

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра: Хімічної технології високомолекулярних сполук

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВР
зі спеціальності 6.133: Галузеве машинобудування

Тема роботи: «Виробництво сухого молока. Випарна установка для згущення молока продуктивністю 6000 кг/год».

Виконав студент

Макуха Д.А.

Залікова книжка:

№ _____

Захищений з оцінкою:

Керівник проекту

Романько С.М.

ІІІ Сум ДУ 2022

ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
Кафедра „ Хімічної технології високомолекулярних сполук ”

Дисципліна: Машина та апарати хімічних виробництв

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. Кафедрою

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ

Студенту: Макуха Д.А.

група ХМзт - 81ш курс IV

Тема роботи «Виробництво сухого молока. Випарна установка для згущення молока продуктивністю 6000 кг/год»

Вихідні дані: Продуктивність 6000 кг/год. , початкова концентрація 8%, кінцева концентрація 43%.

3 Перелік обов'язкового графічного матеріалу (листи А1)

3.1 Технологічна схема установки А1

3.2 Складальне креслення 2хА1

3.3 Складальні одиниці А1

1. Література та матеріали, які рекомендуються: Касаткин А.Г.

Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973.

– 754с. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Под ред. Ю.И. Дытнерский. М.: Химия, 1991. – 272с.

2. Контрольні терміни виконання: _____

| Етапи і розділи курсової роботи | Тижні | | | | | | | | | | |
|--|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| 1. Вступна частина | + | + | | | | | | | | | |
| 2. Технологічна (аналітична) частина | | | + | + | | | | | | | |
| 3. Технологічні і конструктивні розрахунки | | | | | + | + | | | | | |
| 4. Ремонт та монтаж. Охорона праці | | | | | | | + | + | | | |
| 5. Розробка креслень | | | | | | | | | + | + | |
| 6. Оформлення записки | | | | | | | | | | | + |
| 7. Захисна робота | | | | | | | | | | | + |

6. Дата видачі завдання _____ 20__ р

7. Термін захисту курсової роботи _____ 20__ р.

Керівник курсової роботи Романько С.М.

Реферат

Пояснювальна записка: 58 арк., 2 рис., 7 таблиць, 12 літературних джерел. Графічні матеріали: технологічна схема виробництва, складальне креслення апарату, креслення складальних одиниць, всього 4 листи формату А1.

Тема роботи: "Виробництво сухого молока. Випарна установка для згущення молока продуктивністю 6000 кг/год".

Описано технологічну схему, теоретичні основи процесу, конструкцію апарату. Вибрано конструкційні матеріали.

Проведено технологічні розрахунки процесу та апарату. Визначено основні геометричні розміри апарату, що проектується. Визначено гідравлічний опір. Вибрано допоміжне обладнання.

Зроблено розрахунки апарату на міцність та герметичність.

Розглянуто монтаж та ремонт розробленого апарату.

Розрахунки зроблено виходячи з діючих стандартів.

Ключові слова: МОЛОКО, МАТЕРІАЛ, ПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЯ, ВИДАЛЕННЯ, ВИПАРЮВАННЯ.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ | 5 |
| 1 Технологічна частина | 6 |
| 1.1 Опис технологічної схеми установки | 6 |
| 1.2 Теоретичні основи процесу | 7 |
| 1.3 Опис конструкції апарату та вибір матеріалу | 9 |
| 2 Технологічні розрахунки процесу та апарату | 12 |
| 2.1 Матеріальний і тепловий баланси | 12 |
| 2.2 Технологічні розрахунки | 18 |
| 2.3 Конструктивні розрахунки апарата | 23 |
| 2.4 Гідрравлічний опір апарата | 25 |
| 2.5 Вибір допоміжного обладнання | 27 |
| 3 Розрахунок апарата на міцність та герметичність | 32 |
| 3.1 Розрахунок товщини стінки кришки апарата | 32 |
| 3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання | 34 |
| 3.3 Розрахунок і вибір опори | 43 |
| 4 Монтаж і ремонт апарата | 45 |
| 4.1 Монтаж апарата | 45 |
| 4.2 Ремонт апарата | 46 |
| 5 Охорона праці | 50 |
| 5.1 Загальні вимоги на виробництві | 50 |
| 5.2 Вимоги безпечної організації робіт до виробничих (технологічних) процесів ... | 51 |
| 5.3 Вимоги до виробничого обладнання, його розміщення та організації робочих місць | 53 |
| Висновки | 57 |
| Література | 58 |

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------------|----------------|---------------|-------------|---|--|--|------------|--------------|----------------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | | | | | |
| <i>Зм.</i> | <i>Арку</i> | <i>№ докум</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | | | | |
| <i>Розроб.</i> | <i>Макуха</i> | | | | <i>Виробництво сухого молока. Випарна установка для згущення молока продуктивністю 6000 кг/год Пояснювальна записка</i> | | | <i>Літ</i> | <i>Аркуш</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Перев.</i> | <i>Романько</i> | | | | | | | 4 | 58 | |
| <i>Н. Контр. Затверди</i> | | | | | <i>ІІІ Сум ДУ гр. ХМзт-81Ш</i> | | | | | |

Вступ

Молоко відіграє велику роль у житті людини. Для забезпечення нормальної життєдіяльності людини потрібне постійне вживання тваринних білків.

Тож забезпечення потреб населення постійно вдосконалюються технологічні процеси отримання продуктів переробки молока, модернізується встановлене устаткування чи замінюється новим, підвищується ступінь автоматизації технологічних процесів. Також збільшуються виробничі потужності харчової промисловості, оскільки постійно збільшується номенклатура видів продукції, що випускаються, і ступінь переробки молока.

У технологічному процесі отримання сухого молока важливою ланкою є випаровування. Випарна установка – важлива складова теплового господарства підприємства та найбільший споживач пари. Вторинна пара випарних установок використовується у різних проміжних фазах всього технологічного процесу. За важливістю виконуваних функцій випарна установка займає центральне місце у технологічній та тепловій схемах підприємства, що вимагає відповідального підходу до вибору технологічної схеми випарної установки та її конструкторського та апаратного оформлення.

У різних галузях промисловості рідкі суміші, концентрування яких здійснюється випарюванням, відрізняються великою різноманітністю як фізичних параметрів (в'язкість, щільність, температура кипіння, величина критичного теплового потоку та ін.), так і інших характеристик (кристалізуються, піняться, не термостійкі розчини та ін.). Властивості сумішей визначають основні вимоги до умов проведення процесу (вакуум-випарювання, прямо- та протиточні, одно- та багатостадійні багатокорпусні випарні установки), а також до конструкцій випарних апаратів.

Така різноманітність вимог викликає певні складнощі при правильному виборі схеми випарної установки, типу апарату, числа ступенів багато корпусної випарної установки. У випадку такий вибір є завданням оптимального пошуку та виконання техніко-економічним порівнянням різних варіантів з використанням ЕОМ.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 5 |

1 Технологічна частина

1.1 Опис технологічної схеми установки

Двокорпусну випарну установку безперервної дії застосовують для згущення молока. Винесення поверхні нагріву за межі корпусу випарного апарату забезпечує інтенсивну і більш впорядковану циркуляцію продукту, що згущується в апараті. При цьому поверхня нагрівання легко доступна для чищення та ремонту. Сепаратор за рахунок оптимального руху в ньому парорідкісної суміші забезпечує гарний поділ її: вторинна пара, що не містить крапель рідини, відводиться з неї на подальше використання, а частково згущене молоко - у другий корпус. Завдяки компактності, зручності експлуатації та високій теплопередачі такі апарати отримали також широке застосування для згущення томатних та фруктових соків.

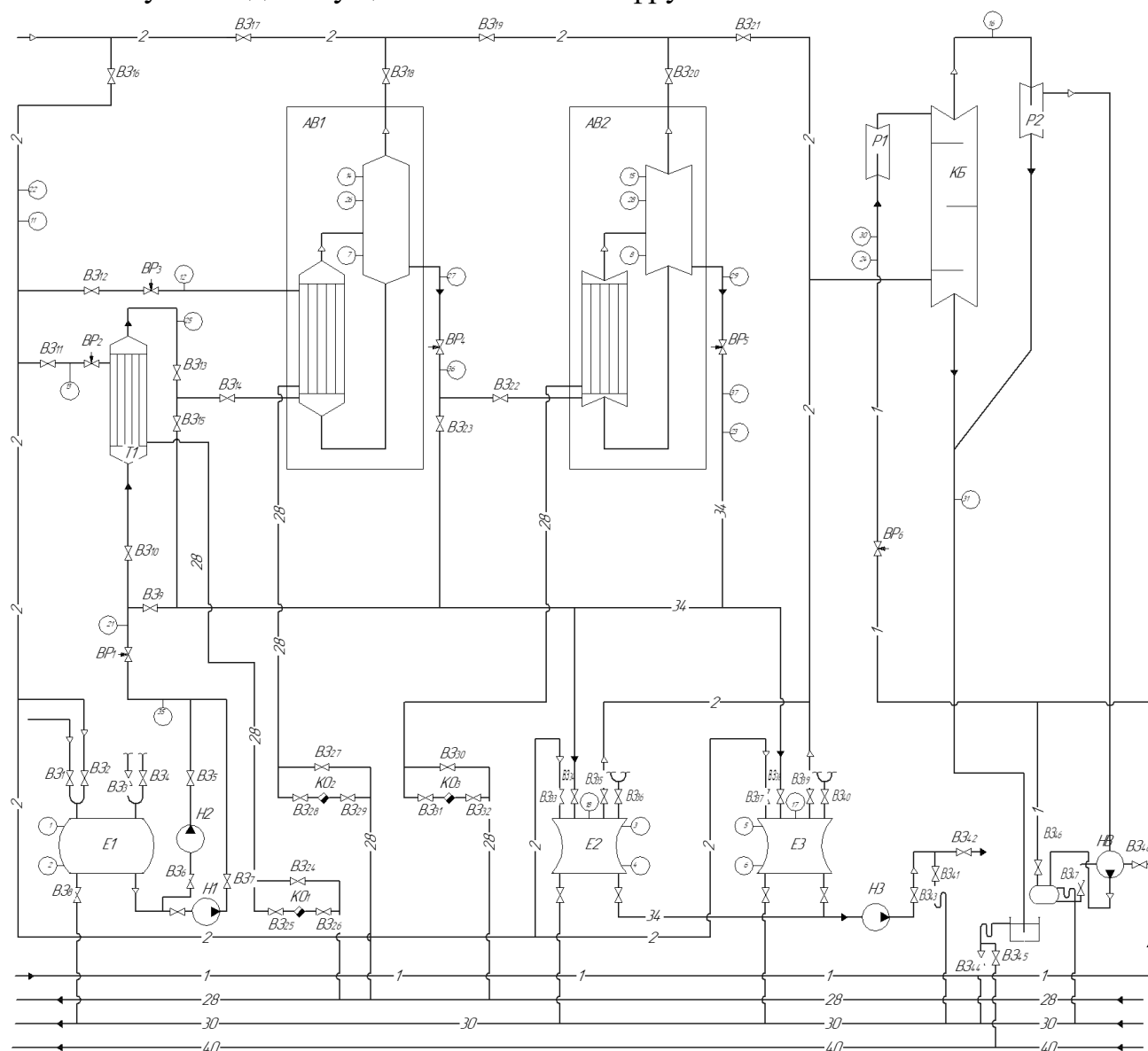


Рисунок 1.1 Технологічна схема виробництва сухого молока

За цією схемою молоко з охолоджувача (призначеного для зберігання продукту) надходить у буферну ємність Е1, з якої, у міру витрати, прямує теплообмінник Т1 для попереднього підігріву. З нього, з температурою 75-80°C, молоко надходить у гріючу камеру випарного апарату АВ1, де, нагріваючись, закипає, і породісткова суміш надходить у сепаратор випарного апарату АВ1. За допомогою трубопроводу, що з'єднує сепаратор з нижньою частиною гріючої камери, відбувається природна циркуляція молока завдяки різниці щільностей частково згущеного молока і парорідинної суміші в трубах гріючої камери. Частково згущене молоко із сепаратора випарного апарату АВ1 самопливом безперервно надходить у другий корпус установки. Вторинна пара з сепаратора першого корпусу прямує на обігрів гріючої камери другого корпусу. Тепло пари, отриманого при самовипаровуванні конденсату, що відходить з гріючої камери першого корпусу, використовується в гріючій камері другого корпусу.

Мимовільний перетік розчину і вторинної пари в наступний корпус можливий завдяки загальному перепаду тисків, що виникає в результаті створення вакууму конденсації вторинної пари останнього корпусу в барометричному конденсаторі змішування, (де заданий тиск підтримується подачею охолоджувальної води і відсмоктуванням неконденсованих газів суміш води, що охолоджує, і конденсату виводиться з конденсатора за допомогою барометричної труби КБ з гідрозатвором.

1.2 Теоретичні основи процесу

Тиск пари розчинника над розчином завжди нижчий, ніж тиск над чистим розчинником. Внаслідок цього температура кипіння розчину вище за температуру кипіння чистого розчинника при тому ж тиску. Наприклад, вода кипить під атмосферним тиском при 100°C, оскільки тиск її пари за цієї температури дорівнює 1 ат; для 30% розчину тиск водяної пари над розчином буде при 100 °С нижче 1 ат, і розчин закипить при вищій температурі (117°C), коли тиск пари над ним досягне 1 ат.

