

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»
Директор інституту (декан факультету)
Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Олександр ГАВВА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Інжиніринг харчових виробництв»

на тему: «Імітаційне моделювання процесу роботи заторно-сусловарильного апарату об'ємом 2м³»

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОХ-2-5М

Постоев Валентин Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник: Чепелюк Олександр Миколайович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ 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 проф. Олександр ГАВВА

“ ” 20 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Постоева Валентина Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Імітаційне моделювання процесу роботи заторно-сусловарильного апарату об'ємом 2м³»

керівник роботи Чепелюк Олександр Миколайович, к.т.н, доцент,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 01 ” 10 2024 р. № 859-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: технічний паспорт обладнання; креслення обладнання; навчальна, нормативна та спеціальна література.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): анотація; зміст; вступ; аналітичний огляд обладнання для приготування затору та кип'ятіння сусла; об'єкт та методика досліджень; моделювання процесів приготування затору та сусла в пакеті "flow simulation"; розробка заторно-сусловарильного апарата; монтаж, експлуатація і ремонт обладнання охорона праці та техніка безпеки; висновки; список використаної літератури; додатки

5. Перелік графічного матеріалу загальний вигляд обладнання (1 аркуш); креслення вузлів (2 аркуші); машинно-апаратна схема лінії (1 аркуш)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01 жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Анотація</i>	<i>02.10.2024</i>	<i>виконано</i>
2	<i>Зміст</i>	<i>02.10.2024</i>	<i>виконано</i>
3	<i>Вступ.</i>	<i>03.10.2024</i>	<i>виконано</i>
4	<i>Аналітичний огляд обладнання для приготування затору та кип'ятіння сусла</i>	<i>04.10.2024</i>	<i>виконано</i>
5	<i>Об'єкт та методики досліджень</i>	<i>10.10.2024</i>	<i>виконано</i>
6	<i>Моделювання процесів приготування затору та сусла в пакеті "flow simulation"</i>	<i>17.10.2024</i>	<i>виконано</i>
7	<i>Розробка заторно-сусловарильного апарата</i>	<i>24.10.2024</i>	<i>виконано</i>
8	<i>Графічна частина</i>	<i>05.11.2024</i>	<i>виконано</i>
9	<i>Монтаж, експлуатація і ремонт обладнання</i>	<i>11.11.2024</i>	<i>виконано</i>
10	<i>Охорона праці та техніка безпеки</i>	<i>15.11.2024</i>	<i>виконано</i>
11	<i>Висновки, додатки</i>	<i>19.11.2024</i>	<i>виконано</i>
12	<i>Список використаної літератури</i>	<i>21.11.2024</i>	<i>виконано</i>
13	<i>Оформлення записки</i>	<i>26.11.2024</i>	<i>виконано</i>
14	<i>Подача МР на кафедру.</i>	<i>29.11.2024</i>	<i>виконано</i>

Здобувач

_____ (підпис)

Валентин ПОСТОЄВ

_____ (ім'я та прізвище)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олександр ЧЕПЕЛЮК

_____ (ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

В магістерській кваліфікаційній роботі я обґрунтував актуальність теми, охарактеризував вітчизняну пивоварну галузь, провів аналітичний огляд обладнання для затирання солоду і кип'ятіння сусла. Також виклав основи процесу затирання і кип'ятіння, зазначивши основні характеристики затору та сусла і визначив параметри, що впливають на процес перемішування.

Провів дослідження процесу затирання та кип'ятіння сусла. Створив 3D модель заторно-сусловарильного апарату в програмі "Solid Works" і провів дослідження в пакеті "Flow Simulation" за допомогою яких було встановлено раціональні параметри затирання та приготування сусла. Розробив рекомендації щодо режиму перемішування, який найкраще підходить для оптимального режиму змішування. Навів конструкцію перемішуючого пристрою, який найкраще підійде для перемішування затору та сусла.

Провів геометричні розрахунки розміру апарату, площину поверхні теплопередачі, витрати пари та розрахував потужності електродвигуна для процесу перемішування.

Робота складається з 77 листів з пояснювальної записки та 5 листів графічної частини.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: затор, пивне сусло, перемішування, моделювання, моделювання.

ABSTRACT

In my master's qualification work, I substantiated the relevance of the topic, characterized the domestic brewing industry, conducted an analytical review of equipment for mashing malt and boiling wort. I also outlined the basics of the mashing and boiling process, noting the main characteristics of the mash and wort, and determined the parameters that affect the mixing process.

I conducted a study of the mashing and boiling process of wort. I created a 3D model of the mashing and wort brewing apparatus in the "Solid Works" program and conducted research in the "Flow Simulation" package, with the help of which rational parameters for mashing and wort preparation were established. I developed recommendations for the mixing mode that is best suited for the optimal mixing mode. I suggested the design of a mixing device that is best suited for mixing the mash and wort.

Conducted geometric calculations of the size of the apparatus, the plane of the heat transfer surface, steam consumption and calculated the power of the electric motor for the mixing process.

The work consists of 77 sheets of explanatory notes and 5 sheets of the graphic part.

KEYWORDS: mash, beer wort, mixing, modeling, simulation.

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Аналітичний огляд обладнання для приготування затору та кип'ятіння сусла.....	10
1.1. Технологічна схема варильного відділення	
1.2. Аналіз конструкцій заторних апаратів	
1.3. Аналіз конструкцій сусловарильних апаратів	
1.4. Аналіз конструкцій заторно – сусловарильних апаратів	
Розділ 2. Об'єкт та методики досліджень.....	31
2.1 Заторно-сусловарильний апарат, як об'єкт досліджень	
2.2 Моделювання, як метод дослідження	
Розділ 3. Моделювання процесів приготування затору та сусла в пакеті "flow simulation".....	34
3.1. Призначення програмного комплексу "Flow Simulation"	
3.2. Розробка геометричної моделі апарату	
3.3. Розробка математичної моделі процесу перемішування і нагрівання затору і сусла в заторно-сусловарильному апараті	
3.4. Результати моделювання технологічних процесів в заторно-сусловарильному апараті	
Розділ 4. Розробка заторно-сусловарильного апарата.....	47
4.1. Будова і принцип роботи заторно-сусловарильного апарата	
4.2. Розрахунок заторно-сусловарильного апарата	
Розділ 5. Монтаж, експлуатація і ремонт обладнання.....	61
Розділ 6. Охорона праці та техніка безпеки.....	64
Висновки.....	66
Список використаної літератури.....	68
Додатки.....	70

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Постоев В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст	192003.KP.022.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

Вступ.

Однією з найважливіших галузей харчової промисловості України є бродильна промисловість. Це не лише одна з провідних галузей, але й одна з найстаріших, яка бере свій початок кілька сотень років тому. Продукт цієї галузі — пиво з великою різноманітністю смаків та сортів. Протягом довгої історії цей продукт здобув прихильність багатьох народів і поколінь з різними вподобаннями.

У деякі роки українська аграрна промисловість не змогла забезпечити пивоварні заводи дешевим і якісним ячменем. Урожай хмелю покрити лише 18% потреб пивоварної галузі. Більшість великих виробників пива надають перевагу прямим контрактам з виробниками сільгосппродукції, що дозволяє їм забезпечити до 80% обсягів солодової та хмільової сировини. Решту сировини для виробництва елітних сортів пива закуповують за кордоном.

Споживання пива в Україні в певні роки становило близько 21 літра на душу населення, у порівнянні з 16 літрами у 2006 році. З цього обсягу 87,5% припадало на світле пиво, а 12,5% — на темні сорти. Приблизно 75% споживаного українцями пива було пастеризованим, і лише 25% — непастеризованим, так званим "живим" пивом. Загалом в Україні близько 20 мільйонів людей п'ють пиво з різною регулярністю. Якщо порівняти споживання пива серед європейських країн, то в Україні цей показник у 1,5 раза нижчий, ніж у сусідній Росії, у 8 разів нижчий, ніж у Чехії, і як мінімум у 10 разів нижчий, ніж у Баварії, головній пивній провінції Німеччини.

Українці споживали близько 33-37 літрів пива на душу населення. Однак, за прогнозами фахівців, Україна досягне показника 70 літрів на душу населення.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Постоев В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Вступ	192003.KP.022.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/3

Однією з ключових галузей харчової промисловості України є бродильна промисловість. Це не тільки провідна галузь, але й одна з найстаріших, коріння якої сягає сотень років тому. Пиво, з його багатою різноманітністю смаків та сортів, є основним продуктом цієї галузі. Протягом своєї довгої історії пиво здобуло популярність серед різних народів та поколінь.

Виробництво пива вимагає значних зусиль. Перед тим, як почати його виробництво, необхідно побудувати заводи з чіткою організацією всіх підрозділів, використовуючи світовий досвід, сучасні процеси і обладнання, а також максимальну механізацію та автоматизацію транспортних і складських робіт.

На солодових та пивоварних заводах для зниження витрат матеріальних ресурсів впроваджуються нові перспективні технологічні процеси, нові машини та апарати. Застосовуються нові методи замочування зерна, солодження та сушіння високоферментативного солоду, використовуються циліндроконічні бродильні апарати для швидкого та безперервного бродіння і доброджування пива, діатомітові фільтри та апарати для освітлення суслу і пива. Важливу роль відіграє переробка та утилізація відходів виробництва та заходи з охорони навколишнього середовища.

Першим етапом створення пива є приготування пивного сусла – складної полідисперсної системи, яка є цукристим напівпродуктом із вмістом хмельових речовин. Найважливішим є перетворення нерозчинних компонентів солоду та його замінників у розчинний екстракт завдяки ферментативним реакціям. Переведення специфічних речовин хмелю у розчин відбувається фізичними та хімічними процесами.

Приготування охмеленого сусла включає три основні процеси: а) затирання – переведення екстрактивних речовин зернопродуктів у розчин; б) фільтрування оцукреного затору; в) охмелення сусла шляхом кип'ятіння з хмелем.

З переходом на сучасні методи виробництва та боротьбою за ринок споживачів постає питання ефективного використання енергоресурсів, зниження витрат на виробництво і впровадження нової техніки. Модернізація обладнання також дозволяє підвищити його ефективність.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ЗАТОРУ ТА КИП'ЯТІННЯ СУСЛА

1.1. Технологічна схема варильного відділення

Відповідно до апаратурно-технологічної схеми варильного відділення (рис. 1.1), солод і ячмінь подаються в бункери 3 і 16 після попереднього зважування на автовагах 4. З бункерів солод надходить у полірувальні машини (або повітряно-ситові сепаратори) 2, а потім в бункер 1. Далі через автоваги 4 переміщується в дробарку 5 і бункер 15. Несолоджений ячмінь після магнітного сепаратора 17 зважується на автовагах 4, подрібнюється на вальцьовому станку 6 і подається в бункер 14.

Подрібнені солод та ячмінь надходять у заторні апарати 12 і 13 для приготування затору. Перекачування рідкої та густої частин затору здійснюється з одного заторного апарату в інший відцентровим насосом 11. Приготовлена заторна маса насосом 11 із заторних апаратів 12 і 13 подається у фільтраційний апарат 7. Мутне сусло, отримане на початку фільтрування, насосом 8 повертається у фільтраційний апарат, а прозоре сусло стікає у сусловарильний апарат 9, де кип'ятиться з хмелем, що призводить до концентрування та ароматизації. Для відокремлення від пелюсток хмелю, гаряче охмелене сусло пропускається через хмелевідбірник 10 і насосом 11 перекачується на освітлення.

Солодова дробина з фільтраційного апарату насосом 11 направляється у спеціальні резервуари, а з них — на реалізацію. Освітлення та охолодження суслу здійснюються на двох апаратах: перший призначений для видалення завислих часточок, другий — для охолодження суслу до початкової температури бродіння. Перша стадія — охолодження гарячого суслу до 60—70 °С — відбувається у відстійному апараті, друга (до 6 °С) — в автоматизованому пластинчастому теплообміннику.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепелюк О.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Постоев В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Розділ 1		192003.KP.022.000.ПЗ		
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.					

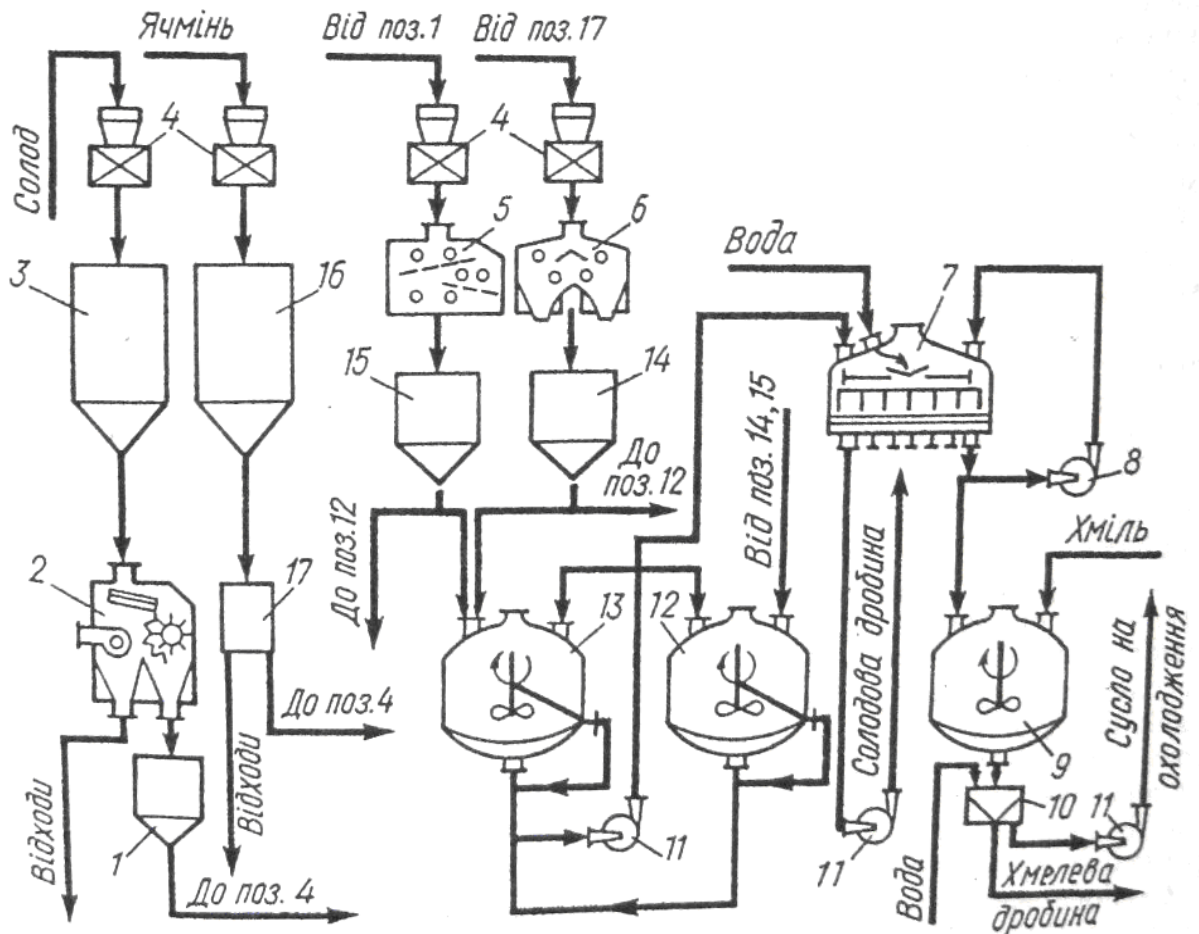


Рис. 1.1 Апаратурно-технологічна схема варильного відділення

Варильний агрегат є комплексом, що включає заторний, фільтраційний та сусловарильний апарати, з'єднані між собою трубопроводами в єдину систему. Продуктивність варильних агрегатів визначається кількістю одночасно оброблюваного солоду і може становити 0,5; 1; 1,5; 3; 5,5 тонн і більше.

У заторному апараті здійснюються змішування подрібненого солоду та ячменю з водою, нагрівання і кип'ятіння заторної маси. Апарат являє собою циліндричну місткість з подвійним сферичним днищем, що утворює парову камеру для нагрівання і кип'ятіння заторної маси. Пара подається в сорочку через кільцевий паропровід у кількох точках. Конденсат виводиться через конденсатовідводи, розташовані в декількох місцях, а неконденсовані гази видаляються через трубу в атмосферу

Для збирання та відведення конденсату, що утворюється у витяжній трубі, використовується труба з кільцевим жолобом та трубкою. Ця труба встановлена на куполоподібній кришці. Тяга у витяжній трубі регулюється поворотною заслінкою за допомогою лебідки.

Заторна маса перемішується за допомогою мішалки. Труба, призначена для декантації рідкої частини затору, шарнірно закріплена біля основи, а верхній відкритий кінець підтримується поплавком на невеликій глибині від поверхні рідини. Вся рідка частина затору опускається без залишку по трубі, яка перекривається вентиляем.

Подрібнений солод, що подається по трубі у заторний апарат, змочується теплою водою із змішувача. Апарат оснащений розподільним краном для спрямування і перекачування заторної маси в сусідній заторний або фільтраційний апарат. Заторна маса з сусіднього апарата повертається по відповідній трубі.

Типовий сушварильний апарат за своєю конструкцією схожий на заторний, але має більшу поверхню нагріву. Завдяки великій кривизні парової сорочки стовп рідини біля стінок має невелику висоту і велику поверхню нагрівання порівняно з рідиною всередині апарата. Тому біля стінок пароутворення буде інтенсивнішим, і рідина міститиме більше бульбашок та пари, що як легша, витіснятиметься вгору важчою рідиною, що знаходиться в центрі апарата.

Сушварильні апарати такої конструкції доцільно замінювати герметично закритими, що працюють під тиском. Це дозволить не тільки використовувати вторинну пару, а й інтенсифікувати екстрагування гірких речовин хмелю і коагуляцію білків.

Сушварильний апарат має циліндричну форму з герметичною куполоподібною кришкою, розрахунковий тиск в ньому становить 0,02 МПа. Кришка оснащена конічним клапаном, який герметично закриває витяжну трубу, люком з герметичним затвором, трубою з вентиляем для перепускання

вторинної пари у витяжну трубу при закритому клапані, трубою з запобіжним клапаном та вентилям для подачі вторинної пари в підігрівник, оглядовим вікном та освітлювачем. Конічний клапан піднімається і опускається шляхом обертання валика. Важка кришка люка має противагу, опущену на тросі в порожню трубу.

Фільтраційний апарат за своєю конструкцією є циліндричною посудиною з плоским дном. Сітчасте дно (живий перетин сита 4—8% від загальної площі) розміщене на відстані 8—12 см від суцільного дна і слугує основою для фільтруючого шару дробини. Відфільтроване сусло витікає з апарата через трубки, рівномірно розміщені по основному дну. Для регулювання швидкості фільтрування кінці трубок оснащені спеціальними кранами.

