - W_2)}{100} \quad (6.1)$$

Продуктивність сушильної установки по сирому матеріалу:

$$G_1 = G_2 \cdot \frac{100 - W_2}{100 - W_1} = 3240 \cdot \frac{100 - 10}{100 - 67} = 8838 \text{ кг / год}, \quad (6.2)$$

де G_2 - продуктивність сушильної установки по висушеному матеріалу.

Кількість вологи, яка видаляється під час висушування

$$W = G_1 - G_2 = 8838 - 3240 = 5598 \text{ кг / год} \quad (6.3)$$

Визначимо кількість випареної вологи на сушці на вагу сухої дробини

$$W_{c.c.} = \frac{W}{G_2} \cdot 100\% = \frac{5598}{3240} \cdot 100\% = 172\% \quad (6.4)$$

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Удадов С.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Чугаєвський В.О.	Назва, додаткова назва 6. Розрахункова	221900.KP.32.006.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.	частина	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/26

Складемо матеріальний баланс за абсолютно сухим матеріалом:

$$\frac{G1 \cdot (100 - W1)}{100} = \frac{G2 \cdot (100 - W2)}{100} = \frac{8838 \cdot (100 - 67)}{100} = \frac{3240 \cdot (100 - 10)}{100} = 2916 \text{ кг / год} \quad (6.5)$$

6.2. Тепловий розрахунок апарату

1. Середня різниця температур теплоносія і продукту:

а) більша різниця температур

$$\Delta t_6 = t_n - t_1 = 160 - 60 = 100 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (6.6)$$

де t_n – температура теплоносія (пари),

t_1 – температура продукту на вході в апарат;

б) менша різниця температур

$$\Delta t_m = t_n - t_2 = 160 - 95 = 65 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (6.7)$$

де t_2 – температура продукту на виході з апарату;

Δt_6 , Δt_m – різниця температур між гарячим теплоносієм і продуктом на кінцях апарату.

Так як $\Delta t_6 / \Delta t_m = 1,5 \leq 2$, то

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 + \Delta t_m}{2} = \frac{100 + 65}{2} = 82,5 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (6.8)$$

2. Середня температура продукту:

$$t_{cp} = t_n - \Delta t_{cp} = 160 - 82,5 = 77,5 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (6.9)$$

3. Різниця температур теплоносія і стінки:

$$\Delta t_1 = 0,6 \cdot \Delta t_{cp} = 0,6 \cdot 82,5 = 49,5 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (6.10)$$

4. Різниця температур стінки і продукту:

$$\Delta t_2 = (1 - 0,6 - 0,06) \cdot 82,5 = 28,05 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (6.11)$$

5. Температура стінки зі сторони теплоносія:

$$t_{ст1} = t_n - \Delta t_1 = 160 - 49,5 = 110,5 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (6.12)$$

6. Температура стінки зі сторони продукту:

$$t_{ст2} = t_{cp} + \Delta t_2 = 77,5 + 28,05 = 105,55 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (6.13)$$

7. Температура плівки конденсату теплоносія:

$$t_{пл} = 0,5 \cdot (t_n + \Delta t_{ст1}) = 0,5 \cdot (160 + 110,5) = 135,25 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (6.14)$$

Визначення вологовмісту і ентальпії свіжого і відпрацьованого повітря ведеться за наступними формулами:

Вологовміст свіжого повітря:

$$d = 0,622 \cdot 1000 \frac{\varphi P_H}{B - \varphi P_H} \quad (6.15)$$

де, 0,622 – відношення мольних мас водяної пари і повітря; P_H – тиск насиченої водяної пари при даній температурі повітря; B – барометричний тиск повітря; φ – відносна вологість повітря.

$$d_1 = 0,622 \cdot 1000 \cdot \frac{0,07 \cdot 2,34 \cdot 10^3}{99,1 \cdot 10^3 - 0,07 \cdot 2,34 \cdot 10^3} = 8,9 \text{ г/кг}$$

$$d_2 = 0,622 \cdot 1000 \cdot \frac{0,07 \cdot 84,5 \cdot 10^3}{99,1 \cdot 10^3 - 0,07 \cdot 84,5 \cdot 10^3} = 651,5 \text{ г/кг}$$

Ентальпія вологого повітря визначається як сума ентальпій сухого повітря і водяної пари, яка приходиться на 1 кг сухого повітря:

$$I = C_{c.n.} \cdot t + \frac{d}{1000} \cdot i_n \quad (6.16)$$

де, $C_{c.n.}$ – середня питома теплоємність сухого повітря, при $t \leq 200$ °С, $C_{c.n.} = 1,004$ кДж/(кгК); t – температура вологого повітря, °С; d – питомий вологовміст повітря, г/кг;

Питома ентальпія перегрітої пари:

$$i_n = r_0 + c_n \cdot t \quad (6.17)$$

де, r_0 – питома теплота перетворення води; при 0°С $r_0 = 2500$ кДж/кг; c_n – середня питома теплоємність водяної пари; $c_n = 1,842$ кДж/(кгК)

$$I_1 = 1,004 \cdot 20 + \frac{8,9}{1000} \cdot (2500 + 1,842 \cdot 20) = 42,6 \text{ кДж/кг}$$

$$I_2 = 1,004 \cdot 120 + \frac{651,5}{1000} \cdot (2500 + 1,842 \cdot 120) = 1904 \text{ кДж/кг}$$

Питомі витрати абсолютно сухого повітря, які затрачені на випаровування 1 кг вологи, розраховується по наступній формулі:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1000}{d_2 - d_1} = \frac{1000}{651,5 - 8,9} = 1,56 \frac{\text{кг}}{\text{кг вологи}} \quad (6.18)$$

Визначення витрат абсолютно сухого повітря L в сушильній установці:

$$L = W \frac{1000}{d_2 - d_1} = 5598 \cdot \frac{1000}{651,5 - 8,9} = 8733 \text{ кг с.п./год} \quad (6.19)$$

Визначення об'ємних витрат повітря, яке поступає в сушильну камеру і виходить з неї розраховується по формулі:

$$v_{\text{нм}} = \frac{R_B \cdot T}{B - \varphi \cdot P_n} \quad (6.20)$$

де, R_B – газова стала; для повітря $R_B=287 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; T – абсолютна температура повітря, К .

$$v_{\text{нм}1} = \frac{287 \cdot 293}{99,1 \cdot 10^3 - 0,07 \cdot 2,34 \cdot 10^3} = 0,86 \text{ м}^3/\text{кг}, \quad v_{\text{нм}2} = \frac{287 \cdot 393}{99,1 \cdot 10^3 - 0,07 \cdot 84,5 \cdot 10^3} = 2,33 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Об'ємні витрати повітря: $V = L \cdot v_{\text{нм}}$ (6.21)

$$V_1 = 8733 \cdot 0,86 = 7510 \text{ м}^3/\text{год}, \quad V_2 = 8733 \cdot 2,33 = 20348 \text{ м}^3/\text{год}$$

Витрата тепла на випаровування 1 кг вологи:

$$q = l \cdot (I_2 - I_1) = 1,56 \cdot (1904 - 42,6) = 2904 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (6.22)$$

Визначасмо витрату тепла на підігрів дробини. Приймаємо: температуру дробини перед сушаркою $\theta_1=60 \text{ }^\circ\text{C}$; температуру дробини на виході із сушарки (що дорівнює температурі вторинної пари, що виходить) $\theta_2=t_2=120 \text{ }^\circ\text{C}$; теплоємність сухої дробини $C_M=2,78 \text{ кДж}/\text{кг}$.

Тоді витрата тепла на підігрів дробини буде дорівнювати:

$$q_M = \frac{G \cdot C_M \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{W_B} = \frac{3240 \cdot 2,78 \cdot (120 - 60)}{5598} = 96,5 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (6.23)$$

Витрату тепла в навколишнє середовище при створенні відповідної ізоляції барабана можна прийняти: $q_B = 3,33 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$

Визначаємо термодинамічні втрати внаслідок політропного процесу сушки:

$$q_{\text{тер}} = 0,05515 \cdot (T_1 + T_2) = 0,05515 \cdot (433 + 428) = 47,48 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}} = 210,8 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (6.24)$$

де $T_1 = t_1 + 273 = 160 + 273 = 433 \text{ K}$; $T_2 = t_2 + 273 = 155 + 273 = 428 \text{ K}$ – температури пари відповідно на вході і на виході в Кельвінах.

Сумарні теплові втрати:

$$\Delta = c \cdot \theta_2 + q_{\text{оов}} - (q_M + q_B + q_{\text{мер}}) = 4,19 \cdot 120 + 0 - (96,5 + 3,33 + 210,8) = 192,17 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \quad (6.26)$$

де $q_{\text{лод}} = 0$ (у нашому випадку) – додаткова втрата теплоти.

Час сушіння матеріалу:

$$\tau = 2 \frac{\varphi \cdot \rho}{G} \cdot \frac{(W_1 - W_2)}{200 - (W_1 + W_2)} = 2 \frac{0,45 \cdot 630}{3240} \cdot \frac{(67 - 10)}{200 - (67 + 10)} = 0,85 \text{ год} = 51 \text{ хв} \quad (6.27)$$

Кількість матеріалу, що знаходиться в сушарці:

$$G_M = t_{\text{суш}} \cdot \left(G + \frac{W_B}{2} \right) = 0,85 \cdot \left(3240 + \frac{5598}{2} \right) = 5133 \text{ кг} \quad (6.28)$$

6.2.1. Теплове навантаження і витрати пари

Витрати пари, кг/год:

$$D = \frac{Q}{I - i} = \frac{1,121 \cdot 10^6}{2699 \cdot 10^3 - 4,692 \cdot 10^5} = 2,05 \text{ кг/с} = 7389 \text{ кг/год} \quad (6.29)$$

де I, i — ентальпія нагрівної пари і конденсату, Дж/кг.

Теплове навантаження з урахуванням теплових втрат, Вт

$$Q = xG \cdot c(t_k - t_n) = 1,04 \cdot 2,6 \cdot 3,805 \cdot 10^3 (160 - 155) = 1,121 \cdot 10^6 \text{ Вт} \quad (6.30)$$

де x — коефіцієнт, що враховує втрати теплоти в навколишнє середовище;

$x = 1,02 \dots 1,05$;

c — теплоємність пари, Дж/(кг · К).

Ентальпія конденсату

$$i = ct_k = 4190 \cdot 113 = 4,692 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг} \quad (6.31)$$

де t_k — температура конденсату, що дорівнює t_p — (2...3)°C

6.2.2. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі

Загальний коефіцієнт теплопередачі визначають за такою формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (6.32)$$
$$K = \frac{1}{\frac{1}{7,373 \cdot 10^3} + \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{17,5} + \frac{1}{5,866 \cdot 10^3}} = 2,552 \cdot 10^3$$

де α_1 — коефіцієнт тепловіддачі від пари до стінки, Вт/(м² · К);

δ — товщина стінки, м;

$\lambda_{ст}$ — теплопровідність стінки, Вт/(м² · К);

α_2 — коефіцієнт тепловіддачі від стінки до матеріалу, Вт/(м² · К).

Задаємося швидкостями: 0,4; 0,9; 1,4; 1,9;

Розрахункове рівняння для обчислення коефіцієнта теплопередачі α_1 :

$$\alpha_1 = 2,04 A_4 \sqrt{\frac{r}{H \Delta t_1}} = 2,04 \cdot 187,5 \cdot \sqrt{\frac{2216 \cdot 10^3}{3 \cdot 5,35}} = 7,373 \cdot 10^3 \quad (6.33)$$

де $A = \frac{188 - 179}{20} \cdot 19 + 179 = 178,5$ — розрахунковий коефіцієнт, який залежить від фізичних властивостей плівки конденсату,

$r = 2216 \cdot 10^3$ (Дж/кг) - теплота конденсації;

$H=3$ м — висота вертикальної трубки;

- $t_p = 160^\circ C$ - температура пари.