Різниця між температурами кипіння розчину (t) та чистого розчинника (t_r) називається температурною депресією

$$\Delta' = t - t_r. \quad (1.1)$$

Температурна депресія залежить від властивостей розчиненої речовини та розчинника; вона підвищується зі збільшенням концентрації розчину та

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

тиску. Визначається температурна депресія дослідним (більшість дослідних даних відноситься до температурної депресії при атмосферному тиску).

Якщо відома температурна депресія при атмосферному тиску $\Delta^{\text{атм}}$, можна знайти депресію і за інших тисків за наближеною формулою Тищенка

$$\Delta' = 16,2 \cdot \frac{T^2}{r} \cdot \Delta^{\text{атм}}, \quad (1.2)$$

де T і r – абсолютна температура кипіння (в $^{\circ}\text{K}$) та теплота випаровування (в Дж/кг) для води при цьому тиску.

Підвищення температури кипіння розчину визначається не тільки температурною депресією, але також гідростатичною та гідравлічною депресіями.

Гідростатична депресія Δ'' викликається тим, що нижні шари рідини в апараті закипають за більш високої температури, ніж верхні (внаслідок гідростатичного тиску верхніх шарів). Якщо, наприклад, нагрівати при атмосферному тиску воду до температури кипіння в трубі заввишки 10 м, верхній шар води закипить при температурі 100°C , а нижній шар, що перебуває під тиском 2 ат – при температурі $\sim 120^{\circ}\text{C}$. В даному випадку гідростатична депресія змінюється по висоті труби 0°C (зверху) до 20°C (знизу) і в середньому складає 10°C . Розрахунок гідростатичної депресії у випарних апаратах неможливий, так як рідина в них (в основному у вигляді парорідинної суміші) знаходиться в русі. Зі підвищенням рівня рідини в апараті гідростатична депресія зростає. У середньому вона становить $1-3^{\circ}\text{C}$.

Гідравлічна депресія Δ''' враховує підвищення тиску в апараті внаслідок гідравлічних втрат при проходженні вторинної пари через пастку та вихідний трубопровід. При розрахунках Δ''' приймають рівною 1°C .

При кипінні чистої води температурний напір дорівнює різниці температури пари, що гріє, і температури киплячої води, яка в цьому випадку дорівнює температурі насичення вторинної пари. При кипінні розчину температура насичення вторинної пари, що відповідає тиску в апараті, не змінюється, а температура кипіння розчину підвищується на величину депресії. Отже, ту саму величину депресії зменшується і температурний напір. Таким чином, депресія спричиняє втрату температурного напору, внаслідок чого її називають температурною втратою. Повна депресія Δ дорівнює сумі температурної, гідростатичної та гідравлічної депресій

$$\Delta = \Delta' + \Delta'' + \Delta''' . \quad (1.3)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

Температура кипіння розчину t визначається, залежно від температури насичення вторинної пари t_r , за формулою

$$t = t_r + \Delta. \quad (1.4)$$

1.3 Опис конструкції апарату та вибір матеріалу

Випарний апарат з природною циркуляцією складається з гріючої камери 1, сепаратора 2, які сполучаються за допомогою нагрівальної циркуляційної труби 3. У верхній частині апарату знаходиться краплевловлювач 4.

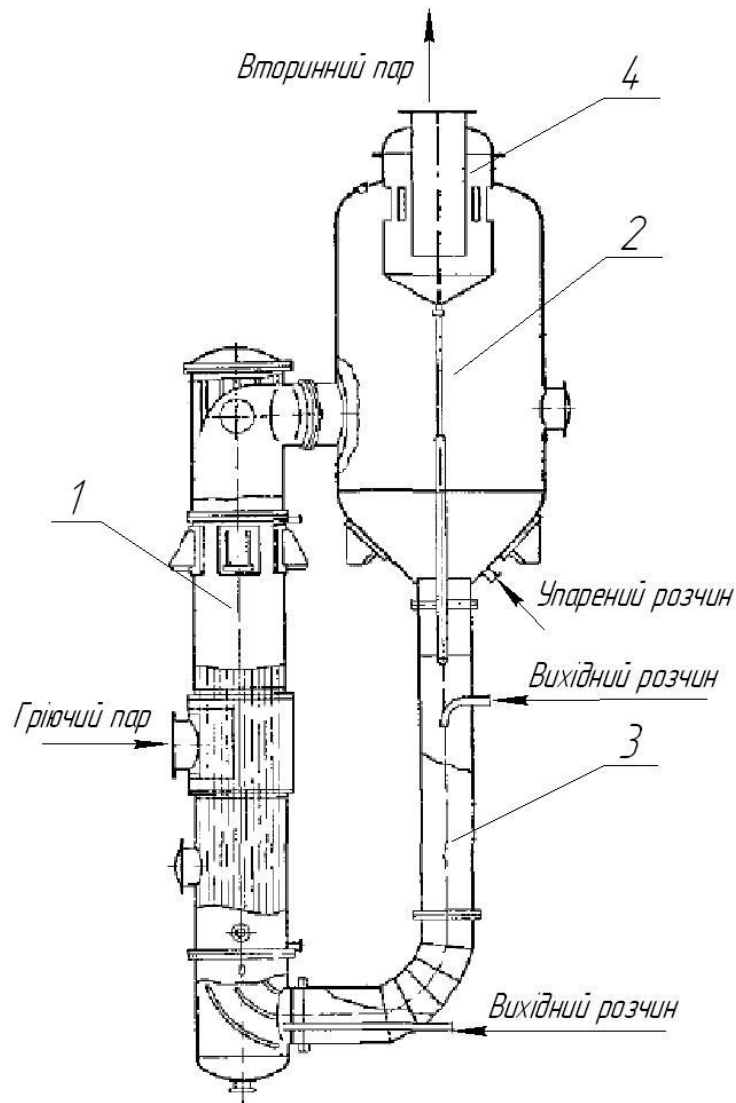


Рисунок 1.2 - Випарний апарат з виносною гріючою камерою:

1 – гріюча камера; 2 – сепаратор; 3 – нагрівальна циркуляційна труба;
4 – краплевловлювач.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

6.133.22.09.00.00.00 ПЗ

Арк.

9

Принцип дії

Апарат з виносною гріючою камерою має кип'ятильні труби, довжина яких часто досягає 7 м. Він працює при більш інтенсивній природній циркуляції, зумовленою тим, що циркуляцій труба не обігривається, а підйомна і опускна ділянки циркуляційного контуру має значну висоту. Виносна гріюча камера 1 легко відділяється від корпусу апарату, що полегшує її ремонт і чистку. Вхідний розчин подається під нижню трубу решітку гріючої камери і, піднімаючись по кип'ятильних трубах, випаровується. Іноді подачу вихідного розчину, проводять в циркуляційну трубу. Вторинна пара відділяється від рідини в сепараторі 2. Рідина опускається по необгриваючій циркуляційній трубі 3, змішується з вихідним розчином, і цикл циркуляції повторюється знову. Вторинна пара, пройшовши краплевловлювач 4, виділяється зверху сепаратора. Упарений розчин відбирається через боковий штуцер в кінці дніщі сепаратора.

Природна циркуляція розчину посилюється, якщо розчин на опускній ділянці циркуляційного контуру краще охолоджуватися. Цим збільшується швидкість природної циркуляції у випарних апаратах із виносними циркуляційними трубами. При розміщенні циркуляційних труб поза корпусом апарату діаметр нагрівальної камери може бути зменшений у порівнянні з камерою апарату.

Конструкції таких апаратів дещо складніші, але в них досягається інтенсивніша теплопередача і зменшується витрата металу на 1 м² поверхні нагрівання в порівнянні з апаратами з підвісною нагрівальною камерою або центральною циркуляційною трубою.

Вибір конструкційного матеріалу, що визначається умовою експлуатації проектованого елемента, вузла або апарату (температура, тиск, величина навантаження, характер агресивного впливу середовища, вимоги до якості продукту, що переробляється і т. д.), слід виконувати так, щоб при низькій вартості і не дефіцитності матеріалу забезпечувати ефективну технологію виготовлення продукту (вироби).

Так як в апараті здійснюється технологічний процес із застосуванням харчового продукту з підвищеною вимогою до його якості, то для забезпечення умов роботи апарату прийнято корозійностійку сталь аустенітного класу 12X18H10T ГОСТ 5632-80. Сталь характеризується гарною корозійною стійкістю в середовищі, рекомендується застосовувати у температурному інтервалі - 256°С до + 525 °С для корпусних елементів, до 600 °С - для внутрішніх пристроїв без обмеження тиску. Сталь технологічна, добре зварюється, добре деформується в холодному та гарячому стані, добре

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 10 |

обробляється усіма видами різання, характеризується задовільними лінійними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 12X18H10T

| C, % | Mn, % | Si, % | Cr, % | Ni, % | Cu, % | Ti, % | S, % | P, % | E·10 ⁵ МПа | σ МПа | σ МПа | δ % |
|---------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|---------|---------|--------------------------|----------|----------|--------|
| 0,12 | 2,0 | 0,8 | 17- 18 | 2-11 | 0,3 | 0,8 | 0,02 | 0,035 | 2,1 | 216 | 530 | 40 |

До недоліків цієї сталі слід віднести те, що через велику в'язкість вона гірше піддається механічній обробці. Однак, враховуючи, що механічна обробка конструктивних елементів апарату здійснюється тільки за місцем стику елементів конструкції, що зварюються, то цей фактор не має істотного впливу в цілому на вартість виготовлення апарату.

Матеріал зовнішньої оснастки, арматури, кріпильних елементів і т. д., що не мають контакту з середовищем, що переробляється, приймаємо конструкційну сталь 20 ГОСТ 380-71. Вибір на користь цієї сталі, заснований на її порівняно низькій вартості, хорошій оброблюваності та досить високими фізико-механічними властивостями. Хімічний склад та механічні властивості представлені в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 - Хімічний склад та механічні властивості сталі 20

| C, % | Mn, % | Si, % | Cr, % | Ni, % | Cu, % | As, % | S, % | P, % | E·10 ⁵ МПа | σ МПа | σ МПа | δ % |
|--------------|-------------|---------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|--------------------------|----------|----------|--------|
| 0,23- 0,3 | 0,5- 0,8 | 0,05- 0,19 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,08 | 0,05 | 0,04 | 2,0 | 280 | 400 | 23 |

2 Технологічні розрахунки процесу та апарату

2.1 Матеріальний і тепловий баланси

Для визначення теплових навантажень Q , коефіцієнтів тепловіддачі K та корисних різниць температур $\Delta t_{\text{пол}}$ необхідно знати розподіл води, що випаровується, концентрацій розчину та їх температур кипіння по корпусах установки. Ці величини знаходять методом послідовних наближень.

Розглянемо перше наближення.

Попередньо визначимо секундну продуктивність випарної установки

$$G_H = \frac{6000}{3600} = 1,7 \text{ кг/с}$$

Загальна кількість випареної води у випарній установці:

$$W = G_H \left(1 - \frac{x_H}{x_K} \right) \quad (2.1)$$

$$W = 1,7 \left(1 - \frac{8}{43} \right) = 1,42 \text{ кг/с.}$$

Попереднє розподілення випареної води по корпусах виконують на основі наступних рекомендацій:

$$W_1 : W_2 = 1,0 : 1,17.$$

Тоді кількість випареної води:
у першому корпусі:

$$W_1 = W \cdot \frac{1,0}{1,0 + 1,17} = 1,42 \cdot \frac{1,0}{1,0 + 1,17} = 0,65 \text{ кг/с,}$$

у другому корпусі:

$$W_2 = W \cdot \frac{1,17}{1,0 + 1,17} = 1,42 \cdot \frac{1,17}{1,0 + 1,17} = 0,77 \text{ кг/с,}$$

Концентрація розчинів по корпусах:
у першому корпусі:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 12 |

$$x_1 = \frac{G_H \cdot x_H}{G_H - W_1} \quad (2.2)$$

$$x_1 = \frac{1,7 \cdot 0,08}{1,7 - 0,65} = 0,15 = 15 \%;$$

у другому корпусі:

$$x_2 = \frac{G_H \cdot x_H}{G_H - W_1 - W_2} \quad (2.3)$$

$$x_2 = \frac{1,7 \cdot 0,08}{1,7 - 0,65 - 0,77} = 0,43 = 43 \%,$$

що відповідає завданню.

Прийmemo тиск гріючої пари $p_{\Pi} = 2,0$ ата, а тиск в останньому корпусі $p = 0,3$ ата.

Загальний перепад тиску в установці:

$$\Delta p = p_{\Pi} - p = 2,0 - 0,3 = 1,7 \text{ ата} \approx 0,17 \text{ МПа.}$$

Розподілимо загальний перепад тисків між корпусами порівну:

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \frac{\Delta p}{2} = \frac{0,17}{2} = 0,085 \text{ МПа.}$$

Абсолютні тиски по корпусах дорівнюватимуть:

$$\Delta p_1 = p_{\Pi} - \Delta p_1 = 0,2 - 0,085 = 0,115 \text{ МПа,}$$

$$\Delta p_2 = p_{\Pi} - \Delta p_2 = 0,115 - 0,085 = 0,03 \text{ МПа.}$$

По тиску пари знаходимо їх температури та ентальпії.

