

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**“ КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО ”**  
**Інженерно-хімічний факультет**  
**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри МАХНВ  
\_\_\_\_\_ Я.М. Корнієнко

(підпис)  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**

**на здобуття освітнього ступеня магістр**

**з спеціальності:** 133 Галузеве машинобудування

**спеціалізація:** Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв

**на тему: Модернізація установки виробництва полістиролу блочним методом з розробкою реактора-полімеризатора та охолоджувача**

**Виконав студентка 6-го курсу, групи ЛН-71мп**

Борисенко Анна Сергіївна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Керівник проекту** канд. техн. наук, доцент А.Р. Степанюк

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Консультанти:**

охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

канд. техн. наук, доцент І.М. Ковтун

\_\_\_\_\_  
(підпис)

розробка стартап-проекту

канд. екон. наук, доцент Н.В. Юдіна

\_\_\_\_\_  
(підпис)

технологія виготовлення кришки реактора

канд. техн. наук, старш. викл. Я.Г. Двойнос

\_\_\_\_\_  
(підпис)

автоматичний контроль і керування процесом

канд. техн. Наук, старш. викл Я.Г. Двойнос

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Рецензент**

\_\_\_\_\_  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ – 2018

## Зміст

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів.....	11
Вступ .....	12
1. Призначення та область використання установки виробництва полістиролу.....	14
1.1 Опис технологічного процесу.....	14
1.2 Вибір типу апаратів і його місце в технологічній схемі .....	15
2 Технічна характеристика.....	17
3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції.....	19
3.1 Конструкція та принцип дії виробів, основних складальних одиниць.....	19
3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами.....	21
3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів .....	23
3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки.....	24
4. Розрахунки, що підтверджують роботоздатність та надійність конструкції.....	35
4.1 Параметричний розрахунок холодильника .....	35
4.2 Параметричний розрахунок реактора .....	64
5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	91
6. Рекомендації з виготовлення, монтажу та експлуатації установки .....	103
6.1.2 Рекомендації, щодо експлуатації реактора.....	104
6.2 Холодильник .....	104
6.2.1 Рекомендації, щодо монтажу холодильника.....	104
6.2.2 Рекомендації, щодо експлуатації холодильника.....	106
7. Рівень стандартизації та уніфікації .....	108
8. Стартап.....	110
Висновок.....	127
Вывод .....	128
Conclusion .....	129
Перелік посилань .....	130

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Борисенко				Модернізація установки		Лит.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Степанюк				виробництва полістиролу			9	
Реценз.					блочним методом з розробкою				Арк.
Н.контр.					реактора-полімеризатора			ЛН71мп.066341.001 ПЗ Сікорського,	
Затв.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	охолоджувача			ІХФ, МАХНВ	
									10

## Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Умовні позначення:

$F$  – площа теплообміну,  $m^2$ ;

$b$  – ширина,  $m$ ;

$H, h$  – висота,  $m$ ;

$C$  – прибавка до розрахункової товщини,  $m$ ;

$D, d$  – діаметри,  $m$ ;

$m$  – маса,  $kg$ ;

$N$  – потужність,  $W$ ;

$G_p$  – продуктивністю,  $kg/s$ ;

$t$  – температура,  $K$ ;

$\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі до внутрішньої поверхні труби,  $W/m^2 \cdot K$ ;

$\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі до зовнішньої поверхні труби,  $W/m^2 \cdot K$ ;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі,  $W/m^2 \cdot K$ ;

Критерії:

$Nu$  – критерій Нуссельта;

$Re$  – критерій Рейнольдса.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		11

## Вступ

Полістирол має високу твердість, також володіє хорошими діелектричними властивостями, вологостійкістю, дуже легко забарвлюваний, хімічно стійкий.

Існує два види полістиролу: загального призначення та ударостійкий полістирол.

Полістирол загального призначення (GPPS – General Purpose PolyStyrene) — є ударостійким матеріалом. Його використовують загалом для внутрішнього скління, слугує хорошим аналогом оргсклу.

Ударостійкий полістирол HIPS (High Impact Polystyrene) володіє підвищеною ударостійкістю, бо має в складі добавки з бутадієнового або інших каучуків, які в свою чергу мають ударну в'язкість 60-70 кДж/м<sup>2</sup>. Застосовують такий полістирол для виготовлення торгівельного обладнання, для деталей холодильників та ін.

Перевагою полістиролу є висока водостійкість і стійкість до дії кислот, лугів та солей, відмінні діелектричні властивості, задовільні механічні властивості, легко виготовляти змінні кольори. До його недоліків можна віднести тривалість процесу виробництва, порівняно невелика продуктивність полімеризатора внаслідок обмежень, накладених в'язкістю середовища і складністю відводу тепла реакції. Тому актуальним питанням є розробка нових апаратів та модернізація вже існуючих конструкцій.

В магістерській дисертації необхідно обґрунтувати призначення та область використання установки виробництва полістиролу, описати технологічний процес. Необхідно вибрати тип апаратів, визначити і обґрунтувати їх місце в технологічній схемі. Навести технічну характеристику апаратів.

Дати характеристику конструкцій і принцип дії апаратів і їх основних складальних одиниць та деталей. Також проведи порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами. Зробити звіт про патентні дослідження.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		12

Необхідно розробити вимоги охорони праці та навколишнього середовища відповідно до установки виробництва.

Також зробити розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції: провести параметричні розрахунки теплообмінника і реактора, розрахунки гідравлічного опору трубного простору теплообмінника, конструктивний розрахунок товщини стінки апарата, розрахунок еліптичного днища, трубної решітки, фланцевого з'єднання, опорного вузла, валів на вібростійкість, жорсткість і міцність.

Навести рекомендації, щодо монтажу та експлуатації. Також провести економічну ефективність від впровадження модернізації.

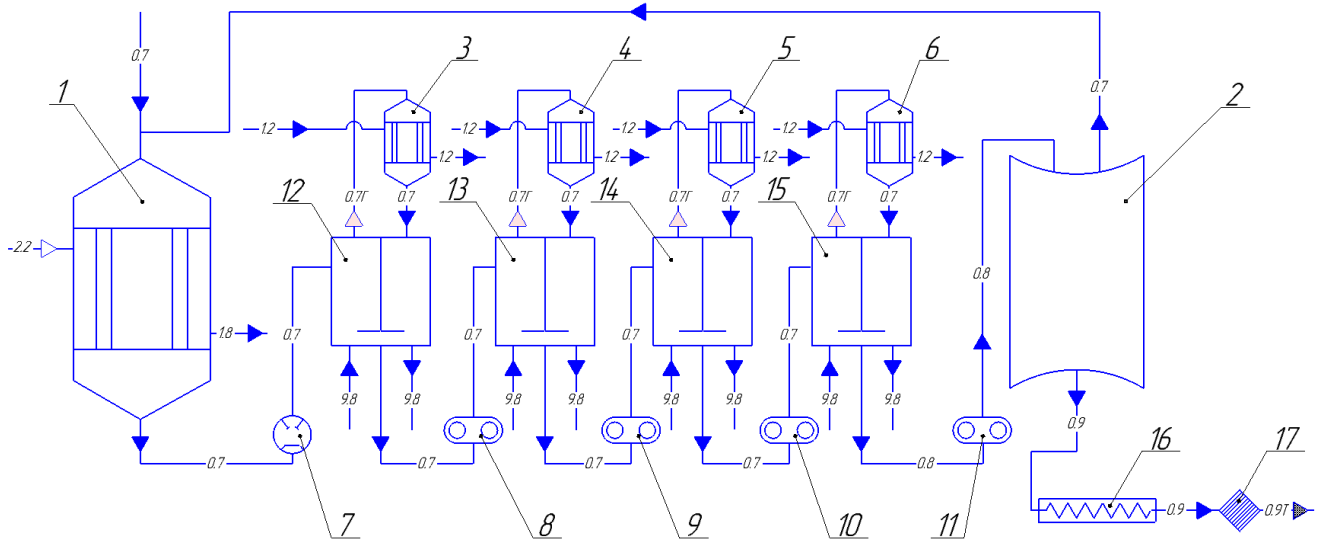
Завдання на виконання роботи одержане в період виробничої практики в вересні 2018 р.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		13

# 1. Призначення та область використання установки виробництва полістиролу

## 1.1 Опис технологічного процесу.

Технологічна схема для виробництва полістиролу блочним методом зображена на рисунку 1.1.



1-холодильник; 2-ванна охолодження; 3, 4, 5, 6-холодильники; 7-насос дозатор; 8, 9, 10, 11-шестерні насоси; 12, 13, 14, 15-реактори полімеризатори з мішалкою; 16-екструдер; 17-гранулятор.

Рисунок 1.1 - Технологічна схема лінії виробництва полістиролу.

Отримуючи полістирол методом неповної конверсії матеріал (стирол) насосом подається через холодильник 1, в ньому він охолоджується до 80 – 100°C у реактор-полімеризатор 12, потім перекачується шестерним насосом послідовно в реактори-полімеризатори 13-15. Реактор-полімеризатор виготовлений із сталі, має об'єм 5м<sup>3</sup> з оболонь у вигляді напівтруб, також якірними мішалками та зворотніми холодильниками 3-6 [1].

Сам процес полімеризації протікає з охолодженням розчину стиролу від 180 до 120 °C. З останнього реактора полістирольний розчин та стирол, який

										Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата						14

незаполімеризований перекачується у вакуумну камеру 2, у якій при залишковому тиску 0,7 – 5 кПа та температурі 190 – 200 °С стирол спрямовується на регенерацію та далі повертається у цикл. Розплав полістиролу із вакуумної камери 2 надходить в екструдер 16 і далі на грануляцію у гранулятор 17 [1].

Метод блочної полімеризації з неповною конверсією, по якому полімеризацію в батареї реакторів доводять до конверсії 80-95%, після чого вільний стирол відганяють і повертають на виробництво [1].

Відомі переваги має процес блочної полімеризації у присутності розчинника, завдяки якому знижується в'язкість реакційної маси, покращується теплообмін через оболонь, знімається частина теплоти реакції за рахунок випаровування розчинника та полегшується видалення неполімеризованого стиролу.

Процес з неповною конверсією має свої переваги, в основі яких є:

- 1) покращена продуктивність;
- 2) менша полідисперсність полімера та більш висока молекулярна маса, тому що процес проходить при більш низьких температурах.

## 1.2 Вибір типу апаратів і його місце в технологічній схемі

### Холодильник

Задачею апарату є охолодження стиролу водою перед тим як стирол попадає до реактора. Холодильник стоїть після реактора-полімеризатора, в якому проходить процес охолодження стиролу. Потім вільний стирол після охолодження відводиться в збірник, після цього частина суміші повертається в реактор для подальшого перетворення.

Вибираємо одноходовий вертикальний теплообмінник, тому що масові витрати в холодильнику невеликі. Різниця температур між теплоносіями незначна, тому термічними напруженнями поздовжнього видовження корпусу і труб можна нехтувати.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		15

## Реактор

Задачею апарата є забезпечення реакції полімеризації стиролу. Для того, щоб забезпечити ефективнішу реакцію полімеризації, суміш необхідно перемішувати, для цього в реактор необхідно встановити мішалку. Реакція в апараті екзотермічна, при цьому утворюється надлишкова енергія, яку потрібно відводити з апарату, тому обрали апарат з оболонкою.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		16

## 2 Технічна характеристика

### Холодильник

Технічна характеристика апарата наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Технічна характеристика апарата

Параметри, розміри	Розмірність	Значення
Розрахунковий тиск в трубному просторі	МПа	0,28
Розрахунковий тиск в міжтрубному просторі	МПа	0,4
Початкова температура води	К	293
Кінцева температура води	К	365
Початкова температура стиролу	К	393
Температура охолодженого стиролу	К	353
Загальна поверхня теплообміну	м <sup>2</sup>	25
Загальна кількість труб	шт	37
Діаметр апарата	м	0,259
Зовнішній діаметр труб	м	0,025
Внутрішній діаметр труб	м	0,021
Довжина апарата	м	5,5
Ширина апарата	м	0,325
Маса апарата	кг	680

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		17

## Реактор

Технічна характеристика апарата наведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Технічна характеристика апарата

Параметри, розміри	Розмірність	Значення
Розрахунковий тиск в трубному просторі	МПа	0,12
Розрахунковий тиск в міжтрубному просторі	МПа	0,12
Температура стиролу	К	373
Загальна поверхня теплообміну	м <sup>2</sup>	8,95
Діаметр апарата	м	1,6
Діаметр мішалки	м	1,2
Висота апарата	м	4,11
Ширина апарата	м	2,13
Маса апарата	кг	3650

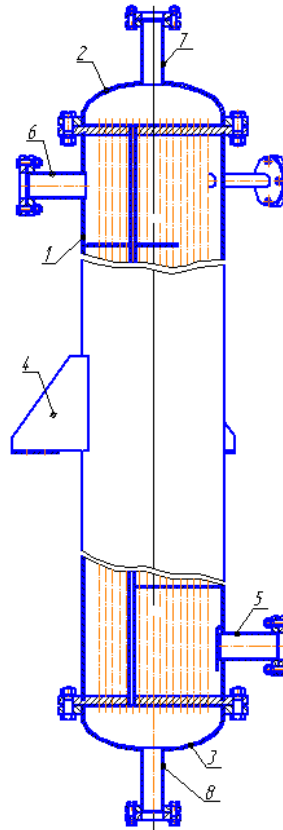
					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		18

### 3 Опис та обґрунтування вибраної конструкції

#### 3.1 Конструкція та принцип дії виробів, основних складальних одиниць

Холодильник

На рисунку 3.1 наведено загальний вигляд вертикального холодильника.