Різниця температур:

$$\Delta t_1 = t_p - t_{ст1} = 160 - 154,65 = 5,35^\circ C \quad (6.34)$$

$t_{ст1}=154,65^\circ C$ — температура стінки, на якій конденсується пара;

$$t_{ст} = \frac{t_p + t_{ст1}}{2} = \frac{160 + 154,65}{2} = 157,33^\circ C \quad (6.35)$$

Значення А залежно від температури плівки конденсату $t_{пл}$ такі:

$t_{пл}$	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
A	120	139	155	169	179	188	194	197	199	199

У зв'язку з тим, що температура стінки зі сторони пари невідома, її визначають методом послідовного наближення.

$$t_{ст1} = t_p - \frac{K}{\alpha_1} \Delta t_c = 160 - \frac{1,166 \cdot 10^3}{7,373 \cdot 10^3} \cdot 31,5 = 155^\circ C$$

Задану температуру перевіряють за таким рівнянням:

де $K = K_0 \varphi = 1,418 \cdot 10^3 \cdot 0,8 = 1,166 \cdot 10^3$ — розрахунковий коефіцієнт теплопередачі.

Різниця між заданою і розрахунковою температурами повинна бути не вища $1^\circ C$.

6.2.3. Розрахунок теплофізичних параметрів дробини

По формулі В.3. Жадана теплоємність вологої дробини визначається (в Дж/кг·К):

$$c = 4190 + 3,35n_{ж} + 1,25n_{б} - 27,65n = 4190 + 3,35 \cdot 1,9 + 1,25 \cdot 8,3 - 27,65 \cdot 18,7 = 3690 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$$

де, $n_{ж}$ і $n_{б}$ — склад в дробині жирів та білків, %; n — склад в дробині вуглеводів, %

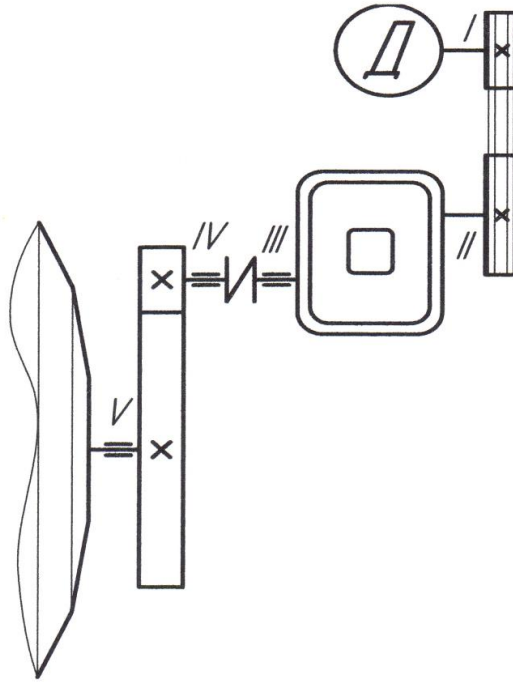
Тоді теплоємність сухої дробини (в Дж/кг·К):

$$c = 4190 - 27,65n = 4190 - 27,65 \cdot 51 = 2780 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}.$$

Середня густина дробини під час сушіння:

$$\rho_{cp} = (\rho_n - \rho_k) / \ln \frac{\rho_n}{\rho_k} = (630 - 230) / \ln \frac{630}{230} = 403 \text{ кг/м}^3. \quad (6.36)$$

6.3. Розрахунок кінематичних і силових параметрів приводу



1. Потужність на вихідному валу приводу:

$$N_{вих} = T_{вих} \cdot \omega_{вих}, \quad (6.37)$$

де $T_{вих}$ – крутний момент на вихідному валу;

$$T_{вих} = 96317,7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$\omega_{вих} = \frac{\pi \times n_{вих}}{30} = \frac{3,14 \cdot 6}{30} = 0,628 \text{ с}^{-1} \quad (6.38)$$

$n_{вих}$ – частота обертів вихідного валу,

$$n_{вих} = 6 \text{ об/хв}$$

Тоді $N_{вих} = 96317,7 \cdot 0,628 = 60487,5 \text{ Вт}$.

2. Розрахункова потужність двигуна:

$$N_{ов. розр.} = \frac{N_{вих}}{\eta_{прив}}, \quad (6.39)$$

де $\eta_{прив}$ – коефіцієнт корисної дії приводу,

$$\eta_{прив} = \eta_{пас.пер} \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{муфт} \cdot \eta_{підш}^2 \cdot \eta_{зуб.пер} \cdot \eta_{підш}^2. \quad (6.40)$$

Потужність на вхідному валу:

$$N_{вх} = \frac{N_{вих}}{\eta_{прив}} = \frac{60,488}{0,896} = 67,508 \text{ кВт}.$$

де $\eta_{пас.пер}$ – коефіцієнт корисної дії пасової передачі,

$$\eta_{пас.пер} = 0,94;$$

$\eta_{ред}$ – коефіцієнт корисної дії черв'ячного редуктора,

$$\eta_{ред} = 0,8;$$

$\eta_{муфт}$ – коефіцієнт корисної дії муфти,

$$\eta_{муфт} = 0,98;$$

$\eta_{підш}$ – коефіцієнт корисної дії пари підшипників,

$$\eta_{підш} = 0,99;$$

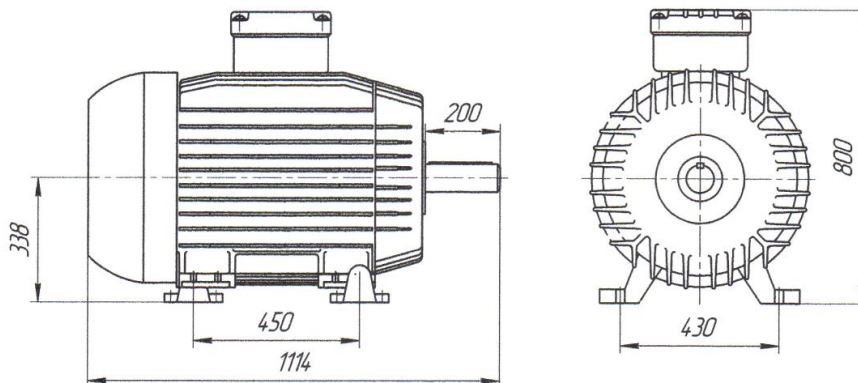
$\eta_{зуб.пер}$ – коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі,

$$\eta_{зуб.пер} = 0,94;$$

$$\eta_{прив} = 0,94 \cdot 0,8 \cdot 0,98 \cdot 0,99^2 \cdot 0,94 \cdot 0,99^2 = 0,665.$$

Тоді $N_{дв.розр.} = 60488 / 0,6654 = 89500$ Вт.

3. З каталогу обираємо двигун трьохфазний асинхронний з коротко замкнутим ротором – R90DR. ($N = 90,0$ кВт, $n = 1425$ об/хв), $\cos \varphi = 0,8$



4. Передаточне число приводу:

$$u_{\text{прив}} = \frac{n_{\text{двиг}}}{n_{\text{вих}}} = \frac{1425}{6} = 237,5; \quad (6.41)$$

Передаточне число редуктора

$$u_{\text{ред}} = 25,07;$$

Передаточне число пасової передачі:

$$u_{\text{пас.передачі}} = \frac{d_{\text{в}}}{d_{\text{м}}} = \frac{540}{240} = 2,25; \quad (6.42)$$

Передаточне число зубчастої передачі:

$$u_{\text{зуб.передачі}} = \frac{d_{\text{шест.}}}{d_{\text{кол}}} = \frac{2400}{570} = 4,21; \quad (6.43)$$

5. Потужності на окремих валах приводу:

$$N_1 = N_{\text{ов.розр.}} = 90000 \text{ Вт}, \quad (6.44)$$

$$N_2 = N_1 \cdot \eta_{\text{пас}} = 90000 \cdot 0,94 = 84600 \text{ Вт}, \quad (6.45)$$

$$N_3 = N_2 \cdot \eta_{\text{ред}} = 84600 \cdot 0,8 = 67680 \text{ Вт}, \quad (6.46)$$

$$N_4 = N_3 \cdot \eta_{\text{зуб.пер.}} \cdot \eta^2_{\text{шест.}} = 67680 \cdot 0,98 \cdot 0,99^2 = 65007 \text{ Вт}. \quad (6.47)$$

6. Частота обертання валів приводу:

$$n_1 = n_{\text{дв.}} = 1425 \text{ об/хв},$$

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{\text{пас}}} = \frac{1425}{2,25} = 633,3 \text{ об/хв}, \quad (6.48)$$

$$n_3 = \frac{n_2}{u_{\text{ред}}} = \frac{633,3}{25,07} = 25,26 \text{ об/хв}, \quad (6.49)$$

$$n_4 = n_3 = 25,26 \text{ об/хв},$$

$$n_5 = \frac{n_4}{u_{\text{зуб.пер.}}} = \frac{25,26}{4,21} = 6 \text{ об/хв}. \quad (6.50)$$

7. Кутові швидкості на окремих валах приводу:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1425}{30} = 149,15 \text{ рад/с}, \quad (6.51)$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u_{нас}} = \frac{149,15}{2,25} = 66,29 \text{ рад/с}, \quad (6.52)$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{u_{ред.}} = \frac{66,29}{25,07} = 2,64 \text{ рад/с}, \quad (6.53)$$

$$\omega_4 = \omega_3 = 2,64 \text{ рад/с}, \quad (6.54)$$

$$\omega_5 = \frac{\omega_4}{u_{зуб.пер.}} = \frac{2,64}{4,21} = 0,628 \text{ рад/с}. \quad (6.55)$$

8. Крутні моменти на валах приводу:

$$T_1 = \frac{N_1}{\omega_1} = \frac{90000}{149,15} = 603,4 \text{ Н·м}, \quad (6.56)$$

$$T_2 = T_1 \cdot \eta_{нас} \cdot u_{нас} = 603,4 \cdot 0,94 \cdot 2,25 = 1276,2 \text{ Н·м}, \quad (6.57)$$

$$T_3 = T_2 \cdot u_{ред.} \cdot \eta_{ред.} = 1276,2 \cdot 25,07 \cdot 0,8 = 25595,5 \text{ Н·м}, \quad (6.58)$$

$$T_4 = T_3 \cdot \eta_{підш.} \cdot \eta_{муфт} = 25595,5 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 24832,8 \text{ Н·м}, \quad (6.59)$$

$$T_5 = T_4 \cdot \eta_{підш.}^2 \cdot u_{зуб.пер.} \cdot \eta_{зуб.пер.} = 24832,8 \cdot 0,99^2 \cdot 4,21 \cdot 0,94 = 96317,7 \text{ Н·м}. \quad (6.60)$$

9. Таблиця кінематичних і силових параметрів приводу:

Номер валу	N, Вт	n, об/хв	ω , рад/с	T, Н·м	Примітка
1	90000	1425,0	149,15	603,4	
2	84600	633,3	66,29	1276,2	U=2,25
3	67680	25,26	2,64	25595,5	U=25,07
4	65007	25,26	2,64	24832,8	U=4,21
5	60487,5	6	0,628	96317,7	

6.4. Конструктивний розрахунок трубчастої сушарки

Об'єм сушильного барабана:

$$V = \frac{G_n}{A} = \frac{3240}{25} = 129,6 \text{ м}^3 \quad (6.61)$$

де A – напруження сушарки по волозі, (кг/м³)/год, що підбирається з практичних даних в межах від 5 до 25.

Коефіцієнт заповнення барабана матеріалом:

$$\varphi' = \frac{G_1 \cdot \tau}{60 \cdot V \cdot \rho} = \frac{8838 \cdot 51}{60 \cdot 129,6 \cdot 630} = 0,45 \quad (6.62)$$

де τ – термін сушіння матеріалу, що визначається експериментально, або приймається по даним роботи аналогічних сушарок, хв.;

ρ – насипна густина матеріалу, кг/м.