Таблиця 2.1

| Тиск, МПа | Температура, °С | Ентальпія, кДж/кг |
|------------------------|------------------|------------------------|
| $p_{r1} = 0,2$ | $t_{r1} = 119,6$ | $J_1 = 2710$ |
| $p_{r2} = 0,115$ | $t_{r2} = 99,8$ | $J_2 = 2682$ |
| $p_{\text{бк}} = 0,03$ | $t_{r3} = 68,7$ | $J_{\text{бк}} = 2620$ |

На підставі практичних рекомендацій приймаємо гідравлічну депресію для кожного корпусу $\Delta''' = 1$ град, тоді температура вторинної пари, тиску і теплоти пароутворення їх у корпусах будуть рівні.

Таблиця 2.2

| Температура, °С | Тиск, МПа | Теплота пароутворення, кДж/кг |
|-------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| $t_{ВП_1} = 99,8 + 1 = 100,8$ | $p_{ВП_1} = 0,117$ | $r_1 = 2258$ |
| $t_{ВП_2} = 68,7 + 1 = 69,7$ | $p_{ВП_2} = 0,033$ | $r_2 = 2333$ |

Сума гідравлічних депресій:

$$\Sigma\Delta''' = 1 + 1 = 2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для вибору висоти труби необхідно орієнтовно визначити площу поверхні теплопередачі випарного апарату F_{op} , вибрати параметри апарату за ГОСТ 11987 – 81

Площа поверхні теплопередачі орієнтовно визначається за формулою:

$$F = \frac{Q}{g} \quad (2.4)$$

Приймаємо для апаратів з природною циркуляцією $g = 15000 \text{ Вт/м}^2$ [4, с.88]

Тоді по корпусах (орієнтовно):

$$F_1 = \frac{W_1 \cdot r_1}{g} = \frac{0,65 \cdot 2258 \cdot 10^3}{15000} = 97,8 \text{ м}^2,$$

$$F_2 = \frac{W_2 \cdot r_2}{g} = \frac{0,77 \cdot 2333 \cdot 10^3}{15000} = 119,8 \text{ м}^2.$$

Приймаємо за ГОСТ 11987 – 81 випарний апарат із площею поверхнею теплопередачі $F = 100 \text{ м}^2$, довжиною труб 4 м, діаметром труб $38 \times 2 \text{ мм}$.

Таким чином, тиск у середньому шарі кип'ятільних труб корпусів дорівнює:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |

$$p_{\text{icp}} = p_{\text{ВПі}} + \frac{\rho_i \cdot g \cdot H}{2} (1 - \varepsilon), \quad (2.5)$$

де $\varepsilon = 0,4 - 0,6$ – паронаповнення при міхуровому режимі кипіння [4],
 ρ_i – щільність водних розчинів при відповідних температурах та концентраціях [7];

$$p_{1\text{cp}} = 0,117 \cdot 10^6 + \frac{1015 \cdot 9,81 \cdot 4}{2} \cdot (1 - 0,5) = 0,127 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

$$p_{2\text{cp}} = 0,033 \cdot 10^6 + \frac{1033 \cdot 9,81 \cdot 4}{2} \cdot (1 - 0,5) = 0,043 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Отриманим тиском відповідають наступні температури кипіння:

Таблиця 2.3

| Тиск, МПа | Температура кипіння, °С | Теплота пароутворення, кДж/кг |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| $p_{1\text{cp}} = 0,127$ | $t_{1\text{cp}} = 105,8$ | $r_{\text{ВП}_1} = 2246$ |
| $p_{2\text{cp}} = 0,043$ | $t_{2\text{cp}} = 77,1$ | $r_{\text{ВП}_2} = 2316$ |

Визначаємо гідростатичну депресію по корпусах:

$$\Delta_1'' = t_{1\text{cp}} - t_{\text{ВП}_1} = 105,8 - 100,8 = 5,0 \text{ °С},$$

$$\Delta_2'' = t_{2\text{cp}} - t_{\text{ВП}_2} = 77,1 - 69,7 = 7,4 \text{ °С}.$$

Сума гідростатичних депресій:

$$\Sigma \Delta'' = 5,0 + 7,4 = 12,4 \text{ °С}.$$

Температурна депресія Δ' визначається за рівнянням [4, додаток V.4]:

$$\Delta' = 1,62 \cdot 10^{-2} \left(\frac{T^2}{r_{\text{ВП}}} \right) \cdot \Delta'_{\text{атм}} \quad (2.6)$$

де T – температурна депресія в середньому шарі окропу;

$\Delta'_{\text{атм}}$ – температурна депресія при атмосферному тиску [4, додаток V.4].

Знаходимо значення Δ' по корпусах:

$$\Delta'_1 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(105,8 + 273)^2}{2246} \cdot 1,6 = 1,7 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\Delta'_2 = 1,62 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{(77,1 + 273)^2}{2316} \cdot 4,7 = 4,0 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Сума температурних депресій:

$$\Sigma \Delta' = \Delta'_1 + \Delta'_2 = 1,7 + 4,0 = 5,7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Температура кипіння розчинів по корпусах:

$$t_{K_1} = t_{r_2} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 99,8 + 1,7 + 5,0 + 1,0 = 107,5 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$t_{K_2} = t_{r_3} + \Delta' + \Delta'' + \Delta''' = 68,7 + 4,0 + 7,4 + 1,0 = 81,1 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Корисна різниця температур по корпусах:

$$\Delta t_{\Pi_1} = t_{r_1} - t_{K_1} = 119,6 - 107,5 = 12,1 \text{ }^\circ\text{C},$$

$$\Delta t_{\Pi_2} = t_{r_2} - t_{K_2} = 99,8 - 81,1 = 18,7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Загальна корисна різниця температур:

$$\Sigma \Delta t_{\Pi} = 12,1 + 18,7 = 30,8 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Витрата пари, що гріє, в перший корпус, продуктивність кожного корпусу по випареній воді і теплові навантаження визначимо шляхом спільного вирішення рівнянь теплових балансів по корпусах і рівняння балансу по воді для всієї установки:

$$Q_1 = D \cdot (j_{r_1} - i_1) = 1,03 \cdot [G_H \cdot C_H \cdot (t_{K_1} - t_H) + W_1 \cdot (j_{\text{ВП}_1} - C_B \cdot t_{K_1}) + Q_{1\text{конц}}],$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 16 |

$$Q_2 = W_1 \cdot (J_{r_2} - i_2) = 1,03 \cdot [(G_H - W_1) \cdot C_1 \cdot (t_{K_2} - t_{K_1}) + W_2 \cdot (J_{ВП_2} - C_B \cdot t_{K_2}) + Q_{2\text{конц}}]$$

$$W = W_1 + W_2 \quad (2.7)$$

де 1,03- коефіцієнт, що враховує 3% втрат тепла у навколишнє середовище.

При розв'язанні рівнянь можна прийняти:

$$J_{ВП_1} \approx J_{r_2}; \quad J_{ВП_2} \approx J_{Б.К.};$$

C_H, C_1 – теплоємності розчинів відповідно вихідного, у першому корпусі, кДж/кг;

$Q_{1\text{конц}}; Q_{2\text{конц}}$ – теплота концентрування по корпусах, кВт;

t_H – температура кипіння вихідного розчину, °С.

$$t_H = t_{ВП_1} + \Delta'_H = 100,8 + 1,6 = 102,4 \text{ °С.}$$

де Δ'_H – температурна депресія для початкового розчину.

Оскільки $Q_{\text{конц}}$ зазвичай становить менше 3% від Q корпуси в рівняннях теплових балансів, то завбільшки $Q_{\text{конц}}$ можна знехтувати.

Тоді отримаємо:

$$Q_1 = D(2710 - 502) = 1,03 \cdot [1,7 \cdot 3,39 \cdot (107,5 - 102,4) + W_1 \cdot (2710 - 4,19 \cdot 107,5)],$$

$$Q_2 = W_1(2682 - 431) = 1,03 \cdot [(1,7 - W_1) \cdot 3,19 \cdot (81,1 - 107,5) + W_2 \cdot (2682 - 4,19 \cdot 81,1)],$$

$$1,42 = W_1 + W_2.$$

Вирішення системи рівнянь дає наступні результати:

$$W_1 = 0,66 \text{ кг/с}; \quad W_2 = 0,76 \text{ кг/с}; \quad D = 0,71 \text{ кг/с}; \quad Q_1 = 1567 \text{ кВт}; \quad Q_2 = 1486 \text{ кВт}.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 17 |

Таблиця 2.4 Параметри розчинів та пари по корпусах

| Параметр | Корпус | |
|---|--------|-------|
| | 1 | 2 |
| Продуктивність по воді, що випаровується W, кг/с | 0,66 | 0,76 |
| Концентрація молока x, % | 13 | 43 |
| Тиск гріючих пар р _г , МПа | 0,2 | 0,115 |
| Температура гріючих пар t _г , °С | 119,6 | 99,8 |
| Температурні втрати ΣΔ, град | 7,7 | 12,4 |
| Температура кипіння t _к , °С | 107,5 | 81,1 |
| Корисна різниця температур Δt _п , град | 12,1 | 18,7 |

2.2 Технологічні розрахунки

Коефіцієнт теплопередачі для першого корпусу K1 визначимо за рівнянням адитивності термічних опорів

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.8)$$

Прийmemo, що сумарний термічний опір дорівнює термічного опору стінки $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$ та накипу $\frac{\delta_{н}}{\lambda_{н}}$. Термічний опір з боку пари не враховуємо.

Отримаємо

$$\sum \frac{\delta}{\lambda} = \frac{0,002}{25,1} + \frac{0,0005}{2,42} = 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Коефіцієнт теплопередачі від пари, що конденсується, до стінки α_1 дорівнює

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{r_1 \cdot \rho_{ж}^2 \cdot \lambda_{ж}^3}{\mu_{ж} \cdot H \cdot \Delta t_1}}, \quad (2.9)$$

де r_1 – теплота конденсації гріючої пари, Дж/кг; $\rho_{ж}$, $\lambda_{ж}$, $\mu_{ж}$ – відповідно щільність (кг/м³), теплопровідність (Вт/м·К) і вязкість (Па·с) конденсату при середній температурі плівки

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 18 |

$$t_{пл} = t_{2_1} - \frac{\Delta t_1}{2}, \quad (2.10)$$

де Δt_1 – різницю температур конденсації пари та стінки, град.

Розрахунок α_1 ведуть шляхом послідовних наближень. У першому наближенні прийmemo $\Delta t_1 = 2,0$ град.

Тоді

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot 4 \sqrt{\frac{2258 \cdot 10^3 \cdot 958^2 \cdot 0,681^3}{0,284 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 2,0}} = 8404 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

Для процесу передачі тепла, що встановився, справедливе рівняння

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = \frac{1}{\sum \frac{\delta}{\lambda}} \cdot \Delta t_{ст} = \alpha_2 \cdot \Delta t_2, \quad (2.11)$$

де q – питоме теплове навантаження, Вт/м²; $\Delta t_{ст}$ – перепад температур на стінці, град; Δt_2 – різниця між температурою стінки з боку розчину та температурою кипіння розчину, град.

З розподілу температур у процесі теплопередачі від пари через стінку до киплячого розчину

$$\Delta t_{ст} = \Delta \alpha_1 \cdot \Delta t_1 \cdot \sum \frac{\delta}{\lambda} = 8404 \cdot 2,0 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 4,8 \text{ град},$$

тоді

$$\Delta t_2 = \Delta t_{п_1} - \Delta t_{ст} - \Delta t_1 = 12,1 - 4,8 - 2,0 = 5,3 \text{ град}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до киплячого розчину для бульбашкового кипіння у вертикальних кип'ятільних трубках

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{\lambda^{1,3} \cdot \rho^{0,5} \cdot \rho_{п}^{0,06}}{\sigma^{0,5} \cdot r^{0,6} \cdot \rho_0^{0,66} \cdot c^{0,3} \cdot \mu^{0,3}} \quad (2.12)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 19 |

Тут фізичні властивості молока за умов кипіння наведено у таблиці 5.