Для рівномірного та найповнішого екстрагування дробини у фільтраційному апараті встановлено механізм розпушення, що являє собою мішалку з вертикальними поворотними ножами. Під час промивання дробини водою ножі поступово занурюються в її шар, зберігаючи структуру. З допомогою ножів промита дробина вивантажується з апарата. Бокові стінки апарата покриті ізоляцією. Апарат оснащений сферичною кришкою та витяжною трубою.

Фільтраційні апарати також мають регулятори тиску, які дозволяють змінювати швидкість фільтрування одним загальним краном. При наявності регулятора тиску мутне сусло, освітлене у фільтраційному апараті, повертається у фільтраційний апарат через крани і збірну трубу, спрямовується в резервуар регулятора тиску. З резервуара сусло проходить через загальний фільтраційний кран і стікає у сусловарильний апарат.

Кількість сусла регулюється за допомогою загального фільтраційного крана. Різницю рівнів рідини в скляних манометричних трубках використовують для визначення зміни фільтраційного тиску, який на початку фільтрування за нормальних умов повинен підтримуватися на рівні 1 кПа.

Якщо тиск досягає 2,5 кПа, дробину слід розпушити. Об'єм фільтраційного апарату для кожних 100 кг солоду та несолоджених матеріалів становить 0,6-0,7 м³. Діаметр фільтраційного апарата розраховується залежно від необхідної площі поверхні фільтраційних сит. При висоті шару дробини 35 см (з розрахунку виходу 180 кг сирої дробини на 100 кг сухого солоду) необхідна площа сит на 100 кг сухого солоду становить 0,5 м². Кожному крану має відповідати площа сит 1,25—1,5 м². Виходячи з цих параметрів, визначають кількість фільтраційних кранів.

Застосування фільтрпресів у варильному відділенні є ефективнішим порівняно зі звичайними фільтраційними апаратами. Це пояснюється тим, що вихід екстракту збільшується на 1% завдяки дрібнішому помелу зерна, а також можливістю обробки 5-6 заторів за добу.

1.2. Аналіз конструкцій заторних апаратів

Основними апаратами для приготування пивного суслу є заторні, фільтраційні та сушварильні апарати, які з'єднані між собою трубопроводами в єдину систему, що називається варильним агрегатом (рис. 1.2). У схемі агрегату є насоси для перекачування заторної маси, мутного суслу та гарячого хмельового суслу, а також хмелевідділювач і засоби для контролю та управління процесами приготування суслу.

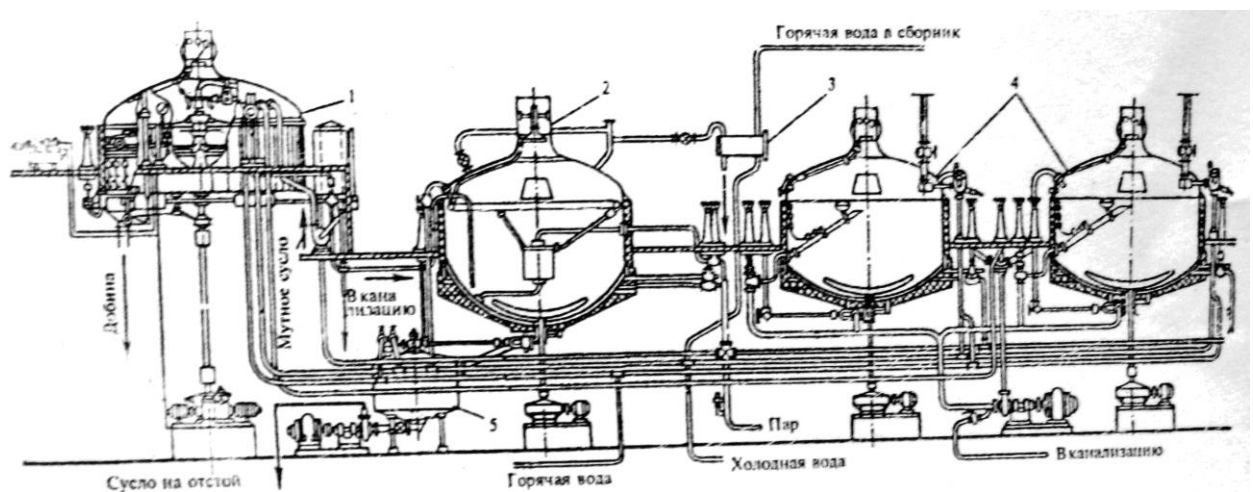


Рис. 1.2. Варильний агрегат

Варильні агрегати розрізняють за кількістю основних апаратів на двох-, чотирьох- і шестиапаратні.

Найчастіше застосовуються чотирьохапаратні агрегати, які складаються з двох однакових заторних апаратів, одного фільтрувального і одного сушварильного апарата. Кожен варильний апарат оснащений хмелевіддільником, заторним і русловим насосами, а також насосами для мутного сула.

Шестиапаратні варильні агрегати складаються з двох взаємозамінних заторних апаратів, двох фільтрувальних і двох сушварильних апаратів.

Ще не так давно для затирання солоду у типових чотирьохапаратних агрегатах використовували два апарати, кожен з яких мав своє призначення. Заторний апарат не мав нагрівної поверхні і використовувався для змішування подрібненого солоду з водою, при цьому температура затору підвищувалась за рахунок відвару. Відвари кип'ятилися у заторному апараті, який за розмірами був менший за заторний апарат і мав нагрівальну поверхню.

Сьогодні використовують два заторні апарати однакової конструкції та розміру, які є повністю взаємозамінними, і затирання можна починати в будь-якому з них.

Для затирання необхідно два апарати, оскільки при відварювальному способі частина затору кип'ятиться, а в іншій частині витримується температурна пауза. Тому, принаймні одна з двох ємностей повинна мати обігрів. У сучасних варочних цехах обігріваються обидва заторні апарати.

Заторний апарат типу ВКЗ (рис. 1.3) являє собою сталевий циліндричний резервуар з подвійним сферичним днищем і сферичною кришкою. Простір між днищами виступає як парова сорочка, в яку подається гріюча пара. Парова сорочка має відповідні фланці та засоби для підведення пари, відведення повітря та конденсату.

У нижній частині сферичного днища апарату розташований розвантажувальний пристрій для спуску частини затору (густої фази) на відварку або для випуску всього затору при передачі його у фільтраційний апарат.

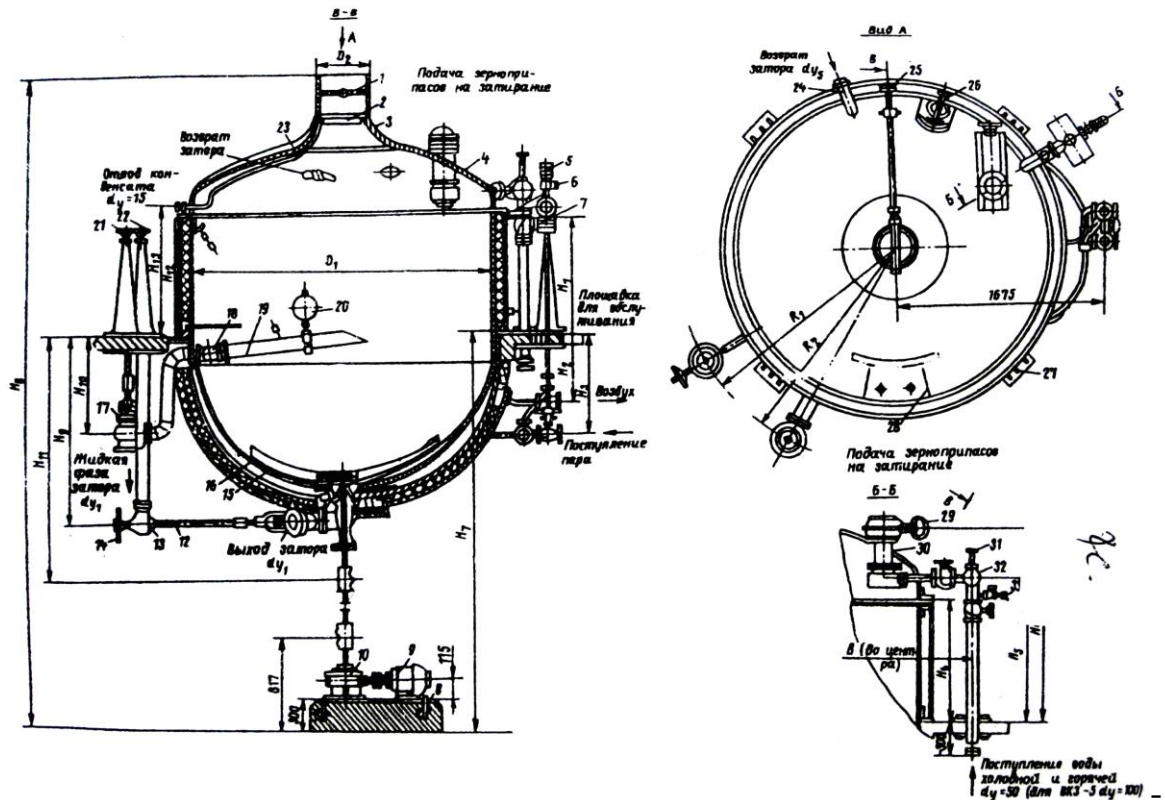


Рис. 1.3. Загальний вигляд заторного апарата типу ВКЗ

Управління розвантажувальним пристроєм здійснюється поворотом одного з двох маховичків 14 і 22. Один маховичок встановлений на осі 12, а інший – на колонці, що знаходиться на площадці для обслуговування.

Апарат має по колу опорне кільце з кутника, до якого приварені чотири башмаки 27 для встановлення його на площадці. Через те, що апарат може встановлюватися на різній висоті в залежності від місцевих умов, приводний вал мішалки виконаний із окремих частин, з'єднаних муфтами.

Довжина середньої частини вала уточнюється під час монтажу. Подрібнений солод (зерноприпаси) потрапляє в передзаторник, де пом'якшується теплою водою із змішувача, потім у вигляді кашіці

зливається в апарат. Після відварювання заторна маса насосом знову подається в апарат для кип'ятіння, а звідти - у фільтраційний апарат.

Змішування подрібненого солоду та непідсолодженої зернової сировини з водою, нагрівання і кип'ятіння заторної маси виконують в заторному апараті (рис. 1.4), який являє собою циліндричну посудину 12 з подвійним сферичним днищем 20, що утворює сорочку для нагрівання і кип'ятіння заторної маси.

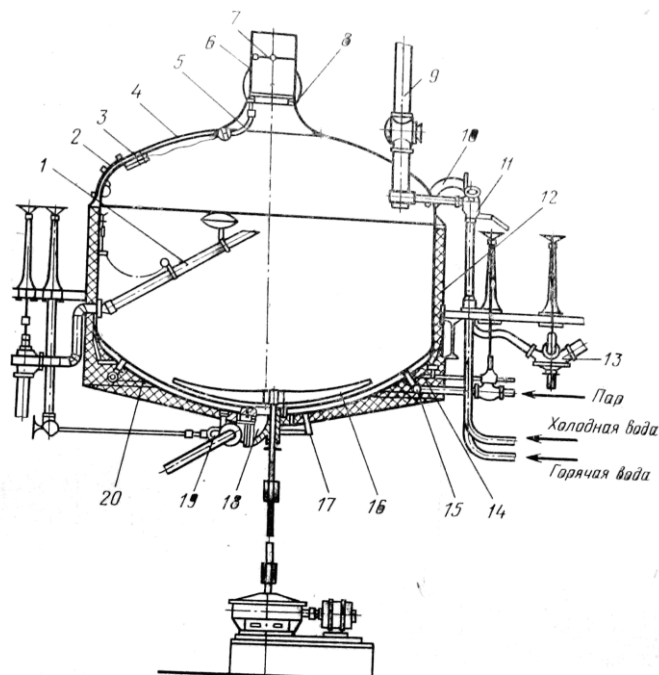


Рис. 1.4. Типовий заторний апарат

Гріюча пара подається в парову сорочку в декількох точках із кільцевого паропроводу 15. Конденсат відводиться через конденсатовідвідник 17. Гази з парової сорочки, що не конденсувалися, виводяться по трубі 14.

Куполоподібна кришка 4 оснащена витяжною трубою 6 з кільцевим жолобком 8 і трубкою 5 для збору і відведення конденсату в каналізацію, який утворюється у витяжній трубі. Тягу у витяжній трубі регулюють поворотною заслінкою 7 за допомогою лебідки 3. На кришці апарата знаходиться розсувний оглядовий люк 2. Лопатева мішалка 17 приводиться в дію від електродвигуна через редуктор. Труба 1 призначена для декантації

рідкої частини затору. Вона шарнірно закріплена біля основи, а верхній відкритий кінець підтримується поплавком на невеликій глибині від поверхні рідини. Апарат звільняється через трубу 18, яка перекривається вентилям 19.

1.3. Аналіз конструкцій суслварильних апаратів

У суслварильному апараті сусло інтенсивно кип'ятять, тому він повинен бути обладнаний потужним обігрівом. За видом обігріву розрізняють:

- суслварильні апарати з прямим обігрівом;
- суслварильні апарати з паровим обігрівом;
- суслварильні апарати з обігрівом гарячою водою.

Суслварильні апарати з прямим обігрівом. Одним з найперших апаратів є суслварильний апарат з прямим обігрівом, де обігрів здійснюється шляхом прямого спалювання палива під днищем апарата. Завдяки сферичній формі дна апарата кипляче сусло циркулює від центру до бічних стінок. Суслварильні апарати часто переробляли на пряме опалювання газом або топковим мазутом.

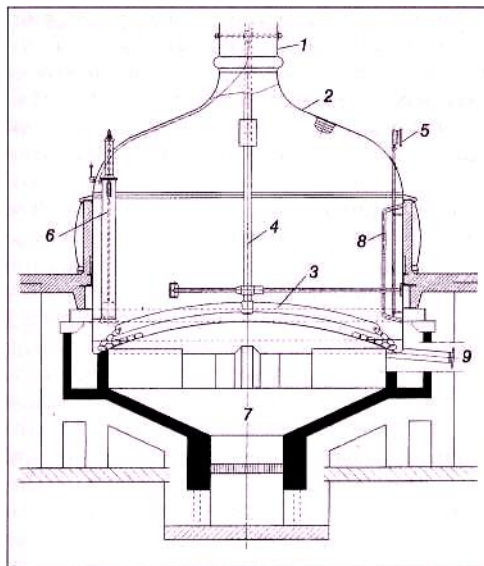


Рис. 1.5. Апарат з прямим обігрівом:

1 - витяжна труба; 2 - кришка; 3 - мішалка з ланцюгом; 4 - привід мішалки (вгорі); 5 - термометр; 6 - поплавцева вимірювальна рейка; 7 - камера топки; 8 - сходи; 9 - випускний трубопровід

Сусловарильні апарати з паровим обігрівом. На сьогодні частіше використовуються суловарильні апарати з паровим обігрівом (рис. 1.6), де обігрів відбувається за допомогою пари, утвореної при кип'ятінні води при 100°C. Утворена пара має ту саму температуру. Отже, будь-яка температура кипіння відповідає температурі пари у разі насичення і завжди відповідає певному тиску (табл. 1.1).

Температура, °C	Тиск пари, бар	Температура, °C	Тиск пари, бар
98	0,9430	105	1,2080
99	0,9776	106	1,2504
100	1,0133	107	1,2941
101	1,0500	108	1,3390
102	1,0878	109	1,3852
103	1,1267	110	1,4327

Суловарильний апарат обігривається через дно, де по всій його поверхні утворюються бульбашки пари, які піднімаються вгору і сприяють руху сусла, видаляючи небажані летючі компоненти. Пара подається в парову сорочку на зовнішній стінці дна апарата з надлишковим тиском від 2 до 3 бар (133-143°C). Пара віддає теплоту суслу і конденсується, що призводить до кипіння сусла.

Високий тиск і температура можуть створювати проблеми через підвищення граничної температури на дні апарата, що може призвести до підгоряння екстрактних речовин сусла і вплинути на смак пива.

Для обігріву суловарильного апарата можна також використовувати гарячу воду при 160-170°C (гідрокип'ятіння). Це зменшує втрати, пов'язані зі збором і зворотньою подачею конденсату. Однак потрібен більший діаметр труб і більше енергії, оскільки пара рухливіша, ніж рідина. Тому сьогодні кип'ятіння за допомогою гарячої води використовується рідше, ніж звичайне кип'ятіння з обігрівом парою.

Принцип роботи суловарильного апарату полягає в наступному.

Пара підводиться до апарату через ізолюваний паропровід 1, що запобігає тепловтратам. За впускним паровим вентиляем 2 розташований редукуючий клапан 3, який знижує тиск пари до необхідного рівня; у звичайних апаратах надлишковий тиск у сорочках становить 2-3 бари. Зниження тиску є необхідним, оскільки незредукована пара з котельної з тиском близько 15 бар могла б розірвати сорочку апарату. Пара підводиться до парової сорочки через ізолюваний кільцевий трубопровід 4 і рівномірно подається в парову сорочку через кілька входів 5. Парова сорочка ізолювана зовні для забезпечення мінімальних тепловтрат.

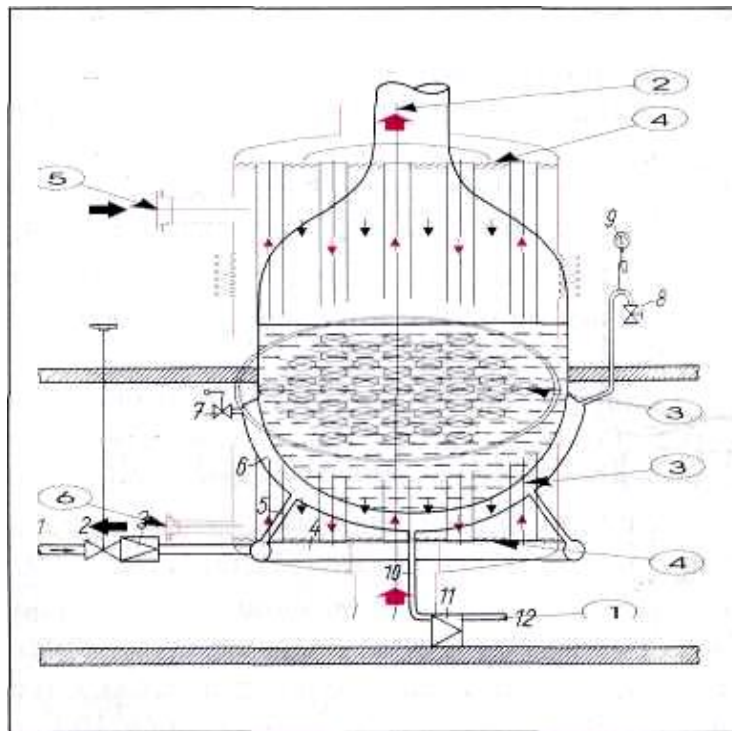


Рис. 1.6. Оснащення парового варильного апарату з паровою сорочкою у вигляді подвійного дна:

- 1 - паропровід; 2 - впускний паровий вентиль; 3 - редукуючий клапан;
 4 - паророзподільна труба; 5 - труби для підведення пари до парової сорочки;
 6 - парова сорочка; 7 - запобіжний клапан; 8 - видалення повітря; 9 - манометр; 10 - відведення конденсату; 11 - конденсатовідвідник; 12 - трубопровід для відведення конденсату

Парова сорочка оснащена запобіжним клапаном 7 і манометром 9. До початку кип'ятіння необхідно витіснити повітря з сорочки за допомогою пари. Для цього у верхній частині парової сорочки приварені від 1 до 4 трубопроводів з малим умовним проходом, кожен з яких сполучений з окремим вентиляем. Ці вентиля 8, розташовані на рівні зони обслуговування варильного цеху, відкривають перед подачею пари і залишають відкритими під час кип'ятіння сусли, поки з них не почне виходити пара. Це гарантує повне видалення повітря з парової сорочки. В кінці варки повітряні вентиля знову відкривають, щоб уникнути утворення вакууму при конденсації пари, що може призвести до деформації дна апарата. У сучасних апаратах цей процес відбувається автоматично.