Діаметр барабана:

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{V_n}{v} \cdot \frac{1}{1-\varphi'}} = 1,13 \sqrt{\frac{24458}{2} \cdot \frac{1}{1-0,45}} = 4,2 \text{ м}, \quad (6.63)$$

де v – швидкість повітря на виході з барабана, приймається в межах 1,5-3 м/с;

V_n – об'єм повітря, що виходить з сушарки при температурі T .

Довжина барабана:

$$L = \frac{V}{0,785 \cdot D^2} = \frac{129,6}{0,785 \cdot 4,2^2} = 9,81 \text{ м}, \quad (6.64)$$

Швидкість поступального руху дробини вздовж барабану визначається з формули продуктивності:

$$\Pi = 900 \cdot \pi \cdot D_0^2 \cdot v_n \cdot \varphi^1 \cdot \rho_c, \quad (6.65)$$

де, D_0 - діаметр барабана, м; φ^1 - коефіцієнт заповнення або використання

барабану (приймаємо 0,5); ρ_c - насипна щільність сировини, кг/м³;

v_n - швидкість поступального руху дробини вздовж барабану, м/с.

$$v_n = \frac{K^1 \cdot D_0 \cdot \text{tg} \beta \cdot n_p}{60} = \frac{0,01 \cdot 4,2 \cdot 1 \cdot 6,19}{60} = 0,022 \text{ м/с} \quad (6.66)$$

де, K^1 - коефіцієнт, що враховує підйом дробини на висоту, меншу діаметра барабану (приймається в межах 0,01); β - кут нахилу барабану сушки;

n_p - робоча частота обертання барабану, об/хв.

$$n_p = k_o \cdot n_{кр} = 0,3 \cdot 20,63 = 6,19 \text{ об/хв.} \quad (6.67)$$

де, k_o - дослідний коефіцієнт, рівний 0,3;

$n_{кр}$ - критична частота обертання, об/хв

$$n_{кр} = 42,3 / \sqrt{D_o} = 42,3 / \sqrt{4,2} = 20,63 \text{ об/хв.} \quad (6.68)$$

Перевірка діаметра барабана

Діаметр барабана перевіряють виходячи із допустимої швидкості руху газів по перерізу барабана.

Визначаємо площу поперечного перерізу барабана:

$$F_o = \frac{\pi \cdot D_o^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} = 12,56 \text{ м}^2, \quad (6.69)$$

Фактичну швидкість пару визначаємо за формулою:

$$V_{\Gamma} = \frac{z}{3600 \cdot F_o \cdot \gamma} = \frac{38810}{3600 \cdot 12,56 \cdot 0,87} = 0,98 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (6.70)$$

де $\gamma=0,87 \text{ кг/м}^3$ – питома вага пару при $t=15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Допустимі швидкості газів у сушарках подібного типу у межах 2-4 м/с, тобто отримана нами швидкість знаходиться в межах допустимої.

Перевірка довжини барабана

Робоча довжина сушильного барабана визначається за формулою:

$$L'_o = 3000 \cdot \left(\frac{1}{100 - W_1} + \frac{1}{100 - W_2} \right) \cdot \frac{G_{\text{суш}} \cdot (1 - \beta) \cdot V_{\Gamma} \cdot t_{\text{суш}}}{\gamma_{\text{ср.н}} \cdot \beta \cdot z \cdot V_0} = \quad (6.71)$$
$$= 3000 \cdot \left(\frac{1}{100 - 67} + \frac{1}{100 - 10} \right) \cdot \frac{72120 \cdot (1 - 0,45) \cdot 4,097 \cdot 105}{403 \cdot 0,15 \cdot 388100 \cdot 1,149} = 9,8 \text{ м}$$

де $V_0 = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{0,87} = 1,149 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$ - питомий об'єм газів, що виходять із барабана;

$\gamma_{\text{ср.н}}=403 \text{ кг/м}^3$ – середня насипна вага матеріалу;

$\beta=0.45$ – коефіцієнт заповнення барабана матеріалом.

Розрахунок випуклих днищ

При розрахунку апаратів для харчової промисловості товщину випуклих днищ, працюючих при внутрішньому тиску розраховуємо за формулою.

$$\delta = \frac{P \cdot D_3 \cdot K}{200 \cdot [\sigma_y] \cdot \varphi} + C = \frac{0,115 \cdot 10^6 \cdot 4200 \cdot 0,75}{200 \cdot 1,371 \cdot 10^8 \cdot 1} + 2 = 20,1 \text{ мм}, \quad (6.72)$$

де D_3 - зовнішній діаметр корпусу апарата, $K = 0,75$ - фактор форми днища,
 $\varphi = 1$ коефіцієнт міцності зварного шва,

$$[\sigma_z] = \frac{\sigma_b}{3,5} = \frac{480 \cdot 10^6}{3,5} = 137,1 \cdot 10^6 \text{ Па} - \text{допустиме напруження на розтяг,}$$

$C = 2 \text{ мм}$ - добавка до розрахункової товщини.

Споживча потужність на обертання трубної решітки

Потужність, що необхідна для приведення в рух барабана, визначається за формулою:

$$N = 0.0013 \cdot D_o^3 \cdot L_o \cdot \gamma_{сп.н} \cdot n_o \cdot \sigma = 0.0013 \cdot 4,2^3 \cdot 9,8 \cdot 403 \cdot 6 \cdot 0.026 = 59,3 \text{ кВт}, \quad (6.73)$$

де $\sigma = 0.026$ – коефіцієнт потужності.

Потужність двигуна з урахуванням ККД приводу буде дорівнювати:

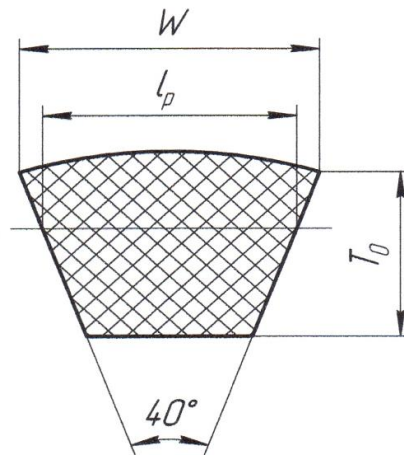
$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{\eta_{\text{прив}}} = \frac{59,3}{0.8} = 74 \text{ кВт}, \quad (6.74)$$

Враховуючи пускове навантаження, приймаємо двигун потужністю 90 кВт.

Розрахунок клинопасової передачі

Номінальна потужність $N_1=90,0 \text{ кВт}$; частота обертання $n_1 = 1425 \text{ об/хв}$;
передаточне число $u = 2,25$.

1. За потужністю, що передається та кількістю обертів ведучого шків
приймаємо за ГОСТ 1284.1-80 переріз пасу типу «А» з розмірами



$T_0=19,0$, $L_p=22,0$ мм, $W=28,0$ мм.

Площа перерізу пасу $A = 125$ мм².

Для обраного пасу мінімальний діаметр ведучого шківа $d_1 = 90$ мм, для збільшення ресурсу приймаємо $d_1 = 250$ мм.

Діаметр веденого шківа:

$$d_2 = d_1 \cdot U \cdot (1 - \varepsilon) = 250 \cdot 2,25 \cdot (1 - 0,02) = 551,25 \text{ мм.} \quad (6.75)$$

Стандартний діаметр за ГОСТ 17383-73

$$d_2 = 550 \text{ мм}$$

Уточнюємо передаточне число:

$$U = \frac{d_2}{d_1 \cdot (1 - \varepsilon)} = \frac{550}{250 \cdot (1 - 0,02)} = 2,25. \quad (6.76)$$

$$\text{Швидкість пасу : } U = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n_1}{60000} = \frac{3,14 \cdot 250 \cdot 1425}{60000} = 18,64 \text{ м/с.} \quad (6.77)$$

Міжосьова відстань :

$$a = 1,2 \cdot d_2 = 1,2 \cdot 550 = 660 \text{ мм.} \quad (6.78)$$

З рахуванням конструктивних особливостей двигуна та редуктора

приймаємо $a=860$ мм.

Розрахункова довжина пасу :

$$L = 2a + \frac{\pi}{2}(d_1 + d_2) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a} = 2 \cdot 860 + \frac{3,14}{2}(250 + 550) + \frac{(550 - 250)^2}{4 \cdot 860} = 3002 \text{ мм.}$$

(4.79)

За ГОСТ1284.1-80 приймаємо стандартну довжину пасу $L=3000$ мм.

По стандартній довжині пасу уточнюємо міжосьову відстань :

$$a = \frac{2L - \pi(d_1 + d_2) + \sqrt{[2L - \pi(d_1 + d_2)]^2 - 8(d_2 - d_1)^2}}{8} =$$
$$= \frac{2 \cdot 3000 - 3,14(250 + 550) + \sqrt{[2 \cdot 3000 - 3,14(250 + 550)]^2 - 8(550 - 250)^2}}{8} =$$
$$= 860 \text{ мм}$$

(6.80)

Натяжний пристрій повинен забезпечити зміну міжосьової відстані в наступних межах :

$$a_{\min} = a - 0,03 \cdot a = 860 - 0,03 \cdot 860 = 834,2 \text{ мм,} \quad (6.81)$$

$$a_{\max} = a + 0,06 \cdot a = 860 + 0,06 \cdot 860 = 911,6 \text{ мм.} \quad (6.82)$$

Кут обхвату меншого шківа :

$$\alpha_1 = 180^\circ - 60^\circ \frac{(d_2 - d_1)}{a} = 180^\circ - 60^\circ \frac{(550 - 250)}{860} = 159^\circ. \quad (6.83)$$

Необхідне число пасів визначається за формулою:

$$z = \frac{N \cdot C_p}{N_0 C_L C_\alpha C_z}, \quad (6.84)$$

де C_p — коефіцієнт режиму роботи, $C_p = 1,2$;

N_0 — потужність, що передається одним пасом, $N_0 = 17$ кВт;

C_L — коефіцієнт, що враховує вплив довжини пасу, $C_L = 0,9$;

C_α — коефіцієнт кута обхвату, $C_\alpha = 0,94$;

C_z — коефіцієнт, що враховує кількість пасів, $C_z = 0,95$;

$$\text{Тоді } z = \frac{90 \cdot 1,2}{17 \cdot 0,9 \cdot 0,94 \cdot 0,95} = 7,9.$$

Приймаємо $z = 8$.

Сила попереднього натягу:

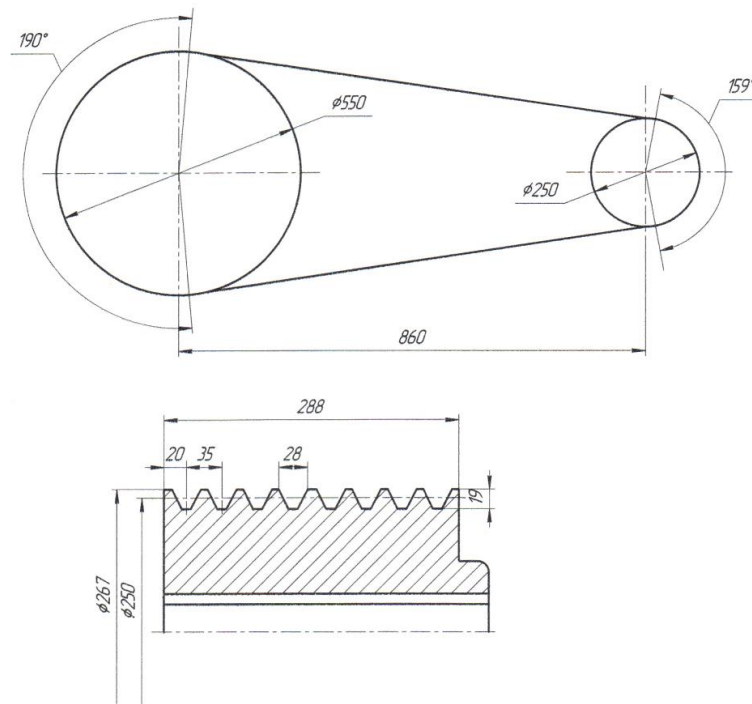
$$F_0 = \frac{850N \cdot C_p \cdot C_L}{z \cdot v \cdot C_\alpha} + \theta \cdot v^2, \quad (6.85)$$

де θ — коефіцієнт, що враховує відцентрову силу, $\theta = 0,1 \frac{(H \cdot c^2)}{M^2}$.

$$F_0 = \frac{850 \cdot 90 \cdot 1,2 \cdot 0,9}{8 \cdot 18,64 \cdot 0,94} + 0,1 \cdot 18,64^2 = 624,16 \text{ Н.}$$

Зусилля, що діє на вали передачі:

$$Q = 2 \cdot F_0 \cdot z \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2} = 2 \cdot 624,16 \cdot 8 \cdot \sin \frac{159}{2} = 9819 \text{ Н.} \quad (6.86)$$



Розрахунок відкритої циліндричної прямозубої передачі приводу

Номінальна потужність, що передається шестернею $N=65,007\text{кВт}$; частота обертання $n_1 = 25,26\text{ хв}^{-1}$; передаточне число $u = 4,21$; час роботи передачі $t = 12000\text{ год}$.