Таблиця 2.5 Фізичні властивості киплячого молока та пари.

| Параметр | | Корпус | |
|-----------------------|------------------------------|----------------------|----------------------|
| | | 1 | 2 |
| Теплопровідність | λ , Вт/м·К | 0,644 | 0,661 |
| Щільність | ρ , кг/м ³ | 1015 | 1033 |
| Теплоємність | c , кДж/кг·К | 3,39 | 3,19 |
| В'язкість | μ , Па·с | $0,32 \cdot 10^{-3}$ | $0,37 \cdot 10^{-3}$ |
| Поверхневий натяг | σ , Н/м | 0,0696 | 0,0619 |
| Теплота пароутворення | r , кДж/кг | 2258 | 2333 |
| Щільність пари | ρ_p , кг/м ³ | 1,03 | 0,48 |

Тоді

$$\alpha_2 = 780 \cdot q^{0,6} \cdot \frac{0,644^{1,3} \cdot 1015^{0,5} \cdot 1,03^{0,06}}{0,0696^{0,5} \cdot (2258 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3390^{0,3} \cdot (0,32 \cdot 10^{-3})^{0,3}} = 11,69 \cdot q^{0,6}$$

$$\alpha_2 = 11,69 \cdot q^{0,6} = 11,69 \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta t_1)^{0,6} = 11,69 \cdot (8404 \cdot 2,0)^{0,6} = 4010 \text{ Вт/м}^2.$$

Перевіримо правильність першого наближення щодо рівності питомих теплових навантажень

$$q' = \alpha_1 \cdot \Delta t_1 = 8404 \cdot 2 = 16808 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = \alpha_2 \cdot \Delta t_2 = 4010 \cdot 5,3 = 21253 \text{ Вт/м}^2.$$

Очевидно,

$$q' \neq q''.$$

Для другого наближення прийmemo $\Delta t_1 = 3,0$ град. Нехтуючи зміною фізичних властивостей конденсату при зміні температури на 1,0 градус розраховуємо α_1 за співвідношенням [4, с.90]

$$\alpha_1 = 8404 \cdot 4 \sqrt[3]{\frac{2}{3}} = 7594 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

Тоді отримаємо:

$$\Delta t_{ст} = 7594 \cdot 3 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 6,5 \text{ град}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 20 |

$$\Delta t_2 = 12,1 - 6,5 - 3,0 = 3,6 \text{ град}$$

$$\alpha_2 = 11,69(7594 \cdot 3)^{0,6} = 4812 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

$$q' = 7594 \cdot 3 = 12782 \text{ Вт/м}^2$$

$$q'' = 4812 \cdot 3,6 = 17323 \text{ Вт/м}^2.$$

Очевидно, що

$$q' \neq q''$$

Для розрахунку у третьому наближенні будуюмо графічну залежність питомого теплового навантаження q від різниці температур між парою та стінкою в першому корпусі та визначаємо 2,4 град.

Звідси отримаємо

$$\alpha_1 = 8404 \cdot \sqrt[4]{\frac{2}{2,4}} = 8030 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 8030 \cdot 2,4 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 5,5 \text{ град}$$

$$\Delta t_2 = 12,1 - 5,5 - 2,4 = 4,2 \text{ град}$$

$$\alpha_2 = 11,69(8030 \cdot 2,4)^{0,6} = 4353 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

$$q' = 8030 \cdot 2,4 = 19272 \text{ Вт/м}^2$$

$$q'' = 4353 \cdot 4,2 = 18283 \text{ Вт/м}^2.$$

Як бачимо

$$q' \approx q''$$

Знаходимо K_1

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{8030} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{4353}} = 1558 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 21 |

Далі розраховуємо коефіцієнт теплопередачі K_2 для другого корпусу при $\Delta t_1 = 5,0$ град

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot \sqrt[4]{\frac{2333 \cdot 10^3 \cdot 972^2 \cdot 0,48^3}{0,357 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 5,0}} = 4931 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 4931 \cdot 5,0 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 7,1 \text{ град};$$

$$\Delta t_2 = 18,7 - 5,0 - 7,1 = 6,6 \text{ град};$$

$$\alpha_2 = 780 \cdot (4931 \cdot 5)^{0,6} \cdot \frac{0,661^{1,3} \cdot 1033^{0,5} \cdot 0,48^{0,06}}{0,0619^{0,5} \cdot (2333 \cdot 10^3)^{0,6} \cdot 0,579^{0,66} \cdot 3190^{0,3} \cdot (0,37 \cdot 10^{-3})^{0,3}} =$$

$$= 11,62(4931 \cdot 5)^{0,6} = 5016 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К};$$

$$q' = 4931 \cdot 5 = 24655 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q'' = 5016 \cdot 6,6 = 33106 \text{ Вт/м}^2.$$

Маємо $q' \neq q''$.

Для другого наближення прийmemo $\Delta t_1 = 7,0$ град.

Тоді

$$\alpha_1 = 4931 \cdot \sqrt[4]{\frac{5}{7}} = 4533 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 4533 \cdot 7 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 9,1 \text{ град}$$

$$\Delta t_2 = 18,7 - 7 - 9,1 = 2,6 \text{ град}$$

$$\alpha_2 = 11,62(4533 \cdot 7)^{0,6} = 5836 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

$$q' = 4533 \cdot 7 = 31731 \text{ Вт/м}^2$$

$$q'' = 5836 \cdot 2,6 = 10174 \text{ Вт/м}^2.$$

Очевидно, що

$$q' \neq q''$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |

Для розрахунку у третьому наближенні будемо графічну залежність $q = f(\Delta t)$ і визначаємо $\Delta t_1 = 5,7$ град.

Звідси отримаємо

$$\alpha_1 = 4931 \cdot \sqrt[4]{\frac{5}{5,7}} = 4772 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\Delta t_{\text{ст}} = 4772 \cdot 5,7 \cdot 2,87 \cdot 10^{-4} = 7,8 \text{ град}$$

$$\Delta t_2 = 18,7 - 5,7 - 7,8 = 5,2 \text{ град}$$

$$\alpha_2 = 11,62(4772 \cdot 5,7)^{0,6} = 5320 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

$$q' = 4772 \cdot 5,7 = 27200 \text{ Вт/м}^2$$

$$q'' = 5320 \cdot 5,2 = 27664 \text{ Вт/м}^2.$$

Як бачимо

$$q' \approx q''$$

Знайдемо K_2 .

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{4772} + 2,87 \cdot 10^{-4} + \frac{1}{5320}} = 1460 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К.}$$

2.3 Конструктивні розрахунки апарата

Корисні різниці температур у корпусах установки знаходимо з умови рівності їх поверхонь теплопередачі

$$\Delta t_{\text{п}_i} = \sum \Delta t_{\text{п}} \cdot \frac{\frac{Q_i}{K_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{Q}{K}}, \quad (2.13)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 23 |

де Δt_{π_i} , Q_i , K_i – відповідно корисна різниця температур, теплове навантаження, коефіцієнт теплопередачі для i -го корпусу.

$$\Delta t_{\pi_1} = 30,8 \cdot \frac{\frac{1567}{1558}}{\frac{1567}{1558} + \frac{1486}{1460}} = 30,8 \cdot \frac{1,006}{1,006 + 1,018} = 15,3 \text{ град};$$

$$\Delta t_{\pi_2} = 30,8 \cdot \frac{1,018}{2,024} = 15,5 \text{ град};$$

Перевіримо загальну корисну різницю температур установки

$$\sum \Delta t_{\pi} = 15,3 + 15,5 = 30,8 \text{ град.}$$

Тепер розрахуємо поверхню теплопередачі випарних апаратів

$$F_1 = \frac{1567 \cdot 10^3}{1558 \cdot 15,3} = 65,7 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \frac{1486 \cdot 10^3}{1460 \cdot 15,5} = 65,7 \text{ м}^2.$$

Знайдені значення відповідають раніше визначеній поверхні F_{op} , отже, немає потреби виконувати корекцію розрахункових даних по корпусах.

Остаточню вибираємо за ГОСТ 11987-81 випарний апарат з природною циркуляцією і винесеною гріючою камерою (тип 1, виконання 1), що складається з окропу довжиною 4 м, діаметра $d_k = 38$ мм та товщиною стінки $\delta_{ст} = 2$ мм та площею теплообміну $F = 100 \text{ м}^2$.

Внутрішній діаметр гріючої камери при розміщенні труб по вершинах рівносторонніх трикутників [4]

$$D_k = \sqrt{\frac{1,27 \cdot \sin \alpha \cdot t^2 \cdot n}{\varphi}}, \quad (2.14)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 24 |

де t – крок між трубами, м; n – число труб гріючої камери; φ – коефіцієнт використання трубної решітки ($\varphi = 0,7 \div 0,9$).

Стандартний крок розбивки труб на решітці [4]: $t = 48$ мм.

Число труб гріючої камери

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot L} = \frac{100}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 4} = 209,$$

приймаємо $n = 209$.

Тоді

$$D_k = \sqrt{\frac{1,27 \cdot \sin 60^\circ \cdot 0,048^2 \cdot 209}{0,7}} = 0,87 \text{ м},$$

приймаємо стандартне значення діаметра гріючої камери $D_k = 1000$ мм.

Діаметр циркуляційної труби [4]

$$D_{ц} = \sqrt{(0,9 \div 1,5) \cdot d_{вн}^2 \cdot n} = \sqrt{1,5 \cdot 0,034^2 \cdot 209} = 0,602 \text{ м},$$

приймаємо стандартне значення діаметра циркуляційної труби $D_{ц} = 600$ мм.

2.4 Гідравлічний опір апарата

Об'ємна витрата розчину

$$V = \frac{G_n}{\rho}, \quad (2.15)$$

де ρ – щільність розчину, кг/м^3 .

$$V = \frac{1,74}{1015} = 1,71 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Рекомендована швидкість рідини [9]

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 25 |

$$\omega = 0,35 \dots 0,6 \text{ м/с,}$$

приймаємо $\omega = 0,5 \text{ м/с.}$

Величина критерію Re

$$\text{Re} = \frac{\omega \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad (2.16)$$

$$\text{Re} = \frac{0,5 \cdot 0,034 \cdot 1015}{0,32 \cdot 10^{-3}} = 53921,$$

отже, режим руху – турбулентний.

Для турбулентного руху в круглих трубах коефіцієнт тертя

$$\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}} \quad (2.17)$$

$$\lambda = \frac{0,316}{53921^{0,25}} = 0,0204 .$$

Втрата тиску на тертя у прямих трубах

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{H}{D} \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.18)$$

$$\Delta p_{\text{тр}} = 0,0204 \cdot \frac{4}{0,034} \cdot \frac{0,5^2 \cdot 1015}{2} = 318 \text{ Па.}$$

Коефіцієнти місцевих опорів:

- вхід та вихід з труби, $\xi_1 = 1,0$,

- поворот на 90° , $\xi_2 = 1,0$.

Втрати тиску на місцевих опорах

$$\Delta p_{\text{м}} = \sum \xi \cdot \frac{\omega^2 \cdot \rho}{2} \quad (2.19)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 26 |

$$\Delta p_M = (2 \cdot 1,0 + 1,0) \cdot \frac{0,5^2 \cdot 1015}{2} = 404 \text{ Па.}$$

Загальна втрата тиску у трубному просторі

$$\Delta p = \Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_M = 318 + 404 = 722 \text{ Па.}$$

2.5 Вибір допоміжного обладнання

Для створення вакууму у випарних установках зазвичай застосовують конденсатори змішування з барометричною трубою. Як охолодний агент використовують воду.

Витрата охолодної води визначаємо з теплового балансу конденсатора

$$G_B = \frac{W_2 \cdot (i_{\text{бк}} - c_B \cdot t_K)}{c_B \cdot (t_K - t_H)}, \quad (2.20)$$

де $i_{\text{бк}}$ - ентальпія пари в барометричному конденсаторі, кДж/кг; $c_B = 4190$ кДж/кг·К – теплоємність води; $t_H = 10 \dots 20$ °С – початкова температура води, що охолоджує; t_K – кінцева температура суміші води та конденсату, °С.

Різниця температур між парою та рідиною на виході з конденсатора становить 3..5 град, тому кінцеву температуру води t_K приймають на 3...5 град. нижче температури конденсації пари

$$t_K = t_{\text{бк}} - 3,7 = 68,7 - 3,9 = 65^\circ\text{С.}$$

Тоді

$$G_B = \frac{0,77 \cdot (2638 - 4,19 \cdot 65)}{4,19 \cdot (65 - 15)} = 8,69 \text{ кг/с.}$$

Діаметр барометричного конденсатора визначаємо з рівняння витрати

$$d_{\text{бк}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W_2}{\rho_{\text{п}} \cdot \pi \cdot w_{\text{п}}}}, \quad (2.21)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 27 |

де $\rho_{п}$ – щільність пари в конденсаторі, кг/м³; $w_{п}$ – швидкість пари, що приймається в межах 15÷25 м/с.

$$d_{бк} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,77}{0,48 \cdot 3,14 \cdot 15}} = 0,37 \text{ м.}$$

По ОСТ 26716-73 вибираємо конденсатор діаметром $d_{бк} = 500$ мм та діаметром барометричної труби $d_{бт} = 125$ мм.

Швидкість води у барометричній трубі

$$\omega = \frac{4 \cdot (G_{в} + W_2)}{\rho_{в} \cdot \pi \cdot d_{бт}^2}, \quad (2.22)$$

де $\rho_{в} = 1000$ кг/м³ – щільність води.

$$\omega = \frac{4 \cdot (8,69 + 0,77)}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,125^2} = 0,77 \text{ м/с.}$$

Висота барометричної труби

$$H_{бт} = \frac{В}{\rho_{в} \cdot g} + \left(1 + \sum \zeta + \lambda \cdot \frac{H_{бт}}{d_{бт}}\right) \cdot \frac{w_{бт}^2}{2 \cdot g} + 0,5, \quad (2.23)$$

де $В$ – вакуум у барометричному конденсаторі, Па; $\sum \zeta$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів; λ – Коефіцієнт тертя в барометричній трубі; $H_{бт}$, $d_{бт}$ – висота та діаметр барометричної труби, м; 0,5 – запас висоти на можливі зміни барометричного тиску, м.

$$В = P_{атм} - P_{бк} = (1 - 0,4) \cdot 9,81 \cdot 10^4 = 5,9 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

$$\sum \zeta = \zeta_{вх} + \zeta_{вих} = 0,5 + 1,0 = 1,5,$$

де $\zeta_{вх}$, $\zeta_{вих}$ – коефіцієнти місцевих опорів на вході в трубу та на виході з неї [2].