1 – корпус; 2 – кришка; 3 – кришка; 4 – опори; 5,8 – штуцера

Рисунок 3.1 – Вертикальний холодильник

Холодильник, що проектується складається з корпуса 1, прикріплених до нього еліптичного днища 3 і розподільної камери. У кожусі розміщено пучок труб діаметром 25 мм.

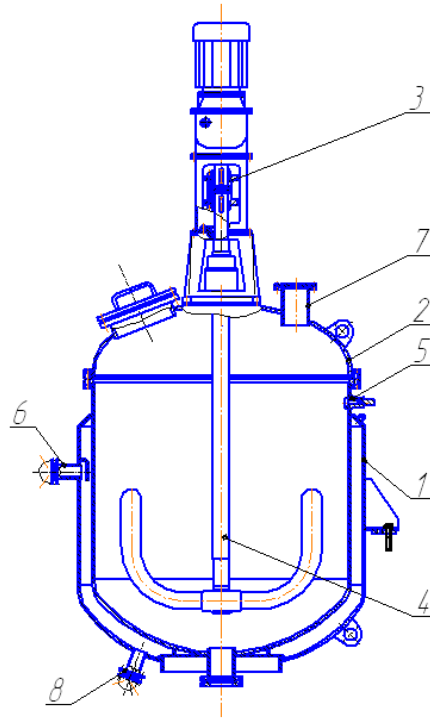
У холодильнику, одним із теплоносіїв є стирол, який рухається в трубному просторі, а інший теплоносій (вода) – в міжтрубному просторі.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		19

Охолодження температури стиролу забезпечується водою. Вода в нашому випадку буде подаватись через боковий штуцер 5, обичайки у трубний простір холодильника з температурою 289 К та тиском 0,4 МПа.

## Реактор

На рисунку 3.2 наведено загальний вигляд реактора.



1 – корпус; 2 – кришка; 3 – кришка; 4 – мішалка; 5 ,8 – штуцера

Рисунок 3.2 – Реактор-полімеризатор.

Розроблюваний апарат складається з корпусу 1, прикріплених до нього еліптичного днища 3. У оболонці розміщено патрубков для подачі охолоджуючої води.

У реактор подається стирол, емульгатори.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				20

### 3.2 Порівняння основних показників розробленої конструкції з аналогами

#### Холодильник

Даний холодильник найчастіше використовується на промислових підприємствах. Апарат простий за конструкцією, також низькі затрати електроенергії, простий в обслуговуванні.

Також має недолік: за рахунок великих габаритів і високої металоємності має досить високу ціну.

Порівняльна характеристика холодильників наведена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Порівняльна характеристика холодильників

Основні технологічні показники	Кожухотрубний теплообмінник	Теплообмінник типу «труба в трубі»	Пластинчастий теплообмінник
1	2	3	4
Продуктивність, кг/с, (бали)	2 (5)	2 (5)	2 (5)
Робочий тиск, МПа (бали)	0,4 (5)	0,3 (4)	0,3 (4)
Поверхня теплообміну, м <sup>2</sup> (бали)	8,95 (5)	8,72 (3)	8,5 (4)
Гідрравлічний опір, Па (бали)	447,45 (5)	421,3 (4)	402 (3)

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
Маса апарата, кг (бали)	585 (5)	560 (4)	530 (3)
Сума балів	25	20	14

Висновок: з таблиці 3.1 бачимо, що найкраще для охолодження стиролу підходить наш заявлений холодильник.

### Реактор

Головною задачею даного апарату є забезпечення реакції полімеризації стиролу.

Для цього процесу необхідний реактор-полімеризатор, який буде найкраще відповідати поставленим технологічним умовам. Обираємо реактор з якірною мішалкою.

Для перемішування в'язких рідин використовують якірні мішалки. Якірні мішалки очищають стінки апаратів від налипаючого на них матеріалу, завдяки чому поліпшується теплообмін.

Порівняльна характеристика реакторів наведена у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Порівняльна характеристика реакторів

Основні технологічні показники	Реактор для полімеризації	Трубчатий реактор	Автоклавний реактор
1	2	3	4
Продуктивність, (бали)			
Робочий тиск, МПа (бали)	0,12 (5)	0,10 (4)	0,09 (3)
Маса при гідро випробуваннях, кг (бали)	3560 (5)	2860 (4)	2775 (3)

Продовження таблиці 3.2.

1	2	3	4
Об'єм, м <sup>3</sup> (бали)	4,0 (4)	5,5 (5)	3,4 (3)
Сума балів	14	13	9

Висновок: з даної таблиці 3.2 бачимо, що для полімеризації стиролу найкраще підходить реактор для полімеризації, що проектується.

### 3.3 Вибір матеріалів елементів конструкцій апаратів

Холодильник виготовляємо зварним, товщиною стінки 6 мм. Такий тип апарата відноситься до сталюого типу холодильників.

Залежно від умов роботи застосовують різні матеріали основних вузлів і деталей холодильника (для корпусу, кришки, трубної решітки, труб).

Кожух складається з окремих циліндричних обичайок, зварених між собою встик, які формують корпус і обмежують ззовні трубний простір в апараті. З торців кожух закритий привареними до нього двома плоскими трубними решітками. Матеріал трубних решіток повинен бути більш міцним і жорстким порівняно з матеріалом труб. Кінці труб в трубних решітках закріплюються на розвальцовці в поєднанні зі зваркою. Кожух і труби виконуємо з нержавіючої сталі. Матеріал сідлових опор вибирається в залежності від об'єму апарата, температури робочого середовища і температури самого холодного п'ятидення в місці його встановлення згідно ОСТ26-1265-75. Матеріал опор – сталь ВСтЗкп2, ГОСТ 380-2005 [2].

Холодильник працює в вибухонебезпечних умовах під тиском 0,3МПа. Виконання матеріалу – М8 (ГОСТ 15122–79). Матеріалом холодильника (кожуха), теплообмінних труб і кришок являється листова сталь, з якої виготовляються корпуси (обичайки), днища, фланці, трубні решітки теплообмінників, а саме – Сталь 10Х17Н13М3Т ГОСТ 5632 – 72 (сталі високолеговані і сплави корозійностійкі, жаростійкі). Матеріал прокладок – пароніт (відходи азбестового

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		23

виробництва, які змішують з синтетичним каучуком): допустимий тиск прокладки  $p < 10$  МПа, температурний діапазон – від  $-200$  до  $400^{\circ}\text{C}$  ( $473$ - $673\text{K}$ ) [2].

Для виготовлення апаратів в хімічній промисловості в якості конструкційних матеріалів застосовують чорні метали та сплави(сталі, чавуни), кольорові метали та сплави, неметалічні матеріали.

Для корпусу та деталей реактора вибираємо сталь 12Х18Н10Т, ГОСТ 9941-72. Її призначення – деталі, що працюють при температурі до  $600^{\circ}\text{C}$  ( $873\text{K}$ ); зварні апарати, що працюють в розбавлених розчинах азотної, оцтової, фосфорної кислот, розчинах лугів і солей та інші деталі, що працюють під тиском при температурі  $-196\dots+600^{\circ}\text{C}$  ( $77$ - $873\text{K}$ ), а при наявності агресивних середовищ до  $+350^{\circ}\text{C}$  ( $623\text{K}$ ). Сталь корозійно стійка аустенітного складу [2].

### **3.4 Патентний огляд конструкцій основного обладнання установки**

#### **3.4.1 Реактор**

Апарат для перемішування [3].

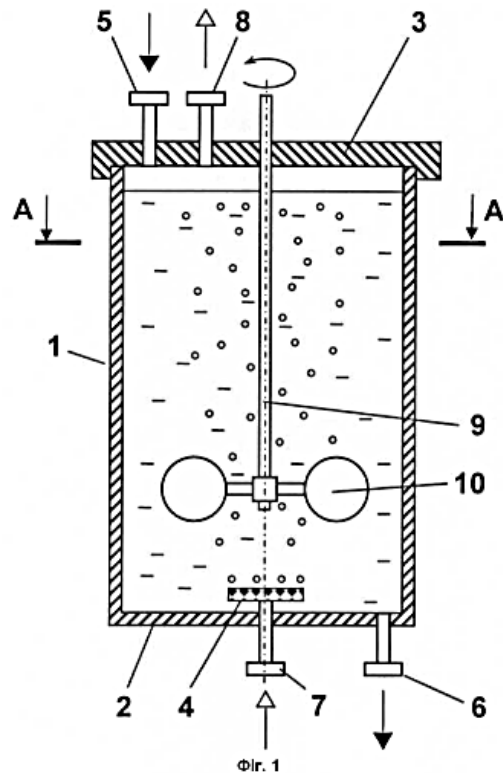
Схема даного апарата зображена на рисунку 3.3.

В порожнину корпусу подають рідину, потім за допомогою барботера починають подавати повітря, воно ж в свою чергу у вигляді бульбашок проходить через рідину, завдяки цьому утворюється рідинно-повітряна суміш. Коли починає обертатися вал, мішалка починає спияти руху рідинив коловому напрямку. Так як корпус виконаний у поперечному перерізу та утворює плавні виступи й западини, це і спияє перерозподілу потоків рідин.

Переваги апарата:

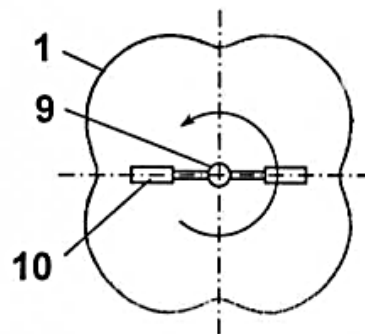
1. нескладний у виготовленні та експлуатації;
2. забезпечує ефективні умови для перемішування рідин широкої номенклатури.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		24



Фиг. 1

A-A



Фиг. 2

1 – порожнина корпусу, 2 – днище, 3 – кришка, 4 – барботер, 5,6 – патрубки для підведення і відведення оброблюваної рідини, 7,8 – патрубки для підведення і відведення повітря, 9 – вертикальний вал, 10 – мішалка

Рисунок 3.3 – Апарат для перемішування

Недоліки апарата:

1. обмежений обсяг інтенсивно перемішуваної рідини;
2. немає охолодження.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		25

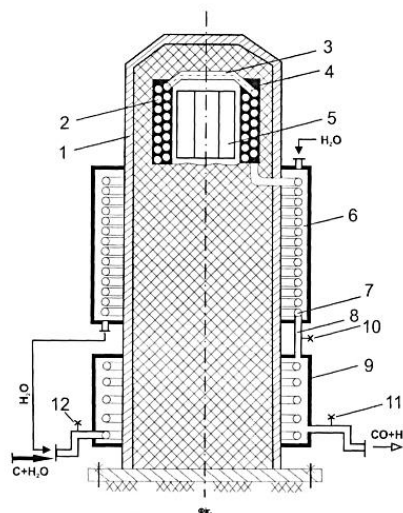
Трубчатий реактор газифікації некондиційних твердих горючих копалин [4].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.4.