Обираємо матеріал і граничні напруження для шестерні та колеса.

Обираємо для колеса і шестерні – Ст. 5 (поковка); термообробка – нормалізація. Для шестерні при радіусі заготовки 570мм

$$\sigma_B = 570\text{ МПа}, \sigma_T = 270\text{ МПа}, HB_1 = 170; \quad (6.87)$$

для колеса при радіусі заготовки 2400мм

$$\sigma_B = 570\text{ МПа}, \sigma_T = 260\text{ МПа}, HB_2 = 170; \quad (6.88)$$

Визначаємо допустиме напруження згину для шестерні:

$$\sigma_F = \frac{\sigma_{F \lim 1}}{S_F} \cdot Y_S \cdot Y_R; \quad (6.89)$$

Спочатку знаходимо границю витривалості зубців при згині,

$$\sigma_{F \lim 1} = \sigma_{F \lim b 1}^0 \cdot K_{FC} \cdot K_{FL1}; \quad (6.90)$$

де $\sigma_{F \lim b 1}^0 = 1,8 \cdot HB_1 = 1,8 \cdot 170 = 306 \text{ МПа};$

K_{FC} – коефіцієнт, що враховує вплив двохстороннього прикладення навантаження. При односторонньому прикладенні навантаження $K_{FC} = 1$.

Коефіцієнт довговічності

$$K_{FL1} = \sqrt[m_F]{\frac{N_{FO}}{N_{FE1}}}. \quad (6.91)$$

При $HB < 350$ $m_F = 6$; базове число циклів зміни напружень $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$; еквівалентне число циклів зміни напружень:

$$N_{FE1} = N_{\Sigma 1} = 60 \cdot n_1 \cdot t_q = 60 \cdot 25,26 \cdot 12000 = 18,19 \cdot 10^6 \quad (6.92)$$

відповідно

$$K_{FL1} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{18,19 \cdot 10^6}} < 1. \quad (6.93)$$

Оскільки $K_{FL1} < 1$, приймаємо $K_{FL1} = 1,0$. Відповідно:

$$\sigma_{F \lim 1} = 306 \cdot 1 \cdot 1 = 306 \text{ МПа}; \quad (6.94)$$

Визначаємо коефіцієнт безпеки:

$$S_F = S'_F \cdot S''_F = 1,75 \cdot 1,5 = 2,625; \quad (6.95)$$

Коефіцієнт $Y_S = 1,0$; $Y_R = 1,0$;

Отже, допустиме напруження згину для зуба шестерні:

$$[\sigma_{F1}] = \frac{306}{2,625} \cdot 1 \cdot 1 = 116 \text{ МПа} \quad (6.96)$$

Визначаємо допустиме напруження згину для колеса:

$$\sigma_F = \frac{\sigma_{F \lim 2}}{S_F} \cdot Y_S \cdot Y_R; \quad (6.97)$$

Спочатку знаходимо границю витривалості зубців при згині,

$$\sigma_{F \lim 2} = \sigma_{F \lim b 2}^0 \cdot K_{FC} \cdot K_{FL2}; \quad (6.98)$$

де,

$$\sigma_{F \lim b 2}^0 = 1,8 \cdot HB_2 = 1,8 \cdot 170 = 306 \text{ МПа};$$

$K_{FC} = 1$.

Коефіцієнт довговічності:

$$K_{FL1} = m_F \sqrt{\frac{N_{FO}}{N_{FE2}}}. \quad (6.99)$$

При $HB < 350$ $m_F = 6$; базове число циклів зміни напружень $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$; еквівалентне число циклів зміни напружень:

$$N_{FE2} = N_{\Sigma 2} = 60 \cdot n_2 \cdot t_u = 60 \cdot 6 \cdot 12000 = 4,32 \cdot 10^6,$$

відповідно

$$K_{FL2} = \sqrt[6]{\frac{4 \cdot 10^6}{4,32 \cdot 10^6}} < 1.$$

Оскільки $K_{FL2} < 1$, приймаємо $K_{FL2} = 1,0$. Відповідно:

$$\sigma_{F \lim 2} = 306 \cdot 1 \cdot 1 = 306 \text{ МПа};$$

Коефіцієнт $Y_S = 1,0$; $Y_R = 1,0$;

Отже, допустиме напруження згину для зуба шестерні:

$$[\sigma_{F2}] = \frac{306}{2,625} \cdot 1 \cdot 1 = 116 \text{ МПа}.$$

Отже, допустиме напруження згину при розрахунку під дією максимальних напружень для зубця колеса $[\sigma_{FM2}] = [\sigma_{FM1}] = 311 \text{ МПа}$, так як колесо і шестерня виготовлені з одного матеріала і мають однакову твердість.

Допустиме контактне напруження при розрахунку по максимальному навантаженні для зубця шестерні:

$$[\sigma_{HM1}] = 2,8 \cdot \sigma_T = 2,8 \cdot 270 = 756 \text{ МПа},$$

для зуба колеса: $[\sigma_{HM2}] = 2,8 \cdot \sigma_T = 2,8 \cdot 260 = 728 \text{ МПа}.$

Розрахунок зубців на витривалість при згині

Визначаємо модуль зачеплення:

$$m = \sqrt[3]{\frac{2T_1 \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV} \cdot Y_{F1}}{z_1 \cdot \psi_d \cdot [\sigma_{F1}]}}, \quad (6.100)$$

Спочатку визначаємо величини, які необхідні для розрахунку:

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубцями $K_{F\alpha} = 1,0$

Коефіцієнт ширини $\psi_{d \max} = 0,7$,

Відповідно $\psi_d = (0,7 \dots 0,9) \cdot \psi_{d \max} = 0,7 \cdot 0,7 = 0,49$,

Приймаємо $\psi_d = 0,5$.

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині зубця $K_{F\beta} = 1,35$

Орієнтовна колова швидкість шестерні:

$$v_1 = 0,0125 \cdot \sqrt[3]{N_1 \cdot n_1^2} = 0,0125 \cdot \sqrt[3]{65,007 \cdot 25,26^2} = 32,07 \text{ м/с} \quad (6.101)$$

Орієнтовна колова швидкість колеса:

$$v_2 = 0,0125 \cdot \sqrt[3]{N_2 \cdot n_2^2} = 0,0125 \cdot \sqrt[3]{60,488 \cdot 6^2} = 1,77 \text{ м/с}. \quad (6.102)$$

При даній швидкості потрібний ступень точності передачі – 9-ий.

Коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження $K_{FV} = 1$.

Число зубців шестерні $z_1 = 36$.

Число зубців колеса $z_2 = z_1 \cdot u = 36 \cdot 4,21 = 151,6$.

Приймаємо $z_2 = 152$.

Визначаємо коефіцієнти форм зубців для шестерні і колеса відповідно:

$$Y_{F1} = 4,28; Y_{F2} = 3,68;$$

Визначаємо відношення $\frac{Y_F}{[\sigma_F]}$:

- для шестерні: $\frac{Y_{F1}}{[\sigma_{F1}]} = \frac{4,28}{116} = 0,0369$,

- для колеса: $\frac{Y_{F2}}{[\sigma_{F2}]} = \frac{3,68}{116} = 0,0317$.

Розрахунок ведемо за найслабшим колесом зубчастої пари, для якого $\frac{Y_F}{[\sigma_F]}$

більше.

Тому при підрахунку модуля підставляємо: $\frac{Y_{F1}}{[\sigma_{F1}]} = \frac{4,25}{116}$.

Отже модуль зачеплення:

$$m = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 24832,8 \cdot 10^3 \cdot 1,0 \cdot 1,35 \cdot 1,0}{36^2 \cdot 0,5 \cdot 116}} \cdot 4,25 = 15,31 \text{ мм}.$$

Отриманий модуль округляємо по стандарту, $m = 16,0$ мм.

Діаметр початкового кола шестерні:

$$d_{\omega 1} = m \cdot z_1 = 16 \cdot 36 = 576 \text{ мм}. \quad (6.103)$$

Перевірочний розрахунок зубців на міцність при згині максимальним навантаженням

Розрахункове напруження згину від максимального навантаження:

$$\sigma_{FM} = \sigma_F \cdot \frac{T_M}{T_1} \leq [\sigma_{FM}]. \quad (6.104)$$

Обраховуємо напругу згину в зубцях шестерні, для чого спочатку обрахуємо:

$$b_{\sigma} = \psi_d \cdot d_{\omega 1} = 0,5 \cdot 576 = 288 \text{ мм} \approx 290 \text{ мм}, \quad (6.105)$$

питома колова сила:

$$W_{F1} = \frac{2 \cdot T_1}{d_{\omega 1} \cdot b_{\sigma}} \cdot K_{Fa} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{Fv} = \frac{2 \cdot 24832,8 \cdot 10^3}{576 \cdot 290} \cdot 1,0 \cdot 1,35 \cdot 1,0 = 401 \text{ МПа}, \quad (6.106)$$

тоді:

$$\sigma_{F1} = Y_{F1} \cdot Y_{\beta} \cdot \frac{W_{F1}}{m} = 4,28 \cdot 1,0 \cdot \frac{401}{16} = 107 \text{ МПа} < 116 \text{ МПа}. \quad (6.107)$$

Напруження від максимального навантаження в зубцях шестерні:

$$\sigma_{F2} = \sigma_{F1} \cdot \frac{Y_{F2}}{Y_{F1}} = 107 \cdot \frac{3,68}{4,28} = 92 \text{ МПа} < [\sigma_{F2}] = 116 \text{ МПа}. \quad (6.108)$$

Напруження згину від максимального навантаження в зубцях шестерні

$$\sigma_{FM1} = 576 \cdot 0,5 = 288 \text{ МПа} < [\sigma_{FM1}] = 311 \text{ МПа},$$

в зубцях колеса:

$$\sigma_{FM2} = 344 \cdot 0,5 = 172 \text{ МПа} < [\sigma_{FM2}] = 311 \text{ МПа}.$$

Перевірочний розрахунок зубців на контактну міцність під дією максимального навантаження.

Розрахункове напруження, що створюється максимальним навантаженням:

$$\sigma_{HM} = \sigma_H \cdot \sqrt{\frac{T_M}{T_1}} \leq [\sigma_{HM}]. \quad (6.109)$$

Обраховуємо контактне напруження від номінального навантаження:

$$\sigma_H = Z_H \cdot Z_M \cdot Z_\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot T_{H1} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{HV} \cdot u + 1}{b_w \cdot d_{\omega 1}^2} \cdot \frac{u + 1}{u}}. \quad (6.110)$$

Визначаємо величини, які необхідні для розрахунку:

Коефіцієнт, що враховує форму поверхонь $Z_H = 1,76$.

Коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріала $Z_M = 275 \text{ МПа}^{0,5}$.

Коефіцієнт торцевого перекриття:

$$\varepsilon_A = [1,88 - 3,2 \cdot (\frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_2})] \cdot \cos \beta = 1,88 - 3,2 \cdot (\frac{1}{36} + \frac{1}{152}) = 1,77.$$

Коефіцієнт, що враховує сумарну довжину контактних ліній:

$$Z_\varepsilon = \sqrt{\frac{4 - \varepsilon_A}{3}} = \sqrt{\frac{4 - 1,77}{3}} = 0,86. \quad (6.111)$$

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження між зубцями для прямозубих коліс $K_{H\alpha} = 1,0$. Коефіцієнт, що враховує перерозподіл навантаження по ширині зубця при $\psi_d = 0,5$, $K_{H\beta} = 1,17$. Коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження $K_{HV} = 1,062$.

Отже, контактне напруження:

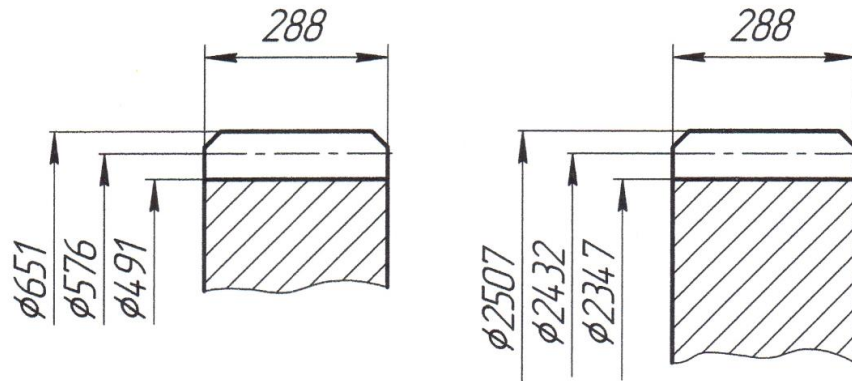
$$\sigma_H = 1,76 \cdot 275 \cdot 0,86 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 24832,8 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1,17 \cdot 1,062}{288 \cdot 576^2} \cdot \frac{4,21 + 1}{4,21}} = 235,2 \text{ МПа}.$$

Напруження від максимального навантаження

$$\sigma_{HM} = 235,2 \cdot \sqrt{2} = 332,6 \text{ МПа} < [\sigma_{HM2}] = 728 \text{ МПа}$$

Приймаємо остаточні параметри передачі:

$$m = 16 \text{ мм}, z_1 = 36, z_2 = 152, d_{w1} = 576 \text{ мм}, d_{w2} = 2432 \text{ мм}, b = 288 \text{ мм}.$$



6.5. Розрахунок теплової ізоляції

В тепловому розрахунку була прийнята втрата тепла в навколишнє середовище $q_n = 3.33$ кДж/кг випареної вологи.

Визначимо втрату тепла барабаном за одну годину:

$$Q_n = q_n \cdot W_b = 3.33 \cdot 5598 = 18635 \frac{\text{кДж}}{\text{год}} \quad (6.112)$$

Різниця температур зовнішньої поверхні ізоляції та навколишнього середовища для трубчастих барабаних сушарок приймаємо $\Delta t = t_{n,c} - t_o = 10^\circ \text{C}$.

Коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стінки визначаємо за формулою:

$$\alpha_{\text{зов}} = 8.6 + 0.058 \cdot \Delta t = 8.6 + 0.058 \cdot 10 = 9,006 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}} = 37,735 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}}$$

Коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої стінки визначаємо за формулою:

$$\alpha_e = (A \cdot V_r^n + B \cdot e^{-0.6 \cdot V_r}) = 6.14 \cdot 4,097^{0.78} + 3,86 \cdot 2,72^{-0.6 \cdot 4,097} \cdot 4.19 = 78,937 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ \text{C}},$$

де $A=6.14$; $B=4.6$; $n=0.78$ – коефіцієнти, що залежать від характеру обробки поверхні

В якості ізолюючого матеріалу приймаємо суміш азбесту і кизельгуру, для якої теплопровідність:

$$\lambda_{із} = 0.825 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Коефіцієнт теплопровідності стінки барабана:

$$\lambda_{ст} = 209.5 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Приймаємо товщину шару ізоляції $S_{ізол} = 0.04$ м, та перевіримо чи зможе цей шар задовольнити поставленим потребам, тобто $\Delta t = 7^\circ\text{C}$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі за відомим рівнянням:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{із}}{\lambda_{із}} + \frac{1}{\alpha_{зов}}} = \frac{1}{\frac{1}{78.937} + \frac{0.014}{209.5} + \frac{0.05}{0.825} + \frac{1}{37.735}} = 11,4 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Площа поверхні барабана визначаємо з урахуванням ізоляційного шару:

$$F_{ізол} = \pi \cdot (D_{ізол} + 2 \cdot S_{ізол}) \cdot L_b = 3.14 \cdot (4,2 + 2 \cdot 0.04) \cdot 12 = 161 \text{ м}^2 \quad (6.113)$$

Визначимо середню різницю температур сушильного агента та навколишнього середовища при прямоотці:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(t_1 - 20) - (t_2 - 20)}{2.3 \cdot \lg \frac{t_1}{t_2}} = \frac{(105 - 20) - (95 - 20)}{2.3 \cdot \lg \frac{(105 - 20)}{(95 - 20)}} = 35^\circ\text{C} \quad (6.114)$$

Визначимо кількість теплоти, що буде передано ізолюючою поверхнею барабана в навколишнє середовище:

$$Q_n = K \cdot F_{ізол} \cdot \Delta t_{cp} = 11,4 \cdot 9.01 \cdot 35 = 3,6 \frac{\text{кДж}}{\text{год}} \quad (6.115)$$

З рівняння теплового балансу визначаємо зовнішню температуру ізоляційного шару:

$$t_{н.с.} = t_{нов} + \frac{Q_n}{\alpha_{зов} \cdot F_{ізол}} = 20 + \frac{3600}{37,735 \cdot 9.01} = 30,6^\circ\text{C} \quad (6.116)$$

В результаті розрахунку отримуємо:

$$\Delta t = t_{n.c} - t_{\theta} = 30,6 - 20 = 10,6^{\circ} C \approx 10^{\circ} C \quad (6.117)$$

Тобто розрахунок ізоляції зроблено вірно. Барабан ізолюємо азбестом і кильзегуром товщиною $S_{\text{ізол}}=0.04$ м.

7. Підбір конструкційних матеріалів для виготовлення обладнання

У харчовому виробництві вкрай важливим фактором є підбір конструкційних матеріалів для виготовлення обладнання та його деталей. Основною вимогою при цьому є допуск матеріалу до контакту із харчовим середовищем. В той же час, у вузлах та деталях, які не контактують безпосередньо із харчовою середою, тобто де не відбувається безпосередній контакт з продуктом – дозволяється використовувати конструкційні матеріали загального призначення.

В умовах збільшення виробництва високоякісних продуктів харчування до матеріалів, із яких виготовляється обладнання, пред'являються підвищені вимоги. Специфічні умови експлуатації обладнання вимагають застосування спеціальних сталей - міцних та надійних металів, інших матеріалів, які працюють в умовах високих температур, агресивних середовищ, тиску та глибокого вакууму.

Експлуатація технологічного обладнання із підвищеною вологістю, високих та низьких температур, безпосередній контакт із агресивними середовищами, абразивна дія продуктів – все це обумовлює особливі вимоги до вибору конструкційних матеріалів при виготовленні обладнання.

. Матеріали, що застосовуються в харчовому машинобудуванні, не повинні містити шкідливих речовин, які можуть у подальшому вступати в реакцію хімічної взаємодії з харчовими продуктами, або руйнуватися під дією харчового середовища, засобів для мийки та дезінфекції, мастильних матеріалів.

Основою вимогою до конструкційних матеріалів при виготовленні технологічного обладнання - є їх висока корозійна стійкість.

Стандартами галузі встановлені певні обмеження на марки та асортимент матеріалів, що використовуються у харчовому машинобудуванні.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удодов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чугаєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> 7. Підбір конструкційних матеріалів для виготовлення обладнання		221900.КР.32.007.ПЗ		
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>					

Це в свою чергу сприяє підвищенню рівня технологічності та уніфікації харчових машин та апаратів.

У разі використання конструкційних матеріалів, не передбачених ГОСТ 27-00-223-75, наприклад, для виготовлення окремих вузлів чи деталей обладнання, то в цьому випадку вимагається погодження та дозвіл відповідних служб Міністерства охорони здоров'я України.

При виборі того чи іншого конструкційного матеріалу, що контактує з харчовим середовищем, необхідно враховувати токсичність матеріалу, а також дозвіл органів охорони здоров'я та його застосування при безпосередньому контакті з конкретним технологічним середовищем харчового виробництва; корозійну стійкість при довготривалій дії на харчове середовище, дії підвищеної температури та тиску, дії мийки та дезінфекції; механічній міцності при здійсненні робочих циклів вузлів, деталей та механізмів машини; специфічні властивості пересування, лиття, зварювання тощо.; його економічну доцільність.

Трубопроводи, що здійснюють подачу повітря або продукту в робочий об'єм апарата виготовлені із корозійної стійкої нержавіючої сталі марки 12X18H10T. Але також можливе і виготовлення трубопроводів із скла та полімерних матеріалів.

Осі та вали та приводів, як правило виготовляють із матеріалу Ст20 (ГОСТ 1050-74) - допустимі напруження: розтягу $[\sigma_p] = 1400$ (кгс/см²); згину $[\sigma_z] = 1700$ (кгс/см²); зминання $[\sigma_{зм}] = 2100$ (кгс/см²); кручення $[\tau_{кр}] = 1050$ (кгс/см²).

Сталь марки Ст3 широко використовується для розрахункових металевих конструкцій, що підлягають зварюванню у вигляді сортового, фасадного та листового прокату: корпусу, обичайки ,днища , балки, ферми, сосуди та апарати, що працюють під надлишковим тиском; а також не відповідальні осі, шестерні, втулки, вкладиші, важелі, гайки, шайби тощо.

8. МОНТАЖ, РЕМОНТ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТРУБЧАТОЇ СУШАРКИ

8.1. Монтаж

Сушарка поступає на монтаж у вигляді окремих поставочних блоків і вузлів: сушильна камера, привід, трубопровідні вузли, електропускова апаратура і прилади контролю тиску, вологості і температури.