Між суслим і парою є різниця температур, яка вирівнюється завдяки теплопровідності дна апарата. Сусли нагрівається до кипіння, а пара, віддаючи своє тепло, конденсується.

Конденсат, який утворюється, важчий за пару і збирається в нижній частині парової сорочки. Конденсаційна вода повинна відводитися через трубопровід 10 у конденсатовідвідник 11, що знаходиться під паровою сорочкою і пропускає лише воду, затримуючи пару. Конденсатовідвідник діє переважно за поплавковим принципом.

Конденсат відводиться через трубопровід для його збору 12. Конденсат є чистою водою і через збірник конденсату повертається в паровий апарат як живильна вода.

Сусліварильні апарати, оснащені зовнішнім або внутрішнім кип'ятильником і працюючі при низькому надлишковому тиску, вже не мають обігріву стінок, оскільки кип'ятильник низького тиску передає суслу всю необхідну кількість теплоти.

Метою кип'ятіння при низькому надлишковому тиску є прискорення біохімічних процесів перетворення речовин, оскільки при підвищенні тиску і температури кип'ятіння вище 100°C ці процеси проходять швидше.

Сусловарильні апарати з кип'ятінням при низькому надлишковому тиску виготовляються як герметичні апарати, розраховані на максимальний надлишковий тиск 0,5 бар, і оснащуються необхідною запобіжною арматурою на випадок перевищення тиску або утворення вакууму. Обігрів сусла проводиться за допомогою зовнішнього або внутрішнього кип'ятильника. Конденсатор вторинної пари налаштовується відповідно до рівня тиску в апараті, що дозволяє використовувати вищу температуру вторинної пари.

Як критерій оцінки швидкості протікання реакцій і поведінки основних компонентів екстракту під час кип'ятіння сусла використовується характеристика часу напіврозпаду для розщеплення попередника ДМС. Чим довше кип'ятять сусло і чим вища температура кипіння, тим більше небажане термічне навантаження. Під час кип'ятіння повинні бути забезпечені наступні процеси:

- Гіркі речовини хмелю повинні максимально ізомеризуватися і стати розчинними.
- Розщеплення попередника ДМС повинно відбутися повністю.

В результаті сусло кип'ятять 60-70 хв при температурі 103-106°C. Ступінь випаровування при кип'ятінні з використанням низького надлишкового тиску становить близько 6%. Кип'ятіння виконується або у зовнішньому кип'ятильнику, через який прокачується сусло, або у внутрішньому кип'ятильнику, де сусло нагрівається безпосередньо в сусловарильному апараті.

Кип'ятіння при низькому тиску з виносним кип'ятильником. У сусловарильних апаратах, де кип'ятіння відбувається при низькому надлишковому тиску з виносним кип'ятильником, сусло циркулює через

кип'ятильник, розташований поза апаратом, обертаючись при цьому 7-8 разів на годину. Сусло постійно відбирається з нижньої частини сусловарильного апарату і перекачується насосом через виносний кип'ятильник (див. рис. 1.7).

В якості виносного кип'ятильника зазвичай використовуються кожухотрубні теплообмінники, рідше - пластинчасті теплообмінники. Сусло проходить через труби, а з зовнішнього боку труб протитечією рухається пара. Коли сусло нагрівається, пара охолоджується і конденсується. Виносний кип'ятильник встановлюють вертикально або горизонтально. У випадку горизонтального розташування його встановлюють з легким нахилом для кращого стікання конденсату. Обидва варіанти широко використовуються на практиці.

Низька швидкість суслу в трубах сприяє пригорянню або, як мінімум, карамелізації суслу, що значно збільшує його кольоровість. Крім того, відбувається осідання скоагульованого білка в трубах. Щоб уникнути цих недоліків, швидкість руху суслу в трубах кип'ятильника повинна складати щонайменше 2,6-3,0 м/с.

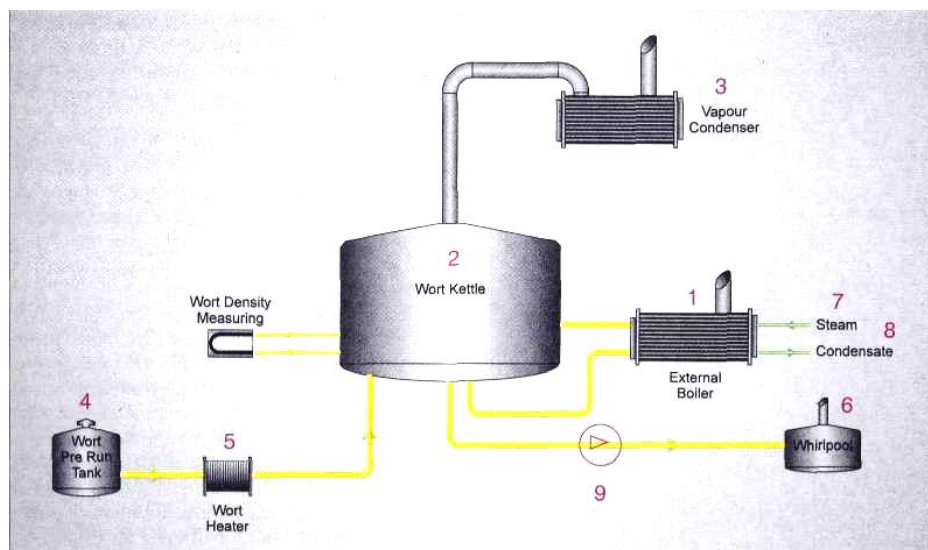


Рис. 1.7. Сусловарильний апарат з виносним зовнішнім кип'ятильником:

1 - виносний кип'ятильник; 2 - сусловарильний апарат; 3 - конденсатор вторинної пари; 4 - збірник суслу; 5 - теплообмінник для нагріву суслу; 6 - вірпул; 7 - пара; 8 - конденсат; 9 - насос

1.6. Аналіз конструкцій заторно – сушловарильних апаратів

Заторно-сушловарильний апарат

Заторно-сушловарильний апарат (рис. 1.8) являє собою вертикальну, двостінну циліндричну ємність з нержавіючої сталі. Вона має сферичну кришку і ізолюється поліуретаном у верхній частині і мінерально-волокнистим матеріалом у нижній частині. Підігрів здійснюється за допомогою парової сорочки. Внутрішнє дно конусоподібне з нахилом 15° , а в серединній конусоподібній частині встановлена пропелерна мішалка. Мішалка приводиться в дію електродвигуном з редуктором, що забезпечує плавну зміну частоти обертання за допомогою частотного модулятора. Оптимальна частота обертання мішалки складає 35-36 обертів за хвилину.

На сферичній кришці розташований предзаторник, який попередньо змочує дроблений солод, запобігаючи утворенню грудок. До предзаторника прикріплено спіральний транспортер, що подає солодовий шрот з бункера для подрібненого солоду. Ємність також оснащена бічним оглядовим вікном і внутрішнім освітленням для візуального контролю процесів.

Ємність підігрівається за допомогою двох незалежних парових дублікаторів зі швидкістю нагріву $1^\circ\text{C}/\text{хв}$. Підігрів здійснюється насиченою водяною парою при температурі 150°C і тиску 4 бар. Подача пари в дублікатор регулюється пневмо-клапанами з пульта керування залежно від температури й швидкості нагріву в ємності, а також ручними регулювальними клапанами, доступними з робочої площадки варильного агрегату. Температура в ємності вимірюється температурним датчиком, а цифрове табло знаходиться на пульта керування варильного агрегату.

На сферичній кришці ємності встановлений круглий люк діаметром 450 мм і витяжна труба діаметром 250 мм з відводом конденсату. Для проведення доскональної санітарної обробки ємність обладнана миючою голівкою.

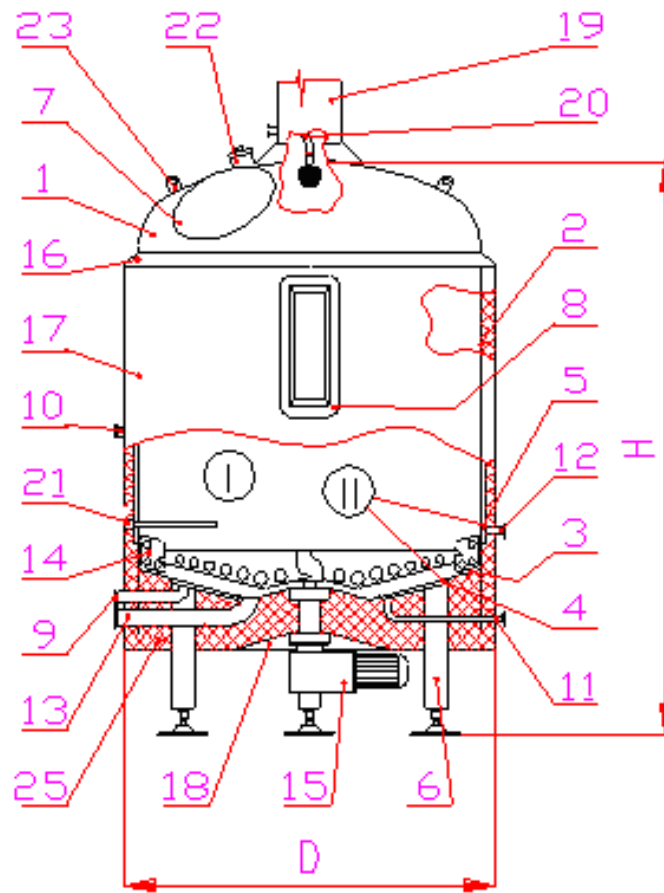


Рис. 1.8. Заторно-сусловарильний апарат

- 1.Сферична кришка; 2.Ізоляція; 3.Днище; 4.Парова рубашка днища; 5.Парова рубашка циліндричної ємності; 6.Стійка; 7.Люк; 8.Оглядове вікно; 9.Підведення пари; 10.Підведення сусла; 11.Відведення конденсату; 12.Вихід пари; 13.Видалення осаду; 14.Мішалка; 15.Моторредуктор; 16.Кріплення верхньої рубашки; 17.Рубашка; 18.Нижнє днище; 19.Витяжна труба; 20.Миюча головка; 21.Термосенсор; 22.Освітлення; 23.Монтажна петля; 25. Ізоляція.

Заторно-сусловарильний апарат ВСЦ-1

Заторно-сусловарильний апарат ВСЦ-1 (рис. 1.9) являє собою сталевий циліндричний резервуар з подвійним сферичним дном і сферичною

кришкою. Простір між шарами дна використовується як парова сорочка, в яку подається нагрівальна пара. Парова сорочка має фланці для підведення пари, відведення повітря та конденсату. В нижній частині сферичного дна встановлений розвантажувальний пристрій для випуску затору або сусла.

Керування розвантажувальним пристроєм здійснюється за допомогою двох маховичків: один на горизонтальній осі пристрою, інший на вертикальній стійці на обслуговувальній платформі. Розвантаження продукту проводиться вручну маховичком через зубчасту конічну передачу. Внутрішньо над сферичним дном встановлена пропелерна мішалка для змішування затору або покращення циркуляції сусла під час кипіння.

По периметру апарата всередині закріплений трубчастий зрошувач для зниження хвилювання на поверхні киплячого сусла. Мірна лінійка розміщена в нижній частині труби, яка закріплена на кришці апарата. Труба опущена нижче рівня сусла, що дозволяє створити рівну поверхню для точного вимірювання рівня сусла. Мірна лінійка поставляється без градування.

Кришка оснащена витяжним штуцером 2 з поворотною дросельною заслінкою 1, яка дозволяє регулювати відтік пари. Управління заслінкою здійснюється за допомогою троса з ланцюгом. У штуцері встановлено кільцевий збірник 22 для збору конденсату. Трубка 21 для відведення конденсату виходить через кришку і при монтажі підключається до каналізаційної мережі.

На кришці також розташований патрубок 28 для подачі затору з фільтраційного апарата. Патрубок має наконечник, який розподіляє затор хвилеподібно по поверхні, що створює сприятливі температурні умови для змішування затору та запобігає утворенню гарячих зон.

Патрубок 27 з трубою 14 призначений для надходження сусла з заторно-фільтраційного апарата. Труба опущена в нижню частину апарата для забезпечення рівномірного заповнення суслем та швидкого його нагрівання.

На кришці встановлено предзаторник 32, призначений для подачі в апарат подрібнених зернопродуктів та їхнього зволоження. Він має шиберну засувку 23, що дозволяє регулювати кількість зернопродуктів, які надходять.

На обслуговуючій платформі розташований змішувач 3 для холодної та гарячої води, що надходить через трубу 25. Він дозволяє отримувати воду будь-якої потрібної температури для затирання зернопродуктів. Для контролю температури води на змішувачі встановлений термометр 24. Для використання гарячої води на інші потреби в цеху, змішувач має патрубков з вентилем і штуцером 26 для підключення шланга.

На кришці апарата також розміщений розсувний люк 30, призначений для обслуговування апарата при промиванні та спостереженні за технологічним процесом. Для освітлення поверхні продукту всередині апарата є рефлектор 29 з низьковольтною електролампю.

Для контролю температури під час приготування затору в апараті встановлений дистанційний термометр типу ТС-100, датчик якого знаходиться в циліндричній частині апарата.

Апарат має опорне кільце, закріплене спеціальними ніжками 31 для установки на обслуговуючій платформі.

Рукоятки управління вентилями подачі пари 13 у сорочку та випуску повітря виготовлені у вигляді маховичків 17 і винесені на спарену вертикальну стійку, на якій встановлений манометр 18 для контролю тиску пари.

Привід мішалки здійснюється через черв'ячний редуктор 8, встановлений з електродвигуном 9 на фундаменті 10.

Заторно-сусловарильний апарат ВСЦ-1 монтується на різній висоті, залежно від місцевих умов, що обумовлює виготовлення привідного вала мішалки з окремих частин. Середня частина вала уточнюється під час монтажу та виготовляється за спеціальним замовленням.

Для відварювання частини затору, третина його об'єму подається з заторно-фільтраційного апарата у заторно-сусловарильний апарат при працюючій мішалці. Далі у парову сорочку апарата подається пара, підтримуються необхідні температурні режими та здійснюється кип'ятіння затору. Після приготування затор зливається через розвантажувальний пристрій і повертається у заторно-фільтраційний апарат. Після цього вся маса затору перекачується у заторно-сусловарильний апарат для повного оцукрення. Заключний етап полягає у поверненні затору у заторно-фільтраційний апарат, де він відстоюється на попередньо встановлених фільтраційних ситах.

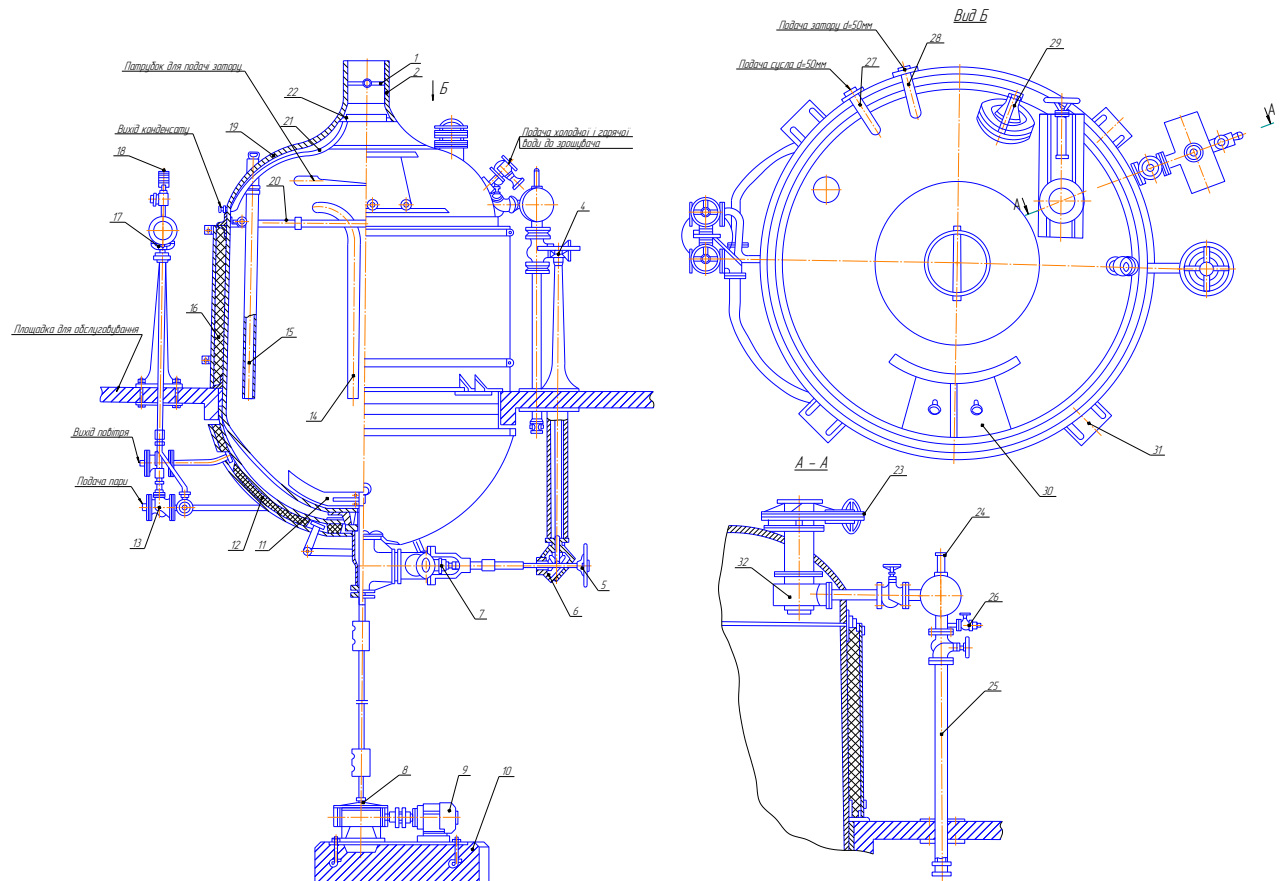


Рис. 1.9. Заторно-сусловарильний апарат ВСЦ-1

Для кип'ятіння і випарювання фільтрованого сусла в апарат через люк додають необхідну кількість хмелю, апарат герметизують і подають гріючу пару в парову сорочку. Коли сусло починає кипіти і тиск у апараті

піднімається до 0,3 атм, паровий вентиль перекривають, залишаючи невелику щілину для підтримання температури кипіння сусла на рівні приблизно 105°C. Сусло витримується при цій температурі близько години, після чого подачу пари припиняють і поступово відкривають заслінку витяжного штуцера. При цьому тиск в апараті починає знижуватися, а пивне сусло інтенсивно кипіти.