Величина критерію Re

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 28 |

$$Re = \frac{\omega \cdot d_{\text{бт}} \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}}, \quad (2.24)$$

де $\mu_{\text{в}}$ – в'язкість води, що визначається за середньою температурою, Па·с.

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{н}} + t_{\text{к}}}{2} = \frac{65 + 16}{2} = 41^{\circ}\text{C}.$$

$$Re = \frac{0,77 \cdot 0,125 \cdot 1000}{0,632 \cdot 10^{-3}} = 104826.$$

Для гладких труб при $Re = 104826$ [2, рисунок 1.5]

$$\lambda = 0,0175.$$

$$H_{\text{бт}} = \frac{5,9 \cdot 10^4}{9,8 \cdot 1000} + \left(1 + 1,5 + 0,0175 \cdot \frac{H_{\text{бт}}}{0,125} \right) \cdot \frac{0,53^2}{2 \cdot 9,8} + 0,5,$$

звідки

$$H_{\text{бт}} = 6,7 \text{ м.}$$

Далі визначаємо продуктивність вакуум насоса, яка визначається кількістю повітря, віддаленого з барометричного конденсатора

$$G_{\text{к}} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (W_2 + G_{\text{в}}) + 0,01 \cdot W_2, \quad (2.25)$$

де $2,5 \cdot 10^{-5}$ – кількість газу, що виділяється з 1 кг води; 0,01 – кількість газу, що підсмоктується в конденсатор через нещільність на 1 кг парів [9]

$$G_{\text{к}} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (0,77 + 8,69) + 0,01 \cdot 0,6 = 6,24 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с.}$$

Об'ємна продуктивність насоса

$$V_{\text{возд}} = \frac{R \cdot (273 + t_{\text{возд}}) \cdot G_{\text{к}}}{M_{\text{возд}} \cdot P_{\text{возд}}}, \quad (2.26)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 29 |

де R - універсальна газова постійна, Дж/(кмоль·К); $M_{\text{возд}}$ – молекулярна маса повітря, кг/кмоль; $t_{\text{возд}}$ – температура повітря, °С; $P_{\text{возд}}$ – парціальний тиск сухого повітря у барометричному конденсаторі, Па.

Температура повітря [7]

$$t_{\text{возд}} = t_{\text{н}} + 4 + 0,1 \cdot (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) = 16 + 4 + 0,1 \cdot (65 - 16) = 25,6^{\circ}\text{С}.$$

Тиск повітря

$$P_{\text{возд}} = P_{\text{бк}} - P_{\text{п}}, \quad (2.27)$$

де $P_{\text{п}}$ – тиск сухої насиченої пари при $t_{\text{возд}} = 25,6^{\circ}\text{С}$, $P_{\text{п}} = 0,034 \cdot 9,8 \cdot 10^4$ Па.

$$P_{\text{возд}} = (0,4 - 0,034) \cdot 9,8 \cdot 10^4 = 35868 \text{ Па}.$$

$$V_{\text{возд}} = \frac{8310 \cdot (273 + 25,6) \cdot 6,24 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 35868} = 0,016 \text{ м}^3/\text{с} = 0,88 \text{ м}^3/\text{мин}$$

Знаючи об'ємну продуктивність повітря $V_{\text{возд}}$ і залишковий тиск у конденсаторі $P_{\text{бк}}$, по ГОСТ 1867-57 підбираємо вакуум насос типу ВВН-1,5 потужністю на валу $N_{\text{н}} = 2,1$ кВт.

Питома витрата енергії на тонну води, що упарюється

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{н}} \cdot 1000}{W} \quad (2.28)$$

$$N_{\text{уд}} = \frac{2,1 \cdot 1000}{1,12 \cdot 3600} = 0,52 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{т}.$$

Далі здійснимо вибір підігрівача за основним рівнянням теплопередачі

$$F_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}}}{K_{\text{п}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}}; \quad (2.29)$$

$$Q_{\text{п}} = G_{\text{н}} \cdot c_{\text{н}} \cdot (t_{2\text{к}} - t_{2\text{н}}), \quad (2.30)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 30 |

де $Q_{\text{п}}$ – теплове навантаження підігрівача, Вт; $K_{\text{п}}$ – коефіцієнт теплопередачі, $K = 120 \dots 340 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; Δt_{cp} – середня різниця температур між парою та розчином, K ; $G_{\text{н}}$, $c_{\text{н}}$ – кількість початкового розчину, $\text{кг}/\text{с}$, та його теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; $t_{2\text{н}}$, $t_{2\text{к}}$ – початкова та кінцева температура розчину, $^{\circ}\text{C}$.

$$Q_{\text{п}} = 1,74 \cdot 3,39 \cdot (119,6 - 25) = 558 \text{ кВт};$$

$$t_{1\text{н}} = 135,6 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow t_{1\text{к}} = 135,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{2\text{н}} = 119,6 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow t_{2\text{к}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{м}} = 16,0 \qquad \Delta t_{\text{г}} = 110,6$$

Середня різниця температур

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{г}}}{\Delta t_{\text{м}}}} \quad (2.31)$$

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{110,6 - 16,0}{\ln \frac{110,6}{16,0}} = 49,1 \text{ К.}$$

Тоді поверхня теплообміну

$$F_{\text{п}} = \frac{558 \cdot 10^3}{300 \cdot 49,1} = 37,9 \text{ м}^2.$$

Площа поверхні теплопередачі теплообмінника приймається на 10÷20% більше за розрахункову величину, отже

$$F = (1,1 \div 1,2) \cdot F_{\text{п}} = 1,1 \cdot 37,9 = 41,7 \text{ м}^2. \quad (2.32)$$

На підставі знайденої поверхні за ГОСТ 15122-79 вибираємо кожухотрубчастий одноходовий теплообмінник з такими параметрами: площа поверхні теплопередачі $F = 42,0 \text{ м}^2$; число труб $n = 166$; довжина труб $L = 4,0 \text{ м}$; діаметр труб $d = 20 \times 2 \text{ мм}$; діаметр кожуха $D = 400 \text{ мм}$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 31 |

3 Розрахунок апарата на міцність та герметичність

3.1 Розрахунок товщини стінки кришки апарата

Прийmemo коефіцієнт міцності зварних швів $\varphi = 0,9$ (ручне дугове електрозварювання), напруга для сталі 12Х18Н10Т при $t = 119,6^\circ\text{C}$ [6]

$$\sigma = 134 \text{ МПа.}$$

Для листового матеріалу допустима напруга

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma \quad (3.1)$$

$$[\sigma] = 1 \cdot 134 = 134 \text{ МПа.}$$

Розрахункова товщина стінки кожуха

$$s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] - p} \quad (3.2)$$

де p – тиск пари в міжтрубному просторі, $p = 0,2$ МПа.

$$s_p = \frac{0,2 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 134 - 0,2} = 0,8 \text{ мм.}$$

Пробний тиск при гідравлічних випробуваннях при допустимій напрузі

$$p_n = 1,25 \cdot p \cdot \frac{[\sigma]_n}{[\sigma]}, \quad (3.3)$$

де $[\sigma]_n$ – пробна допустима напруга

$$[\sigma]_n = \frac{\sigma_T}{1,1} = \frac{210}{1,1} = 191 \text{ МПа,}$$

Тоді

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 32 |

$$p_{\text{п}} = 1,25 \cdot 0,2 \cdot \frac{191}{134} = 0,36 \text{ МПа.}$$

З урахуванням гідростатичного тиску

$$p_{\text{г}} = H \cdot \rho \cdot g, \quad (3.4)$$

де H - Висота кип'ятільних труб, м;

$$p_{\text{г}} = 4 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 392400 \text{ Па} = 0,04 \text{ МПа.}$$

$$p = p_{\text{п}} + p_{\text{г}} = 0,36 + 0,04 = 0,4 \text{ МПа.}$$

У цьому випадку розрахункова товщина стінки кожуха

$$s_{\text{п}} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{\text{п}} - p} \quad (3.5)$$

$$s_{\text{п}} = \frac{0,4 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 191 - 0,4} = 1,2 \text{ мм.}$$

Приймемо збільшення до розрахункової товщини за весь термін служби апарату (10 років)

$$c = 10 \cdot 0,1 = 1,0 \text{ мм.}$$

Тоді виконавча товщина стінки кожуха

$$s = s_{\text{п}} + c = 1,2 + 1,0 = 2,2 \text{ мм.}$$

За ГОСТ 15121-79 мінімальна товщина обічайки для апаратів з $D = 1000$ мм становить $s = 4,0$ мм, приймаємо стандартне значення товщини стінки кожуха $s = 4,0$ мм.

Тиск під кришкою

$$p_{\text{п}} = 0,115 \text{ МПа.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 33 |

Розрахункова товщина стінки кришки під час проведення гідравлічних випробувань

$$s_p = \frac{p_{\Pi} \cdot D}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma]_{\Pi} - 0,5 \cdot p_{\Pi}} \quad (3.6)$$

$$s_p = \frac{0,4 \cdot 1000}{2 \cdot 0,9 \cdot 191 - 0,5 \cdot 0,4} = 1,2 \text{ мм.}$$

Виконавча товщина кришки

$$s_{кр} = s_p + c = 1,2 + 1,0 = 2,2 \text{ мм.}$$

З метою уніфікації сортаменту металу приймаємо $s_{кр} = 4,0$ мм.

3.2 Розрахунок фланцевого з'єднання

Фланцеве з'єднання кришки та корпусу апарату при $D_{вн} = 1000$ мм и $p = 0,2$ МПа вибирається за ОСТ 26-426-79 з плоскими приварними фланцями та поверхнею ущільнювача типу «шип-паз».

Товщина втулки фланця [6]

$$s_0 \leq 1,35 \cdot s,$$

де $s = 4$ мм – товщина обічайки апарату.

$$s_0 = 1,35 \cdot 4 = 5,4 \text{ мм,}$$

приймаємо $s_0 = 6$ мм.

Перевіряємо виконання умови

$$s_0 - s \leq 5$$

$6 - 4 = 2 \leq 5$ – умова виконується.

Визначимо діаметр болтового кола. Из [8] с.263

$$D_6 = D_{вн} + 2 \cdot (2 \cdot s_0 + d_6 + u), \quad (3.7)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 34 |

де $d_6 = 20$ мм – діаметр болтів при $D_{вн} = 1000$ мм і $p = 0,2$ МПа (табл. 1.40 [6]); $u = 6$ мм – нормативний зазор між гайкою та втулкою ($u = 4 \div 6$, табл.9 [8]).

$$D_6 = 1,0 + 2 \cdot (2 \cdot 0,008 + 0,020 + 0,006) = 1,084 \text{ м,}$$

приймаємо $D_6 = 1,09$ м. (см. с.234 [8]).

Зовнішній діаметр фланця [8, с.234]

$$D_\phi \geq D_6 + a,$$

де $a = 40$ мм (табл.13.27 [8])

$$D_\phi = 1,09 + 0,04 = 1,13 \text{ м,}$$

приймаємо $D_\phi = 1,13$ м [8,с.234].

Зовнішній діаметр прокладки визначається за формулою [8]

$$D_\pi \geq D_6 - e,$$

де $e = 30$ мм (табл.13.27 [8]);

$$D_\pi = 1,09 - 0,03 = 1,06 \text{ м.}$$

Середній діаметр прокладки [8]

$$D_{ср.\pi} \geq D_\pi - b_\pi,$$

де $b_\pi = 20$ мм – ширина прокладки (табл.1.42 [6]);

$$D_{ср.\pi} = 1,06 - 0,02 = 1,04 \text{ м.}$$

Еквівалентна ширина прокладки

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{b_\pi} \quad (\text{при } b_\pi > 15 \text{ мм});$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 35 |

$$b_e = 0,6 \cdot \sqrt{20} = 2,68 \text{ мм.}$$

Застосовуємо матеріал прокладки – Пароніт за ГОСТ 481-80 завтовшки 2 мм.

Кількість болтів, необхідне забезпечення герметичності з'єднання, визначається за формулою [8]

$$Z_b = \frac{\pi \cdot D_b}{t_b}, \quad (3.8)$$

де t_b – крок болтів, $t_b = (4,2 \div 5) \cdot d_b = 5,0 \cdot 20 = 100 \text{ мм}$ (табл.13.20 [8])

$$Z_b = \frac{3,14 \cdot 1,09}{0,09} = 34.$$

Приймаємо найближче більше кратне чотири значення $Z_b = 36$.

Висота фланця визначається за формулою

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D_{вп} \cdot s_e}, \quad (3.9)$$

де $\lambda = 0,38$ – коефіцієнт (рис.13.14 [8]); s_e – еквівалентна товщина втулки фланця

$$s_e = \alpha \cdot s_0,$$

де $\alpha = 1,0$ – для плоского приварного фланця

$$s_e = 1,0 \cdot 6 = 6 \text{ мм;}$$

$$h = 0,38 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 0,006} = 0,029 \text{ м,}$$

приймаємо $h = 30 \text{ мм}$.