На виході з теплообмінника 6 у нижній його частині газовідвідний змійовик 7 підключений через теплоізолюваний газохід 8 до порожнини короба 9, розміщеного нижче вузла 6 гартування газу. Продукти реакції, які утворились відводяться з реактора протитечією. Для того, щоб зекономити теплову енергію для реакції, проводиться попередній підігрів вугільної пульпи, газами, що отримались. Сполученням порожнини нового теплоізолюваного короба 9 через газохід 8 із спіральним трубчатим елементом 7 для відведення продуктів реакції в нижній частині теплообмінника досягається більш ефективно підвищення температури вугільної пульпи у змійовику 2 внаслідок безпосереднього контакту останнього з газом. Таким чином, пропонується процес теплообміну між змійовиком із пульпою з утвореним газом є теплоефективнішим, ніж теплообмін в системі змійовик пульпи - змійовик газу, як у прототипі. Процес газифікації регулюють вентилями 10, 11, 12, які слугують подачі утвореного газу в короб 9, регулювання виходу газу з реактора та подачі вугільної пульпи на газифікацію відповідно.

Переваги апарата:

1. Гарне перемішування двох реагентів.



1 – корпус, 2 – двозахідний змійовик, 3 – змійовик, 4 – теплопровідний масив, 5 – нагрівач, 6 – теплообмінник, 7 – змійовик,

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		26

8 – теплообмінний газохід, 9 – теплоізолюваний короб, 10,11,12 – вентиля.

Рисунок 3.4 – Апарат для перемішування

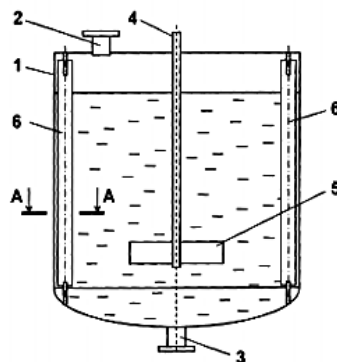
Недоліки апарата:

1. мала інтенсивність процесу.

Апарат для перемішування рідин [5].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.5.

Через патрубок подається вихідна рідина, цю рідину подають в корпус, після чого вмикається привод вертикального валу, тим самим, мішалка обертається і відбувається процес перемішування. Суміш, рухаючись в апараті діє на мішалки, вони запобігають утворенню воронки та турбулізують рідинний шар, тим самим, інтенсифікують процес. Також регулюється напрямок і швидкість обертання мішалок. Рідина виводиться з апарату через патрубок.



Фіг. 1

A-A



Фіг. 2

1 – вертикальний циліндричний корпус, 2,3 – патрубки, 4 – вал, 5 – мішалка,  
6 – обертова мішалка

Рисунок 3.5 – Апарат для перемішування рідин

Переваги апарата:

1. Нескладний у виготовленні та експлуатації;

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				27

## 2. Підвищує ефективність перемішування різноманітних рідких систем

Недоліки апарата:

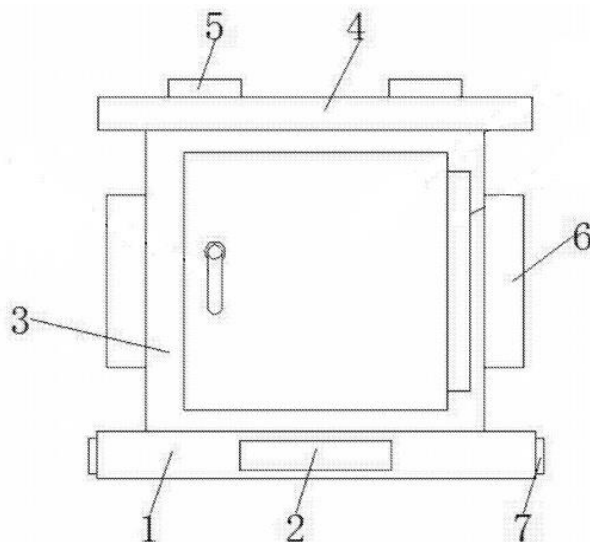
1. мала інтенсивність перемішування в'язких рідин;
2. велика потужність перемішування.

Реактор [6].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.6. У корисній моделі показано реактор з регулюючою функцією, що відноситься до технічного виду реактора. Цей реактор з регулюючою функцією, в тому числі основою, попередньо встановленою поверхнею, встановлено контролер, верхнє фіксоване кріплення основи має корпус та кришку, обидві сторони корпусу мають радіатор. Цей реактор з регулюючою функцією має ізолююче покриття, ізоляційна кришка може повертатись назад, тим самим змінюючи контактну позицію провідного блоку та котушки, ефективність роботи покращується.

Переваги апарата:

1. Краща ефективність роботи.



- 1 – корпус, 2 – контролер, 3 – верхня частина кожуха, 4 – пластина, 5 – кріплення, 6 – радіатор, 7 – кріплення

Рисунок 3.6 – Реактор

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		28

Недоліки апарата:

1. Висока металоємність.

Реактор [7].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.7. Реактор має теплообмінний корпус, який включає в себе канал потоку теплоносія, в якому потік рідкого середовища теплового середовища переміщується, канал потоку, в якому потік середовища, що переміщується містить перший реагент (і другий реагент), тече, і має додатковий канал для подачі другого реагенту в проміжну частину каналу реакційного потоку. Каталізатор забезпечує в каналі реакційного потоку і сприяє реакції в реакційній рідині. Теплообмінний корпус має безліч отворів, через які додатковий канал повідомляється з каналом реакційного потоку. Паровий риформинг може бути виконаний з використанням водяної пари і вуглеводню в якості першого і другого реагентів.

Переваги:

1. Можна регулювати температуру середовищ, що вступають в реакцію.

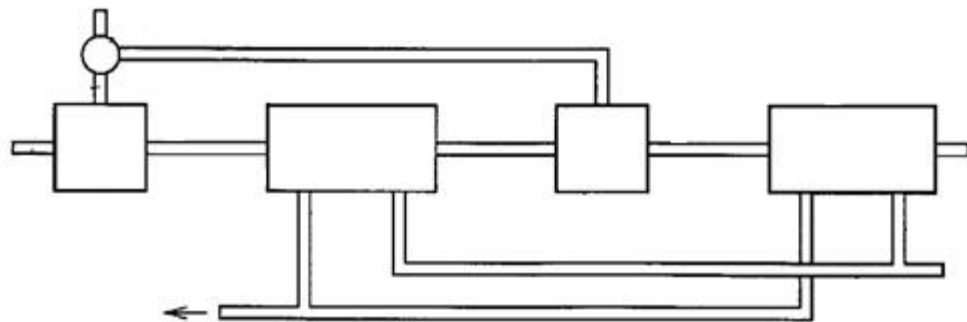


Рисунок 3.7 – Реактор

Недоліки:

1. Великий гідравлічний опір каналів реактора
2. Складна конструкція

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		29

### 3.4.2 Холодильник

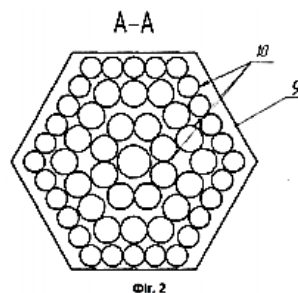
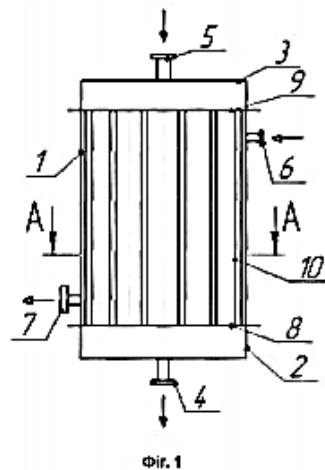
Кожухотрубний теплообмінник [8].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.8.

Суміш подається в штуцери. Процес теплообміну відбувається коли контактують протилежні поверхні теплообмінних труб. Теплообмінні труби розміщені раціонально, це дає покращення гідродинаміки потоку та тепловіддачу.

Переваги апарата:

3. кращі умови тепловіддачі;
4. щільне заповнення теплообмінними трубами порожнини корпусу;
5. краще стабілізована гідродинаміка потоку в міжтрубному просторі теплообмінника.



1 – обичайка, 2, 3 – кришка, 4-7 – штуцери, 8,9 – трубні решітки, 10 – теплообмінні труби

Рисунок 3.8 – Апарат для перемішування рідин

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				30

Недоліки апарата:

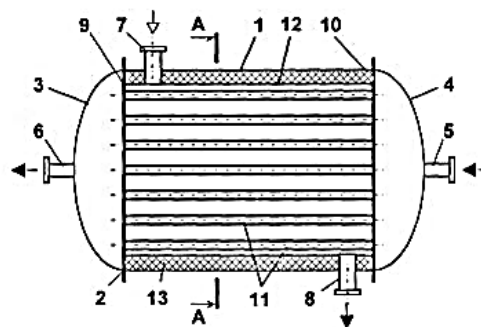
1. нераціональне розміщення теплообмінних труб у його міжтрубному просторі;
2. погані умови тепловіддачі.

Кожухотрубний теплообмінник [9].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.9. Теплоносії подаються в штуцери. Теплообмін в апараті відбувається через стінки теплообмінних труб. В апараті забезпечується ефективне теплоізолювання саме міжтрубного простору, при чому конструкція не ускладнюється та не збільшуються габарити апарату.

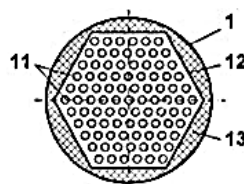
Переваги апарата:

1. покращена енергоефективність теплообмінника;
2. теплоізолювання міжтрубного простору.



Фіг. 1

A-A



Фіг. 2

1 – обичайка, 2 – корпус, 3,4 – кришки, 5-8 – штуцери,  
9,10 – трубні решітки, 11 – теплообмінні труби, 12 – внутрішня обичайка,  
13 – теплоізоляційний матеріал

Рисунок 3.9 – Кожухотрубний теплообмінник

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				ЛН71мп.066341.001 ПЗ	31

Недоліки апарата:

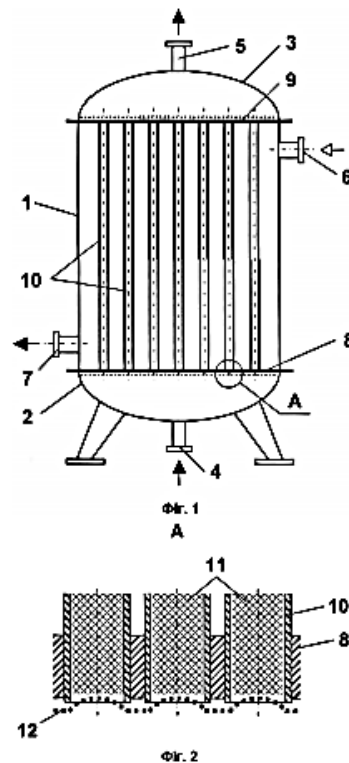
1. необхідність ізолювати його теплообмінний простір;
2. складність забезпечення режиму у кутах апарату.

Кожухотрубний теплообмінник [10].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.10. Теплоносії подаються у штуцери. Тепловіддача у даному апараті підвищується в трубному просторі теплообмінника, завдяки наявності насадкових тіл.

Переваги апарата:

1. підвищена тепловіддача;
2. краща ефективність роботи теплообмінника.



1 – обичайка, 2,3 – кришка, 4-7 – штуцери, 8,9 – трубні решітки, 10 – теплообмінні труби, 11 – насадкові тіла, 12 – перфоровані листи

Рисунок 3.10 – Кожухотрубний теплообмінник

Недоліки апарата:

1. висока металоємність.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		32

Теплообмінник [11].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.11. Поверхневий охолоджувач або теплообмінник може включати інтегральне монолітне тіло. Інтегральне монолітне тіло може включати в себе набір каналів для текучого середовища, щонайменше одне з'єднання колектора, що має вхідний отвір і випускний отвір, набір зворотних маніфольдів, з можливістю текучого середовища, щонайменше, частина набору каналів для текучого середовища і набір ребер. Монолітне тіло може мати різні локальні властивості матеріалу, певні при утворенні теплообмінника.

Переваги:

1. Висока ефективність теплообміну

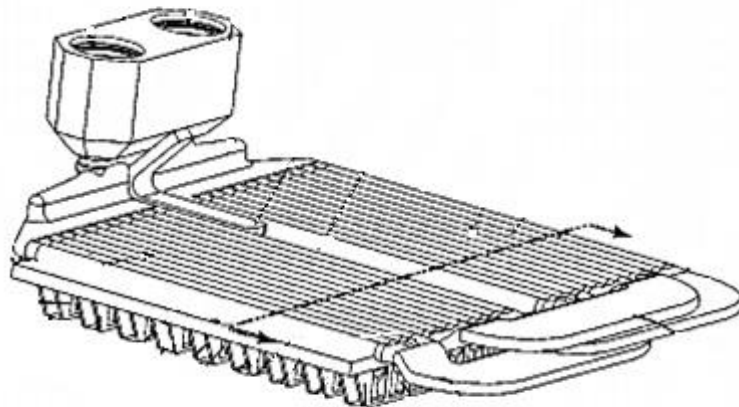


Рисунок 3.11 – Теплообмінник

Недоліки:

1. Великий гідравлічний опір
2. Висока металоємність
3. Складність конструкції

З'єднання для теплообмінника [12].