Кип'ятіння сусла під невеликим тиском не тільки скорочує час варіння і знижує витрати пари, але й сприяє повнішому випадінню білків, що покращує освітлення готового пива і прискорює його фільтрацію. Також більш повно використовуються екстрактивні і ароматичні речовини з хмелю.

Висновки та задачі досліджень

Аналітичний огляд показав, що в Україні є дуже багато пивоварних підприємств, які активно розвиваються та конкурують з промисловими підприємствами. Але у всіх їх виникає проблема переробки попутної продукції. Рішення даної проблеми дозволить покращити культуру виробництва, ефективність та поліпшить становище на підприємствах.

Підчас приготування пива дуже важливе значення має приготування сусла а саме його рівномірне перемішування та підігрівання. Воно забезпечує добрі смакові якості пива.

В магістерській роботі стоїть задача розробити заторно-сусловарильний апарат малого об'єму з метою забезпечення переробки сировини на підприємствах малої потужності, що дозволить збільшити ефективність і якість виробництва.

Підчас розробки нових технологій та обладнання є доцільним використання можливості обчислювальної техніки. Розрахунки, які ми провели за допомогою математичних моделей, забезпечать скорочення витрат часу а також матеріальних ресурсів, які необхідні для проведення експериментів на фізичній моделі.

З метою визначення основних конструктивних параметрів апарату та більш сприятливих режимів, що здатні забезпечити ефективне проведення процесу. Також поставлено задачу створити геометричну модель апарату в програмі Solid Works і промоделювати процес в програмному пакеті Flow Simulation, та як наслідок отримати рекомендації найкращих режимів роботи перемішуючого пристрою та необхідних геометричних параметрів лопаток мішалки.

Враховуючи вищеперелічене, задачами досліджень є:

розробка геометричної моделі заторно-сусловарильного апарату;

розробка математичної моделі процесу в апараті;

- встановлення розподілу концентрацій компонентів сировини;

- встановлення розподілу температури в середині апарату;

- визначення раціональних режимів перемішування в апараті;

- визначення оптимальних геометричних параметрів перемішуючого пристрою.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Заторно-сусловарильний апарат, як об'єкт досліджень

Заторно-сусловарильний апарат (рис. 2.1) являє собою циліндричну місткість з подвійним сферичним днищем та сферичною верхньою кришкою. Між напівсферами днищ знаходиться парова сорочка, в яку подається нагрівальна пара. Парова сорочка має фланці з пристроями для надходження пари, відводу повітря і конденсату. У нижній частині дна розташований патрубок для відведення сусла та затору з апарату.

Всередині апарата над сферичним днищем встановлено мішалку, яка слугує для розмішування затору в процесі його приготування та покращення циркуляції сусла під час кип'ятіння. По периметру всередині апарату закріплений трубчастий зрошувач, що гасить водою хвилі, які виникають на поверхні киплячого сусла.

Мірна лінійка знаходиться в нижній частині труби, закріпленої на кришці апарату, яка опускається нижче рівня сусла, створюючи в зоні, обмеженій стінками труби, рівну поверхню сусла і дозволяючи точно визначати його рівень.

Верхня кришка апарату має витягну трубу з поворотною дросельною заслінкою для урегулювання відведення пари.

На кришці апарата встановлений патрубок для подачі маси з фільтраційного апарату. Наконечник на нижній частині патрубку розподіляє масу хвилеподібно по поверхні апарату, а це сприяє рівномірному температурному режиму перемішування, а також запобігає утворенню концентрованих ділянок підвищеної температури. Патрубок з трубою використовується для подачі сусла.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Постоев В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Розділ 2	192003.KP.022.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/3

У верхній частині кришки встановлений предзаторний пристрій, що подає подрібнені зернопродукти та зволожує їх водою. Наявна шиберна засувка предзаторника дозволяє відрегулювати кількість зернопродуктів. На обслуговувальному майданчику встановлено змішувач для холодної та гарячої води, що надходять відповідною трубою, дозволяючи отримувати воду в необхідній кількості та потрібної температури для затирання зернопродуктів.

Кришка апарату обладнана розсувним люком з метою обслуговування апарату (промивання та спостереження за технологічним процесом).

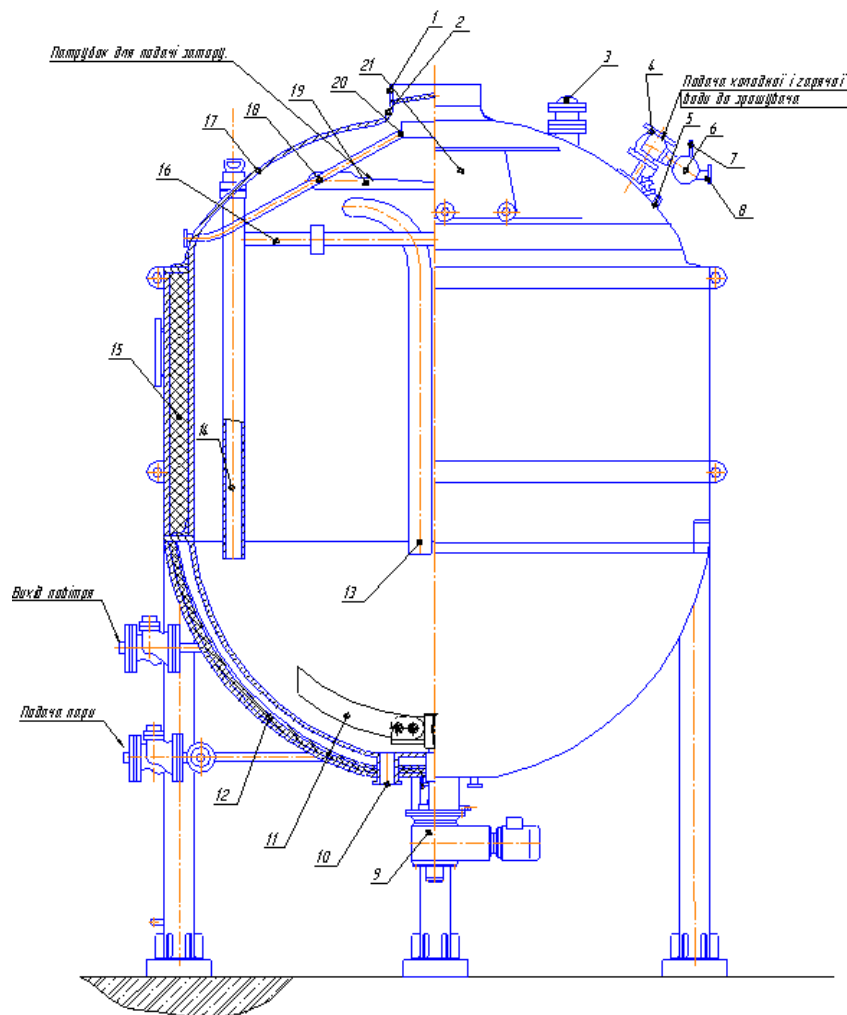


Рис. 2.1. Заторно-сушварильний апарат

2.2. Моделювання, як метод дослідження

Є певні загальні принципи для складання математичних моделей, які включають особливості застосування теорії відбиття при моделюванні; основні принципи та порядок складання плану експерименту для розробки математичних описів об'єктів; методи створення математичних описів об'єктів і систем керування; основні поняття та характеристики статистичного моделювання, а також принципи складання математичних моделей об'єктів харчової технології та систем керування ними.

Важливими аспектами є також принципи реалізації математичних моделей на аналогових та цифрових обчислювальних машинах.

Для моделювання процесу перемішування і нагрівання продукції в заторно-сусловарильному апараті спершу необхідно створити геометричну модель апарата. Для цього використовується програма Solid Works, яка є сучасним потужним додатком для операційної системи Windows з графічним інтерфейсом. За допомогою програмного комплексу «Flow Simulation», який призначений для моделювання тривимірної течії рідини та газу в технічних і природних об'єктах, а також для візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки буде проведено імітаційне моделювання процесу оброблення середовища в заторно-сусловарильному апараті.

Основною метою є чисельне розв'язання рівнянь, що описують динаміку рідини, а також моделювання тепломасопередачі в апараті. При цьому враховуються фізико-хімічні ефекти, такі як турбулентність та потоки в середовищі.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИГОТУВАННЯ ЗАТОРУ ТА СУСЛА В ПАКЕТІ "Flow Simulation"

3.1. Призначення програмного комплексу "Flow Simulation"

"Flow Simulation" призначений для моделювання тривимірної течії рідини та газу в технічних і природних об'єктах, а також для візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки. Основною метою є чисельне розв'язання рівнянь, що описують динаміку рідини, а також моделювання тепломасопередачі в різних об'єктах. При цьому враховуються фізико-хімічні ефекти, такі як турбулентність та потоки в середовищі.

Програма дозволяє моделювати стаціонарні та нестаціонарні течії, а також рух потоків рідин, що стискаються, слабо стискаються та не стискаються. Завдяки різним моделям турбулентності та адаптивній розрахунковій сітці, можна моделювати складні рухи рідини, включаючи течії з сильною закрутою та течії з вільною поверхнею.

Програмний комплекс заснований на кінцево-об'ємному методі розв'язання рівнянь гідродинаміки та використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним подрібненням.

В пакеті передбачено інтерактивне завдання граничних умов на поверхнях.

Здійснюється автоматична генерація розрахункової сітки, прямокутна сітка з підсітковим розділюванням геометрії. При цьому можливе локальне подрібнення сітки, а адаптація сітки уздовж границі розрахункової області по розв'язку.

Процес розрахунку течії рідини включає наступні кроки, які виконує користувач:

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Чепеляк О.М.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> <i>Постоев В.О.</i>	<i>Назва, додаткова назва</i> Розділ 3		192003.KP.022.000.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

Створення області розрахунку: Створення "геометрії" пристрою в САПР і імпортування її

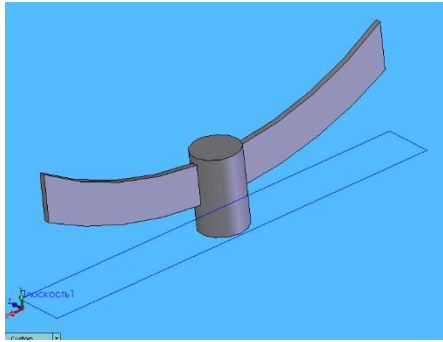
1. Завдання математичної моделі.
2. Завдання граничних умов.
3. Завдання початкової розрахункової сітки і критеріїв її адаптації по розв'язанню та граничним умовам.
4. Завдання параметрів методів розрахунку.
5. Проведення розрахунку.
6. Перегляд результатів розрахунку у графічній формі: Візуалізація результатів розрахунків та збереження даних у файли.
7. Оцінка точності розрахунків методом збіжності по сітці.

Завдання області розрахунку

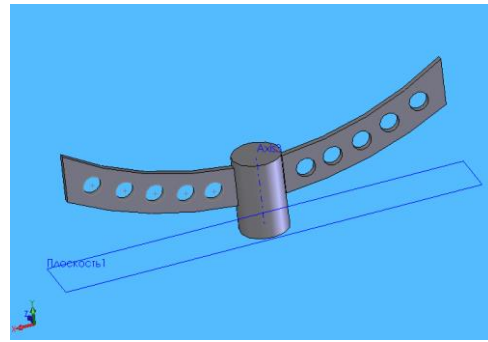
3.2. Розробка геометричної моделі апарату

Для моделювання процесу перемішування і нагрівання продукції в заторно-сусловарильному апараті за допомогою програмного комплексу "Flow Simulation", спершу необхідно створити геометричну модель апарата. Для цього використовується програма Solid Works, яка є сучасним потужним додатком для операційної системи Windows з графічним інтерфейсом. Solid Works інтегрує тривимірне моделювання деталей, обладнання та створення креслень на їх основі. Програма забезпечує візуалізацію та анімацію створених моделей.

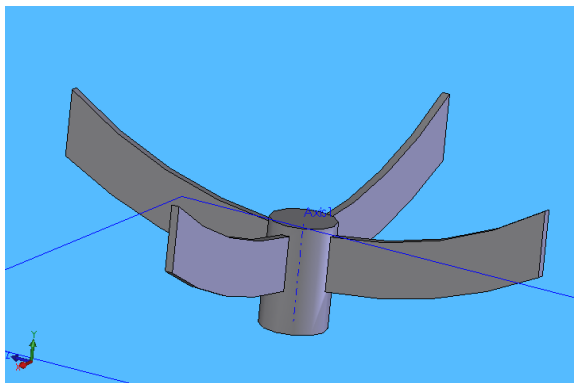
На рисунку 3.1 представлені геометричні моделі перемішувачів пристроїв, розроблених у програмі Solid Works: а) дволопатєва мішалка; б) дволопатєва мішалка з отворами; в) чотирилопатєва мішалка; г) чотирилопатєва мішалка з отворами.



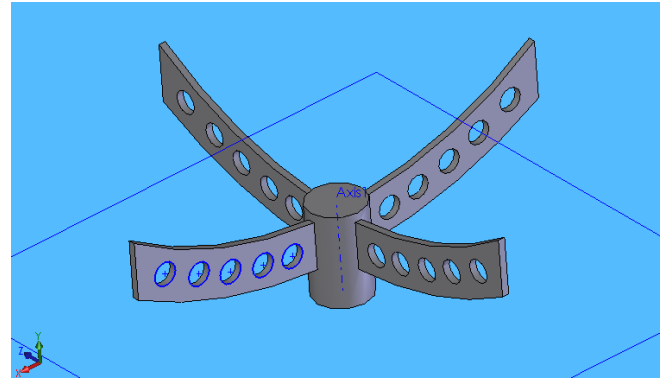
а)



б)



в)



г)

Рис. 3.1. Геометричні моделі перемішуючих пристроїв.

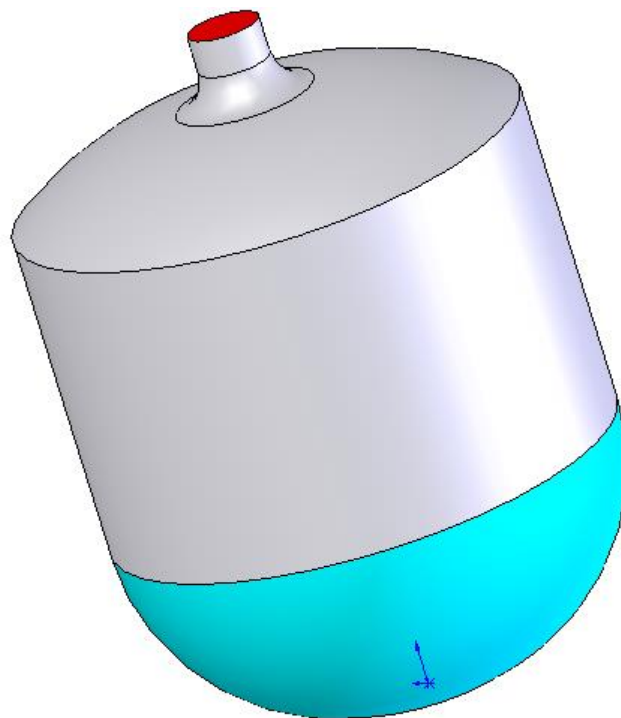


Рис. 3.2. Геометрична модель ємності заторно-сусловарильного апарату

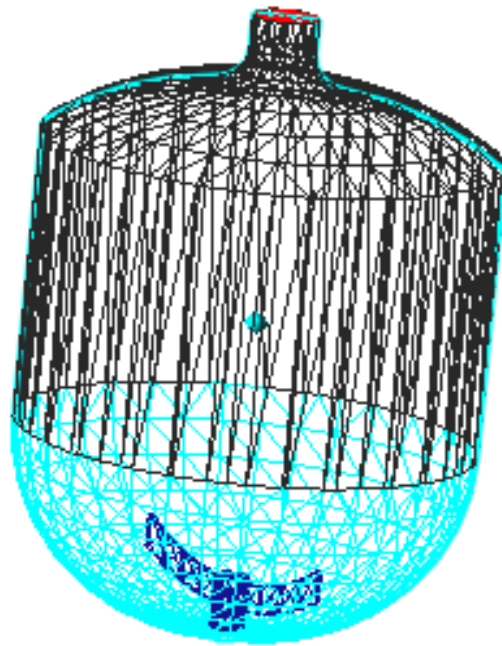


Рис. 3.3. Геометрична модель заторно-сушварильного апарату з розміщеною всередині мішалкою.