Розрахункова довжина болта між опорними поверхнями головки болта та гайки

$$l_b = l_{бo} + 0,28 \cdot d_b;$$

$$l_{бo} = 2 \cdot (h_{cp} + s_{п});$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 36 |

$$l_{\sigma_0} = 2 \cdot (30 + 2) = 64 \text{ мм};$$

$$l_{\sigma} = 64 + 0,28 \cdot 20 = 69,6 \text{ мм};$$

з урахуванням товщини трубної решітки приймаємо $l_{\sigma} = 80$ мм.
Навантаження, що діє на фланцеве з'єднання

$$Q_d = \frac{p_R \cdot \pi \cdot D_{\text{ср.п}}^2}{4}, \quad (3.10)$$

де $p_R = 0,2$ МПа – внутрішній тиск в апараті; $D_{\text{ср.п}} = 1,04$ м – середній діаметр прокладки

$$Q_d = \frac{0,2 \cdot 3,14 \cdot 1,04^2}{4} = 0,13 \text{ МН}.$$

Реакція прокладання за робочих умов [8]

$$R_{\text{п}} = \pi \cdot D_{\text{ср}} \cdot b_e \cdot m \cdot p_R, \quad (3.11)$$

де $m = 2,5$ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу прокладки (табл.13.28 [8]);

$$R_{\text{п}} = 3,14 \cdot 1,04 \cdot 0,00268 \cdot 2,5 \cdot 0,2 = 0,004 \text{ МН}.$$

Зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = \gamma \cdot Z_{\sigma} \cdot f_{\sigma} \cdot E_{\sigma} \cdot (\alpha_{\text{ср}} \cdot t_{\text{ср}} - \alpha_{\sigma} \cdot t_{\sigma}), \quad (3.12)$$

де $\alpha_{\text{ср}} = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$ – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу фланця; $\alpha_{\sigma} = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$ – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу болтів; $t_{\sigma} = 0,96 \cdot t_p = 0,96 \cdot 119,6 = 115^{\circ}\text{C}$ – розрахункова температура неізолюваних болтів; γ – безрозмірний коефіцієнт; Z_{σ} – кількість болтів; $f_{\sigma} = 2,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – розрахункова площа поперечного перерізу болта за зовнішнім діаметром; $E_{\sigma} = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль поздовжньої пружності сталі 20 к при $t_{\sigma} = 119,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\gamma = A \cdot Y_{\sigma}, \quad (3.13)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 37 |

де Y_6 – лінійна податливість болта.

$$Y_6 = \frac{l_6}{E_6 \cdot f_6 \cdot Z_6} \quad (3.14)$$

$$Y_6 = \frac{0,08}{1,91 \cdot 10^5 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 36} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ м/МН};$$

$$A = [Y_{\text{п}} + Y_6 + 0,25 \cdot (Y_{\text{ф1}} + Y_{\text{ф2}}) \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}})]^{-1}, \quad (3.15)$$

де $Y_{\text{п}}$ - Лінійна податливість прокладки; $Y_{\text{ср}} = Y_{\text{ф1}} = Y_{\text{ф2}}$ – кутова податливість фланця;

$$Y_{\text{п}} = \frac{s_{\text{п}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b_{\text{п}} \cdot E_{\text{п}}} \quad (3.16)$$

$$Y_{\text{п}} = \frac{0,002}{3,14 \cdot 1,04 \cdot 0,02 \cdot 2000} = 14,9 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН};$$

$$Y_{\text{ср}} = \frac{[1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E}, \quad (3.17)$$

де ω – безрозмірний параметр; ψ_2 – коефіцієнт, що визначається за рис.13.17 [8].

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1}, \quad (3.18)$$

де ψ_1, j – коефіцієнти

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg K;$$

$$K = \frac{D_{\text{ср}}}{D_{\text{вп}}} \text{ – для плоских фланців;}$$

$$K = \frac{1,04}{1,0} = 1,04;$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 38 |

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,04 = 6,4 \cdot 10^{-2},$$

$$\psi_2 = \frac{k+1}{k-1} = \frac{1,04+1}{1,04-1} = 29,6;$$

$$j = \frac{h}{s_e} = \frac{0,03}{0,006} = 5. \quad (\text{с.226 [8]})$$

Тоді

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot 0,38 \cdot (1 + 6,4 \cdot 10^{-2} \cdot 5^2)]^{-1} = 0,53;$$

$$Y_\phi = \frac{[1 - 0,53 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)] \cdot 29,6}{0,03^3 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 0,7 \cdot 10^{-5} \text{ МН/МН};$$

$$A = [17,9 \cdot 10^{-6} + 4,5 \cdot 10^{-5} + 0,25 \cdot 0,7 \cdot 10^{-5} \cdot (1,12 - 1,07)^2]^{-1} = 1669 \text{ МН/м};$$

отже

$$\gamma = 1669 \cdot 4,5 \cdot 10^{-5} = 0,075 ;$$

зусилля, що виникає від температурних деформацій

$$Q_t = 0,075 \cdot 36 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4} \cdot 1,91 \cdot 10^5 \cdot (12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 115 - 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 114) = 0,0073 \text{ МН.}$$

Визначимо коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання

$$k_{\text{ж}} = \frac{Y_\phi + 0,5Y_{\text{ср}}(D_\phi - D - s_o) \cdot (D_\phi - D_{\text{ср.п}})}{Y_{\text{п}} + Y_\phi + Y_\phi(D_\phi - D_{\text{ср.п}})^2} \quad (3.19)$$

$$k_{\text{ж}} = \frac{4,5 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,7 \cdot 10^{-5} \cdot (1,09 - 1,0 - 0,006) \cdot (1,9 - 1,04)}{14,9 \cdot 10^{-6} + 4,5 \cdot 10^{-5} + 0,7 \cdot 10^{-5} \cdot (1,09 - 1,04)^2} = 0,63 .$$

Визначимо болтове навантаження. Умови монтажу [2]

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 39 |

$$p_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_{ж} \cdot Q_{д} + R_{п} \\ 0,5 \cdot \pi \cdot D_{ср.п} \cdot b_{п} \cdot p_{пр} \end{array} \right\}, \quad (3.20)$$

де $p_{пр}$ – пробний тиск стиснення прокладки для пароніту по табл.4 [8]
 $p_{пр} = 20$ МПа.

$$p_{61} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,63 \cdot 0,13 + 0,004 \\ 0,5 \cdot 3,14 \cdot 1,04 \cdot 0,02 \cdot 20 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,092 \\ 0,67 \end{array} \right\} = 0,67 \text{ МН.}$$

За робочих умов [8]

$$p_{62} = p_{61} + (1 - k_{ж}) \cdot Q_{д} + Q_{т} \quad (3.21)$$

$$p_{62} = 0,67 + (1 - 0,63) \cdot 0,13 + 0,0073 = 0,72 \text{ МН.}$$

Перевірка міцності та герметичності з'єднання
 умова міцності болтів [2]

$$\frac{p_{61}}{Z_{\sigma} \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma_{\sigma}]^{20}, \quad (3.22)$$

$$\frac{p_{62}}{Z_{\sigma} \cdot f_{\sigma}} \leq [\sigma_{\sigma}]^t, \quad (3.23)$$

де $[\sigma_{\sigma}]^{20} = 200$ МПа – для матеріалу болтів при температурі 20°C; $[\sigma_{\sigma}] = 148$ МПа – для матеріалу болтів за температури 115°C.

$$\frac{0,67}{36 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 200 = 79 \leq 200 \text{ – умова виконується;}$$

$$\frac{0,72}{36 \cdot 2,35 \cdot 10^{-4}} \leq 148 = 85 \leq 148 \text{ – умова виконується.}$$

Визначимо наведений згинальний момент за формулою 1.145 [6]

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 40 |

$$M_0 = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}}) \cdot p_{61} \\ 0,5 \cdot (D_6 - D_{\text{ср.п}}) \cdot p_{62} \end{array} \right\} \quad (3.24)$$

$$M_0 = \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot (1,09 - 1,04) \cdot 0,67 \\ 0,5 \cdot (1,09 - 1,04) \cdot 0,72 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,017 \\ 0,018 \end{array} \right\} = 0,018 \text{ МПа}\cdot\text{м.}$$

За формулою 1.141 [6] для прокладки з пароніту

$$\frac{p_{6\text{max}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} \leq p_{\text{п.р}} \quad (3.25)$$

де $p_{\text{п.р}}$ – допустимий тиск на прокладку за табл.1.44 [6] $p_{\text{п.р}} = 130$ МПа;

$$p_{6\text{max}} = \max \{p_{61}; p_{62}\} \quad (3.26)$$

$$p_{6\text{max}} = \max \{0,67; 0,72\} = 0,72 \text{ МН.}$$

$$\frac{p_{6\text{max}}}{\pi \cdot D_{\text{ср.п}} \cdot b} = \frac{0,72}{3,14 \cdot 1,04 \cdot 0,02} = 11 \text{ МПа} \leq 130 \text{ МПа,}$$

умова міцності виконується.

Для перерізу, обмеженого розміром s_0 перевіряємо умову за формулою 1.147 [6]:

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \varphi \cdot [\sigma_0], \quad (3.27)$$

де σ_0 – максимальна напруга в перерізі, обмеженому розміром s_0 , визначається за формулою 1.148 [6]; $\varphi = 0,95$ – коефіцієнт міцності зварних швів; $[\sigma_0]$ – допустима напруга для фланця в перерізі s при кількості навантажень з'єднання (складання-розбирання) не більше $2 \cdot 10^3$; σ_t – тангенціальна напруга у втулці від внутрішнього тиску; σ_m – меридіальна напруга у втулці від внутрішнього тиску;

за формулою 1.149 [6]

$$\sigma_m = \frac{p_p \cdot D_{\text{вп}}}{4(s_0 - c)} \quad (3.28)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

$$\sigma_m = \frac{0,2 \cdot 1,0}{4 \cdot (0,004 - 0,001)} = 17 \text{ МПа};$$

за формулами 1.149 [6]

$$\sigma_t = \frac{p_p \cdot D_{\text{вп}}}{2 \cdot (s_0 - c)} \quad (3.29)$$

$$\sigma_t = \frac{0,2 \cdot 1,0}{2 \cdot (0,004 - 0,001)} = 34 \text{ МПа};$$

за формулами 1.143 и 1.148 [6]

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \frac{T_{\text{ср}} \cdot M_0 \cdot v}{D^* \cdot (s_0 - c)^2}, \quad (3.30)$$

де $\psi_3 = 1$ – для плоских приварних фланців; $T_{\text{ср}}$ – безрозмірний коефіцієнт;

за формулою 1.144 [6]

$$T_{\text{ср}} = \frac{D_n^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{D_n}{D_{\text{вп}}}\right) - D_{\text{вп}}^2}{(1,05 \cdot D_{\text{вп}}^2 + 1,945 \cdot D_n^2) \cdot \left(\frac{D_n}{D_{\text{вп}}} - 1\right)} \quad (3.31)$$

де $D_n = 1,06$ м – зовнішній діаметр прокладки;

$$T_{\text{ср}} = \frac{1,06^2 \cdot \left(1 + 8,55 \cdot \lg \frac{1,06}{1,0}\right) - 1,0^2}{(1,05 \cdot 1,0^2 + 1,945 \cdot 1,06^2) \cdot \left(\frac{1,06}{1,0} - 1\right)} = 1,89,$$

$$\sigma_0 = \frac{1 \cdot 1,89 \cdot 0,018 \cdot 0,049}{1,0 \cdot (0,006 - 0,003)^2} = 185 \text{ МПа};$$

$$[\sigma]_0 = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 1,9 \cdot 10^5 = 570 \text{ МПа}.$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 42 |

Умова міцності

$$\sqrt{(185+17)^2 + 34^2} - (185+17) \cdot 34 \leq 0,95 \cdot 570$$

201 < 542 – умова міцності виконана.

Окружний тиск у кільці фланця

$$\sigma_k = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda_{cp})] \cdot \psi_2}{(D_{вн} \cdot h_{\psi}^2)} \quad (3.32)$$

$$\sigma_k = \frac{0,018 \cdot 29,6 \cdot [1 - 0,53 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,38)]}{1,0 \cdot 0,03^2} = 96 \text{ МПа.}$$

Визначаємо кут повороту фланця за формулою 1.150 [6]

$$\Theta = \frac{\sigma_k \cdot D_{вн}}{E \cdot h_{cp}} \leq [\Theta], \quad (3.33)$$

де $[\Theta] = 0,009$ рад – можливий кут повороту фланця

$$\Theta = \frac{96 \cdot 1,0}{1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,03} = 0,0013 < 0,009 \text{ рад,}$$

тобто умова герметичності з'єднання виконується.

3.3 Розрахунок і вибір опори

Маса обичайки сепаратора та труби визначається за формулою

$$m = \pi \cdot D \cdot s \cdot H \cdot \rho \quad (3.34)$$

$$m_c = 3,14 \cdot 1,8 \cdot 0,006 \cdot 6,5 \cdot 7850 = 1730 \text{ кг;}$$

$$m_r = 3,14 \cdot 0,6 \cdot 0,004 \cdot 6,3 \cdot 7850 = 373 \text{ кг.}$$

Маса кришки сепаратора

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 43 |

$$m_{кр} = 1,24 \cdot D_c^2 \cdot s_{кр} \cdot \rho \quad (3.35)$$

$$m_{кр} = 1,24 \cdot 1,8^2 \cdot 0,006 \cdot 7850 = 189 \text{ кг.}$$

Маса штуцерів та оснащення у розмірі 10% від маси корпусу

$$m_{шт} = 0,1 \cdot m_k = 0,1 \cdot 1730 = 173 \text{ кг.}$$

Маса розчину в апараті

$$m_{сус} = V \cdot \rho_c = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot H_0 \cdot \rho_c \quad (3.36)$$

$$m_p = \frac{3,14 \cdot 1,8^2}{4} \cdot 1,4 \cdot 1077 = 3835 \text{ кг.}$$

Масса загруженого апарата

$$m = 1730 + 373 + 189 + 173 + 3835 = 6300 \text{ кг.}$$

Вага апарату

$$G = m \cdot g = 6300 \cdot 9,81 = 61,8 \cdot 10^3 \text{ Н} = 61,8 \text{ кН.}$$

Приймаємо кількість опор $n = 3$ шт.