8.1.1. Вказівки по відвантаженню і транспортуванню

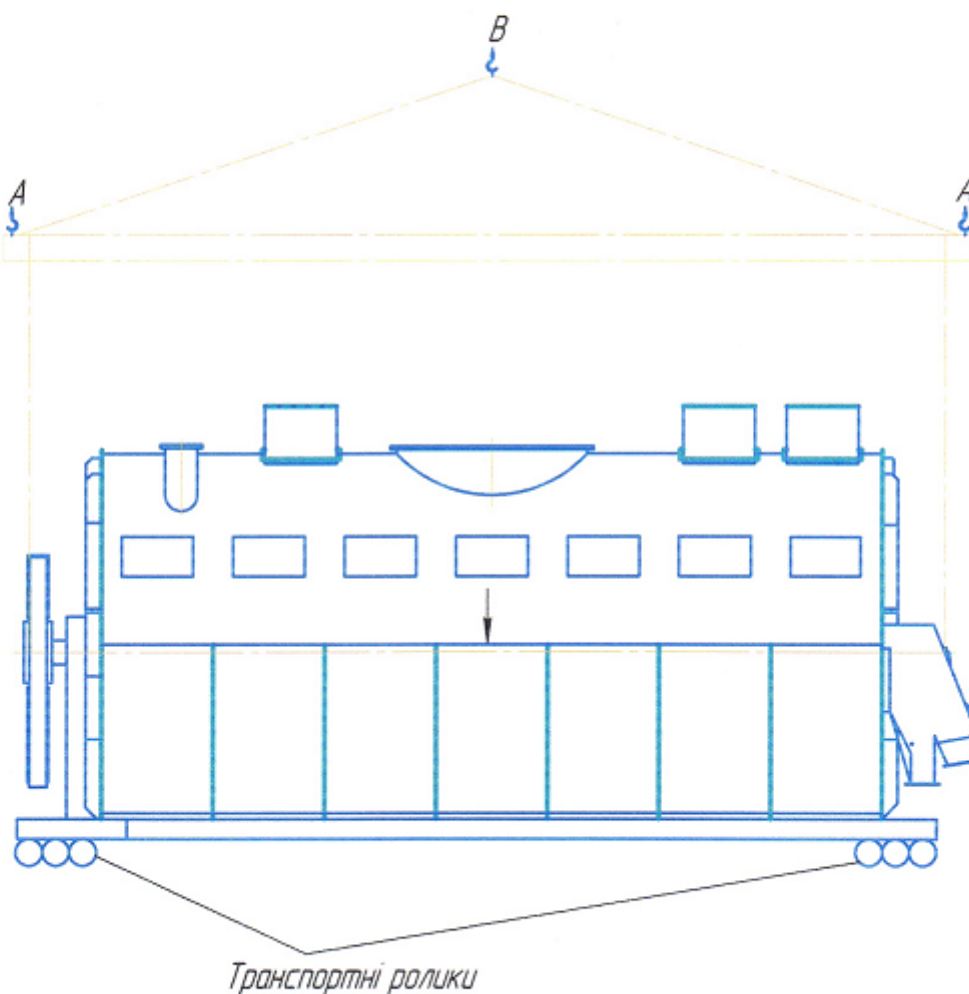


Рис 8.1. Транспортування з місцями для кріплення

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Удадов С.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Чугаєвський В.О.	Назва, додаткова назва 8. Монтаж, ремонт та експлуатація трубчастої сушарки	221900.КР.32.008.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/12

Для підняття одним краном (В) необхідно використовувати траверсу. Це повинне допомогти уникнути пошкоджень сушарки.

Не встановлювати транспортуючі ролики і опори в місця, відмінні від тих, які вказані під основною рамою, оскільки інакше можна пошкодити корпус і раму. Це може привести до торкання лопатей лотка.

8.1.2. Місце установки сушарки

При виборі місця установки сушарки необхідно врахувати наявність достатнього простору для проведення ремонтних робіт і робіт по технічному обслуговуванню. Відповідальність за правильність розташування несе сам експлуатаційник установки (мінімальні відстані див. внизу на рисунку).

Місце установки повинне бути вибрано таким, щоб забезпечувалася незамерзаюча експлуатація сушарки і її вхідних і вихідних компонентів.

Температура навколишнього середовища повинна знаходитися в межах -20°C - $+50^{\circ}\text{C}$. Сушарка повинна бути встановлена тільки під критим місцем установки.



Рис.8.2. Схема установки сушарки

8.1.3. Установка сушарки

Перед початком робіт по установці необхідно звільнити сушарку від можливих захисних пристосувань при транспортуванні. Захисні пристосування при транспортуванні при поставці із заводу маркіруються жовтим кольором. Стандартно сушарка поставляється з брезентом. Для закріплення на основній рамі встановлені дерев'яні бруски. Обидва бруски необхідно видалити перед здійсненням установки.

Пакувальний матеріал необхідно видалити залежно від матеріалу і утилізувати на місці установки відповідно до діючих розпоряджень необхідно забезпечити, щоб сушарка знаходилася в належному місці установки. Порівняти фундамент з планом установки і перевірити її правильність. Якщо фундамент виконаний не відповідно до креслення, то необхідно допрацювати фундамент. Якщо фундамент відповідає планам, то можна починати установку таким чином:

1. Встановити сушарку на міцний фундамент і вирівняти її відповідно до підготовлених отворів для заливки анкерних болтів.
2. Вставити анкерні болти і встановити сушарку з анкерними болтами на фундамент.
3. Перевірити горизонтальне розташування сушарки і, при необхідності, вирівняти за допомогою підкладок (наприклад, лист). При цьому необхідно починати із стійок підшипників.
4. Вирівняти по горизонталі підставу приводу. (Тільки якщо привід і відповідна підстава поставляються окремо). Цапфа редуктора і двигуна повинні знаходитися на одній осі з проміжним валом. Залити анкерні болти бетоном. Основа сушарки повинна повністю прилягати до бетону, оскільки інакше не забезпечується стійкість.
5. Після висихання бетону затягнути болти основи приводу і сушарки.
6. Ще раз перевірити підшипники цапфи редуктора і двигуна щодо проміжного валу.

7. Приварити основу приводу і сушарки в місцях стику.

Після того, як сушарка була вирівняна в горизонтальному положенні, необхідно перевірити, щоб бічні сторони зубів блоку зубчатих коліс 1,2 однаково прилягали по всій ширині зубчатого вінця. На заводі зубчата передача була повністю змонтована і, цей вузол поставляється в стані готовності до експлуатації без заповнення мастилом. Якщо були дотримані всі вказівки по техніці безпеки і вказівки по транспортуванню і установці, то зубчаті колеса повинні рівномірно прилягати по всій ширині. Якщо після закінчення установки ця умова не виконується, то тоді перед введенням в експлуатацію необхідно у будь-якому випадку здійснити додаткове вирівнювання проміжного валу 3.

Експлуатація зубчатої передачі дозволяється тільки в тому випадку, якщо бічні поверхні зубів однаково прилягають по всій ширині! Недотримання веде до серйозного матеріального збитку.

Зазор між бічними поверхнями зубів в холодному поляганні повинен складати від 2,0 до 2,5 мм.

8.1.4. Підключення пари і конденсату

Монтаж підключення пари здійснюється відповідно до креслення, що йде в комплекті.

Необхідно враховувати попереднє затягування паропровідних рукавів.

Що підводять, що поставляються, паропроводи або конденсатопроводи необхідно підключати до фланців, що йдуть в комплекті. Паропроводи і конденсатопроводи повинні бути на місці монтажу забезпечені ізоляцією.

Якщо в комплект поставки входить запобіжний клапан в паропроводі, то до виходу надмірного тиску повинен бути підключений трубопровід.

8.1.5. Перевірка підшипників

Обидва типи підшипників однакові. На стороні плаваючого підшипника розширення апарату передається системою ковзання.

1. Перевірка правильності розташування місць установки підшипників і перевірка гвинтів (при необхідності, підтягти).

2. Перевірка заповнення підшипників мастилом.

8.1.5. Електропідключення

Після успішного монтажу машини фахівці-електрики повинні підключити електронні деталі (наприклад, привід, регульовальний клапан, вентилятори) відповідно до діючих правил VDE і ПТБ або місцевих розпоряджень.

При підключенні двигуна головного приводу необхідно особливо звернути увагу на те, щоб напрям обертання цапфи пучка труб відповідав з напрямом стрілки на запобіжному пристрої шестерні. Якщо двигун підключений неправильно, тобто напрям обертання цапфи пучка не відповідає наклеєній стрілці, то пучок труб обертається у зворотному напрямі і сушарка не працює.

8.2. Ремонт

Основним дефектом поверхонь теплообміну трубчастих сушарок є порушення герметичності в місцях розвальцьовування труб в трубних ґратах, що можна визначити по витоку повітря при подачі його під тиском 0,3 МПа в міжтрубний простір апарату. Місця витоку повітря знаходять по появі пухирців повітря при обмазуванні стиків мильною піною. Причина виникнення даного дефекту полягає в природному зносі металу або браку, допущеному при розвальцьовуванні, - однобоке вальцювання, перевальцовка, підріз труби, тріщини в місцях розвальцьовування. Якщо труба має незначну течу, її підвальцовують. При зносі більше 50% первинної товщини труби замінюють. Якщо пошкоджені одна - дві труби, їх видаляють, а отвори в трубних ґратах тимчасово заглушають.

При капітальному ремонті випарника з нього знімають облицьовування, теплоізоляцію, проводять гідравлічне або пневматичне випробування міжтрубного простору. Тріщини, знайдені в зварних швах апаратів, заварюють.

При зменшенні товщини стінки більш ніж на 25% її замінюють.

Дефектні трубки замінюють новими, їх вставляють в трубні грати з припуском 2—3 мм над її площиною і розвальцьовували за допомогою вальцювання. При обертанні її конічних роликів діаметр кінця трубки в гратах збільшується, за рахунок чого утворюється герметичне з'єднання. Спочатку вальцюють один кінець труби, а потім інший, оскільки інакше може відбутися деформація трубки між гратами.

Після ремонту апарат випробовують на герметичність, розміщують теплоізоляцію, облицьовування, кріплять її кріпильними гвинтами, приєднують трубопроводи, вмонтовують прилади і засоби автоматизації і готують апарат до пуску.

Поверхнями теплообміну у вакуум-апаратах є випарники (калоризатори) і поверхневі конденсатори. Нещільність в з'єднаннях, через які відбувається підсос повітря, знаходять після створення вакууму в апараті по відхиленню відкритого полум'я (свічки або сірники), а також появи течі при заповненні апарату водою.

Перед ремонтом поверхні теплообміну, дотичні з продуктом, очищають циркуляцією содового розчину протягом 8 ч, систему промивають гарячою водою і чистять щітками і металевими йоржами.

Сопло термокомпресора (інжектора) очищають від накипу соляною кислотою. При збірці термокомпресора дуже важливо забезпечити співісну всіх його елементів (сопла, дифузора) і їх первинне взаємне розташування. Розбирати термокомпресор без особливої необхідності не рекомендується.

Мідні поверхні вакуум-апаратів при ремонті лудять. Ремонту підлягають водокільцевій вакуум-насос, продуктовий насос, а також вентилі на паровій і водяній лініях. Після ремонту вакуум-апарат збирають, перевіряють на герметичність, регулюють і здають в експлуатацію.

Таблиця несправностей машини

Несправність	Причина	Спосіб усунення
Матеріал на виході дуже вологий	Великий об'єм подачі продукту; Дуже низький тиск пари; Дуже мало свіжого повітря; Дуже коротка тривалість перебування матеріалу в сушарці; Не працює конденсатовідвідник	Подавати менше матеріалу; Негайно відрегулювати пару; Підвищити подачу свіжого повітря за допомогою повітряних ґрат; Змінити тривалість перебування в розвантажувальній шахті; Відремонтувати конденсатовідвідник
Матеріал на виході дуже сухий	Дуже низький об'єм подачі продукту; Дуже високий тиск пари; Дуже великий об'єм свіжого повітря	Підвищити об'єм подачі матеріалу Відрегулювати пару, якщо це не можливо, вимкнути сушарку; Провести той, що дроселює свіжого повітря за допомогою повітряних ґрат
Скупчення матеріалу	Дуже велика подача продукту; Матеріал, що подається, дуже вологий; Вихід з ладу приводу розвантажувального шнека	Відрегулювати подачу матеріалу, ґрунтуючись на кількості і вологості; Подавати менше матеріалу
Дуже велике споживання струму головним приводом, оглядове скло конденсатовідвідника заповнено	Скупчення конденсату; Дуже велика подача продукту	Перевірити протитиск конденсатовідвідника; Подавати менше матеріалу; Перевірити на предмет забруднення
Скупчення конденсату	Несправна арматура забруднення в лінії або конденсатовідвіднику	Замінити несправну Почистити лінії і/або конденсатоотводчик

8.3. Експлуатація

8.3.1. Введення в експлуатацію

8.3.1.1. Перевірки перед введенням в експлуатацію

Перед введенням в експлуатацію повинні бути дотримані такі умови:

1. Дотримані всі приведені в керівництві по експлуатації вказівки по техніці безпеки.
2. Встановлена горизонтально машина і чи міцно сполучена з фундаментом.
3. Змазані мастилом всі підшипники (мастило повинне трохи виступати збоку підшипника)
4. Враховані інструкції по монтажу і введенню по експлуатацію виробника насоса централізованої змащувальної системи.
5. Сполучений привід сушарки з приводом насоса централізованої змащувальної системи.
6. Виключено царапання лопатей в холодному або прогрітому стані пучка по корпусу.
7. Затягнуті всі кріпильні гвинти лопатей.
8. Правильно приєднані клапани надмірного тиску і вакуумні клапани, що підключаються, і чи готові вони до роботи.
9. Заповнені мастилом або маслом всі редуктори.
10. Вставлені у всі редуктори гвинти підбурювання тиску.
11. Міцно затягнуті всі гвинти підшипників.
12. Міцно затягнуті гвинти сальників.
13. Чи змонтовані належним чином всі запобіжні пристрої і чи захищені всі рухомі деталі згідно місцевим правилам техніки безпеки?
14. Правильно підключені і заповнені достатньою кількістю мастила змащувальні лінії насоса централізованої змащувальної системи.
15. Підключений насос централізованої змащувальної системи відповідно до керівництва по експлуатації виробника і чи правильно був проведено первинне введення в експлуатацію.