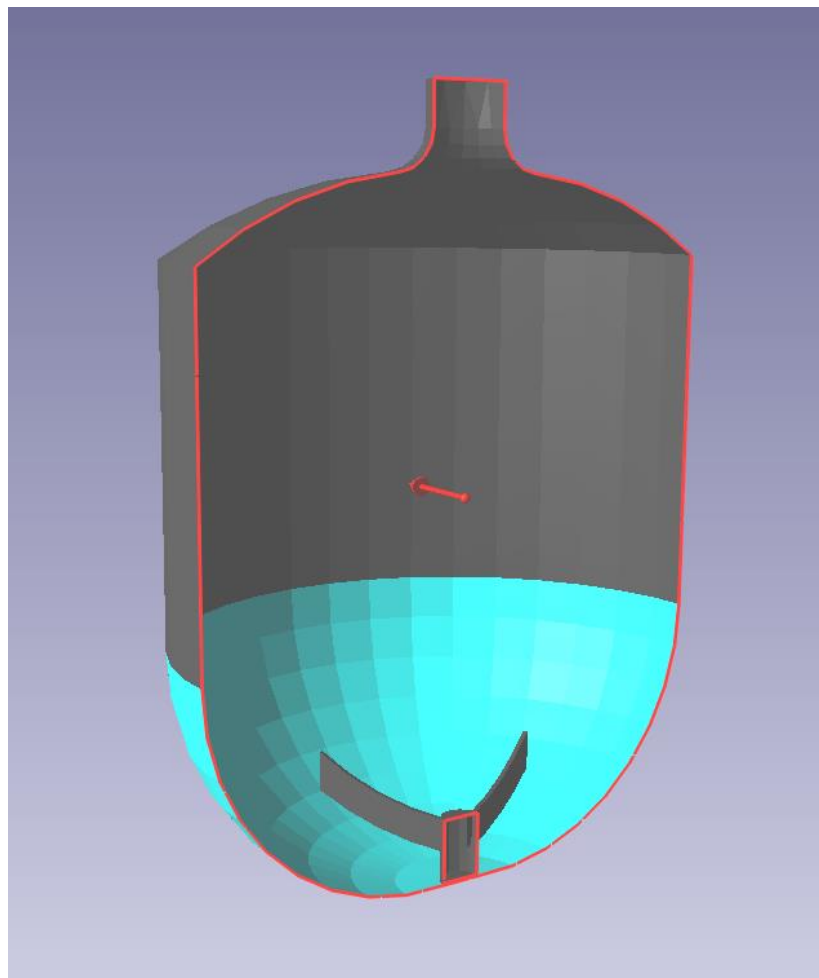
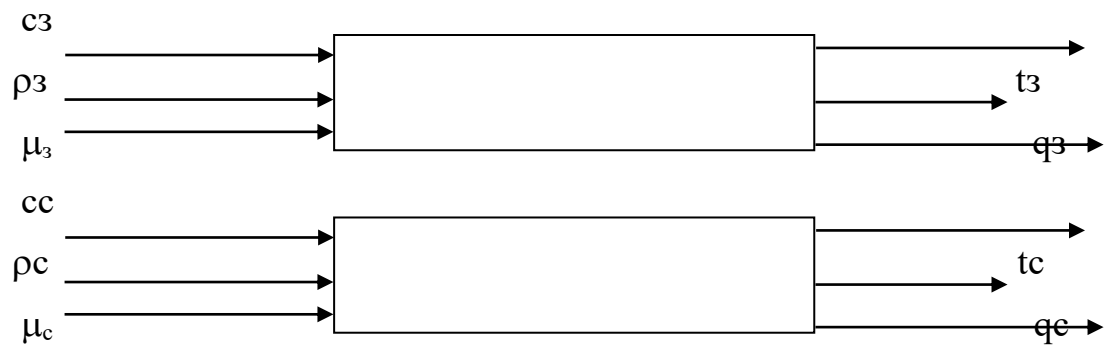


Рис 3.4. Модель заторно-сушварильного апарата в розрізі.

3.3. Розробка математичної моделі процесу перемішування і нагрівання затору і сусла в заторно-сусловарильному апараті



Вхідні дані:

ρ_z – густина затору, кг/м^3 ; α_z – теплопровідність затору, $\text{Вт/м}^2 \text{К}$;

ρ_c – густина сусла, кг/м^3 ; α_c – теплопровідність сусла, $\text{Вт/м}^2 \text{К}$;

μ_c – молекулярна динамічна в'язкість, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

μ_z – молекулярна динамічна в'язкість, $\text{Па}\cdot\text{с}$;

Вихідні дані:

c_z – концентрація твердих часток в заторі, %;

c_c – концентрація твердих часток в суслі, %;

t – температура, $^{\circ}\text{C}$;

q – тепловий потік.

Аналітична модель процесу

Щоб моделювати процеси перемішування, нагрівання та кип'ятіння затору і сусла, використаємо програмний комплекс "Flow Simulation". Ця програма підходить для моделювання тривимірного руху рідини та газу в технічних і природних об'єктах, а також візуалізації цих процесів за допомогою комп'ютерної графіки.

"Flow Simulation" базується на кінцево-об'ємному методі розв'язання рівнянь гідродинаміки та використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним подібненням. Для точнішої апроксимації криволінійної геометрії

застосовує технологію підсіткового розрахунку геометрії. Це дає змогу імпортувати геометрію з систем автоматизованого проектування (САПР) і обмінюватись інформацією з системами кінцево-елементного аналізу. Завдяки цьому вдається автоматично генерувати сітку — досить лише задати кілька параметрів, і сітка автоматично створиться для розрахункової області будь-якої складності.

У цьому програмному комплексі моделі течії рідини дозволяють розраховувати течію двох рідин через рівняння для концентрації. Можна вирішувати як задачі для змішуваних компонентів, так і для компонентів, які не змішуються.

У даній роботі досліджується перенос компонентів, які не змішуються (затор з частинками подрібненого солоду, сусло з зваженими частинками хмелю). Для таких компонентів концентрація C розглядається як об'ємна частка другого компонента, і для нього вирішується рівняння чисто конвективного переносу з поверхнею поділу між двома речовинами, що не змішуються.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla(VC) = 0, \quad (3.1)$$

де $\frac{\partial C}{\partial t}$ – зміна концентрації у часі;

C – концентрація, %;

∇ – диференціальний оператор першого порядку (градієнт);

V – швидкість зміни концентрації, 1/с.

а також рівняння Нав'є-Стокса про перенос кількості руху для компонентів суміші:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \cdot V) = -\frac{\nabla P}{\rho_{з.р.}} + \frac{1}{\rho_{з.р.}} \cdot \nabla((\mu + \mu_{з.р.}) \cdot (\nabla V + \nabla V_{з.р.})) + (1 - \frac{\rho_{hyd}}{\rho_{з.р.}}) \cdot g \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \cdot V) = -\frac{\nabla P}{\rho_T} + \frac{1}{\rho_T} \cdot \nabla((\mu + \mu_T) \cdot (\nabla V + \nabla V_T)) + (1 - \frac{\rho_{hyd}}{\rho_T}) \cdot g \quad (3.3)$$

V – вектор швидкості, м/с;

∇P – градієнт тиску при перемішуванні, МПа;

t – час, с;

ρ_c – густина рідкої фракції, кг/м³;

ρ_z – густина зважених часток, кг/м³;

μ_c – молекулярна динамічна в'язкість суміші, Па·с;

μ_z – молекулярна динамічна в'язкість, Па·с;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

ρ_{hyd} – параметр, що визначає рівень гідростатичного тиску, кг/м·с.

Математична модель руху рідини складається з системи рівнянь у часткових похідних, які визначають закони збереження (енергії, маси, імпульсу) і рівняння стану рідини. Цю модель можна модифікувати через інтерфейс "Flow Simulation", де є можливість відключати деякі рівняння моделі разом зі змінними, що розраховуються.

Для моделювання процесу в пакеті Solid Works було створено тривимірну модель апарата з мішалкою (див. рис. 3.3), яка має наступні параметри: діаметр апарата становить 1400 мм, висота — 1900 мм, висота нижньої конічної частини — 600 мм, циліндричної частини — 900 мм і верхньої сферичної частини — 400 мм.

3.4. Результати моделювання технологічних процесів в заторно-сушварильному апараті

Візуалізація результатів розрахунку здійснюється за допомогою програми Flow Simulation. Аналіз можна проводити як під час розрахунку (якщо попередньо були створені шари візуалізації), так і після його завершення. Постпроцесор пропонує користувачу широкий вибір методів візуалізації скалярних і векторних змінних на різних геометричних об'єктах, а також дозволяє зберігати дані у файли для подальшої обробки іншими засобами.

Щоб визначити оптимальний режим роботи перемішуючого пристрою, проводили моделювання технологічних процесів у заторно-сушварильному апараті при частотах обертання від 30 до 70 об/хв. На рисунку 3.5 показано тепловий потік від поверхні нагріву до середини апарату.

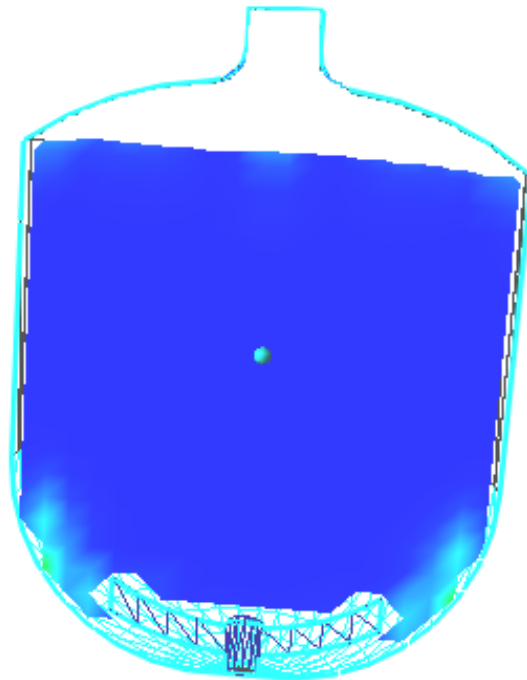


Рис. 3.5. Інтенсивність теплового потоку від поверхні нагріву

Більш детальну інформацію про інтенсивність теплового потоку в апараті можна отримати з допомогою графіка (рис. 3.6.).

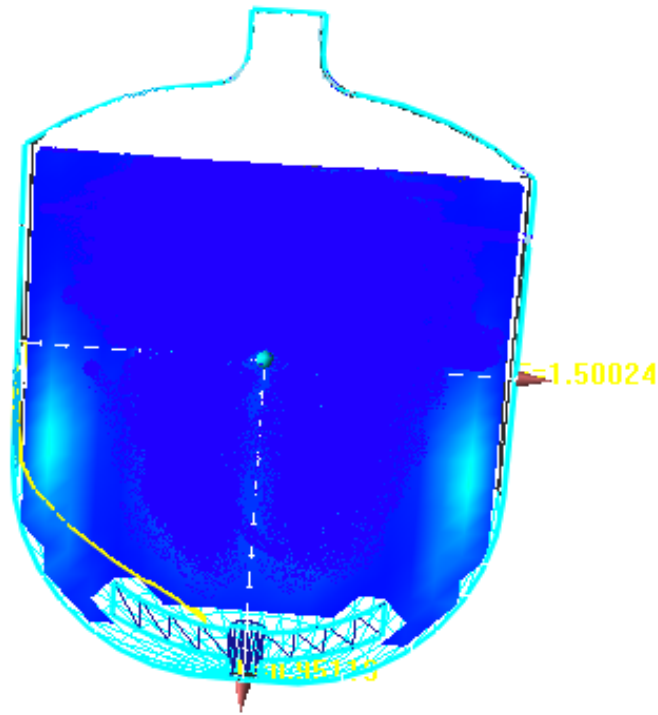


Рис. 3.6. Розподіл інтенсивності теплового потоку від поверхні нагріву в середину апарату.

Для визначення впливу частоти обертання перемішуючого пристрою на інтенсивність теплового потоку, було проведено моделювання при частотах обертання від 30 до 70 об/хв. Отримані результати показано на рис. 3.7 у вигляді залежностей коефіцієнта тепловіддачі від поверхні нагріву апарату при різних значеннях частоти обертання перемішуючого пристрою.

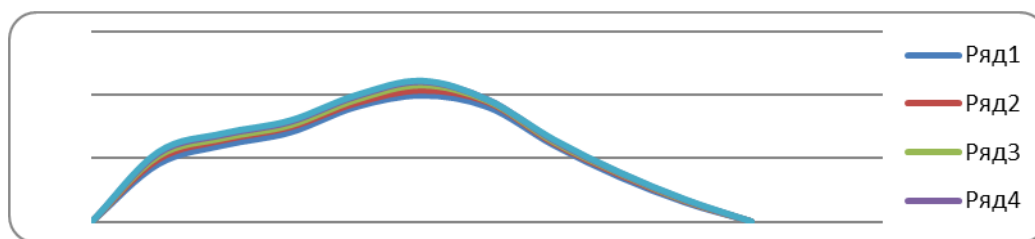


Рис. 3.7. Значення коефіцієнта тепловіддачі від поверхні нагріву в середину апарату по довжині дуги апарату при відповідних значеннях частоти обертання мішалки:

1 – 30 об/хв.; 2 – 40 об/хв.; 3 – 50 об/хв.; 4 – 60 об/хв. 5 – 70 об/хв.

Як видно з рис. 3.7, зі збільшенням частоти обертання коефіцієнт тепловіддачі зростає. Для більш повного уявлення про вплив частоти

обертання на інтенсивність тепловіддачі, побудуємо графік залежності коефіцієнта тепловіддачі від частоти обертання на основі отриманих даних (рис. 3.8).

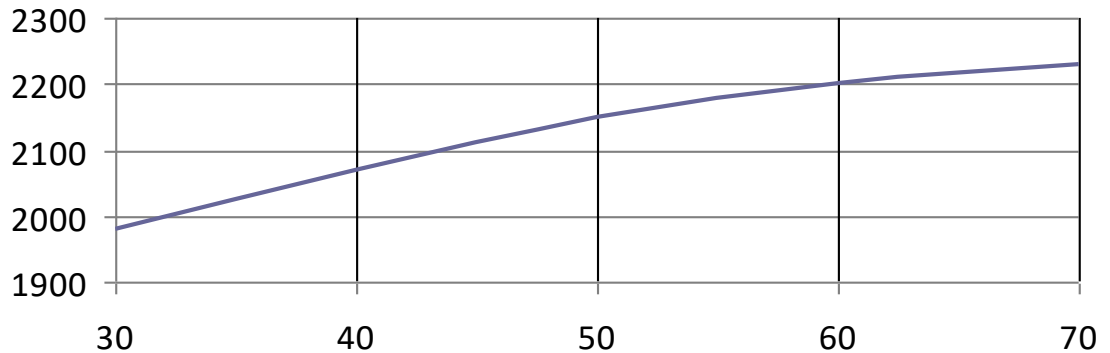


Рис. 3.8. Залежність величини коефіцієнта тепловіддачі від поверхні нагріву в середину апарату в залежності від частоти обертання перемішуючого пристрою

Аналогічні залежності ми можемо бачити при кип'ятінні суслу, але з більшими значеннями коефіцієнтів тепловіддачі (рис. 3.9., рис. 3.10.).

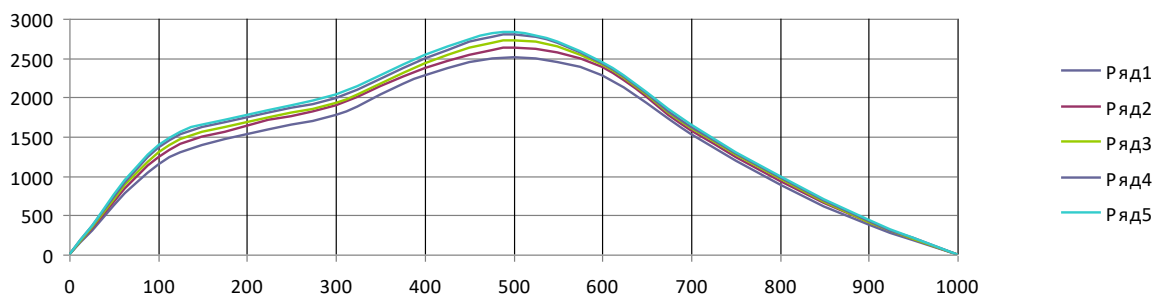


Рис. 3.9. Значення коефіцієнта тепловіддачі від поверхні нагріву в середину апарату по довжині дуги апарату при відповідних значеннях частоти обертання мішалки:

1 – 30 об/хв.; 2 – 40 об/хв.; 3 – 50 об/хв.; 4 – 60 об/хв. 5 – 70 об/хв.

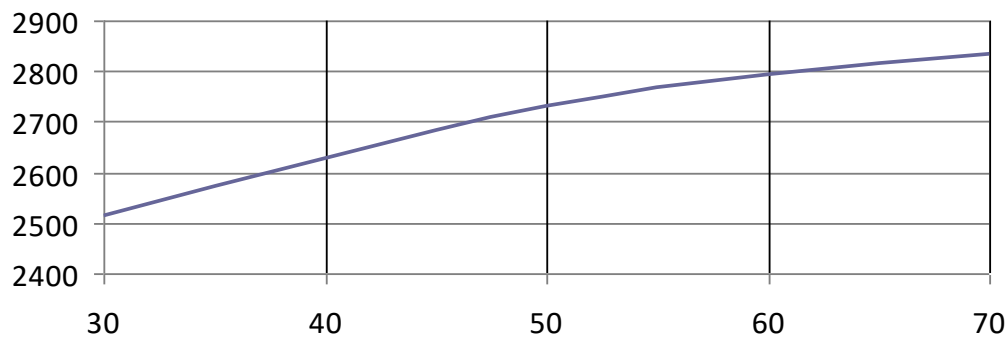


Рис. 3.10. Залежність величини коефіцієнта тепловіддачі від поверхні нагріву в середину апарату в залежності від частоти обертання перемішуючого пристрою

Як показано на рисунку 3.10, частота обертання безпосередньо впливає на коефіцієнт тепловіддачі від поверхні нагріву до середини апарату. Зі збільшенням частоти обертання, інтенсивність тепловіддачі зростає, проте темпи зростання знижуються. Наприклад, якщо при підвищенні частоти обертання з 30 до 50 об/хв тепловіддача зросла майже на 8,5 %, то при збільшенні швидкості від 50 до 70 об/хв зростання склало лише 3,7 %. З цього можна зробити висновок, що підвищення частоти обертання понад 50 об/хв неефективне, оскільки воно незначно впливає на тепловіддачу, але значно збільшує енергетичні витрати на перемішування.

Щоб знайти найоптимальніший варіант перемішуючого пристрою, проаналізували розподіл температурних полів у заторно-сусловарильному апараті для різних конфігурацій мішалок та кількості лопатей. На рисунку 3.11 наведено розподіл температурних полів у апараті для дволопатевої мішалки без отворів та з отворами.

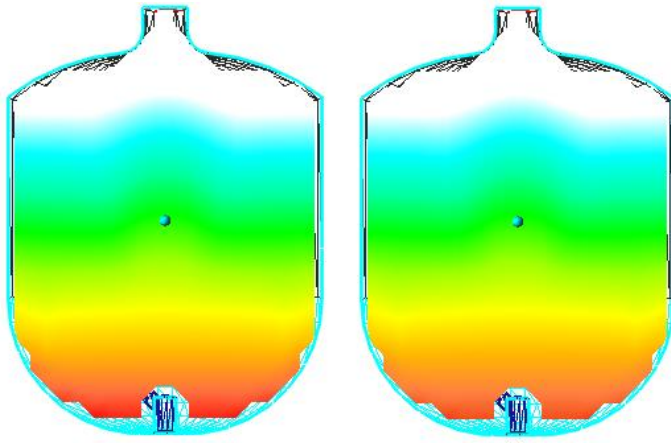


Рис. 3.11. Розподіл температурних полів по об'єму суслу в заторно-сусловарильному апараті для дволопатевого мішалки без отворів і з отворами

Як ми можемо побачити на рис. 3.11. більш рівномірний розподіл температур в об'ємі апарата досягається при використанні перемішуючого пристрою, на лопатях якого є отвори отвори.