Схема даного апарата зображена на рисунку 3.12. З'єднання між алюмінієвою трубкою і теплообмінником, в якому труба має зовнішній діаметр  $D$  і містить фланець, що примикає до з'єднувального фланця теплообмінника і прикріплений до нього за допомогою кріплення. Труба додатково містить коліно, розташоване поблизу торцевого фланця, і прямолінійний сегмент, що проходить від торцевого фланця до кінцевого поперечного перерізу ліктя. Локоть має радіус вигину  $R$ , що відноситься до центральної осі трубки, такий, що  $0,5D$  і кінцевий поперечний переріз коліна розташований на відстані  $d$  від з'єднувального фланця теплообмінника, так що  $0.5D$ . Кріплення складається з трубчастого затиску пластикового матеріалу, навколишнього з'єднувального фланця теплообмінника і торцевого фланця трубки. Трубчастий затиск містить пару затискних половинок, прикріплених один до одного.

Переваги

1. Забезпечується високоефективне з'єднання

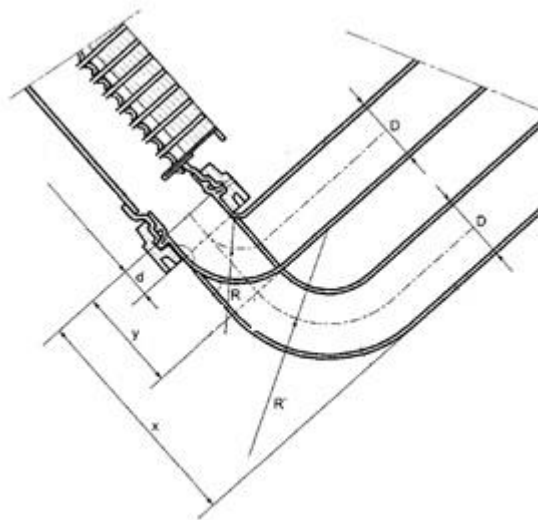


Рисунок 3.12 – З'єднання між алюмінієвою трубкою та теплообмінником  
Недоліки:

1. Алюміній в процесі експлуатації може засмічувати кінцевий продукт

Висновки: проведено патентний огляд реактора-полімеризатора та охолоджувача також описано переваги та недоліки кожного із цих апаратів.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				34

#### 4. Розрахунки, що підтверджують роботоздатність та надійність конструкції

##### 4.1 Параметричний розрахунок холодильника

Метою розрахунку є визначення необхідної площі поверхні теплообміну та вибір нормалізованої конструкції апарата, яка оптимально задовольняє заданим технологічним умовам.

Схема розрахунку зображена на рисунку 4.1

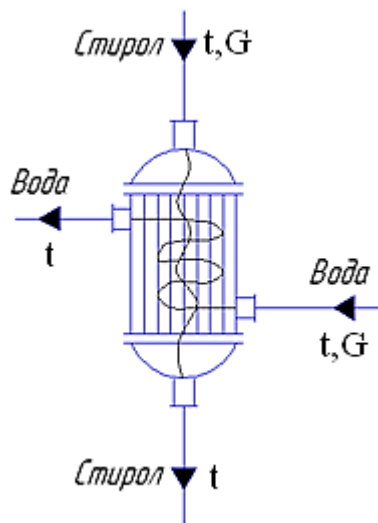


Рисунок 4.1- Схема розрахунку

Схематичне зображення руху теплоносіїв зображене на рисунку 4.2

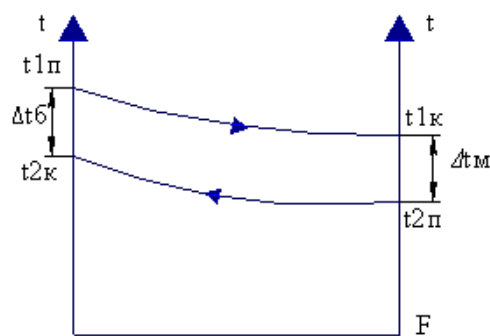


Рисунок 4.2–Схема руху теплоносіїв

Вихідні дані:

Температура води на вході, К,  $t_1'$

293;

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		35

температура води на виході, К, $t_1''$	365;
температура стиролу на вході, К, $t_2'$	353;
температура стиролу на виході, К, $t_2''$	393;
продуктивність по стиролу, кг/с, $G_2$	1,944;
абсолютний тиск води, МПа, $P$	0,4

Методика розрахунку згідно з [13]

Програма, алгоритмічна схема та таблиця ідентифікаторів знаходиться у Додатку Г.

Розрахунок більшої та меншої середньої температури:

$$\Delta T_{\sigma} = T_1' - T_2'' \quad (4.1)$$

$$\Delta T_m = T_1'' - T_2 \quad (4.2)$$

Поправочний коефіцієнт [13],  $\varepsilon_{\Delta} = 0,95$ .

Тоді середньо логарифмічна різниця температур дорівнює (рисунок 4.2):

$$\Delta T_c = \frac{\Delta T_{\sigma} - \Delta T_m}{\ln\left(\frac{\Delta T_{\sigma}}{\Delta T_m}\right)} \cdot \varepsilon_{\Delta} \quad (4.3)$$

Середня температура води:

$$t_2 = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (4.4)$$

Середня температура стиролу:

$$T_1 = T_2 + \Delta T_{cp} \quad (4.5)$$

Витрата теплоти на охолодження стиролу:

$$Q = \frac{V_1}{3600} \cdot \rho_1 \cdot c_1 \cdot (T_{1n} - T_{2n}) \quad (4.6)$$

де  $\rho_1$  – густина стиролу  $\rho_1 = 1049 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

середня питома теплоємність стиролу,  $c_1 = 1653 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ .

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		36

Витрата стиролу:

$$V_1 = \frac{G_2}{\rho_2} \quad (4.7)$$

Масові витрата води:

$$G_2 = \frac{Q}{c_2(T_{2к} - T_{2н})} \quad (4.8)$$

Об'ємні витрати води:

$$V_2 = \frac{G_2}{\rho_2} \quad (4.9)$$

де  $\rho_2$  – густина води,  $\rho_2 = 986 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Орієнтовно знаходимо максимальну величину площі поверхні теплообміну. По таблиці 4.8 [13] мінімальне значення коефіцієнта теплопередачі при теплообміні рідині – рідина для вуглеводнів і масел:  $K_{\text{мін}} = 150 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

При цьому:

$$F_{\text{макс}} = \frac{Q}{K_{\text{мін}} \cdot \Delta T_{\text{ср}}} \quad (4.10)$$

Для забезпечення турбулентного режиму стиролу при  $Re > 10000$  швидкість в трубах повинна бути більша  $W_2'$ :

$$W_2' = \frac{Re \cdot \mu_2}{d_e \rho_2} \quad (4.11)$$

Число труб  $25 \times 2$  мм, забезпечуючи об'ємну витрату стиролу при  $Re = 10000$ :

$$n' = \frac{V_2}{0,785 \cdot d_2^2 \cdot W_2'} \quad (4.12)$$

Приймаємо кожухотрубний холодильник діаметром 259 мм з кількістю труб 37, [13].

Уточнюємо значення критерія  $Re_2$ :

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		37

$$Re = 10000 \frac{n'}{n} \quad (4.13)$$

Критерій Прандтля для стиролу:

$$Pr_2 = \frac{c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1} \quad (4.14)$$

Розрахункова формула:

$$Nu_2 = 0,021 Re_2^{0,8} Pr_2^{0,43} \left( \frac{Pr_2}{Pr_{cm.2}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_t \quad (4.15)$$

Приймаємо поправку Міхєєва за [14],  $\left( \frac{Pr_2}{Pr_{cm.2}} \right)^{0,25} = 0,95$ .

Тоді:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{d_1} = \frac{479,81 \cdot 0,159}{0,021} \quad (4.16)$$

де  $\lambda_1$  – коефіцієнт теплопровідності стиролу  $\lambda_1 = 0,159 \frac{Вт}{(м \cdot К)}$

Міжтрубний простір:

Основні дані:

– площа прохідного перерізу по трубах:

$$S_T = n_{труб} \cdot 0,785 \cdot d \quad (4.17)$$

– площа прохідного перерізу в вирізу перегородки:

$$S_{с.ж.} = 8,9 \cdot 10^{-2} м^2.$$

– відстань від діагоналі до хорди сегмента:

$$h_1 = 0,055 м.$$

Розраховуючи площу поверхні теплообміну:

Міжтрубний простір. Розмір стрілки сегмента:

$$b = \frac{D_{ен}}{2} - h_1 \quad (4.18)$$

Відстань між перегородками:

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		38

$$l = \frac{b}{1,415\psi} = \frac{0,075}{1,415 \cdot 0,485}$$

$$\psi = \frac{1 - \left(\frac{d}{t}\right)}{1 - 0,9\left(\frac{d}{t}\right)^2} = \frac{1 - \left(\frac{0,021}{0,032}\right)}{1 - 0,9\left(\frac{0,021}{0,032}\right)^2} \quad (4.20)$$

Розрахункова швидкість води в міжтрубному просторі:

$$W_2 = \frac{V_2}{S_{с.ж.}} \quad (4.21)$$

Критерій Рейнольдса для води:

$$Re_2 = \frac{W_2 \cdot d_1}{\nu_2} \quad (4.22)$$

де  $\nu_2$  – коефіцієнт,  $\nu_2 = 0,0986 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}$ .

Визначаємо значення критерія Прандтля для води:

$$Pr_2 = \frac{c_{ст.2} \cdot \mu_{ст.2}}{\lambda_{ст.2}} \quad (4.23)$$

де  $c_{ст.2}$  – коефіцієнт теплопровідності сталі;  $c_{ст.2} = 1885, \frac{Дж}{кг \cdot K}$ ;

$\mu_{ст.2}$  – динамічний коефіцієнт в'язкості сталі;  $\mu_{ст.2} = 0,27 \cdot 10^{-3}, Па \cdot с$ ;

$\lambda_{ст.2}$  – коефіцієнт теплопровідності сталі;  $\lambda_{ст.2} = 0,1163, \frac{Вт}{м \cdot K}$ .

Прийнято  $\left(\frac{Pr_2}{Pr_{ст.2}}\right)^{0,25} = 1,05$ .

Розрахункова формула:

$$Nu_2 = 0,022\varepsilon_\varphi Re_2^{0,65} Pr_2^{0,36} \left(\frac{Pr_2}{Pr_{ст.2}}\right)^{0,25} \quad (4.24)$$

де  $\varepsilon_\varphi$  – коефіцієнт,  $\varepsilon_\varphi = 1$ ;

Коефіцієнт тепловіддачі:

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		39

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_2} \quad (4.25)$$

де  $\lambda_2$  – коефіцієнт теплопровідності води при  $T=326,9\text{K}$ ,  $\lambda_2 = 65,3 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$ .

Приймаємо теплову провідність забруднень зі сторони гріючого пара

$$\frac{1}{r_{загр.1}} = 5800 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}, \text{ зі сторони стирола } \frac{1}{r_{загр.2}} = 2400 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}},$$

де  $\lambda_{ст.}$  – коефіцієнт теплопровідності сталі,  $\lambda_{ст.} = 46,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ .

Тоді:

$$\frac{1}{\sum r_{cm}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{ст.}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.26)$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.27)$$

Площа теплообміну:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta T_{cp}} \quad (4.28)$$

Довжина труб

$$L = \frac{F}{\pi dn} \quad (4.29)$$

Поверхнева густина теплового потоку

$$q = k \cdot \Delta T_{cp} \quad (4.30)$$

Знаходимо середню температуру стінок:

$$T_{cm1} = T_1 + \frac{q}{\alpha_1} \quad (4.31)$$

$$T_{cm2} = T_2 - \frac{q}{\alpha_1} \quad (4.32)$$

Критерій Прандтля для стирола:

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		40

$$Pr_{cm2} = \frac{c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_1}$$

Розрахункова формула для стиролу:

$$Nu_2 = 0,021 Re_2^{0,8} Pr_2^{0,43} \left( \frac{Pr_2}{Pr_{cm.2}} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_t \quad (4.33)$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_2} \quad (4.34)$$

де  $\lambda_2$  – коефіцієнт теплопровідності води при  $T=326,9K$ ,  $\lambda_2 = 65,3 \cdot 10^{-2} \frac{Вт}{(м \cdot K)}$ .