16. Заповнена гідравлічна пускова муфта достатньою кількістю масла.
17. Змонтовані і парові головки згідно керівництву по експлуатації виробника.
18. Належним чином змонтовані всі електропідключення, включаючи електрошафу.
19. Заземлені деталі машини.
20. Співпадає напрям обертання пучка труб із стрілкою напряму на запобіжному пристрої зубчатого колеса.

8.3.2. Централізована змащувальна система

Для того, щоб забезпечити безперервне змащування основних підшипників, сушарка на заводі обладнується насосом централізованої змащувальної системи.

Перед введенням в експлуатацію необхідно звернути увагу, щоб головний привід сушарки був зчеплений з приводом насоса централізованої змащувальної системи.

Місткість бака з мастилом насоса складає 30 кг. Обидва основні підшипники обладнано датчиком імпульсів.

У разі відхилення від вибраної кількості змащувальної речовини датчик імпульсів подає імпульс на контрольний прилад імпульсів в розподільній шафі установки.

Граничні значення кількості змащувальної речовини встановлюються введенням в експлуатацію відповідно до приведених далі сторінок. При свідченні помилки спочатку необхідно перевірити, чи є в баку з мастилом достатня кількість мастила або чи має місце бути пошкодження змащувальної лінії.

Необхідно щонеділі перевіряти бак з мастилом на предмет достатнього заповнення.

8.3.3. Введення в експлуатацію сушарки

Необхідно вводити сушарку в експлуатацію відповідно до приведенного далі способу дії:

1. Перевірити, чи належним чином приєднані що підводять або відвідні органи (наприклад, шнеки, стрічкові конвейєри і т.п.).
2. Змазати корінні підшипники. Мазати, поки мастило не виступить з обох підшипників.
3. Включити всі подальші приєднані до машини частини установки (відвідні органи).
4. Ввести машину в експлуатацію відповідно до пускової послідовності.
5. Включити передвключені частини установки (що підводять органи).
6. За допомогою даних продуктивності звернути увагу на те, щоб не підводилося дуже мало або дуже багато матеріалу.
7. У разі можливих неполадок в процесі запуску негайно вимкнути машину і встановити причину несправності.
8. Після усунення несправності вказаним вище способом знову запустити установку.

8.3.4. Запуск і управління сушаркою

1. При запуску сушарки дати попрацювати пучку труб декілька хвилин. Потім за допомогою парового клапана поволі подати пару в сушарку. Щоб уникнути гідравлічних ударів необхідно здійснити рівномірний нагрів пучка. Тривалість фази нагріву не повинна бути менше приблизно 20 хвилин.
2. У разі неполадок з сушаркою необхідно негайно припинити підведення пари. Якщо при повторному запуску тиск в пучку труб більш ніж 3 бар, то в цьому випадку можна відразу закрити головний клапан. Якщо тиск складає менше 3 бар, то пучок труб необхідно поволі нагрівати, як це описано в пункті 1.
3. У разі неполадок в постачанні паром необхідно негайно відключити подачу матеріалу.
4. У разі використання електромагнітних клапанів з дистанційним управлінням, які не можуть відкриватися поволі, необхідно після тривалого простою або у разі холодної установки допомогою ручного клапана, як це

описано в пункті 1.

5. Необхідно дотримувати максимальний надмірний робочий тиск і максимальну робочу температуру згідно технічним даним.

6. Працездатність конденсатовідвідника, необхідно перевіряти через певні проміжки часу з метою забезпечення бездоганного відведення конденсату і щоб уникнути заповнення пучка конденсатом.

7. Обхідний трубопровід (байпас) на конденсатовідвіднику необхідно відкрити під час процесу нагріву сушарки і закрити тільки при виході пари. Це необхідне для запобігання підпору конденсату. Якщо конденсат відводиться в резервуар, який розташований вище, то в цьому випадку між конденсатовідвідником і резервуаром необхідно встановити зворотний клапан. За рахунок цього виключається повернення конденсату назад в пучок.

8. Робота коденсатовідвідника залежить від робочого тиску.

Робочий тиск = тиску перед кондесатовідвідником мінус тиск після конденсатовідвідника (протитиск).

Протитиск залежить від: довжини трубопроводу, кількості трубних колін і висоти подачі. Воно у жодному випадку не повинне перевищувати 1 бар.

Мінімальний робочий тиск залежить від поступаючої кількості конденсату. Воно у жодному випадку не повинне бути менше 3 бар. Максимальний робочий тиск вказаний на конденсатовідвіднику.

9. Щоб уникнути замерзання пучка труб у разі сильного холоду необхідно злити залишковий конденсат в пучку через фланець в головній частині.

10. Для виконання додаткового мастила і заміни пластичного мастила обох корінних підшипників пучка труб, а також періоди між мастилами змащувальних крапок.

11. На заводі з'єднувачі утримувачів лопатей з головними частинами і проміжними пластинами виконані із зазором.

Не сполучати міцно утримувачі лопатей з накладками, оскільки інакше в результаті теплового розширення пучка можливі пошкодження.

12. Перед тривалими простоями протягом декількох тижнів залишки конденсату необхідно злити через заглушки або фланці, розташовані на обох головних частинах. Далі необхідно очистити внутрішній простір охолоджувача, пучок труб, пристрої підведення і подрібнення і відведення пари з вентилятором від залишків матеріалу або пилу, що пристали.

13. Тільки для пригвинченого пучка труб.

Після трьох днів роботи необхідно в холодному поляганні провести додаткове затягування болтів на головній частині пучка труб. Для цієї мети передбачені отвори для виконання контролю на торцевих стінках. Їх необхідно відкрити і видалити кінцеві лопатки.

14. При виконанні додаткових випробувань тиском з боку місцевих органів нагляду слід звернути увагу на те, що підвищення тиску відбувається не безперервним чином за короткий час, а підвищення тиск виконується поступово з декількома інтервалами витримки протягом 10-15хвилин.

15. Для запобігання корозії пучок труб повинен працювати з тиском пари не менше 3 - 3,5 бар.

16. На бічній стороні вентилятора розташований патрубок для видалення води. Під час роботи необхідно забезпечити безперешкодне відведення конденсату, що утворюється.

9. Техніка безпеки та охорона праці при експлуатації обладнання

Виробничі шкідливості при роботі технологічного обладнання .

На виробничій дільниці підприємства ПрАТ «Оболонь», де встановлена трубчаста барабанна сушарка для пивної дробини, можливі наступні небезпечні фактори для обслуговуючого персоналу при її експлуатації /див. рис.1: **Ш** – шум, **В** – вібрація, **М_Т** - механічні травми, **Е** – електробезпека, **Т** – теплове випромінювання, **В_Н**– волого виділення.

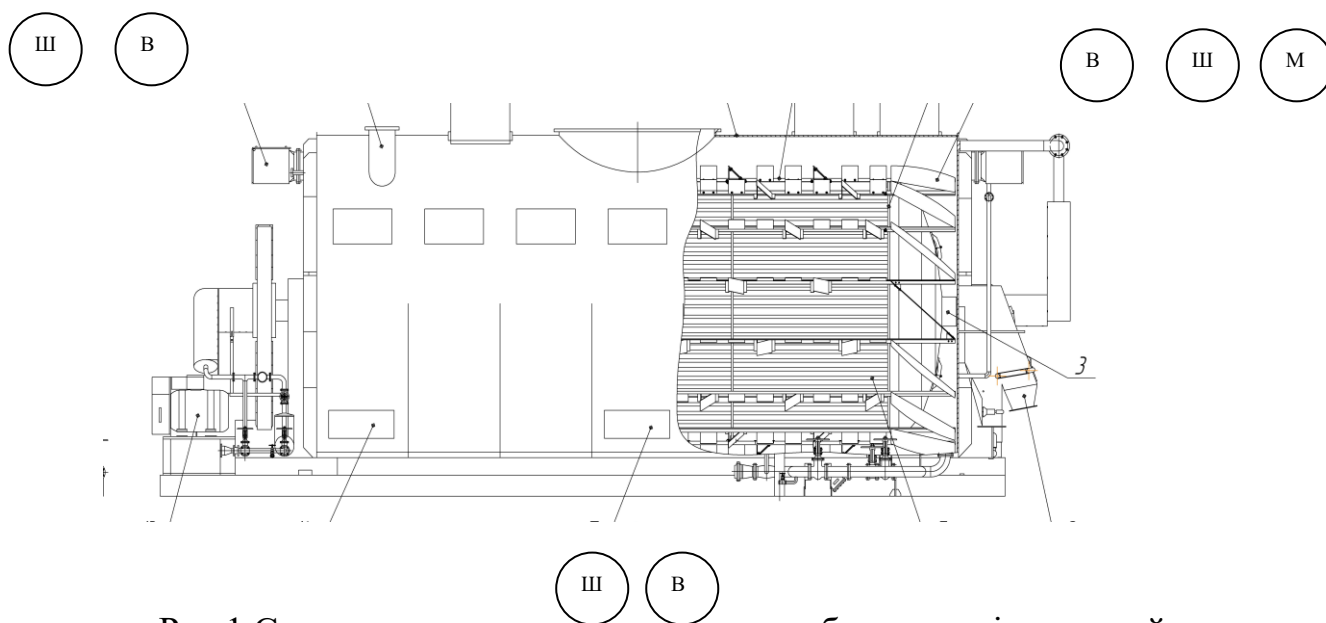
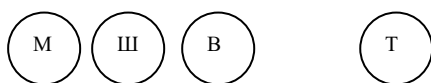


Рис.1 Схема виробничих шкідливостей трубчастої барабанної сушарки

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Удадов С.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Чугаєвський В.О.	Назва, додаткова назва 9. Техніка безпеки та охорона праці при експлуатації обладнання	221900.КР.32.009.ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/6

Шум і вібрація та методи боротьби з ними.

Шум.

Шум – є один з найбільш поширених факторів, що призводить до професійних захворювань обслуговуючого персоналу. Внаслідок дії шуму підвищується втома робітника, як наслідок, збільшується ймовірність помилок при експлуатації обладнання, збільшується загроза виникнення виробничих травм, зменшується продуктивність праці.

Внаслідок впровадження сучасного технологічного обладнання, в останній час, спостерігається тенденція до збільшення шуму на виробництві. Отже, одне з найважливіших завдань з техніки безпеки та охорони здоров'я є боротьба із підвищеним шумом.

Знаючи фізичну природу шуму, закономірності його виникнення та поширення можливо розробити ефективні засоби боротьби із шумом..

Відомо, що звук обумовлюється механічними коливаннями в пружних середовищах та тілах. Частота виробничих шумів лежить у діапазоні 16-20000Гц, які спроможне сприймати людське вухо. Такі механічні коливання називаються акустичними або звуковими. Механічні коливання з частотами нижче 16 Гц -нечутні. Їз називають інфразвуковими, а частоти вище 20000 Гц – ультразвуковими.