На рис. 3.12. ми бачимо розподіл температурних полів по об'єму суслу в заторно-сусловарильному апараті для чотирьохлопатевого мішалки без та з отворами.

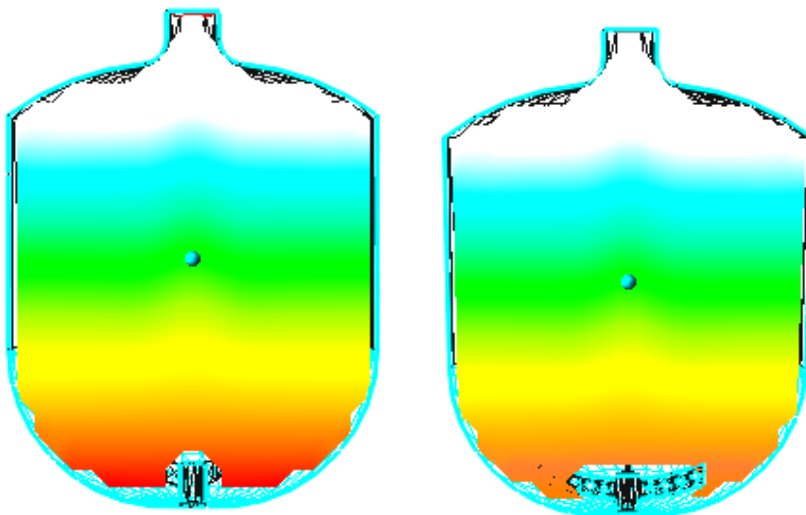


Рис. 3.12. Розподіл температурних полів по об'єму суслу в заторно-сусловарильному апараті для чотирьохлопатевого мішалки без та з отворами.

На основі візуалізованих результатів досліджень процесу перемішування (рис. 3.11 і рис. 3.12) можна дійти висновку, що найбільш

рівномірне перемішування досягається при використанні чотирилопатевого перемішуючого пристрою з отворами на лопатях.

Це дозволяє забезпечити найкращу якість перемішування в апараті без зміни швидкості обертання мішалки.

Висновки

Аналіз результатів моделювання процесу приготування затору і сусла в заторно-сусловарильному апараті дозволив зробити такі висновки:

1. Процес переробки сировини є найбільш ефективним при частоті обертання перемішуючого пристрою до 50 об/хв. Збільшення частоти обертання не призводить до значного посилення процесу тепловіддачі, проте збільшує енергетичні витрати на перемішування, тому перевищення цього значення не є раціональним.
2. Моделювання за різними конфігураціями перемішуючого пристрою (двох- і чотирилопатевиими, з отворами і без) показало, що найбільш оптимальним варіантом є чотирилопатева мішалка з отворами, яка забезпечує найкраще перемішування.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЗАТОРНО-СУСЛОВАРИЛЬНОГО АПАРАТА

4.1. Будова і принцип роботи заторно-сусловарильного апарата

Заторно-сусловарильний апарат (рис. 4.1) представляє собою циліндричний резервуар 15 зі сталі, оснащений подвійним сферичним днищем 12 і сферичною кришкою 17. Між сферами днищ знаходиться парова сорочка, в яку подається нагріваюча пара. Парова сорочка має фланці з пристроями для подачі пари, відведення повітря та конденсату. На нижній частині днища розташований патрубков 10, який призначений для випуску суслу та затору з апарату.

Внутрішня частина апарата над сферичним днищем обладнана мішалкою 11, що слугує для розмішування затору та покращення циркуляції суслу під час кип'ятіння. По периметру усередину апарату закріплений трубчастий зрошувач 16, що гасить водою хвилі, що виникають на поверхні киплячого суслу.

Мірна лінійка 14 знаходиться в нижній частині труби, закріпленої на кришці апарату. Труба опускається нижче рівня суслу, створюючи в зоні, обмеженій стінками труби, рівну поверхню суслу і дозволяючи точно визначати його рівень.

Кришка апарату має витяжний штуцер 2 з поворотною дросельною заслінкою 1 для урегулювання тяги пари. Дросельною заслінкою керують ланцюгом з тросом. У штуцері встановлений кільцевий збірник 20 для збору конденсату. Трубка 18 для відведення конденсату проходить через кришку і при монтажі під'єднується до каналізаційної системи.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Постоев В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Розділ 4	192003.KP.022.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1

На кришці апарата встановлений патрубок 19, призначений для подачі затору з фільтраційного апарату. Наконечник на нижній частині патрубку розподіляє затор хвилеподібно по поверхні апарату, що сприяє рівномірному температурному режиму перемішування та запобігає утворенню концентрованих ділянок з підвищеною температурою. Патрубок з трубою 13 використовується для подачі суслу із заторно-фільтраційного апарату. Труба опущена в нижню частину апарату задля спокійнішого заповнення та швидшого підігрівання суслу.

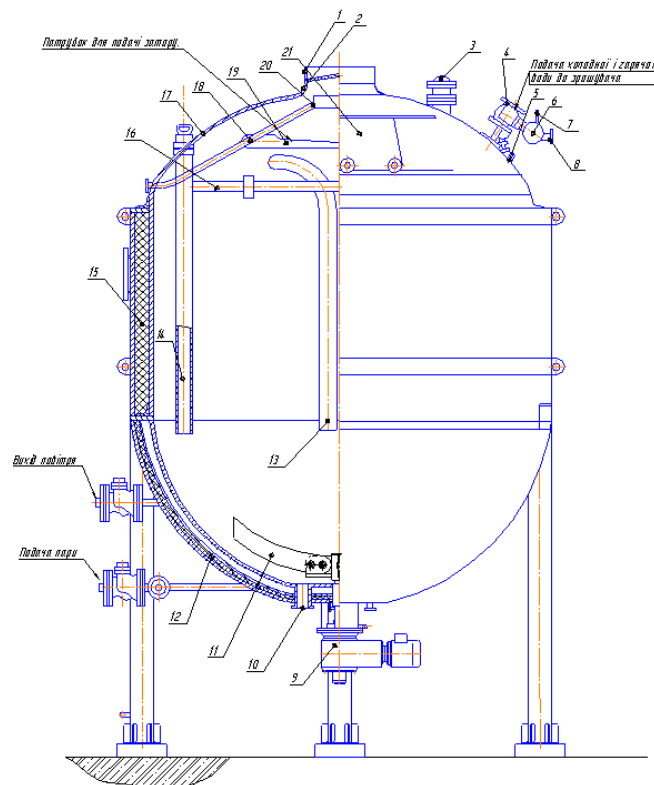
Зверху кришки встановлений предзаторник 4, що подає подрібнені зернопродукти та зволожує їх водою. Шиберна засувка 5 предзаторника дозволяє відрегулювати к-ть зернопродуктів. На обслуговувальній площадці встановлений змішувач 6 для холодної та гарячої води, що надходить трубою 8, дозволяючи отримувати воду в необхідній кількості та необхідної температури для затирання зернопродуктів.

Кришка апарату обладнана розсувним лючком 21 для обслуговування апарату (промивання та спостереження за технологічним процесом). Також для освітлення продукту в апараті встановлено рефлектор 3 з низьковольтною електролампю. Дистанційний градусник типу ТС-100, встановлений всередині циліндричної частини апарату, контролює температуру варіння. На пульті керування є манометр 7 для контролю тиску пари. Привід мішалки відбувається від моторредуктора 9.

Для відварювання частини затору, 1/3 затору подається із заторно-фільтраційного апарата в заторносусловарильний апарат з працюючою мішалкою. далі в парову сорочку апарату подаємо пару, витримуємо потрібні температурні режими та кип'ятимо затор. Вже після завершення процесу затор спускається через розвантажувач і перекачується назад у заторнофільтраційний апарат. Потім вся маса затору перекачується в заторно-сусловарильний апарат, де вона повністю оцукрюється. Далі затор

знову повертається в заторнофільтраційний апарат, де вже є фільтраційні сита, щоб відстоюватися.

Для кип'ятіння та випарювання сусла в апараті після фільтрації, через люк засипаємо необхідну к-ть хмелю, герметизуємо апарат і подаємо пару в парову сорочку. Коли сушло починає кипіти та тиск у апарата підвищується до 0,3 атм - закриваємо паровий вентиль та лишаєм невеличку прохідну щілину для підтримання стабільної температури сусла - приблизно 105 °С. за такої температури сушло витримується близько однієї години, а вже далі подачу пари припиняють та поступово відкриваємо заслінку витяжного штуцера. Тиск апарата починає знижуватися, і пивне сушло кипить. Кип'ятіння сусла під невеликим тиском, крім скорочення часу варіння та економії пари, сприяє більшому випаданню білків, що покращує освітлення пива та прискорює його фільтрацію; при цьому краще використовувати екстрактивні та ароматичні речовини хмелю.



Передня опора умовно не показується.

Рис 4.1. Заторно-сусловарильний апарат

4.2. Розрахунок заторно-сусловарильного апарата

Розрахунок об'єму та геометричних розмірів апарата

Виходячи з необхідної продуктивності розрахунок об'єму апарата $V_{\text{апар}}$ (м^3) визначаємо по формулі:

$$V_{\text{апар.}} = \frac{G_{\text{сусла}} \cdot \tau_{\text{ц}}}{\rho \cdot \phi} \quad (4.1)$$

де $G_{\text{сусла}}$ – необхідна продуктивність заторно-сусловарильного апарата, кг/год;

$\tau_{\text{ц}}$ – тривалість циклу кип'ятіння сусла із хмелем, г. $\tau_{\text{ц}} = 2$ год;

$\rho_{\text{сусла}}$ – густина сусла, $\text{кг}/\text{м}^3$;

ϕ – коефіцієнт заповнення заторно-сусловарильного апарата, $\phi = 0,85$.

Об'єм апарата можна також визначити по початковій кількості затору (сусла). Густина сусла визначаємо по початковій кількості сухих речовин ($b_n = 9,5\%$):

$$\begin{aligned} \rho_{\text{сусла}} &= \rho_i + \frac{\rho_{i+1} - \rho_i}{\mathfrak{A}_{i+1} - \mathfrak{A}_i} \cdot (\mathfrak{A} - \mathfrak{A}_i) = 1,0375 + \frac{1,0380 - 1,0375}{9,509 - 9,388} \cdot (9,5 - 9,388) \\ &= 1,03796 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3 \end{aligned}$$

Відповідно до заданого $G_{\text{сусла}} = 1200$ кг, повний об'єм апарата дорівнює:

$$V_{\text{апар.}} = \frac{1200 \cdot 1,5}{1037,96 \cdot 0,85} = 2,04 \text{ м}^3$$

Діаметр корпусу апарата буде:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{апар}}}{0,573}} = \sqrt[3]{\frac{2,04}{0,573}} = 1,4 \text{ м.} \quad (4.2)$$

Висота опуклої частини зовнішньої поверхні днища:

$$h_{\text{дн}} = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 1,4 = 0,35 \text{ м.} \quad (4.3)$$

Радіус кривизни у вершині днища:

$$R_{\text{дн}} = D \cdot 0,4 = 1,4 \cdot 0,4 = 0,6 \text{ м}$$

Об'єм днища апарата:

$$V_{\text{дн}} = 1,047 \cdot h_{\text{дн}}^2 \cdot (3 \cdot R_{*\text{дн}} - h_{\text{дн}}) = 1,047 \cdot 0,35^2 \cdot (3 \cdot 0,6 - 0,35) = 0,42 \text{ м}^3 \quad (4.4)$$

Обсяг циліндричної частини апарата:

$$V_{\text{ц}} = V_{\text{п.с.}} - V_{\text{дн}} = 2,04 - 0,42 = 1,62 \text{ м}^3. \quad (4.5)$$

Висота циліндричної обичайки:

$$H_{\text{ц}} = \frac{4 \cdot V_{\text{ц}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 1,62}{3,14 \cdot 1,4^2} = 0,9 \text{ м}. \quad (4.6)$$

Висота шару затора (сусла) в апараті:

$$H_{\text{зат(сус)}} = H_{\text{ц}} + h_{\text{дн}} = 0,9 + 0,35 = 1,25 \text{ м}. \quad (4.7)$$

Площа поверхні рідини в апараті обчислюється по формулі:

$$F_{\text{ж}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} = 1,54 \text{ м}^2. \quad (4.8)$$

Площа перетину витяжної труби дорівнює:

$$f_{\text{тр}} = 0,025 \cdot F_{\text{ж}} = 0,025 \cdot 1,54 = 0,04 \text{ м}^2. \quad (4.9)$$

Діаметр витяжної труби:

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot f_{\text{тр}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,04}{3,14}} = 0,2 \text{ м}. \quad (4.10)$$

Коефіцієнт форми днища суслварильного апарата:

$$K = 1 - \left(\frac{d_0}{D} \right), \quad (4.11)$$

де d_0 – діаметр отвору для спускання сусла. Прийmemo $d_0 = 0,2$ м, тоді

$$K = 1 - \left(\frac{0,2}{1,4} \right) = 0,857 \text{ м}.$$

Знаходимо товщину стінки днища по формулі:

$$\delta_{\text{дн}} = \frac{D \cdot P}{4 \cdot [\sigma] \cdot K \cdot \phi} + C, \quad (4.12)$$

де, P – зовнішній надлишковий тиск, МПа;

$[\sigma]$ – допустиме напруження, МПа;

ϕ – коефіцієнт міцності звареного шва, $\phi=1$;

C – збільшення до розрахункової товщини, $C = 0,002$ м.

Звичайно оптимальними для сушловарильних апаратів є робочий тиск $P = 0,25$ МПа і допустиме напруження, що для стінки, виготовленої зі Ст 3 [σ] = 10 МПа, тоді:

$$\delta_{\text{дн}} = \frac{1,4 \cdot 0,25}{4 \cdot 10 \cdot 0,857 \cdot 1} + 0,002 = 0,0102 \text{ м.}$$

Перевіряємо умову справедливого розрахунку товщини стінки днища:

$$(\delta_{\text{дн}} - c)/D \leq 0,1; \quad (4.13)$$

$$(0,0102 - 0,002)/1,4 = 0,00585 ;$$

$$0,00585 < 0,1,$$

умова виконується, і розрахунок можна вважати достовірним.

Розрахунок площі поверхні теплопередачі

При розрахунку площі поверхні теплопередачі заторно-сушловарильного апарата ми визначаємо тепловий потік за найбільшим тепловим навантаженням, що спостерігається в період випаровування води. Тоді необхідна кількість теплоти Q (кДж) визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{вип}} = (1,03 \div 1,05) \cdot W_{\text{вип}} \cdot r', \quad (4.14)$$

де, $W_{\text{вип}}$ – кількість випареної води, кг;

r' – питома теплота пароутворення, кДж/кг; $r' = 2248$ кДж/кг

Кількість води, що випаровується із сусли за годину кип'ятіння:

$$W_{\text{вип}} = G_{\text{сус}} \cdot \left(1 - \frac{B_{\text{п}}}{B_{\text{к}}}\right) \text{ кг} ; \quad (4.15)$$

де, $B_{\text{п}}$ - початковий вміст сухих речовин, % мас.;

$B_{\text{к}}$ - кінцевий вміст сухих речовин, % мас..

$$W_{\text{вип}} = 1200 \cdot \left(1 - \frac{11}{12,5}\right) = 144 \text{ кг.}$$

Тоді по формулі (4.14) кількість теплоти $Q_{\text{âî}}$, необхідне для випарювання 356 кг води дорівнює:

$$Q_{\text{âî}} = 1,05 \cdot 144 \cdot 2248 = 339897,6 \text{ кДж}$$

Необхідна площа поверхні теплопередачі заторно-сушловарильного апарата (m^2) залежно від тривалості процесу випарювання $\tau_{\text{вип}}$ (год) визначають по формулі:

$$F_{\text{сусла}} = \frac{Q_{\text{вип}}}{K_{\text{сусла}} \cdot \Delta t_{\text{ср}} \cdot \tau_{\text{ц}}}, \quad (4.16)$$

де, $K_{\text{сусла}}$ – коефіцієнт теплопередачі при кип'ятінні сусла, $kW/(m^2 \cdot K)$;

$\Delta t_{\text{ср}}$ – корисна різниця температур при випарюванні, $^{\circ}C$;

$\tau_{\text{ц}}$ – тривалість процесу випарювання, $\tau_{\text{вип}} = 2$ год.

Тиск насиченої пари, призначений для кип'ятіння сусла:

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{бар}} + P_{\text{над}} = 0,1033 + 0,25 = 0,3533 \text{ МПа} = 3,601 \text{ кгс/см}^2. \quad (4.17)$$

За даним тиском температура насичення пари по рівнянні інтерполяції буде дорівнюватиме:

$$t_{i,i} = 132,9 + \frac{142,9 - 132,9}{4 - 3} \cdot (3,601 - 3) = 138,9 \text{ }^{\circ}C$$

При розрахунках поверхні теплообміну приймають:

$$t_{\text{н.п}} = t_{\text{к.п}} = 138,9 \text{ }^{\circ}C.$$

Середня різниця температур:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (4.18)$$

$$\text{де, } \Delta t_{\text{б}} = t_{\text{к.п}} - t_{\text{з.н}} = 138,9 - 55 = 83,9 \text{ }^{\circ}C;$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\text{н.п}} - t_{\text{з.к}} = 138,9 - 105 = 33,9 \text{ }^{\circ}C.$$

$t_{\text{н.п}}$ – температура насиченої пари, $^{\circ}C$.

$t_{\text{з.к}}$ – температура кипіння сусла, $^{\circ}C$.

Тоді

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{83,9 - 33,9}{\ln \frac{83,9}{33,9}} = 55,2 \text{ }^{\circ}C.$$

Коефіцієнт теплопередачі $K_{\text{сусл}}$ від гріючої пари, через стінку і до сусла (з урахуванням витрат теплоти за рахунок осаду, що утворюється всередині апарату):

$$K_{\text{сус}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \tau_{\text{забр.1}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} + \tau_{\text{забр.2}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (4.19)$$

де, α_1 – коефіцієнт тепловіддачі для похилої стінки апарата, Вт/(м²·К);

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні парової сорочки до киплячого суслу, Вт/(м²·К);

δ – товщина стінки парової сорочки, тобто товщина листової сталі, м, $\delta = 0,010$ м;

$\lambda_{\text{ст}}$ – теплопровідність матеріалу стінки, Вт/(м·К), теплопровідність сталі нержавіюча марки 1X18H9T, $\lambda_{\text{ст}} = 16$ Вт/(м·К).