Розрахункова формула для води:

$$Nu_1 = 0,022 \varepsilon_\varphi Re_1^{0,65} Pr_1^{0,36} \left( \frac{Pr_1}{Pr_{cm.1}} \right)^{0,25} \quad (4.35)$$

де  $Pr_{cm1}$  – критерій Прандтля для води вибирається із таблиці [6] при температурі  $t_{ст2}$ ,  $Pr_{cm1} = 3,31$ .

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{d_1} \quad (4.36)$$

де  $\lambda_2$  – коефіцієнт теплопровідності води  $\lambda_2 = 65,3 \cdot 10^{-2} \frac{Вт}{(м \cdot K)}$

Приймаємо теплову провідність забруднень зі сторони води

$$\frac{1}{r_{загр.1}} = 5800 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}, \text{ зі сторони стирола } \frac{1}{r_{загр.2}} = 2400 \frac{Вт}{м^2 \cdot K},$$

де  $\lambda_{ст.}$  – коефіцієнт теплопровідності сталі,  $\lambda_{ст.} = 46,5 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$ .

Тоді:

$$\frac{1}{\sum r_{cm}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{ст.}} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (4.37)$$

Коефіцієнт теплопередачі:

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		41

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum r_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4.38)$$

Площа теплообміну:

$$F' = \frac{Q}{k \cdot \Delta T_{cp}} \quad (4.39)$$

Довжина труб:

$$L = \frac{F}{\pi dn} \quad (4.40)$$

Оскільки похибка:

$$\Delta = \frac{|F - F'|}{F} \cdot 100\% \quad (4.41)$$

Висновок: Площа теплообміну  $F = 13 \text{ м}^2$  та довжина труб  $L = 5,5 \text{ м}$ . За цими даними вибираємо вертикальний нормалізований, одноходовий теплообмінник діаметром з кожухом  $0,259 \text{ м}^2$ . Поверхня теплообміну теплообмінника  $F = 25 \text{ м}^2$ , що забезпечує запас поверхні теплообміну.

#### 4.1.2 Розрахунок штуцерів

Метою розрахунку є визначення основних параметрів і вибір стандартних штуцерів теплообмінника. Розрахункова схема зображена на рисунку 4.3.

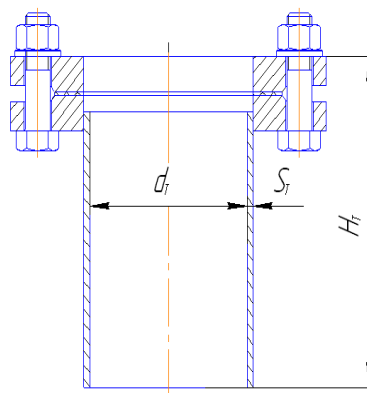


Рисунок 4.3 – Схема штуцера

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		42

Вихідні дані:

Діаметр апарата, D,м	0,259;
тиск в середині апарата, P,МПа	0,3;
допустиме напруження матеріалу, [σ],МПа	200;
довжина труб, L,м	3;
масова витрата стиролу, $G_{\text{стир}}$ , кг/с	2,63

Розрахунок передбачає вибір стандартних штуцерів за тиском і умовним діаметром, що далі визначається.

Розрахунок проводимо згідно [15]

Розраховуємо діаметр штуцера для рідини стиролу:

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{стир}}}{\rho_{\text{рід стир}} \cdot \pi \cdot W_{\text{ст}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,63}{1036 \cdot 3,14 \cdot 1,5}} = 46,43 \text{ мм,}$$

де  $W_{\text{ст}}$  – рекомендована швидкість для рідини стиролу,  $W_{\text{ст}} = 1,5 \text{ м/с}$ ;

$\rho_{\text{рід стир}}$  – густина рідини стиролу,  $\rho_{\text{рід стир}} = 1036 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$G_{\text{стир}}$  – масова витрата стиролу (за умовою),  $G_{\text{стир}} = 2,63 \text{ кг/с}$ .

Обчислюємо діаметр штуцерів для виходу води:

$$d_{\text{шт}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\text{конд.}}}{\rho_{\text{конд.}} \cdot \pi \cdot W_{\text{конд.}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,027}{986 \cdot 3,14 \cdot 3}} = 100 \text{ мм,}$$

де  $W_{\text{ст}}$  – рекомендована швидкість для води,  $W_{\text{ст}} = 3 \text{ м/с}$ ;

$\rho_{\text{конд.}}$  – густина води при  $T=405,9 \text{ К}$ ,  $\rho_{\text{конд.}} = 986 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$G_{\text{стир}}$  – масова витрата води (за умовою),  $G_{\text{стир}} = 0,027 \text{ кг/с}$ .

Розміри нормалізованих штуцерів холодильника, [15].

Штуцер для рідини стиролу:

Номінальний діаметр, $D_y$ , м	0,03915;
діаметр отвору, $d_T$ , м	0,045;

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		43

товщина стінки,  $S_T$ , м 0,003;

висота штуцера,  $H_T$ , м 0,155;

Штуцер для входу води:

Номинальний діаметр,  $D_y$ , м 0,1;

діаметр отвору,  $d_T$ , м 0,108;

товщина стінки,  $S_T$ , м 0,005;

висота штуцера,  $H_T$ , м 0,155;

Штуцер для виходу води:

номинальний діаметр,  $D_y$ , м 0,04643;

діаметр отвору,  $d_T$ , м 0,057;

товщина стінки,  $S_T$ , м 0,003;

висота штуцера,  $H_T$ , м 0,155;

#### 4.1.3 Гідравлічний розрахунок холодильника

Метою розрахунку є визначення гідравлічного опору трубного простору холодильника.

Вихідні величини:

Внутрішній діаметр трубки,  $d_{вн}$ , м 0,021;

довжина трубок,  $L$ , м 3;

густина стирола,  $\rho_1$ , кг/м<sup>3</sup> 1036

Розрахункова схема гідравлічного опору зображена на рисунку 4.4.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		44

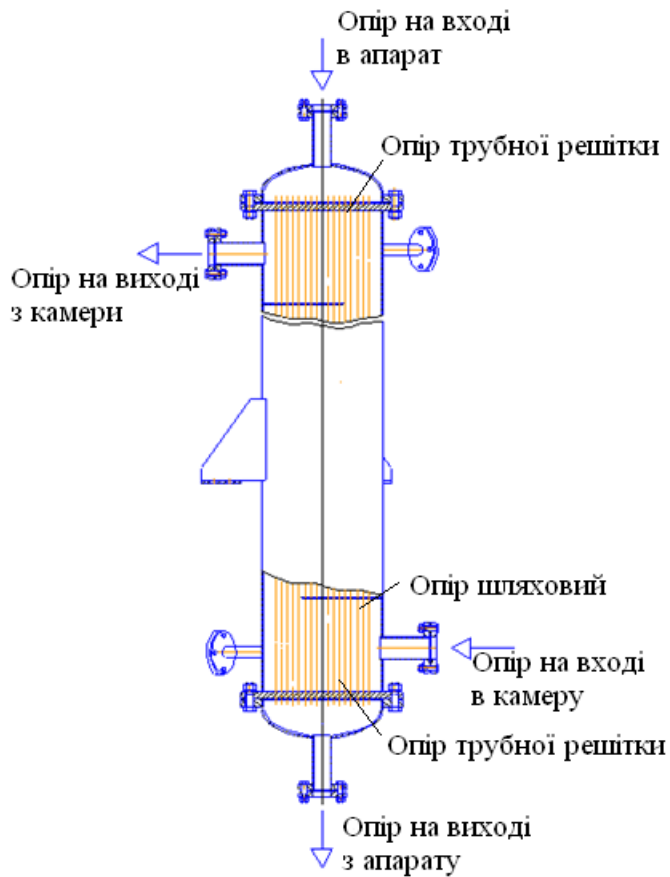


Рисунок 4.4 – Схема зображення гідравлічного опору

Вихідні величини:

Внутрішній діаметр трубки, $d_{\text{вн}}$ , м	0,021;
довжина трубок, $L$ , м	3;
густина стирола, $\rho_1$ , кг/м <sup>3</sup>	1036

Розрахунок здійснюємо за методикою [13].

Властивості води при 405,9К :  $\rho_2 = 1,496$  кг/м<sup>3</sup>;  $\nu_1 = 0,885 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с

Швидкість води в трубах:

$$W_1 = \frac{G_1 \cdot z}{\rho_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} \cdot n} = \frac{2,63 \cdot 1}{1036 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,021^2}{4} \cdot 37} = 0,198 \text{ м/с.}$$

Критерій Рейнольда:

$$\text{Re}_1 = \frac{W_1 \cdot d_e}{\nu_1} = \frac{0,198 \cdot 0,021}{0,885 \cdot 10^{-6}} = 14983.$$

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		45

Коефіцієнт гідравлічного опору для шорховатих труб при відношенні середньої висоти виступів до еквівалентного діаметра

$$\varepsilon = \frac{d_e}{e} = \frac{23}{0,2} = 115.$$

Визначаємо за графіком  $\lambda = 0,039$

Втрати тиску на переміщення води в трубах (подолання в'язкісного тертя в трубах):

$$\Delta P_{\text{шлях}} = \lambda \cdot \frac{z \cdot L}{d_e} \cdot \frac{\rho_1 \cdot W_1^2}{2} = 0,039 \cdot \frac{1 \cdot 3}{0,021} \cdot \frac{1036 \cdot 0,198^2}{2} = 113,14 \text{ Па.}$$

Визначаємо місцеві втрати. Коефіцієнти місцевих втрат наведені нижче:

Вхідна і вихідна камери 1,5;

вхід в труби і вихід із труб 2;

поворот на 1800С при переході із однієї секції до другої 2,5

Швидкість води в штуцерах більша, ніж швидкість води в трубах і дорівнює:

$$W_{\text{ш}} = \frac{G_1}{\rho_1 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^2}{4}} = \frac{2,63}{1036 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,04643^2}{4}} = 1,5 \text{ м/с.}$$

Швидкісний натиск для вхідної і вихідної камер обчислюємо по швидкості в штуцерах, а втрати на вході і виході труб і поворотах - по швидкості в трубах.

Тоді місцеві втрати дорівнюють.

$$\Delta P_m = 3 \cdot \frac{\rho_1 \cdot W_{\text{ш}}^2}{2} + 6,5 \cdot \frac{\rho_1 \cdot W_1^2}{2} = 3 \cdot \frac{1036 \cdot 1,5^2}{2} + 6,5 \cdot \frac{1036 \cdot 0,198^2}{2} = 3628,49 \text{ Па.}$$

Сумарний гідравлічний опір трубного простору:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{ш}} + \Delta P_m = 113,14 + 3628,49 = 3741,63 \text{ Па.}$$

Потужність на переміщення води по міжтрубному простору:

$$N = \Delta P \cdot \frac{G_1}{\rho_1} = 3741,63 \cdot \frac{2,63}{1036} = 9,49 \text{ Вт.}$$

Висновок:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				ЛН71мп.066341.001 ПЗ	46

Гідравлічний опір трубногопростору становить  $\Delta P_{\text{шлях}} = 113,4 \text{ Па}$ , та міжтрубного простору теплообмінника  $\Delta P_{\text{м}} = 3628,49 \text{ Па}$ , які необхідні для вибору насосів. Затрачена потужність на переміщення пару становить  $N = 9,49 \text{ Вт}$ .

#### 4.1.4 Конструктивний розрахунок товщини стінки холодильника

Мета: підрахунок товщини циліндричної обичайки під дією внутрішнього тиску з урахуванням додатків на корозію і перевірка її на міцність.

Розрахункова схема обичайки наведена на рисунку 4.5.

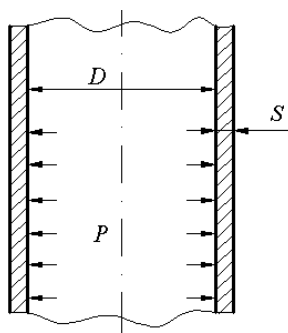


Рисунок 4.5 – Розрахункова схема циліндричної обичайки

Вихідні дані для розрахунку:

Тиск в середині апарата, P, МПа	0,28;
діаметр апарата, D, м	0,259;
допустиме напруження матеріалу, $[\sigma]$ , МПа	200;
довжина труб, L, м	3;
матеріал	12X18H10T

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [15] і передбачає підрахунок товщини обичайки лише від дії внутрішнього тиску.