Навантаження на одну опору

$$Q = \frac{G}{n} = \frac{61,8}{3} = 20,6 \text{ кН.}$$

Приймаємо опору-лапу типу 2 з навантаженням, що допускається $Q = 25$ кН. Позначення опори: Опора 2-2500 ОСТ 26-665-79.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 44 |

4 Монтаж і ремонт апарата

4.1 Монтаж апарата [10]

Випарні апарати зазвичай монтують групами. Особливістю приймання підстав для монтажу групи апаратів є перевірка їх осьових та висотних позначок, відхилення яких від проектних не повинні виходити за межі допусків, наведених у СНиП. Такі вимоги диктуються тим, що група апаратів, що монтується, послідовно пов'язана між собою короткими трубопроводами або патрубками, які повинні збігатися без зміщення і перекосу.

Висотні позначки опорних основ кожного апарату рекомендується перевіряти гідростатичним рівнем чи нівеліром. Висотні позначки на підставах з металоконструкцій вирівнюють шляхом укладання тонких металевих підкладок, які після встановлення та вивіряння апарату прихоплюють до основи електрозварюванням.

На підставах із збірного залізобетону до встановлення апарату бажано вивести опорну поверхню на проектну позначку шляхом додавання бетонної суміші з подальшим вирівнюванням та залізненням. Якщо в процесі вивіряння апаратів потрібно їх вирівнювання, це виконують укладанням металевих підкладок під опорні лапи апарату. Остаточне регулювання апаратів при їх вивірянні здійснюється за допомогою регулювальних гвинтів в опорних лапах.

Усі випарні апарати перед їх установкою надходять на складальний майданчик для укрупнювального складання, гідравлічного випробування та нанесення ізоляції.

На підготовчому майданчику випарний апарат випробовують на міцність і густину при тиску, вказаному в робочому кресленні.

Випарні апарати з природною циркуляцією та сосною гріючої камерою надходять на місце установки в повністю зібраному вигляді з сепаратором та нижньою камерою, а з'єднувальні труби з колінами поставляються окремо.

Гідравлічні випробування апарату проводять перед встановленням на фундамент. При виявленні будь-яких дефектів здійснюються заходи щодо їх усунення.

На гріючих камерах і сепараторах випарних апаратів заводом-виробником повинні бути передбачені спеціальні захватні пристрої для встановлення їх у проектне положення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 45 |

Залежно від місця встановлення апаратів їх габаритних розмірів та вазі підйом здійснюють із застосуванням вантажопідйомних механізмів та пристроїв, передбачених проектом виконання робіт.

При вивірці установки випарних апаратів на фундаменти відхилення від проектних осей та позначок, а також горизонтальності та вертикальності не повинні перевищувати

- головних осей апарату щодо: ± 20 мм;
- фактичної висотної позначки встановленого апарату: ± 10 мм;
- вертикальній осі апарату від вертикальності: 3 мм на 1 м, але не більше 35 мм.

Вивірка правильності установки апаратів у проектне положення на фундаменті має проводитись

- вертикальних апаратів за допомогою тахометричного теодоліту по двох утворюючих, зрушених у плані відносно один одного на 90° ;
- осей опорних стійок каркасів - схилом;
- площин кронштейнів опорних стійок (несуть труби або секції) від розташування в одній горизонтальній площині – по натягнутій струні.

При вивірці установки каркаса (опорної металоконструкції) апарата на фундаменті або інших підставах відхилення від проектних розмірів, а також горизонтальності та вертикальності не повинні перевищувати осей опорних стійок між собою: ± 3 мм, осі опорної стійки від вертикальності 1 мм на 1 м, але не більше 3 мм, площин кронштейнів опорних стійок, що несуть труби або секції, від розташування в одній горизонтальній площині не більше 2 мм.

4.2 Ремонт апарата [10]

У процесі тривалої роботи теплообмінні апарати піддаються забруднення та зносу. Поверхня їх покривається накипом, відкладеннями солей, олією тощо. Зі збільшенням відкладень збільшується термічний опір стінки та погіршується теплообмін.

Знос теплообмінного апарату виявляється у наступному:

- зменшення товщини стінки корпусу, трубних ґрат, кришок;
- випучини та вм'ятини на корпусі та кришках;
- нориці, тріщини на корпусі, трубах та фланцях;
- збільшення діаметра отворів для труб у трубній решітці;
- прогин трубних решіток та деформація трубок;
- Порушення гідро-і термоізоляції.

Підготовка до ремонту включає наступні заходи:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

- знижується надлишковий тиск в апараті до атмосферного та апарат звільняється від продукту;
- відключається арматура, ставляться заглушки на всіх трубопроводах, що підводять і відводять;
- проводиться продування азотом або водяною парою з подальшим промиванням водою і продуванням повітрям;
- Складається план і виходить дозвіл на вогневі роботи, якщо вони необхідні в процесі ремонту;
- Складається акт здачі в ремонт.

Далі виконуються такі роботи:

- зняття кришок апарату, люків, демонтаж обв'язки та арматури;
- виявлення дефектів вальцювання та зварювання, а також цілісності трубок гідравлічним та пневматичним випробуваннями на робочий тиск;
- часткова зміна або відключення дефектних трубок, кріплення труб вальцюванням або зварюванням;
- ремонт футерування та антикорозійних покриттів деталей з частковою заміною;
- ремонт або заміна зносу арматури, трубопроводів, регулювання запобіжних клапанів;
- зміна ущільнень розбірних з'єднань;
- чищення внутрішньої поверхні корпусу апарату та теплообмінних трубок, зачистка отворів у трубних решітках, зачистка кінців трубок;
- заміна частини корпусу, кришок та зношених деталей;
- монтаж трубного пучка та вальцювання труб у решітці;
- монтаж різьбових з'єднань;
- гідравлічне випробування міжтрубної та трубної частин апарату пробним тиском;
- пневматичне випробування апарату.

Найбільш трудомісткими операціями під час ремонту теплообмінної апаратури є: демонтаж різьбових з'єднань; очищення теплообмінної апаратури; ремонт трубних пучків та їх встановлення; випробування теплообмінників.

Очищення трубок від відкладень включає обробку як внутрішніх, і внутрішніх поверхонь. Використовуються такі методи очищення: хімічні, абразивні (для нерозчинних відкладень), спеціальні.

Хімічна очистка виконується без розкриття та розбирання теплообмінника. Для очищення від накипу застосовують 5-15% розчин соляної кислоти із добавками інгібіторів. Для очищення органічних

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

відкладень використовуються вуглеводневі розчинники. Очищення від твердих відкладень виявляється ефективним при заповненні теплообмінника на добу 5% розчином соляної кислоти з добавкою рідкого скла. Твердий осад розпушується у цьому розчині та потім легко змивається водою.

Абразивні методи очищення – механічні, гідропневматичні, гідромеханічні (струменем води високого тиску) та піскоструминний.

Механічна чистка здійснюється за допомогою шомполів, свердлів, щіток, шарошок, різців, бурів з подачею води чи повітря видалення продуктів очищення. Найпростішим пристосуванням є сталевий пруток з йоржом із сталевого дроту, привареним до прутка. Гідромеханічне очищення полягає в наступному. Насосом високого тиску по напірних шлангах вода подається в порожню штангу, на кінці якої встановлено сопло з кількома отворами. Струмінь води виходить із сопла під великим тиском, ріже і відриває відкладення від стінок поверхонь, що очищаються. Достоїнство такого методу – можливість очищення внутрішньої та зовнішньої поверхонь трубок, а також корпусу безпосередньо на місці встановлення апарату. При цьому досягається ступінь очищення значно вище, ніж за інших методів. Час очищення однієї труби становить 10-15 с. Установки виготовляються зазвичай пересувними. Широкий діапазон зміни тиску (від 15-70 МПа) дозволяє видаляти відкладення практично будь-якої складності.

Піскоструминне очищення дозволяє досягти найповнішого очищення труб, у результаті коефіцієнт теплопередачі відновлюється до значень, відповідних відсутності термічних опорів обумовлених забрудненнями. Сутність піскоструминного очищення полягає в обробці поверхні, що очищається суспензією піску в повітрі або воді, що подається з великою швидкістю. Засмоктування піску здійснюється ежекційними установками.

До спеціальних методів відноситься ультразвукове очищення. Ультразвукові перетворювачі через посередництво головок з вібраторами, що встановлюються в рідині (воді) всередині очищуваного об'єму, дозволяє повністю видалити тверді відкладення, що руйнуються під дією ультразвукових коливань і вимиваються звукопередавальним середовищем.

При ремонті трубного пучка допускається встановлення пробок на 15% трубок у кожному потоці пучка. При виході з ладу понад 15% трубок вони замінюються повністю. Вибір матеріалу трубок здійснюється з урахуванням характеристики середовища, його параметрів та відповідно до чинних норм.

Корпус апарату, що має різні випучини та вм'ятини, виправляється ударами кувалди по мідній підкладці. Усунення невеликих вм'ятин при товщині стінки корпусу або кришки, виконаних із вуглецевої сталі, не більше

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 48 |

3-4 мм здійснюється нагріванням. Якщо неможливо усунути зазначені вище дефекти ударами та нагріванням, то пошкоджені частини або видаляються, або ставляться накладки.

Дефектні штуцери та трубні решітки при досягненні максимальних величин зношування та прогину підлягають заміні.

Свищі та тріщини усуваються шляхом заварювання або постановкою накладок із попереднім видаленням дефектної ділянки.

За допомогою кольорової дефектоскопії визначають довжину та положення кінців тріщин, виявлених у корпусі. Ці кінці до заварки засвердлюються свердлями діаметром 3-4 мм. Нескрізні тріщини глибиною трохи більше 0,4 товщини стіни обробляється під заварку односторонньої вирубкою на максимальну глибину тріщини зі зняттям кромки під кутом 50-60 °. При тріщині понад 100 мм зварювання ведуть зворотноступінчастим методом. Наскрізні та ненаскрізні тріщини глибиною понад 0,4 товщини стінки обробляють на всю товщину вирубкою зубилом або газорізкою. З появою гніздоподібної тріщини пошкоджені місця вирізуються і закриваються латками, які повинні мати гострих кутів. Латки вварюються урівень з основним металом. Площа латки має перевищувати одну третю площі аркуша апарата. При частковій заміні корпусу апарата необхідно виконувати такі вимоги:

- матеріал для виготовлення нових частин корпусу повинен бути за механічними та хімічними властивостями однаковий з матеріалом ремонтного корпусу;

- товщиною листа заміної частини повинна бути не меншою за проектну;

- електроди повинні відповідати матеріалу, що зварюється;

- замикаючі обичайки повинні бути шириною не менше 400 мм;

- поздовжні шви в горизонтальних апаратах не повинні бути в нижній частині апарату;

- кромки поверхні обичайки та основного металу на ширині 10 мм мають бути зачищені перед зварюванням до чистого металу;

- поздовжні шви в окремих обичайках циліндричної частини апарату, а також меридіональні або хордові шви днищ, що примикають до обичайок, повинні бути зміщені відносно один одного не менше ніж на 100 мм;

- відстань між поздовжніми швами в окремих обичайках має бути не менше 200 мм;

- при зварюванні стиків необхідно передбачити плавний перехід від одного елемента до іншого.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 49 |

5 Охорона праці

5.1 Загальні вимоги на виробництві [12]

Правила встановлюють основні державні нормативні вимоги у галузі охорони праці, спрямовані на попередження виробничого травматизму, професійних та виробничо-обумовлених захворювань працівників молочної промисловості.

Вимоги охорони праці, що містяться в цих Правилах, поширюються на організації, що займаються переробкою молока, незалежно від їх організаційно-правових форм та форм власності та обов'язкові для виконання під час здійснення будь-яких видів діяльності у молочній промисловості.

Умови праці на робочих місцях мають відповідати вимогам чинних нормативних актів, затверджених у встановленому порядку.

Роботодавець зобов'язаний виконувати державні нормативні вимоги щодо охорони праці.

При здійсненні технологічних процесів та експлуатації машин та обладнання повинні бути передбачені заходи, що виключають вплив на працівників наступних небезпечних та шкідливих виробничих факторів:

- а) машин та механізмів, що перебувають у русі;
- б) не огорожених рухомих елементів виробничого устаткування;
- г) підвищеної запиленості та загазованості повітря робочої зони;
- д) підвищеної чи зниженої температури, вологості, швидкості руху повітря робочої зони;
- е) підвищеної температури молока, пари та води;
- ж) підвищеного рівня шуму;
- з) підвищеного рівня вібрації;
- і) недостатнього природного та штучного освітлення робочих місць та робочих зон;
- к) підвищеного значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може статися через тіло людини;
- л) підвищеного рівня статичної електрики;
- о) розташування робочого місця на значній висоті щодо поверхні землі (підлоги).