Якщо джерело здійснює гармонічні коливання, такий звук, називається тоном. Величина тону визначається амплітудою коливань. Висота тону – є частота коливань.

У виробничих приміщеннях джерелами шуму є робота насосного обладнання, машин та транспортних пристроїв.

Щоб уникнути накладання один на одного звукових полів вищезначеного обладнання, його розташовують по периметру будівлі у окремих ізольованих капітальними стінами приміщеннях.

При налагодженні обладнання, його пуску необхідно здійснювати статичне та динамічне балансування рухомих частин обладнання.

З метою зниження рівня звукового тиску від тепло вентиляційного обладнання до допустимого по ГОСТ 12.1.00.3-76 застосовують наступні заходи:

- обладнання вентиляційне встановлюються у окремих ізольованих приміщеннях;
- здійснюється плавний підвід повітря до входних патрубків вентиляторів;
- встановлюються вібропоглиначі, гнучкі вставки до входних повітропроводів і до нагнітаючих патрубків вентиляторів;
- вентилятори встановлюють на пружинних амортизаторах.

Вібрація.

Виробничі вібрації від роботи обладнання значно погіршують самопочуття працюючого персоналу, знижують його продуктивність. В окремих випадках можуть призвести до серйозних патологічних змін організму людини. Механізація та автоматизація виробництва сприяють ефективним засобам позбавлення людини від шкідливого впливу вібрацій.

Зменшення дії вібрацій шляхом переведення енергії механічного коливання в інші види енергії - наприклад у теплову, називають вібродемпфінунням. У цьому випадку використовують вібродемпфіруючі покриття, або матеріали із більшим внутрішнім тертям, які дозволяють знизити вібрацію в діапазоні середніх та високих частот на 810 дБ.

Техніка безпеки при експлуатації обладнання

1. Сушильна установка обладнана тягонапоромірами, датчиками вимірювання температури, сигналізацією та автоматикою у разі відключення подачі палива тощо;
2. Печі сушарки із спалюванням палива обладнані вибуховими клапанами.
3. Сушильна установка для пивної дробини обладнана:
аварійними пристроями скидання тиску;
пристроями пиловловлення;
пристроями захисту

4. Бункери завантаження та вивантаження сушильних апаратів герметизовані.
5. Сушильні барабани оснащені штуцерами для підведення пари на випадок гасіння під час загорання .
6. Сушильні установки, що працюють на рідкому паливі оснащені манометрами та іншими пристроями для вимірювання тиску , тягонапоромірами вимірювання розрідження у топці; запобіжними клапанами.
7. Конструкції сушильних установок оснащені також витратними баками рідкого палива поза приміщенням установки.
8. Пуск сушильної установки, розпалювання печі здійснюються після дозволу начальника цеху та проводяться у відповідності виробничої інструкції з охорони праці.
9. В конструкції топки печі є оглядові віконця для контролю роботи та регулювання підводу повітря для охолодження газів.
- 10.3 метою огляду, технічного обслуговування барабанних сушарок на корпусі барабану, шнеках розвантаження, циклонах встановлені люки.
11. З метою запобігання підсосу повітря у завантажувальних камерах та у вивантажувальних пристроях встановлені ущільнення.
12. Відбір проб висушеної дробини здійснюється через люк розташований у шнеку вивантаження.
13. Для нагляду за технологічним процесом в середині барабана передбачено оглядове вікно, яке розміщене на задній стінці вивантажувального пристрою.
14. До обслуговування сушильних установок, печей допускаються особи, що пройшли навчання та підготовку, мають відповідне посвідчення.
15. операції по очищенню печі проводяться при виключеній подачі палива і відкритому шибері природної тяги.
16. Вологість сухого продукту, що транспортується до складу не повинна перевищувати 14%, а його температура — не вище 30°C.

Пожежна безпека

Головними міроприємствами пожежної безпеки є:

- проведення своєчасних технічних оглядів: огляди та змащення пар тертя (штоки пневмо-циліндрів, підшипникові вузли тощо);
- виконання правил безпеки, що передбачені при зупинці обладнання на огляд та ремонт;
- своєчасний огляд та перевірка ізоляції обладнання;
- своєчасне проведення інструктажу та навчання працюючого персоналу

Електробезпека

По небезпеці враження електричним струмом сушильне відділення, де встановлено основне обладнання, відноситься до приміщень підвищеної небезпеки.

З метою захисту персоналу від ураження електричним струмом передбачене заземлення. Усі струмене подаючі частини електроустановок заземлені.

Безпека персоналу від ураження струмом досягається :

- а) застосуванням необхідної ізоляції ;
- б) закриття та огороження струмоподаючих частин ;
- в) автоматичним відключенням частин електрообладнання , що випадково опинилося під струмом;
- г) забезпечення пониженої напруги джерела струму ремонтного освітлення ;
- д) заземлення корпусів електрообладнання та елементів електроустановок.

Освітлення

У виробничому відділенні сушильного цеху застосовується два види освітлення - природне (комбіноване) та штучне.

Освітлення природне облаштовується за допомоги встановлення великих вікон та світлових ліхтарів.

Освітлення місцеве створюється штучними джерелами світла. Існує робоче, аварійне та охоронне освітлення. Типи світильників обирають у відповідності характеристики та призначення приміщень . Світильники рівномірно розміщують по всій площині цеху.

. Місцеве освітлення оснащено люмінесцентними лампами, що встановлені на робочих місцях. Люмінесцентне освітлення цеху 200 лк.

Аварійне освітлення 75 лк забезпечує безпечне перебування обслуговуючого персоналу в приміщенні, для евакуації людей.

Вентиляція

У виробничому приміщенні сушильного відділення передбачається припливно – витяжна вентиляція з механічним спонуканням для створення в приміщеннях потрібно повітрообміну. Дані системи забезпечують викиди повітря сушильною установкою , а також потреби у загальнообмінній припливній вентиляції.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі глибоко та детально розглянуто сучасні технічні та технологічні рішення стосовно переробки пивної дробини на пивоварних підприємствах. Здійснений аналітичний огляд стану техніки та технології переробки сирої солодової пивної дробини довів, що сушка даного продукту є найбільш доцільним та раціональним способом. Висушена пивна солодова дробина – є екологічно чистий цінний біологічний продукт, стійкий при зберіганні та є транспортабельним на відміну від свіжої сирої пивної дробини.

Здійснені теоретичні та експериментальні дослідження процесу висушивання пивної дробини з метою розробки найбільш доцільного та раціонального способу та режиму сушки.

Основне завдання науково-дослідної частини роботи полягало у встановленні найбільш доцільних та раціональних параметрів сушки вологої пивної дробини. З цією метою був проведений ретельний аналіз та досліджено процес сушки пивної дробини на основі сучасної теорії тепло- і масообміну. Здійснені у подальшому дослідження дозволили виявити та визначити вплив основних параметрів сушильного агента на тривалість висушивання пивної дробини. Внаслідок проведених досліджень було встановлено, що найбільш доцільним та раціональним режимом сушки вологої пивної дробини є температура сушильного агента 120°C, його швидкість 1,3 м/с та відносна вологість 7%.

Здійснений також аналіз багатотрубною сушарки для пивної дробини за допомоги програми Flow Vision.

Наведене техніко-соціальне обґрунтування, технічні та

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удадов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чугаєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> Висновки	221900.KP.32.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

технологічні розрахунки основних показників роботи обладнання свідчать, що даний проект є доцільним до впровадження у виробництво. Він є технічно та соціально ефективним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мирончук В. Г., Орлов Л. О., Українець А. І., Пушанко М. М., Гуцалюк В. М., Яровий В. Л. «Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості». Навч. Посібник - Вінниця. Нова книга. 2004 - 288 с.
2. В.Кунце «Технология солода и пива», Издательство «Профессия», Санкт - Петербург, 2001, 912 с.
3. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок. (Учеб. для высш.техн.учеб.заведений). М.-Л., Госэнергоиздат, 1963, 320 с.
4. Лыков А.В. Теория сушки. М., «Энергия», 1968. 472 с.
«Основные процессы и аппараты химической технологии» под ред. Ю. И. Дитнерского. Москва. Химия. 1991.
5. «Проектирование процессов а аппаратов пищевых производств» под ред. Стабникова В. Н. Киев. 1982.
6. О. В. Богомолов, П. В. Гурський, В. П. Богомолова «Курсове та дипломне проектування переробних і харчових підприємств». Навч. Пос. - Харків: Єспда 2005. 432 с.
7. О. В. Богомолов. С. Сафонова «Управління якістю переробних і харчових виробництв».
8. Домарецький В. А. «Технологія солоду і пива». -К.: Інкос, 2004. 426с.
9. Д. М. Гальперин, Г. В. Миловичев «Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств». Москва ВО. Агропромиздат. 1990.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Удадов С.О.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Чугаєвський В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> Список використаних джерел		221900.КР.32.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/4

10.«Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности» под ред. И. Т. Кретьова. Москва. Легкая и пищевая промышленность. 1983.

11. «Процеси і апарати харчових виробництв» за ред. І. Ф. Малежика. Київ. НУХТ. 2003.

12. «Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості» за ред
І. С. Гулого. Вінниця. Нова книга. 2001.

13. «Справочник пивовара» под ред. М.Т.Денщикова и В.В.Рудольфа, Москва. «Пищевая промышленность». 1969.

14. П.М.Мальцев, М.В.Зазирная «Технология безалкогольных и слабоалкогольных напитков», М. «Пищевая промышленность». 1970.

15. «Транспортно-технологічні схеми пивзаводів» За ред. А.І.Соколенка. -К.: АртЕк, 2002. - 304с.з іл..

16. «Вторичные материалы ресурсы пищевой промышленности». Справочник. Под. ред. А.Е.Юрченко, - М.Экономика, 1984, -328с.

17. М.Т.Кочубеева, Н.В.Воинова, Л.Г.Цымбалюк, Д.Г.Юдицкий. «Организация, планирование и управление в бродильном производстве».- К.:Вища шк. Главное изд-во, 1984. - 384с.

18. В.И.Попов, И.Т.Кретьов, В.Н.Стабников, К.П.андреев «Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности» -М.: «Пищевая промышленность». 1972.-591с.

19. Гинсбург А.С. «Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности».-М.: Агропромиздат, 1985. - 336с.

20. М.Я.Азрилевич «Технологическое оборудование сахарных заводов» -М.: «Пищевая промышленность». 1972. -312с.

21. Орлов В.Д., Заборсин А.Ф., Яровой С.Л. «Производство сушеного свекловичного жома».- М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. -112с.

22. Кафаров В.В., Глебов М.Б. «Математическое моделирование основных процессов химических производств» -М.: Высш. шк., 1991. -400с.

23. Мальцев П.М. «Технология бродильных производств». -М.: Пищевая промышленность, 1980. -590с.

24. Мирончук В.Г., Гулий І.С., Пушанко М.М. та ін. «Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості». - Вінниця: Нова книга, 2007. -648с.

25. Главачек Ф., Лхотский А. «Пивоварение». -М.:пищевая промышленность, 1977. - 624с.

26. И.Т.Кретов «Исследование процессов механического обезвоживания и сушки пивной дробины» - диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Научный руководитель - доктор технических наук профессор В.И.Попов. - К. 1962.

27. В.Р. Кулінченко, В.Г. Мирончук "Випарювання і випарні апарати у розрахунках і конструюванні" :Навч. посібник.- К.: Кондор, 2006.-392с.

28. З.М. Кучинкас, В.И.Особов "Оборудование для сушки, гранулирования и брикетирования кормов"-М.:Агропромиздат, 1988.- 208с.

29. Інструкція по експлуатації багатотрубної сушарки.

30. Пиво и напитки. - М. 2006. №5.

31. Пиво и напитки. - М. 2007. №2.

32. Производство спирта и ликероводочных изделий. М. 2007 №1.