$\tau_{\text{забр.1}}, \tau_{\text{забр.2}}$ – термічний опір забруднень стінок, Вт/м²К

$$\tau_{\text{забр.1}} = \frac{1}{2900} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}, \tau_{\text{забр.2}} = \frac{1}{5800} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від гріючої пари, до стінки знаходимо по формулі:

$$\alpha_1 = C_n \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \cdot \rho_{\text{конд}}^2 \cdot g \cdot r}{\mu \cdot H_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{ст}})}}, \quad (4.20)$$

де, C_n – коефіцієнт пропорційності, $C_n = 0,533$;

λ – коефіцієнт теплопровідності конденсату, Вт/(м·К);

$\rho_{\text{конд}}$ – густина конденсату, кг/м³;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості конденсату, Па·с;

r – прихована теплота пароутворення, Дж/кг;

$H_{\text{ст}}$ – висота стінки м, $H_{\text{ст}} = H_{\text{ц}} = 1,375$ м;

$t_{\text{п}}$ і $t_{\text{ст}}$ – температура пари й стінки парової сорочки, °С.

Величини λ , $\rho_{\text{конд}}$ і μ приймають по середній температурі плівки конденсату:

$$t_{\text{сп}} = 0,5 \cdot (t_{\text{п}} + t_{\text{ст}}). \quad (4.21)$$

Температура стінки розраховується з наступного допущення :

$$t_{\text{п}} - t_{\text{ст}} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (4.22)$$

Звідси

$$t_{ст} = t_n - 10 = 138,9 - 10 = 128,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тоді

$$t_{ср} = 0,5 \cdot (138,9 + 128,9) = 133,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При температурі $t_{ср} = 133,9 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$\lambda = 68,6 + \frac{68,5 - 68,6}{140 - 130} \cdot (133,9 - 130) = 68,56 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

$$\rho_{\text{конд}} = 935 + \frac{926 - 935}{140 - 130} \cdot (133,9 - 130) = 931,49 \text{ кг/м}^3.$$

$$\mu = 212 + \frac{196 - 212}{140 - 130} \cdot (133,9 - 130) = 205,76 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Величину r приймають при температурі насиченої пари $t_{н.н} = 138,9 \text{ } ^\circ\text{C}$.

При $138,9 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$r = 2165 + \frac{2150 - 2165}{140 - 135} \cdot (138,9 - 135) = 2153,3 \text{ кДж/кг}.$$

Тоді по формулі :

$$\alpha_1 = 0,533 \sqrt[4]{\frac{(68,56 \cdot 10^{-2})^2 (931,49)^2 \cdot 9,8 \cdot 2153,3 \cdot 10^3}{(205,76 \cdot 10^{-6}) \cdot 1,375 \cdot 10}} = 7212,94 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт теплопередачі для похилої стінки апарата обчислюють із кутом $\phi = 45^\circ$

$$\alpha_{н1} = \alpha_1 \sqrt[4]{\sin \phi} \quad (4.23)$$

$$\alpha_{н1} = 7212,94 \cdot \sqrt[4]{\sin 45} = 6614,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні парової сорочки до сусла α_2 знаходимо за формулі:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{сусла}}}{n}, \quad (4.24)$$

де Nu – критерій Нуссельта, що дорівнює:

$$Nu = 0,36 \cdot Re_{\text{міш}}^{0,67} \cdot Pr^{0,33} \cdot \left(\frac{\mu_{\text{сусла}}}{\mu_{ст}}\right)^{0,14}, \quad (4.25)$$

де $Re_{\text{міш}}$ – критерій Рейнольдса мішалки сусліварильного апарата;

Pr – критерій Прандтля;

$\mu_{\text{сусла}}$ й $\mu_{ст}$ – це коефіцієнти динамічної в'язкості сусла за середньою температурі й при температурою стінок апарату відповідно, Па·с.

Діаметр мішалки d_m дорівнює:

$$d_{\text{міш}} = D_{\text{ст.}}/\alpha = 1.4/2 = 0.7\text{м.} \quad (4.26)$$

Приймаємо стандартний діаметр мішалки за ДСТ 20680-75:

$$d_{\text{міш}} = 0.78\text{м.}$$

Ширина лопаті мішалки b дорівнює:

$$b = d_{\text{міш}} \cdot \beta = 0.78 \cdot 0,1 = 0.062\text{м.} \quad (4.27)$$

Критерій Рейнольдса мішалки можна обчислити за формулою:

$$Re_{\text{міш}} = \frac{n_{\text{міш}} \cdot d_{\text{міш}}^2 \cdot \rho_{\text{сусла}}}{\mu_{\text{сусла}}}, \quad (4.28)$$

де, $n_{\text{міш}}$ - частота обертання мішалки, с^{-1} , $n_{\text{іф}} = 0,83\text{с}^{-1}$.

$\mu_{\text{сусла}}$ - в'язкість сусла, визначаємо як в'язкість суспензії, що складає зі зважених твердих часток і води:

$$\mu_{\text{сусла}} = \mu_{\text{в}} \cdot (1 + 2,5 \cdot \varepsilon), \quad (4.29)$$

де $\mu_{\text{в}}$ – коефіцієнт динамічної в'язкості води, $\text{Па} \cdot \text{с}$;

ε - об'ємна доля дисперсної фази, $\text{м}^3/\text{м}^3$. $\mu < 0,1$, прийmemo $\varepsilon = 0,06$.

При середній температурі кипіння сусла $t = 105^\circ\text{C}$ (за умовою)

$$\mu_{\text{в}} = 0,269 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$$

Тоді

$$\mu_{\text{сусла}} = 0,269 \cdot 10^{-3} \cdot (1 + 2,5 \cdot 0,06) = 0,309 \cdot 10^{-3} \text{Па} \cdot \text{с}$$

Відповідно до формули (1.28) критерій Рейнольдса мішалки дорівнює:

$$Re_{\text{міш}} = \frac{0.83 \cdot 0.78^2 \cdot 1,03796 \cdot 10^3}{0,309 \cdot 10^{-3}} = 61 \cdot 10^5$$

Критерій Прандтля знайдемо за формулою:

$$Pr = \frac{\mu_{\text{сусла}} \cdot c_{\text{сусла}}}{\lambda_{\text{сусла}}}, \quad (4.30)$$

де $\lambda_{\text{сусла}}$ – коефіцієнт теплопровідності сусла

$$\lambda_{\text{сусла}} = 0,635 \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

$c_{\text{понеа}}$ – питома теплоємність сусла, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

Питома теплоємність сусла дорівнює:

$$C_{\text{сусла}} = \frac{c_0(100 - W_H)}{100} + \frac{c_B W_H}{100}, \quad (4.31)$$

де c_0 – питома теплоємність сухих речовин, $c_0 = 1,42$ кДж/(кг·К);

c_a – питома теплоємність води, $c_a = 4,19$ кДж/(кг·К);

W_i – вміст вологи в початковому суслі, % .

$$W_i = 100 - B_i = 100 - 9,5 = 90,5\%$$

$$C_{\text{сусла}} = \frac{1,42(100 - 90,5)}{100} + \frac{4,19 \cdot 90,5}{100} = 3,9269 \text{ кДж/(кг·К)}$$

Тоді

$$Pr = \frac{0,309 \cdot 10^{-3} \cdot 3926,9}{0,635} = 1,91.$$

Коефіцієнт динамічної в'язкості за температури стінки апарата

$t_{cm} = 128,9$ °С:

$$\mu_{ст} = 231 + \frac{212 - 231}{130 - 120} \cdot (128,9 - 120) = 214,1 \cdot 10^{-6} \text{ Па·с.}$$

Що значить критерій Нуссельта, за формулою (4.25) дорівнює:

$$Nu = 0,36 \cdot (61 \cdot 10^5)^{0,67} \cdot 1,91^{0,33} \cdot \left(\frac{0,309 \cdot 10^{-3}}{0,214 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,14} = 5980$$

А по формулі (4.24):

$$\alpha_2 = \frac{5980 \cdot 0,635}{1,4} = 2712 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від пари, до стінки з урахуванням втрат теплоти, що утвориться на внутрішній поверхні, осаду за формулою (4.16) дорівнює:

$$K_{\text{вп.с.}} = \frac{1}{\frac{1}{6614,3} + \frac{1}{2900} + \frac{0,010}{16} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{2712}} = 1128,4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Виходячи із проведених вище розрахунків визначимо необхідну площу поверхні нагрівання заторно-сусловарильного апарату за формулою (4.16):

$$F_{\text{нагр}} = \frac{339897,6 \cdot 10^3}{1128,4 \cdot 55,2 \cdot 2 \cdot 3600} = 0,76 \text{ м}^2.$$

Площа поверхні теплопередачі на 1 м^3 корисної місткості апарата зі сталевим днищем:

$$S = 2\pi RH = 2 \cdot 3.14 \cdot 0.7 \cdot 0.6 = 2.6 \text{ м}^2 \quad (4.32)$$

Тому отримана питома площа поверхні теплопередачі більша, за необхідну.

Визначення витрати пари

Витрата пари на роботу апарату ми визначимо за допомогою рівняння теплового балансу:

$$G_{\text{сусла}} \cdot C_{\text{сусла}} \cdot t_{\text{с.н}} + D_{\text{п}} \cdot i'_{\text{п}} = (G_{\text{сусла}} \cdot C_{\text{сусла}} - W_{\text{вип}} \cdot C_{\text{вип}}) \cdot t_{\text{с.к}} + W_{\text{вип}} \cdot i_{\text{вт}} + D_{\text{п}} \cdot i''_{\text{к}} + Q_{\text{вт}} \quad (4.33)$$

де $D_{\text{п}}$ – витрата гріючої пари, кг;

$W_{\text{вип}}$ – к-ть випареної води, кг;

$i'_{\text{п}}, i_{\text{вт}}, i''_{\text{к}}$ – відповідно питома ентальпія гріючої пари, вторинної пари й конденсату, кДж/кг;

$Q_{\text{вт}}$ – втрати теплоти в навколишнє середовище, кДж;

$C_{\text{вип}}$ – теплоємність води при температурі кипіння сусла (105°C), кДж/(кг·К),

$C_{\text{вип}} = 4,23$ кДж/(кг·К);

$C_{\text{сусла}}$ – питома теплоємність сусла, кДж/(кг·К);

Звідси витрата гріючої пари, дорівнює:

$$D_{\text{п}} = \frac{[G_{\text{сусла}} \cdot C_{\text{сусла}} \cdot (t_{\text{с.к}} - t_{\text{с.н}}) + W_{\text{вип}} \cdot (i_{\text{вт}} - C_{\text{вип}} \cdot t_{\text{с.к}}) + Q_{\text{вт}}]}{i'_{\text{п}} - i''_{\text{к}}} \quad (4.34)$$

За температурою насиченої водяної пари (гріючої пари) $t_{\text{н.н}} = 138,9$ °C:

$$i'_{\text{п}} = 2733 + \frac{2740 - 2733}{140 - 135} (138,9 - 135) = 2738,46 \text{ кДж/кг},$$

$$i''_{\text{к}} = 568,2 + \frac{589,5 - 568,2}{140 - 135} (138,9 - 135) = 584,81 \text{ кДж/кг}.$$

Тиск вторинної пари $P_{\text{бар}} = 0,1033$ МПа = 1,053 кгс/см², тоді

$$i_{\text{вт}} = 2677 + \frac{2686 - 2677}{1,2 - 1,0} (1,053 - 1,0) = 2679,39 \text{ кДж/кг}.$$

Втрати теплоти в навколишнє середовище $Q_{\text{вт}}$ розраховуються по формулі:

$$Q_{\text{вт}} = \alpha_{\text{об}} \cdot F_{\text{кот}} \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{пов}}), \quad (4.35)$$

де, $\alpha_{об}$ – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією й випромінюванням, Вт/м²·К;

$t_{ст}$, $t_{пов}$ – температури стінки апарата й повітря відповідно, °С.

$$\alpha_{об} = 9,74 + 0,007 \cdot (t_{ст} - t_{пов}). \quad (4.36)$$

Для зимового періоду роботи, коли втрати тепла в навколишнє середовище максимальні, прийmemo $t_{на} = 15$ °С.

По техніці безпеки температура стінки не повинна перевищувати 40 °С, тобто $t_{см} = 40$ °С. Тоді відповідно до формули (4.37):

$$\alpha_{об} = 9,74 + 0,007 \cdot (40 - 15) = 11,49 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Тоді, виходячи з виразу (4.35)

$$Q_{об} = 11,49 \cdot 6,02 \cdot (40 - 15) = 1729,25 \text{ Дж.}$$

Виходить, що загальна витрата пари, яка гріє, з урахуванням витрат в навколишнє середовище по (4.34):

$$D_{п} = \frac{[1200 \cdot 3,9269 \cdot (105 - 55) + 144 \cdot (2679,39 - 4,23 \cdot 105) + 1729,25]}{2738,46 - 584,81} = 109,6 \text{ кг.}$$

Розрахунок потужності електродвигуна мішалки

Оскільки $Re_{міш} > 50$ ($Re_{міш} = 61 \cdot 10^5$), то режим руху можна вважати турбулентним. Для лопатевої мішалки установлена наступна залежність між критеріями потужності і Рейнольдса для турбулентного режиму:

$$K_N = 0,845 \cdot Re_{міш}^{-0,05} = 0,845 \cdot (61 \cdot 10^5)^{-0,05} = 0,386. \quad (4.38)$$

Поправочні коефіцієнти, що впливають на потужність приводу мішалки, визначаємо за наступними виразами:

$$f_D = \left(\frac{D}{\alpha \cdot d_i} \right)^{1,1} = \left(\frac{1,4}{2 \cdot 0,78} \right)^{1,1} = 0,887, \quad (4.39)$$

де, α – це коефіцієнт, що враховує відношення D/d_m для лопатевої мішалки,

$$\alpha = 2;$$

$$f_I = \left(\frac{\dot{I}_{\text{н\oм\i}}}{D} \right)^{0,6} = \left(\frac{1,25}{1,4} \right)^{0,6} = 0,93, \quad (4.40)$$

$$f_A = \left(\frac{b}{\beta \cdot d_i} \right)^{0,3} = \left(\frac{0,062}{0,1 \cdot 0,78} \right)^{0,3} = 0,93, \quad (4.41)$$

де, β – це коефіцієнт, що враховує відношення b/d_m для лопатевої мішалки,

$$\beta = 0,1.$$

Критерій потужності для перемішування заторної маси дорівнює:

$$K_N = K'_m \cdot f_D \cdot f_H \cdot f_B = 0,386 \cdot 0,887 \cdot 0,93 \cdot 0,93 = 0,296. \quad (4.42)$$

Потужність, необхідна перемішуванню в апараті дорівнює:

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 0,296 \cdot 1037,96 \cdot 0,83^3 \cdot 0,78^5 = 507,8 \text{ Вт}. \quad (4.43)$$

З урахуванням ККД передачі й опорів, що виникають в апараті при русі сусли, потужність електродвигуна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N \cdot f_z \cdot f_{mp} \cdot f_u}{\eta}, \quad (4.44)$$

де, f_z – коефіцієнт опору гільзи для термометра, $f_z = 1,1$;

f_{mp} – коефіцієнт опору труби для стягування сусли, $f_{mp} = 1,2$;

f_u – коефіцієнт, що враховує шорсткість стінок апарата, $f_u = 1,1$;

η – КПД передачі, $\eta = 0,85$. Тоді

$$N_{\text{дв}} = \frac{507,8 \cdot 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,1}{0,85} = 867,4 \text{ кВт}.$$

5. Монтаж, експлуатація і ремонт обладнання

Монтаж обладнання

Монтаж заторно-сусловарильного апарата малого об'єму повинен здійснюватися в спеціально підготовленому приміщенні, що відповідає всім вимогам безпеки та санітарним нормам.

Основні етапи монтажу включають:

1. Підготовка приміщення:

- Забезпечення належної вентиляції та освітлення.
- Підготовка електричних та водопровідних комунікацій.
- Підготовка місця для встановлення обладнання, яке повинно бути рівним та міцним.

2. Установлення основних компонентів:

- Розміщення апарата на підготовленій площі.
- Закріплення апарата на фундаменті або спеціальних опорах для запобігання вібраціям і зміщенням під час роботи.
- Підключення апарата до електричної та водопровідної мережі.

3. Підключення та налаштування системи управління:

- Підключення мішалки та інших механічних компонентів.
- Інсталяція системи управління і контролю параметрів процесу.
- Перевірка працездатності всіх систем і налаштування необхідних робочих режимів.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Постоев В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Монтаж експлуатація і ремонт обладнання	192003.KP.022.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i>

Експлуатація обладнання

Експлуатація заторно-сусловарильного апарата вимагає дотримання ряду правил і рекомендацій для забезпечення безперебійної роботи та високої якості продукції:

1. Підготовка до роботи:

- Перевірка стану обладнання перед кожним запуском.
- Перевірка наявності необхідної кількості сировини та води.
- Контроль стану засобів індивідуального захисту та їх використання.

2. Процес експлуатації:

- Дотримання встановлених технологічних режимів для забезпечення рівномірного перемішування та нагрівання затору.
- Контроль температурних режимів та інших параметрів процесу.
- Регулярний огляд і очищення апарата після кожного циклу виробництва.

3. Безпека під час експлуатації:

- Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) під час роботи з гарячим суслон та обладнанням.
- Дотримання правил безпеки при роботі з електричним обладнанням та механічними компонентами.
- Негайне реагування на будь-які збої та аварійні ситуації.

Ремонт і обслуговування

Для забезпечення довготривалої та безперебійної роботи заторно-сусловарильного апарата необхідно проводити регулярне обслуговування та ремонт:

1. Планове технічне обслуговування:

- Регулярна перевірка стану основних компонентів (мішалка, електромотори, труби, клапани).

- Заміна зношених або пошкоджених частин.
 - Очищення та дезінфекція внутрішніх поверхонь апарата.
- 2. Ремонтні роботи:**
- Виявлення та усунення несправностей, що можуть виникнути під час експлуатації.
 - Проведення ремонтних робіт відповідно до інструкцій виробника.
 - Використання тільки сертифікованих запасних частин і матеріалів.
- 3. Аварійний ремонт:**
- Негайне реагування на аварійні ситуації та зупинка роботи апарата.
 - Проведення діагностики для виявлення причини несправності.
 - Виконання необхідних ремонтних робіт для відновлення працездатності обладнання.

Висновок

Забезпечення правильного монтажу, експлуатації та своєчасного ремонту заторно-суловарильного апарата є ключовим для досягнення високої якості продукції та безпечної роботи на підприємстві. Дотримання встановлених правил та рекомендацій допоможе уникнути аварійних ситуацій та продовжить термін служби обладнання.

6. Охорона праці та техніка безпеки

Охорона праці є надзвичайно важливою складовою в процесі розробки та експлуатації заторно-сусловарильного апарата малого об'єму. Враховуючи специфіку даного обладнання, необхідно забезпечити безпечні умови праці для працівників, що займаються його проектуванням, виготовленням та використанням.