При техніко-економічному обґрунтуванні проекту, проектуванні, розміщенні, будівництві, реконструкції, введенні в експлуатацію молокопереробних підприємств, діяльність яких може надавати прямий чи опосередкований вплив на стан навколишнього середовища, повинні виконуватись вимоги екологічної безпеки та охорони здоров'я населення.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 50 |

Організації з переробки молока повинні мати необхідні санітарно-захисні зони та очисні споруди, що виключають забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод, поверхні водозборів водойм та атмосферного повітря.

Усі працівники, зайняті під час виробництва молочної продукції, включаючи керівників та фахівців виробництв, зобов'язані проходити навчання, інструктажі, перевірку знань з охорони праці відповідно.

5.2 Вимоги безпечної організації робіт до виробничих (технологічних) процесів [12]

Виробничі процеси з переробки молока повинні відповідати затвердженим проектам, технологічній документації та іншим актам, що мають право розповсюдження на молочну промисловість, а також вимогам цих Правил.

Вимоги безпеки до технологічних процесів мають бути викладені у технологічних документах, затверджених у встановленому порядку. Технологічна документація повинна містити вимоги безпеки не лише основних процесів, а й процесів прибирання технологічних відходів з робочих місць та виробничих приміщень, їх зберігання, переробки та відправки на утилізацію.

Процеси переробки молока не повинні супроводжуватися забрудненням навколишнього середовища (повітря, ґрунту, водойм) шкідливими речовинами в концентраціях, що перевищують гранично допустимі рівні, встановлені нормативними документами.

Технологічні процеси, машини, механізми, виробниче обладнання повинні відповідати вимогам нормативних правових актів щодо пожежної безпеки, затверджених у встановленому порядку.

Заходи захисту від вибуху повинні викладатися у технологічній документації у вигляді вказівок, приписів на безпечне виконання роботи, а також застосування засобів захисту працівників.

Взаємопов'язані операції переробки молока, що виконуються в різних приміщеннях двома та більше працівниками, повинні забезпечуватися звуковою або світловою сигналізацією.

Молоко, допоміжна сировина та матеріали, що надходять на переробку, повинні відповідати вимогам нормативних документів, затверджених у встановленому порядку.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

Процеси приймання, зберігання, переробки молока, виробництво продуктів із молока повинні відповідати вимогам технологічної та технічної документації, затверджених у порядку.

Організації з переробки молока повинні приймати молоко від постачальників відповідно до нормативних документів, затверджених у встановленому порядку.

Умови транспортування молока та молочних продуктів при міжміських, міських та приміських перевезеннях мають відповідати нормативним вимогам, затвердженим у встановленому порядку.

При завантаженні, перевезенні та розвантаженні молока та молочних продуктів вантажовідправники та вантажоодержувачі зобов'язані дотримуватися нормативних вимог, затверджених у встановленому порядку.

Під'їзні дороги, майданчики до естакадів та місць навантаження-розвантаження повинні відповідати вимогам технічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Молоко та молочні продукти повинні переміщатися в упаковці, тарі або оснастці, що вказана у технологічній документації, затвердженій у встановленому порядку.

Механічна, теплова обробка молока та молочних продуктів повинні відповідати вимогам технологічної та технічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Виробництво кисломолочних продуктів та морозива має здійснюватися відповідно до вимог технологічної та технічної документації, затвердженої у встановленому порядку.

Хімічні речовини (кислоти, луки та їх розчини, рідкий та твердий каустик, хлорне вапно, інші хімічні речовини, що використовуються при виробництві молочної продукції) повинні зберігатися та використовуватись відповідно до вимог технологічної та технічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Навантаження, вивантаження, перевезення хімічних речовин автомобільним чи залізничним транспортом повинні виконуватись відповідно до вимог правил охорони праці, що діють на цих видах транспорту.

Відходи виробництва, що становлять небезпеку для людини та навколишнього середовища, повинні видалятися з робочих місць у міру їх накопичення та знешкоджуватися способами, передбаченими проектною документацією, затвердженою в установленому порядку.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 52 |

Системи контролю та управління технологічними процесами повинні забезпечувати надійний захист працівників від можливого прояву небезпечних чи шкідливих виробничих факторів, а також аварійне відключення виробничого обладнання.

Спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту повинні видаватися працівникам за встановленими нормами.

Крім спеціального одягу та спеціального взуття, працівникам повинні видаватися санітарний одяг, санітарне взуття та захисні пристрої за встановленими нормами.

При використанні в процесі виробництва респіраторів, протигазів, касок та інших засобів захисту працівник повинен пройти спеціальний інструктаж за правилами застосування їх, найпростішими способами перевірки справності, при необхідності – тренування з їх застосування.

Експлуатація, зберігання та випробування засобів індивідуального захисту від ураження електричним струмом (діелектричних рукавичок, бот, чобіт, калош, килимків, запобіжних поясів) повинні здійснюватися відповідно до вимог нормативної технічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Режим праці та відпочинку працівників встановлюється в організації відповідно до правил внутрішнього трудового розпорядку та чинного законодавства.

В організації має бути встановлено раціональне чергування періодів праці та відпочинку протягом зміни, що визначаються виробничими умовами та характером виконуваної роботи, її тяжкістю та напруженістю.

Для відпочинку працівників передбачаються спеціальні приміщення та кімнати для психофізіологічного розвантаження.

5.3 Вимоги до виробничого обладнання, його розміщення та організації робочих місць [12]

Вимоги безпеки до виробничого обладнання, що використовується під час переробки молока, його розміщення та раціональної організації робочих місць повинні враховуватися на всіх стадіях розробки конструкторських та технологічних документів, що затверджуються в установленому порядку.

Машини, механізми та інше виробниче обладнання, транспортні засоби, технологічні процеси, матеріали та хімічні речовини, засоби індивідуального та колективного захисту працівників, у тому числі іноземного виробництва, повинні відповідати вимогам охорони праці.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 53 |

Обладнання має відповідати вимогам охорони праці протягом усього терміну експлуатації та використовуватись відповідно до вимог технічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Виробниче обладнання під час роботи не повинно забруднювати довкілля викидами шкідливих речовин у кількостях вище допустимих значень, встановлених нормативною документацією, затвердженою у встановленому порядку.

Машини та обладнання, виготовлені на підприємстві, повинні відповідати вимогам нормативно-технічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Технологічне обладнання, робочі місця у виробничих приміщеннях повинні розміщуватись з урахуванням вимог технічної та технологічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Обладнання має бути пофарбоване у кольори, що відповідають вимогам нормативної документації.

Машини, механізми, апарати, установки повинні бути обладнані контрольною, попереджувальною, заборонною та аварійною сигналізацією відповідно до технологічної та технічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Сигналізація повинна застосовуватися як у вигляді самостійної системи, так і у поєднанні з огорожувальними, запобіжними, гальмівними, пусковими пристроями, пристроями управління обладнанням, а також із засобами автоматичного гасіння пожеж.

Виробниче обладнання має проходити періодичне технічне обслуговування, випробування, ремонт у встановлені терміни, зазначені в інструкціях з експлуатації, затверджених у встановленому порядку.

Контрольно-вимірювальні прилади, що використовуються у молочній промисловості, повинні перебувати у справному стані та проходити періодичну перевірку відповідно до технічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Навантажувально-розвантажувальні майданчики, естакади для під'їзду транспортних засобів повинні відповідати нормативній технічній документації, затвердженій в установленому порядку.

Теплові апарати, що працюють із застосуванням інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання, повинні працювати в автоматичному режимі.

Бактерицидні лампи повинні бути забезпечені екранами, що виключають попадання прямих ультрафіолетових променів на працівників.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 54 |

Машини для розвантаження миття, укладання пляшок, миття ящиків, розливно-закупорювальні, автомати для виготовлення паперових пакетів та розливу в них молока, автомати для розливу молока в поліетиленові пакети повинні експлуатуватися відповідно до інструкцій з експлуатації, затверджених у встановленому порядку.

Сушарки, вакуум-випарні установки, апарати для варіння сиропу, стерилізатори, охолоджувачі, розливні та закаткові машини та інші апарати, що використовуються при виготовленні молочних продуктів, що згущують, повинні експлуатуватися відповідно до вимог інструкцій з експлуатації, затверджених в установленому порядку.

Ежектор, сушарка парова та інші апарати, що працюють під тиском, повинні експлуатуватися відповідно до вимог технічної документації та інструкцій з експлуатації, затверджених у встановленому порядку.

Пропарювачі фляг, лабораторні центрифуги повинні експлуатуватися відповідно до вимог технічних та технологічних інструкцій, затверджених у встановленому порядку.

Пропарювачі фляг, лабораторні центрифуги повинні експлуатуватися відповідно до вимог технічних та технологічних інструкцій, затверджених в установленому порядку.

Механічне обладнання для приготування молочних продуктів (центрифуги, сепаратори, дробильні та вальцьові машини, подрібнювачі, мішалки, колоїдні млина) повинні експлуатуватися відповідно до вимог технічних та технологічних інструкцій, затверджених у встановленому порядку.

Конвеєри, шнеки, транспортні жолоби слід експлуатувати відповідно до вимог, викладених в інструкціях з експлуатації, затверджених у встановленому порядку.

Частини конвеєрів, до яких можливий доступ працівників, повинні бути огорожені. Якщо конвеєри знаходяться над робочими місцями працівників, то на конвеєрах мають бути встановлені захисні екрани або огорожі для захисту працівника від падаючого матеріалу.

Конвеєри, які не проглядаються з місця пуску на всю їх довжину, повинні бути обладнані автоматичною світлозвуковою сигналізацією, заблокованою з пусковим пристроєм.

Теплове обладнання (парові, водогрійні та вакуумні котли, автоклави, стерилізатори та інші), а також теплові мережі системи гарячого водопостачання повинні відповідати вимогам технічних нормативних документів, затверджених у встановленому порядку.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 55 |

Варильні котли, автоклави, стерилізатори, сушильні камери та інше обладнання, що виділяють тепло, а також паропроводи, трубопроводи гарячої води, газу та дуття повинні мати пристрої та пристрої, що виключають або обмежують виділення тепла до приміщення.

Запобіжні клапани тепловикористовувального обладнання повинні мати пристрої у вигляді труб, що відводять, для захисту працівників від опіків. На трубопроводах, що відводять, і на зливних пристроях не повинно бути запірної арматури.

Вибухові клапани тепловикористовуваного обладнання необхідно обладнати відвідними коробами та убезпечити відбійними щитами з боку працівників.

Технологічне обладнання, апаратура, посуд, тара, інвентар, плівка та вироби з полімерних та інших синтетичних матеріалів, призначені для розфасовки молока та молочних продуктів, повинні бути виготовлені з матеріалів, дозволених для використання в Російській Федерації.

Бабінорізальні верстати, гільзонавивочні, етикерувальні машини, машини для зварювання пакетів, вакуум-пакувальні машини, закаткові, закрутки брикетів, мийні, розливно-закупорювальні машини повинні експлуатуватися відповідно до вимог технічних та технологічних інструкцій, затверджених у встановленому порядку.

Установки для сушіння, дозування, фасування та пакування сухого молока повинні експлуатуватися відповідно до вимог технічних та технологічних інструкцій, затверджених у встановленому порядку.

Дискові ножиці для різання жерсті, автоматичний прес, корпусоутворююча машина повинні експлуатуватися відповідно до вимог та технічних та технологічних інструкцій, затверджених у встановленому порядку.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------|------|
| | | | | | <i>6.133.22.09.00.00.00 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 56 |

Висновки

В даній бакалаврській роботі описано технологічну схему отримання сухого молока, теоретичні основи процесу, конструкцію апарату. Вибрано конструкційні матеріали.

Проведено технологічні розрахунки процесу та апарату. Визначено основні геометричні розміри апарату, що проектується. Визначено гідравлічний опір. Вибрано допоміжне обладнання.

Зроблено розрахунки апарату на міцність та герметичність.

Розглянуто монтаж та ремонт розробленого апарату. Охорону праці на виробництві.

Розрахунки зроблено виходячи з діючих стандартів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

Література

1. Плановский А. Н., Рамм В. М., Каган С. З. Процессы и аппараты химической технологии. Москва, Химия, 1968, 848 с.
2. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Ленинград, Химия, 1987, 576 с.
3. Соколов В. Н. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Ленинград, Машиностроение, 1982, 384 с.
4. Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию. Москва, Химия, 1983, 272 с.
5. Генкин А. Э. Оборудование химических заводов. Москва, Высшая школа, 1978, 272 с.
6. Михалев М. Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Ленинград, Машиностроение, 1984, 301 с.
7. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. Ленинград, Химия, 1991, 352 с.
8. Лацинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов, Справочник. Ленинград, Машиностроение, 1981, 382 с.
9. Стабников В. Н. Процессы и аппараты пищевых производств. Москва, Легкая и пищевая промышленность, 1983, 328 с.
10. Бакластов А. М. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплоиспользующих установок. Москва, Энергия, 1970, 568 с.
11. Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. Ленинград, Машиностроение, 1970, 752 с.
12. Твердохліб Г.В. Технологія виготовлення молока і молочних продуктів. - К.: Вища школа, 1988. - 268 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | 6.133.22.09.00.00.00 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 58 |