Розрахунок передбачає визначення товщини стінки обичайки, що знаходиться під дією внутрішнього тиску, із урахуванням додатків на корозію і зручності транспортування та монтажу.

Необхідно обчислити розрахунковий тиск. Для цього перевіряється виконання умови:

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		47

$$\frac{\rho \cdot g \cdot H}{P} = \frac{998 \cdot 9,8 \cdot 3}{0,28 \cdot 10^6} = 0,097 \geq 0,05.$$

де  $g$  – гравітаційна стала,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Розрахунковий тиск у цьому випадку дорівнює:

$$P_R = P + \rho \cdot g \cdot H = 0,28 \cdot 10^6 + 998 \cdot 9,8 \cdot 3 = 0,301 \text{ МПа}.$$

Обчислюється товщина стінки:

$$S_R = \frac{P_R \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P_R} = \frac{0,301 \cdot 0,259}{2 \cdot 200 \cdot 0,8 - 0,301} = 0,244 \cdot 10^3 = 0,25 \text{ мм},$$

де  $\varphi = 0,9$  – коефіцієнт міцності зварного шва

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 0,25 + 0,5 + 0,12 + 0 = 0,87 \text{ мм},$$

де  $C_1$ - прибавка на компенсацію корозії,  $C_1 = 0,05 \cdot 10 = 0,5 \text{ м}$ ;

$C_2$ -прибавка на компенсацію мінусового допуску до товщини листа  $C_2 = 0,12 \text{ мм}$  (залежить від товщини листа);

$C_3$ -технологічна прибавка, яка визначається заводом і пов'язана зі зміною листа при формуванні деталі  $C_3 = 0$ ;

Приймаємо  $S_R = 6 \text{ мм}$ , рекомендовану ГОСТ-ом з метою забезпечення міцності обичайки. Для цієї товщини вибираємо відповідні поправки  $C_1 = 0,5 \text{ мм}$ ,  $C_2 = 0,4 \text{ мм}$ ,  $C_3 = 0$ , які і далі будуть використовуватись при розрахунках.

Допустимий внутрішній надлишковий тиск, МПа:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot (6 - 0,9)}{259 + 6 - 0,9} = 6,17 \text{ МПа}$$

Перевіряємо умову міцності  $P \leq [P]$ :  $0,28 \leq 6,17$ . Умова міцності виконується.

Висновок:

Допустимий внутрішній тиск більший за робочий. Приймаємо обичайку з товщиною стінки 6 мм, яка витримає робочі навантаження.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		48

#### 4.1.5 Розрахунок еліптичного днища холодильника

Мета розрахунку: визначення товщини стінки еліптичного днища і перевірка її на міцність.

Розрахункова схема днища наведена на рисунку 4.6.

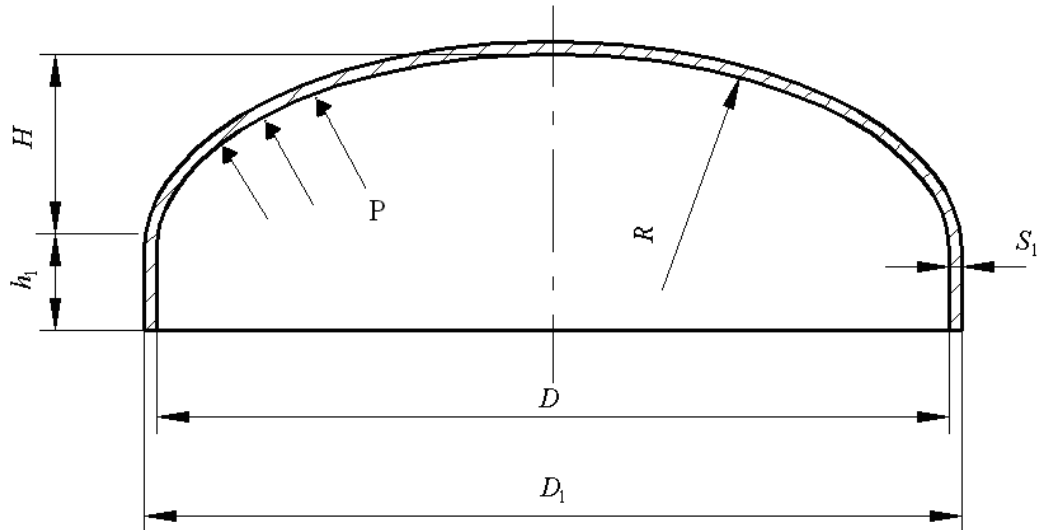


Рисунок 4.6 – Розрахункова схема еліптичного днища

Вихідні дані:

Діаметр апарата, $D$ , м	0,259;
розрахунковий тиск, $P_R$ , МПа	0,301;
допустиме напруження матеріалу, $[\sigma]$ , МПа	200

Методика проведення даного розрахунку складена згідно [15].

В данному розрахунку необхідно визначити товщину днища та перевірити, чи виконується умова міцності.

Розрахунок на допустимий внутрішній надлишковий тиск:

$$S_R = \frac{P_R \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 P} = \frac{0,301 \cdot 259}{2 \cdot 200 \cdot 0,8 - 0,5 \cdot 0,28} = 0,2437 = 0,2 \text{ мм},$$

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		49

де  $\varphi=0,8$  – коефіцієнт міцності зварного шва. Із врахуванням поправок маємо:

$$S = S_R + C_1 + C_2 + C_3 = 0,25 + 0,5 + 0,12 + 0 = 0,87 \text{ мм}$$

Товщину днища необхідно приймати не менше товщини корпуса і згідно рекомендаціям стандартів не менше 6 мм.

Приймаємо  $S=6$  мм. Обчислюємо висоту еліптичної частини днища та радіус:

$$H = 0,25 \cdot D = 0,25 \cdot 259 = 64,75 \text{ мм.}$$

$$R = \frac{D^2}{4 \cdot H} = \frac{259^2}{4 \cdot 64,75} = 259 \text{ мм.}$$

В зв'язку з тим, що ми обрали еліптичне днище, його обов'язково потрібно виконувати з відбортовкою. Усі параметри днища вибираються згідно стандартів.

Виконуємо перевірку на допустимий тиск:

$$[P] = \frac{2 \cdot (S - C) \cdot [\sigma] \cdot \varphi}{R + 0,5 \cdot (S - C)} = \frac{2 \cdot (6 - 0,9) \cdot 200 \cdot 0,8}{259 + 0,5 \cdot (6 - 0,9)} = 6,252 \text{ МПа.}$$

де  $S$  - виконавча товщина еліптичного днища,  $S=0,006\text{м}$ ;

$R$  - радіус кривизни в вершині днища,  $R=0,259\text{м}$ ;

$$P \leq [P]$$

$$0,3 \leq 6,252 \text{ МПа}$$

Умова міцності виконується.

Висновок:

За результатом розрахунку допустимий внутрішній тиск більший за робочий. Приймаємо кришку товщиною 6 мм, що витримує робочі навантаження.

#### 4.1.6 Розрахунок трубної решітки холодильника

Метою розрахунку є перевірка трубної решітки на міцність.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		50

Схема розміщення трубок в трубній решітці приведена на рисунку 4.7.

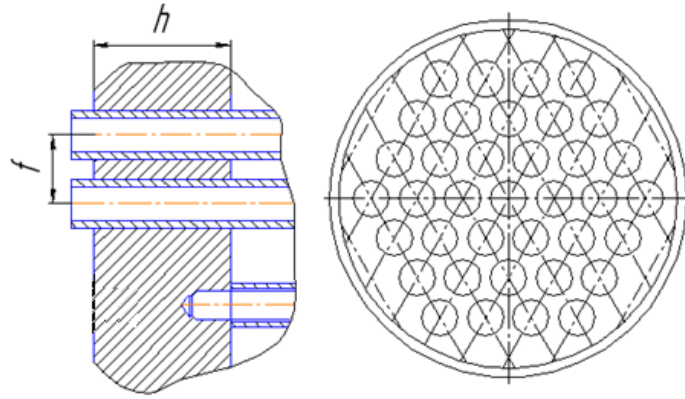


Рисунок 4.7 – Схема розміщення трубок в трубній решітці

Вихідні дані:

Товщина стінки корпусу, $S_{к,м}$	0,006;
труби	25 x 2;
кількість трубок, $n$	37;
крок трубок	32;
діаметр апарату, $D,м$	0,259;
довжина труб, $L,м$	3

Методика розрахунку за [15].

Вибираємо тип закріплення труб в трубній решітці – розвальцьовка з проваркою, оскільки тиск в апараті  $< 0,6$  МПа. Із умови надійності розвальцьовки визначаємо товщину трубної решітки:

$$S_{PR} = \frac{(0,435d_n + 0,0015) \cdot 10^{-2}}{t - d_n} = \frac{(0,435 \cdot 0,025 + 0,0015) \cdot 10^{-2}}{0,032 - 0,025} = 0,0176 \text{ м.}$$

Уточнюємо і приймаємо товщину трубної решітки  $1,2 d_n = 1,2 \cdot 25 = 0,03$  м.

Обчислюємо зусилля в трубах і корпусі:

$$Q_k = \frac{\alpha_k \cdot L_k (t_k - t_m) - \alpha_m L_m (t_m - t_m)}{\frac{L_k}{E_k F_k} + \frac{L_m}{E_m F_m} + 0,06 \cdot K_2 \cdot \frac{D^2 (1 - \beta)}{2\pi \cdot E \cdot S^3}}$$

$$|Q_k| = |Q_m|$$

$$Q_k = \frac{12,6 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot (132,9 - 80) - 12,6 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot (100 - 80)}{\frac{3}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,00502} + \frac{3}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,0159} + 0,06 \cdot 1,72 \cdot \frac{0,259^2 (1 - 0,7)}{6,28 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,006^3}} = 0,0018 \text{ МН.}$$

Перевіримо умову міцності з'єднання з решіткою:

$$q = \frac{Q_m}{d_n \cdot l_b} \leq [q],$$

де  $l_b$  – глибина вальцовки,  $l_b = 0,03$  м, яка згідно рекомендаціям повинна бути не менше діаметра труби;

$[q]$  – питоме допустиме зусилля, яке забезпечує міцність кріплення,  $[q] = 14,7$  МПа.

$$q = \frac{0,0018}{0,025 \cdot 0,03} = 2,4 < 14,7 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

Висновок:

За результатами розрахунку перевірка умови міцності з'єднання з решіткою виконується. Товщина трубної решітки  $S_{PR} = 0,0176$  м.

#### 4.1.7 Розрахунок фланцевого з'єднання холодильника

Метою розрахунку є вибір та перевірений розрахунок фланців для забезпечення з'єднання трубчатки апарата з еліптичною кришкою, а також забезпечення герметичності з'єднання.

Схема розрахунку фланцевого з'єднання зображена на рисунку 4.8.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		52

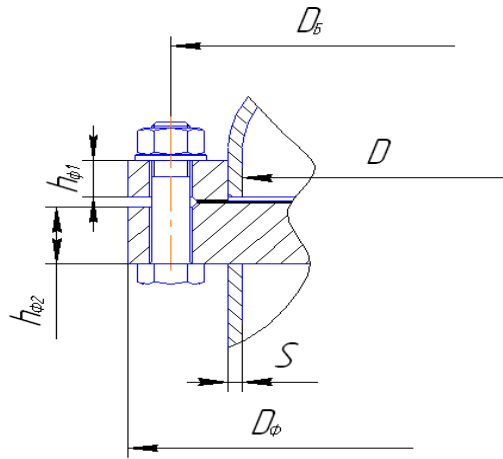


Рисунок 4.8 – Схема фланцевого з'єднання

Вихідні дані :

Для апарата обираємо фланець приварний в стик виконаного з труби з такими параметрами:

Геометричні параметри фланця:

Внутрішній діаметр, м, $D$	0,259;
зовнішній діаметр, $D_{\phi}$	0,370;
діаметр болтового кола, м, $D_B$	0,018;
товщина фланця, м, $h_{\phi}$	0,0177;

Параметри прокладки:

зовнішній діаметр прокладки, м, $D_{\Pi}$	0,301;
ширина прокладки, м, $b$	0,012;
товщина прокладки, м, $h$	0,002;
матеріал прокладки	пароніт;
коефіцієнт, $m$	2,5;
мінімальне питоме навантаження, МПа, $q$	20;
максимальне питоме навантаження, МПа, $q_1$	130;
матеріал фланців	сталь 20;
допустиме напруження, МПа, $[\sigma]_{\text{тф}}^{20}$	160;

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		53

допустиме напруження, МПа, $[\sigma]_{тф}^t$	160;
модуль пружності, МПа, $E$	$2 \cdot 10^5$ ;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, $K^{-1}$ , $\alpha_{\phi}^t$	$16 \cdot 10^{-6}$ ;
внутрішній тиск, МПа, $P$	0,3;

Параметри болтів:

кількість болтів, $z^B$	8;
різьба болтів	M16;
матеріал болтів	сталь 35;
допустиме напруження, МПа, $[\sigma]_B^{20}$	140;
допустиме напруження, МПа, $[\sigma]_B^t$	160;
модуль пружності, МПа, $E$	$1,91 \cdot 10^5$ ;
коефіцієнт відносного лінійного розширення, $K^{-1}$ , $\alpha_{\phi}^t$	$13,1 \cdot 10^{-6}$

Методика розрахунку згідно [15, 16].