Аналіз ризиків та небезпек

Процес розробки і експлуатації заторно-сусловарильного апарата пов'язаний з численними ризиками та небезпеками. До основних небезпек належать:

- **Механічні ризики:** пов'язані з рухомими частинами обладнання, такими як мішалки та насоси.
- **Термічні ризики:** висока температура киплячого сула та гарячої пари можуть призвести до опіків.
- **Електричні ризики:** використання електрообладнання для нагріву та автоматизації процесів може спричинити ураження електричним струмом.
- **Хімічні ризики:** контакт з хімічними речовинами, які використовуються для очищення апарата.

Організація робочого місця

Робочі місця повинні бути організовані таким чином, щоб мінімізувати ризики. Робочі зони повинні бути добре освітленими, мати належну вентиляцію та підтримувати комфортну температуру. Всі робочі місця повинні бути оснащені захисними пристроями, такими як огорожі, які запобігають доступу до небезпечних частин обладнання.

Засоби індивідуального захисту

Для захисту працівників необхідно забезпечити їх засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). До них належать:

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чеплюк О.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Постоев В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Охорона праці та техніка безпеки	192003.KP.022.000.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2	

Захисні рукавички та спецодяг для захисту від опіків і механічних ушкоджень.

- Захисні окуляри для запобігання травмуванню очей.
- Респіратори для захисту від парів і пилу під час очищення обладнання.
- Захисні каски для запобігання травмуванню голови в разі падіння предметів.

Навчання та інструктаж працівників

Усі працівники повинні проходити навчання та інструктаж з охорони праці.

Навчання має включати:

- Правильне використання заторно-сусловарильного апарата та його компонентів.
- Дії в разі виникнення аварійних ситуацій.
- Використання засобів індивідуального захисту.

Виконання нормативно-правових актів

Необхідно суворо дотримуватися вимог законодавства України у сфері охорони праці, зокрема:

- Закон України «Про охорону праці».
- Правила безпеки у харчовій промисловості.
- Норми і стандарти, що стосуються безпеки електрообладнання та термічних процесів.

Висновок

Запобігання виробничим ризикам та небезпекам у процесі розробки та експлуатації заторно-сусловарильного апарата малого об'єму є ключовою умовою для забезпечення здоров'я та безпеки працівників. Важливо здійснювати постійний моніторинг умов праці, вдосконалювати технічні засоби захисту та проводити регулярне навчання персоналу. Виконання вимог охорони праці сприятиме ефективній та безпечній роботі на підприємствах.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній магістерській роботі проведено аналітичний огляд конструкцій обладнання, яке використовується для приготування пивного сусла. Увага приділена комбінованому обладнанню, яке використовується як для приготування затору, так і для кип'ятіння сусла з хмелем.

Під час приготування пива досить важливе значення має процес приготування затору і сусла а саме їх рівномірне перемішування при одночасному нагріванні.

В магістерській роботі проведено розрахунок заторно-сусловарильного апарату об'ємом 2 м³ з метою забезпечення переробки сировини на підприємствах малої потужності. Визначено необхідну потужність приводу перемішуючого пристрою, яка становить 0,9 кВт.

З метою визначення основних конструктивних параметрів апарату та більш сприятливих режимів, що здатні забезпечити ефективне проведення процесу створені геометричні моделі апарату в програмі Solid Works і промодельовано процес в програмному пакеті Flow Simulation, та як наслідок отримано рекомендації раціональних режимів роботи перемішуючого пристрою та необхідних геометричних параметрів лопаток мішалки.

Аналіз результатів моделювання процесу приготування затору і сусла в заторно-сусловарильному апараті дозволив зробити такі висновки: процес перероблення подрібненого солоду є найбільш ефективним при частоті обертання перемішуючого пристрою до 50 об/хв. Збільшення частоти обертання не призводить до значного посилення процесу тепловіддачі, проте збільшує енергетичні витрати на перемішування, тому перевищення цього значення не є раціональним.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Постоев В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Висновки	192003.KP.022.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

Моделювання за різними конфігураціями перемішуючого пристрою (двох- і чотирилопатевими, з отворами і без) показало, що найбільш раціональним варіантом є чотирилопатєва мішалка з отворами, яка забезпечує найкраще перемішування.

Список використаної літератури

1. Farber M. Mastering Brewing Science: Quality and Production / Matthew Farber, Roger Barth. – Wiley. – 2019. – 592 p.
2. Kunze W. Technology Brewing And Malting. 5th English Edition / W. Kunze. – VLB Berlin. – 935 pages.
3. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива: Підруч. Для студентів вищ. закл. освіти, що навчаються за спец. «Технологія бродил. вир-в і виноробства». – К.: Урожай. 1999.-544 с.
4. Домарецький В. А. Технологія солоду та пива: Підручник - Київ: «Фірма «ІНККОС», 2003. 426с.
5. Домарецький В. А., Шиян П.М., Калакура Л.Р. та ін. Загальні технології харчових виробництв. -Київ: Університет «Україна», 2010.-816с.
6. Handbook of Food Processing Equipment. Second Edition / George Saravacos, Athanasios E. Kostaropoulos. - Springer International Publishing Switzerland, 2016 - 775 p.
7. Food Process Engineering and Technology, Third Edition / Zeki Berk. - Academic Press, 2018. - 744 p.
8. Транспортно-технологічні схеми пивзаводів / За ред. А.І.Соколенка. - К.: АртЕк, 2002. - 304с.з іл.
9. Технологія пива: навч. посібник для студ. усіх форм навч. напряму «Харчова технологія та інженерія» / Л. А. Данилова, П. О. Некрасов; Національний технічний ун-т «Харківський політехнічний ін-т». — Х. : НТУ «ХПІ», 2006. - 224 с.: рис., табл. - Бібліогр.: 197 с.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Чепеляк О.М.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Постоев В.О.	<i>Назва, додаткова назва</i> Список використаної літератури	192003.KP.022.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

10. Чепелюк О.М., Теличкун В.І., Удодов С.О., Інноваційне обладнання харчових виробництв [Електронний ресурс]: конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітньо-професійної програми «Інжиніринг харчових виробництв» денної і заочної форм навчання. К.: НУХТ, 2022. – 438 с.

11. Чепелюк О.М., Теличкун В.І., Губеня О.О., Компонування технологічних потокових ліній [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до вивчення дисципліни і проведення практичних занять для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальностей 181 «Харчові технології», 133 «Галузеве машинобудування», 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» міждисциплінарної освітньо-наукової програми «LEAN-виробництво харчової продукції» денної форми навчання. К.: НУХТ, 2023. – 128 с.

12. Мирончук В. Г., Орлов Л. О., Українець А. І. та ін. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості. Навчальний посібник – Вінниця: Нова книга, 2004 - 288 с.

13. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / За ред. І. С. Гулого. Вінниця. Нова книга. 2001. -576с.

14. Піддубний В., Кравченко М., Чагайда А. Інноваційні технології харчових виробництв. -К.: Кондор, 2017.-374с.

15. Процеси і апарати харчових виробництв/ За ред. І. Ф. Малежика. Київ. НУХТ. 2021.-419с.

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

ДОДАТКИ

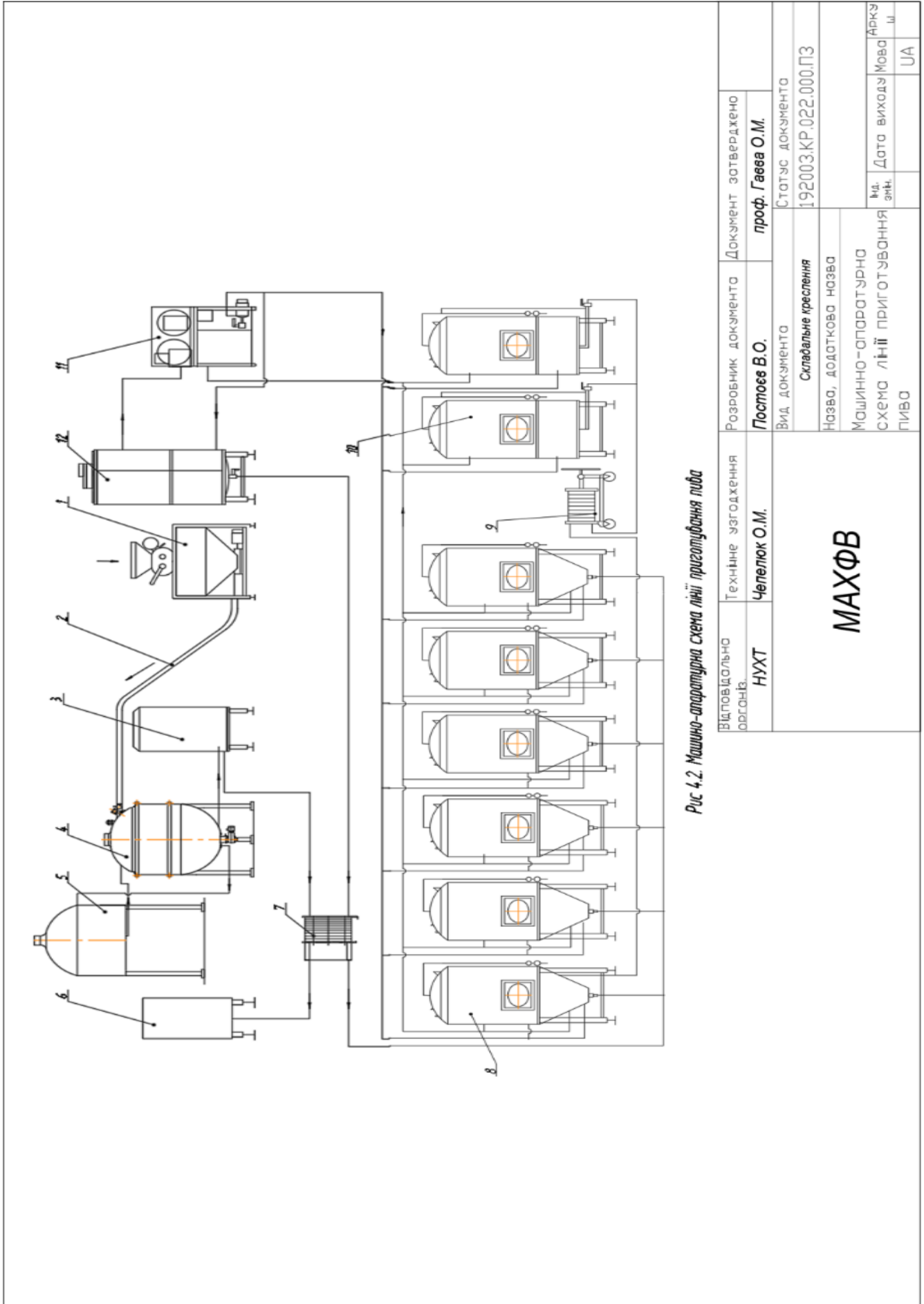
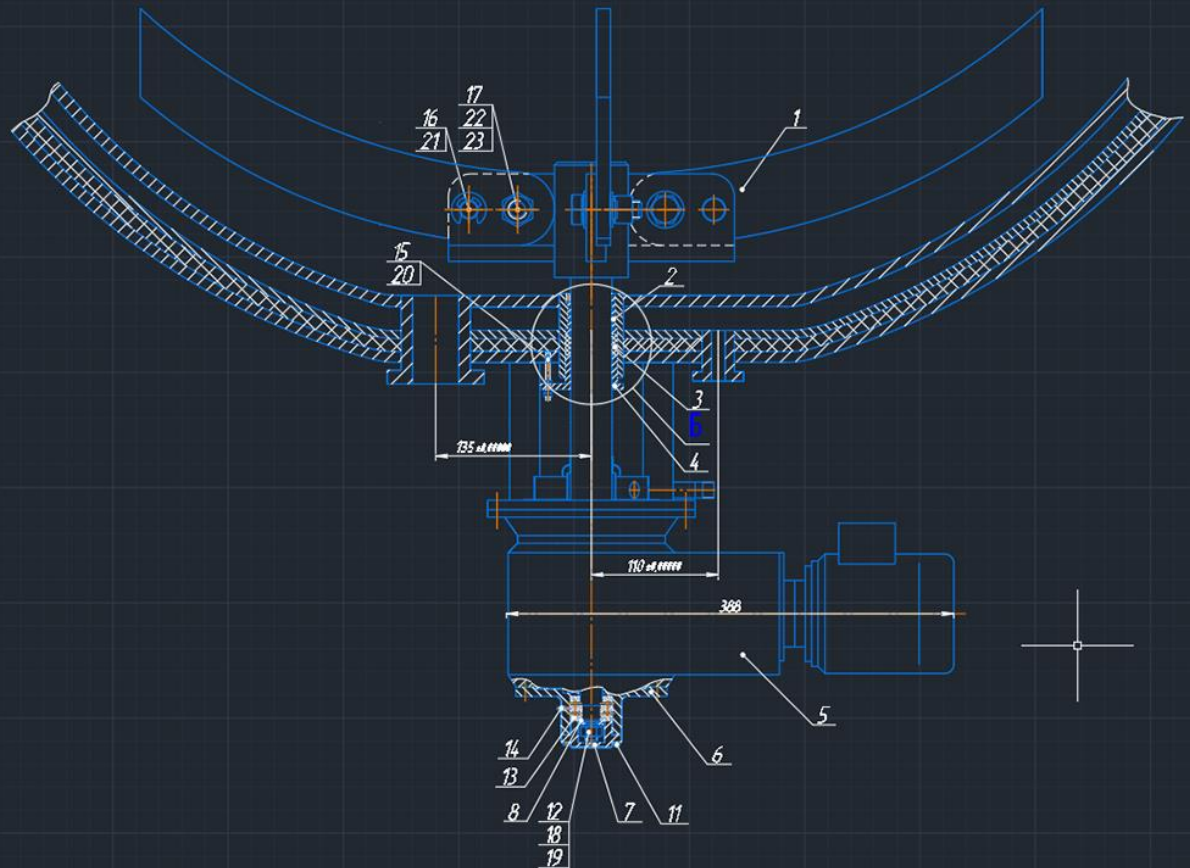


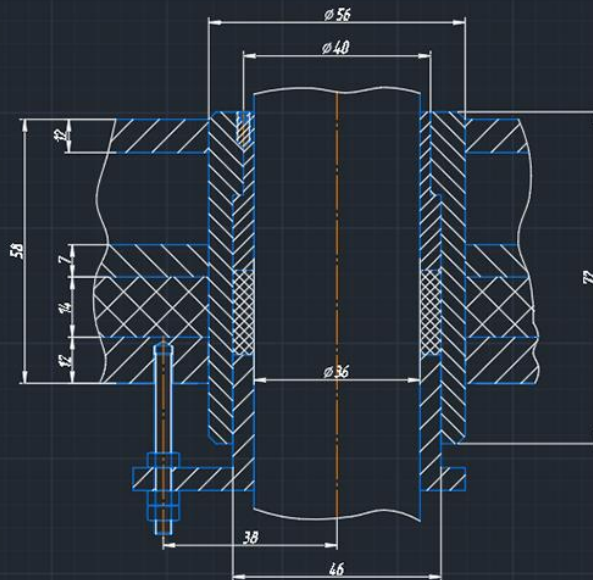
Рис 4.2. Машинно-апаратурна схема лінії приготування пива

Відповідально органів	Технічне узгодження	Розробник документа	Документ затверджено
НУХТ	Чепелюк О.М.	Постоев В.О.	проф. Гаєва О.М.
МАХФВ		Вид документа	Статус документа
		Складальне креслення	192003.КР.022.000.ПЗ
		Назва, додаткова назва	
		Машинно-апаратурно схема лінії приготування пива	Мово змі.
			Дата виходу Мова М
			UA

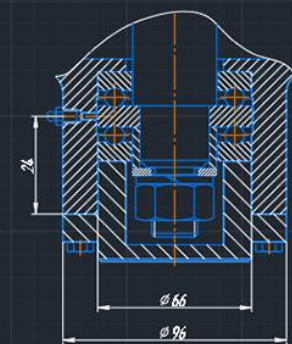
Відсоток	Листів	Листів	Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
				<u>Документація</u>		
АТ				<u>Вид загальний</u>		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Заслінка	1	
		2		Штуцер	1	
		3		Рефлектор	1	
		4		Предзатворник	1	
		5		Шліверна засідка	1	
		6		Змішувач	1	
		7		Манометр	1	
		8		Триба	1	
		9		Моторредуктор	1	
		10		Патрубок (впускний)	1	
		11		Мішалка	1	
		12		Сферичне днище	1	
		13		Патрубок (впускний)	1	
		14		Мірна лінійка	1	
		15		Циліндричний резервуар	1	
		16		Змішувач	1	
		17		Кришка	1	
		18		Патрубок (впускний)	1	
		19		Патрубок (впускний)	1	
		20		Кільцевий збірник	1	
		21		Лок	1	
Відомості про копію			Ісходне джерело	Розробник документації	Дата затвердження	Місцевість
НЗХТ			Червонок. ОМ	Пастухів В.О.	Габдан ОМ	
Відомості про проект				Вид документації	Цитовий документ	
МАХФВ				Специфікація		
				Номер документації	192003.KP.022.000.013	
				Складальні одиниці	Вс. стр.	Листів документації
					10	11/1



Б(4-1)



А(4-1)



Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Чепелик О.М.	Розробник документа Постоев В.О.	Документ затверджено Проф. Гавва О.М.	Масштаб 1:1
Власник документа МАХФВ		Моделяння технологічних процесів в затрно-суслодобувальному апараті		Статус документа 192003.KP.022.000.ПЗ
		Мішалка з приводом		інв. змін.
				Дата видання
				Мова UA
				Аркуш 1

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
				<u>Документація</u>		
A7				Складальне креслення		
				<u>Деталі</u>		
		1		Лопадь	1	
		2		Стакан	1	
		3		Ущільнення	1	
		4		Фланець	1	
		5		Моторредуктор	1	
		6		Кришка	2	
		7		Стакан	1	
				<u>Стандартні одиниці</u>		
		8		Болт 8x ГОСТ 11738-74	8	
		9		Гайка 10 ГОСТ 1040-82	1	
		10		Підшипник упорний 38205 ГОСТ 7872-89	1	
		11		Масльонка	1	
		12		Шпилька 6 22034-76	3	
		13		Ось 14 ГОСТ 9650-80	4	
		14		Болт 16 ГОСТ 11738-74	4	
		15		Гайка 10 ГОСТ 15526-70	1	
		16		Шайба пружина 10 ГОСТ 6402-70	1	
		17		Гайка 6 ГОСТ 15526-72	9	
		18		Шайба опорна 14 ГОСТ 11648-75	4	
		19		Гайка 16 ГОСТ 15526-70	4	
		20		Шайба 16 ГОСТ 6402-70	4	
Відповідаюча організація НУХТ		Технічне узгодження Чеплюк О.М.		Розробник документа Постоєв В.О.	Документ затверджено Гавва О.М.	
Власник документа МАХФВ		Вид документа Специфікація		Статус документа		
		Назва, додаткова назва Мішалка з приводом		192003КР.022000ПЗ		
		Інд. змін.		Дата видання	Мова	Аркуш
					ua	1/1