Далі опишемо результати розрахунків, що містять елементи порядку розрахунку.

Розрахункова температура елементів фланцевого з'єднання, в залежності від температури середовища, за ОСТ 26 – 373 – 78.

$$t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 132,9 = 127,58.$$

$$t_{\phi} = 0,95 \cdot t = 0,95 \cdot 132,9 = 126,25.$$

Допустиме напруження для болтів для сталей різних марок в залежності від температури ОСТ 26 – 373 – 78.

Вибираємо Сталь 35 для болтів фланцевого з'єднання, так як  $P_R \leq 2,5 \text{ МПа}$ .

$T_R =$  від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $300^{\circ}\text{C}$  за ГОСТ 1759 – 70.

$$[\sigma] = [\sigma_1] + \frac{[\sigma]_2 - [\sigma]_1}{T_2 - T_1} = 126 + \frac{120 - 126}{200 - 100} (100 - 127,58) = 124,34 \text{ МПа}.$$

Запас міцності для болтів, ОСТ 26 – 373 – 78.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		54

Для вуглецевої сталі:

$$\sigma_T / \sigma_B = 253 / 124,3 = 2,035 > 0,7.$$

Затяг болтів контролюється:

$$n_T = 2,4,$$

$$n_D = 1,8,$$

$$n_n = 1,1.$$

При великих розрахункових температурах:

$$[\sigma_\sigma] = 105,41 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження для приварних фланців:

– для перерізу  $S_1$  (в місці з'єднання втулки з плоским фланцем).

$$[\sigma_{\phi 1}] = \sigma_{T.\phi}$$

За графіком знаходимо  $N$ .  $N = 3 \cdot 10^6$ .

Вибираємо прокладку за ОСТ 26 – 373 – 78.

Плоска, неметалічна прокладка. Пароніт  $P_R \leq 2,5 \text{ МПа}$ , температура від 473К до 673К.

Ширина уплотнюючої прокладки  $b_n$  в залежності від її конструкції, матеріалу і діаметра апарату  $D$ , ОСТ 26 – 373 – 78. При  $D < 1000 \text{ мм}$ ,  $b_n = 12 \text{ мм}$ .

Вибираємо тип фланцевого з'єднання в залежності від тиску і температури.

Так, як фланець плоский приварний:  $\beta = 1$ ,  $S_1 = S_0 = 6 \text{ мм}$ .

Діаметр бортового кола:

$$\begin{aligned} D_\sigma &\geq D + 2 \cdot (2 \cdot S_0 + d_\sigma + 0,006) = \\ &= 0,259 + 2 \cdot 2(2 \cdot 0,006 + 0,016 + 0,006) = 0,327 \text{ м}, \end{aligned}$$

де  $d_\sigma$  – діаметр болта,  $d_\sigma = 0,016 \text{ м}$ .

Діаметр болтів, розрахункова площа їх поперечного перерізу  $f_\sigma$ , діаметр отворів під болт, значення величин  $a, e_1$ , за ОСТ 26 – 373 – 78:

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		55

$$d_o = 16 \text{ мм}, f_o = 1,41 \cdot 10^4 \text{ м}^2, a = 36 \text{ мм}, e_{\text{min}} = 26 \text{ мм}.$$

Зовнішній діаметр фланця:

$$D_\phi \geq D_o + a = 0,327 + 0,036 = 0,363 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр прокладки:

$$D_n = D_o - e = 0,327 - 0,026 = 0,301 \text{ м}$$

Середній діаметр прокладки для плоских прокладок:

$$b_E = 0,5 \cdot b_n = 0,5 \cdot 0,012 = 0,006 \text{ м},$$

де  $b_n$  – ширина прокладки при  $b_n \leq 15 \text{ мм}$ ,  $b_n = 0,012 \text{ м}$ .

Розраховуємо орієнтовну кількість болтів:

$$z_o = \frac{\pi \cdot D_o}{t_o} = \frac{3,14 \cdot 0,327}{0,123} = 8,35,$$

де  $t_o$  – крок болта в залежності від  $d_y$  за ОСТ 26 – 373 – 78,  $t_o = 0,123$ .

Вибираємо необхідні величини для прокладки:

$$m = 2,5, q = 20 \text{ МПа}, [q] = 130 \text{ МПа}, E_n = 2000 \text{ МПа}.$$

Приймаємо кількість болтів:  $z = 8$ .

Допоміжні величини:

– коефіцієнт  $\chi$ :

$$\chi = 1 + (\beta - 1) \cdot \frac{\chi}{\chi + (\beta - 1)/4} = 1,$$

де при  $\beta = 1$ ,  $\chi = 1$ .

– еквівалентна товщина втулки фланця:

$$S_E = S_o = 0,006 \text{ м}.$$

– орієнтовна товщина фланця:

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D_{S_E}} = 0,381 \cdot \sqrt{0,363} = 0,0177 \text{ м},$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт, який визначається за графіком,  $\lambda = 0,381$ .

– безрозмірний параметр:

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		56

$$\omega = [1 + 0,9\lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1} = [1 + 0,9 \cdot 0,381(1 + 0,99 \cdot 0,98)]^{-1} = 0,9708$$

$$\text{де } j = \frac{h}{S_E} = \frac{0,0177}{0,006} = 2,95,$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg k = 1,28 \cdot \lg 1,401 = 0,99,$$

$$\text{де } k = \frac{D_\phi}{D} = \frac{0,363}{0,259} = 1,401.$$

– безрозмірний параметр:

$$T = \frac{k^2(1 + 8,55 \cdot \lg k) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot k^2) \cdot (k - 1)} =$$

$$= \frac{1,401^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,401) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,401^2) \cdot (1,401 - 1)} = 7,12$$

$$\psi_2 = \frac{k + 1}{k - 1} = \frac{1,401 + 1}{1,401 - 1} = 5,98$$

Кутова піддатливість фланців, 1/Н·м:

$$y_\phi = \frac{(1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)) \cdot \psi_2}{h^3 \cdot E_\phi} =$$

$$= \frac{(1 - 0,9708 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,381)) \cdot 5,98}{0,0177^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 6,13 \frac{1}{\text{Н} \cdot \text{м}},$$

де  $E_\phi$  – модуль поздовжньої пружності матеріалу фланців,  $E_\phi = 2 \cdot 10^5$  Па.

Кутова піддатливість плоскої фланцевої кришки:

$$y_{кр} = \frac{x_{кр}}{h_{кр}^3 \cdot E_{кр}} = \frac{19,77}{1,109} = 17,83,$$

де

$$x_{кр} = \frac{0,67 \cdot [k_{кр}^2 \cdot (1 + 8,55 \lg k_{кр}) - 1]}{(k_{кр} - 1) \cdot \left[ k_{кр}^2 - 1 + (1,857 \cdot k_{кр}^2 + 1) \cdot \left( \frac{\delta_{кр}}{h_{кр}} \right)^3 \right]} =$$

$$= \frac{0,67 \cdot (1,401^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,401) - 1)}{(1,401 - 1) \cdot \left[ 1,401^2 - 1 + (1,857 \cdot 1,401^2 + 1) \cdot \left( \frac{0,006}{0,0177} \right)^3 \right]} = 19,79$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				57

де  $\delta_{кр}$  – товщина плоскої кришки,  $\delta_{кр} = 0,006 м$ ,

$h_{кр}$  – товщина фланцевої частини кришки,  $h_{кр} = 0,0177$ ,

$k_{кр}$  – конструктивний коефіцієнт для фланців,  $k_{кр} = 1,401$ ,

$E_{кр}$  – модуль повздовжньої міцності матеріалу фланцевої кришки,

$$E_{кр} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Лінійна піддатливість прокладки, м/Н:

$$y_n = \frac{h}{\pi \cdot D_{c.n.} \cdot b \cdot E_n} = \frac{0,006}{3,14 \cdot 0,311 \cdot 0,012 \cdot 2000} = 2,56 \cdot 10^{-4}$$

Розрахункова довжина болта:

$$l_{\sigma} = l_{\sigma 0} + 0,28 \cdot d = 0,036 + 0,28 \cdot 0,018 = 0,04101 м.$$

Безрозмірний коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання:

$$\begin{aligned} \alpha_{\phi} &= A_{\phi} \cdot (y_B + 0,25(B_{\phi 1} + B_{\phi 2})(D_B - D_{cn})) = \\ &= 6,18 \cdot (6,13 + 0,25 \cdot (0,6 \cdot 2) \cdot (0,363 - 0,311)) = 0,912 \end{aligned}$$

де,  $A_{\phi}$  – параметр жорсткості фланцевого з'єднання, Н/м:

$$\begin{aligned} A_{\phi} &= (y_n + y_B + 0,25 \cdot (y_{\phi 1} + y_{\phi 2}) \cdot (D_B - D_{cn})^2)^{-1} = \\ &= (2,56 \cdot 10^{-4} + 6,13 + 0,25 \cdot (6,13 \cdot 2) \cdot (0,363 - 0,311)^2)^{-1} = 6,18 \end{aligned}$$

При з'єднанні однакових фланців 1 і 2:

$$y_{\phi 1} = y_{\phi 2}; B_1 = B_2,$$

$$y_{\phi 1} = y_{\phi} = 6,13 - \text{коефіцієнт,}$$

$$y_{\phi 1} = y_{\phi 2} = y_{кр} = 6,13 - \text{коефіцієнт.}$$

Параметр жорсткості фланців. 1/Н:

$$B_{\phi} = y_{\phi} \cdot (D_B - D - S_E) = 6,13 \cdot (0,363 - 0,259 - 0,006) = 0,6 \frac{1}{H}.$$

Безрозмірний коефіцієнт фланцевого з'єднання:

$$\gamma = A_{\phi} \cdot y_B = 6,18 \cdot 6,13 = 37,88.$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				58

Розрахунок фланцевого з'єднання працюючого під дією внутрішнього тиску. Навантаження, діюче на фланцеве з'єднання від внутрішнього надлишкового тиску.

Рівнодіюча внутрішнього тиску, Н:

$$Q_g = 0,785 \cdot D_{cn}^3 \cdot p_R = 0,785 \cdot 0,052^3 \cdot 0,28 = 3,32 \cdot 10^{-5} \text{ Н.}$$

Реакція прокладки в робочих умовах, Н:

$$R_n = 2 \cdot \pi \cdot D_{cn} \cdot b_E \cdot m \cdot p_R = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,052 \cdot 0,006 \cdot 0,28 = 0,253 \text{ Н.}$$

де  $b_E$  - ефективна ширина прокладки,  $b_E = 0,006$  м;

$m$  – коефіцієнт прокладки,  $m=2,5$ .

Зусилля, що виникає від температурної деформації фланцевого з'єднання, Н:

$$\begin{aligned} Q_t &= \gamma \cdot z_B \cdot f_B \cdot E_B (\alpha'_\phi \cdot t_\phi - \alpha'_B \cdot t_B) = \\ &= 37,88 \cdot 8 \cdot 2000 \cdot (16 \cdot 10^{-6} \cdot 126,25 - 13,1 \cdot 10^{-6} \cdot 127,58) = 220,59 \text{ Н.} \end{aligned}$$

Монтажне болтове навантаження фланцевого з'єднання за різних умов розрахунку, Н:

$$P_{B1} = \max \left\{ \alpha \cdot Q_d + R_n; \pi \cdot D_{n.cp} \cdot b_E; 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot z_B \cdot f_B \right\} = 533 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

$$P'_{B1} = 0,92 \cdot 3,32 \cdot 10^{-5} = 3,02 \cdot 10^{-5},$$

$$P''_{B1} = \pi \cdot D_{n.cp} \cdot b_E = 3,14 \cdot 0,104 \cdot 0,006 = 3,918 \cdot 10^{-4},$$

$$P'''_{B1} = 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot z_B \cdot f_B = 0,4 \cdot 140 \cdot 8,35 \cdot 1,41 \cdot 10^4 = 533 \cdot 10^4.$$

$$M_{01} = 0,5 \cdot P_{B1} \cdot (D_\sigma - D_{n.cp}) = 0,5 \cdot 533 \cdot 10^4 \cdot (0,325 - 0,104) = 588,9 \text{ кПа}$$

Болтове навантаження за робочих умов, Н:

$$\begin{aligned} P_{B2} &= P_{B1} + (1 - \alpha) Q_d + Q_t = \\ &= 588,9 \cdot 10^3 + (1 - 0,912) \cdot 3,32 \cdot 10^{-5} + 220,59 = 222,31 \cdot 10^3 \text{ Па} \end{aligned}$$

Приведений вигинаючий момент в діаметральному перерізі фланця:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				59

$$M_{02} = 0,5 \cdot P_{B2} \cdot (D_{\sigma} - D_{н.сп}) + Q_t (D_B - D - S_E) \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} =$$

$$= 0,5 \cdot 222,31 \cdot 10^3 \cdot (0,327 - 0,104) + 3,32 \cdot 10^{-5} \cdot (0,104 - 0,259 - 0,006) \cdot \frac{140}{160} =$$

$$= 52,87 \text{ kПа}$$

Умова міцності болтів:

$$\frac{P_{B1}}{z_B \cdot f_B} \leq [\sigma_B]^{20}$$

$$\frac{588965}{8 \cdot 2000} \leq 140,$$

$$36,8 \leq 140$$

Умова міцності болтів виконується.

Крутячий момент на ключі при затяжці болтів,  $M_{кр}$  знаходимо по рисунку 13.19:

$$M_{кр} = 0,15 \cdot 10^3 \text{ Мн} \cdot \text{м}.$$

Умова міцності прокладки:

$$\frac{P_{B1}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_n} \leq [q]$$

$$\frac{588965}{3,14 \cdot 0,104 \cdot 0,012} \leq 130,$$

$$119,87 \leq 130.$$

Умова міцності прокладки виконується.

Розрахунок плоских приварних фланців. Максимальне напруження в перерізі  $S_1$  фланця спостерігається в місці з'єднання.

$$\sigma_1 = \frac{T \cdot M_0 \cdot \omega}{D^* \cdot (S_1 - c_1)^2} = \frac{1,78 \cdot 588,9 \cdot 10^3 \cdot 0,9708}{0,265 \cdot (0,006 - 0,0005)^2} = 364,4 \text{ МПа}.$$

де  $T$  – безрозмірний параметр,  $T=1,78$ ;

$M_0$  – розрахункове значення приведенного вигинаючого моменту,  
 $M_0 = 588,9 \cdot 10^3 \text{ Мн} \cdot \text{м}.$

$$D^* = D \text{ при } D \geq 20 \cdot S_1 \geq 0,12.$$

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		60

$$D^* = D + S_0 = 0,265 \text{ при } D < 20 \cdot S_1, \psi_3 > 1$$

$\psi_3$  – параметр знаходиться за таблицею,  $\psi_3 = 2,1$ .

Максимальне напруження в перерізі  $S_0$  фланця спостерігається в місці з'єднання втулки з обичайкою, або днищем:

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \sigma_1 = 2,1 \cdot 364,4 = 765,24 \text{ МПа.}$$

Напруження в кільці фланця від дії  $M_0$  (МПа):

$$\begin{aligned} \sigma_k &= \frac{M_0 [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_3}{D \cdot h^2} = \\ &= \frac{588,9 \cdot 10^3 \cdot [1 - 0,9708 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,381)]}{0,259 \cdot 0,0177^2} \cdot 6 = 433,8 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

де  $\psi_3$  – параметр, який знаходиться за графіком,  $\psi_3 = 6$ .

Напруження на втулці фланця від внутрішнього тиску:

$$\sigma_x = \frac{p \cdot D}{2(S_0 - c)} = \frac{0,3 \cdot 0,259}{2 \cdot (0,006 - 0,0008)} = 7,47 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_x = \frac{p \cdot D}{4(S_0 - c)} = \frac{0,3 \cdot 0,259}{4 \cdot (0,006 - 0,0008)} = 3,73 \text{ МПа.}$$

Умова міцності фланця:

– в перерізі  $S_1$ :

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_\epsilon^2 + \sigma_1 \cdot \sigma_\epsilon} \leq [\sigma_1];$$

$$\sqrt{364,4^2 + 433,8^2 + 364,4 \cdot 433,8} \leq 364,4,$$

$$349,821 \leq 364,4.$$

– в перерізі  $S_0$ :

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_y)^2 + \sigma_x^2 - (\sigma_0 + \sigma_y) \cdot \sigma_x} \leq \varphi \cdot [\sigma_0];$$

$$565,26 \leq 612,192.$$

Умови міцності виконуються.

У випадку не виконання хоча б однієї із умов, потрібно збільшити товщину фланця  $h$ :

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		61

$$\theta = \frac{\sigma_{\kappa} \cdot D}{E_{\phi} \cdot h} \leq [\theta];$$

$$\theta = \frac{433,8 \cdot 0,259}{2 \cdot 10^5 \cdot 0,0177} = 0,00317.$$

$$0,00317 \leq 0,013.$$

Умова виконується.

При  $Q_t < 0$  повинна виконуватись умова.

$$[\sigma_B]^t \cdot z_B \cdot f_B > P_{B2};$$

$$160 \cdot 8 \cdot 1,41 \cdot 10^4 - 220,59 > 222,31 \cdot 10^4,$$

$$584,1 \cdot 10^4 > 222,31 \cdot 10^4.$$

Умова виконується.

Розрахунок фланцевого з'єднання, працюючого під спільною дією внутрішнього надлишкового тиску, зовнішньої осьової сили Р і вигинаючими моментами М. Болтове навантаження в умовах монтажу:

$$P_{B1} = \max \left\{ \alpha \cdot (Q_g \pm P) + R_n + \frac{4 \cdot M}{D_{n.c.p.}}; \pi \cdot D_{n.c.p.} \cdot b_E \cdot q; 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot z_B \cdot f_B \right\} = 631,2 \text{ кПа.}$$

$$P_{B1} = 0,912 \cdot (3,32 \cdot 10^{-2} \pm 0,301) + 0,253 + \frac{4 \cdot 823,5 \cdot 10^3}{0,104} = 314,3 \text{ кПа.}$$

$$P_{B1} = 3,14 \cdot 0,104 \cdot 0,006 \cdot 20 \cdot 10^6 = 39,187 \text{ кПа,}$$

$$P_{B1} = 0,4 \cdot 140 \cdot 8 \cdot 1,41 \cdot 10^4 = 631,2 \text{ кПа.}$$

Болтова загрузка в робочих умовах:

$$P_{B2} = P_{B1} + (1 - \alpha) \cdot (Q_o \pm P) + Q_t + \frac{4 \cdot M}{D_{n.c.p.}} =$$

$$= 631,2 \cdot 10^3 + (1 - 0,912) \cdot (3,32 \cdot 10^{-2} \pm 0,301) + 220,59 + \frac{4 \cdot 823,5 \cdot 10^3}{0,104} = 323,04 \cdot 10^3$$

Розрахунок фланцевого з'єднання, працюючого під спільною дією зовнішнього надлишкового тиску, зовнішньої осьової сили Р і вигинаючими

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				62

моментами М. Болтове навантаження в умовах монтажа:

$$P_{B1} = \max \left\{ \pi \cdot D_{н.сп.} \cdot b_E \cdot q; 0,4 \cdot [\sigma_B]^{20} \cdot z_B \cdot f_B \right\} = 631,68 \text{ кПа.}$$

Болтове напруження в робочих умовах:

$$P_{B2} = P_{B1} - Q_g + Q_t = 631,68 \cdot 10^3 - 3,32 \cdot 10^{-2} + 220,59 = 631,9 \text{ кПа.}$$

Приведені вигинаючі моменти в діагональному перерізі:

$$M_{01} = 0,5 \cdot D_{A1} \cdot (D_{\dot{a}} - D_{i.\dot{n}\dot{o}.}) =$$

$$= 0,5 \cdot 631,68 \cdot 10^3 \cdot (0,327 - 0,104) = 70,432 \cdot 10^3$$

$$M_{02} \cdot \left[ D_{A2} \cdot (D_{\dot{A}} - D_{i.\dot{n}\dot{o}.}) - Q_g \cdot (D_{i.\dot{n}\dot{o}.} - D - S_E) \right] \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t} =$$

$$= 0,5 \cdot (631,9 \cdot 10^3 \cdot (0,327 - 0,104)) - 3,32 \cdot 10^{-2} \cdot (0,104 - 0,259 - 0,006) \cdot 0,875 = 70,457 \cdot 10^3$$

Висновок:

За результатами розрахунку у відповідність з розрахунком, визначені значення напружень в болтах, в небезпечних перерізах фланців, не перевищують допустимих для матеріалів деталей, а отже обране фланцеве з'єднання підходить до умов експлуатації даного апарата.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		63

## 4.2 Параметричний розрахунок реактора

Метою розрахунку є визначення кількості обертів мішалки та вибір нормалізованої конструкції апарата.

Схема розрахунку зображена на рисунку 4.9

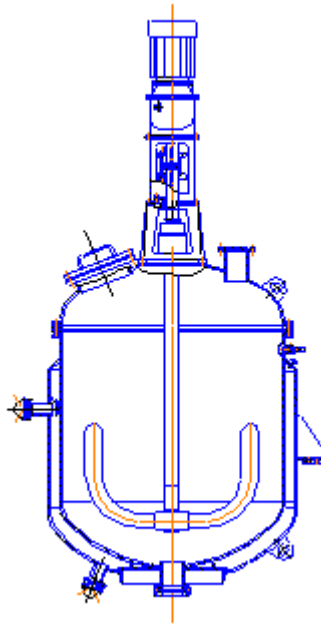


Рисунок 4.9 – Схема апарата

Вихідні дані:

Тип мішалки	якірна
Температура співполімерізації, $K, \theta_{сп}$	373;
коефіцієнт теплопровідності, $\frac{Вт}{м \cdot K}, \lambda$	0,2;
теплоємність розчину полімеру, який подається до реактора, $\frac{кДж}{кг \cdot K}, c_p$	2,4;
густина стиролу, $\frac{кг}{м^3}, \rho$	1049;
об'єм апарату, $м^3, V_{ап}$	5;

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		64

діаметр апарату, м, $D_{ап}$	1,6;
поверхня теплообміну, $m^2, F$	8,94;
температурний напір, $\Delta\theta$	15;
кількість обертів мішалки, $\frac{об}{с}, n$	1...40;
діаметр мішалки, м, $d_M$	1,2;
коефіцієнт заповнення реактора, $\varphi$	0,7;
ступінь конверсії, %, $\omega$	30;
початкова концентрація, %, $c_H$	5;
показник неньютонівської поведінки, $m$	0,7

Методика розрахунку згідно з [17].

Програма, алгоритмічна схема та таблиця ідентифікаторів знаходиться у Додатку Г.

Варіанти розрахунків для різних типів мішалок знаходяться у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Варіанти розрахунків для різних типів мішалок.

	Якірна	Лопатева	Стрічкова
D, діаметр апарату	1,6	1	1,2
F, поверхня теплообміну	8,94	4,2	6,64
$d_m$ , діаметр мішалки	1,2	0,7	0,93

Кількість початкового продукту, що потрапляє до реактора і кількості реакційної маси:

Кількість обертів мішалки:  $n=5$ ;

$$G_{p.k} = G_{p.m} = \frac{V_{c.n} \cdot \varphi \cdot W_{c.n} \cdot \rho}{\omega - c_H} \quad (4.1)$$

де  $W_{c.n}$  – швидкість сополімеризації.

$$W_{c.n} = 0,1937 \cdot 10^{-2} \cdot (e \cdot 0,0684 \cdot 100) \quad (4.2)$$

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		65

Тепло, яке виділяється в результаті реакції полімеризації:

$$Q_{\text{пол}} = \frac{\omega - c_{\text{H}}}{100} \cdot G_{\text{р.м}} \cdot q \cdot 1,163 \quad (4.2)$$

де  $q$  – питома теплота реакції полімеризації,  $q = 168 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ .

Теплота дисипації:

$$Q_{\text{дис}} = \frac{a \cdot n^3 \cdot \rho \cdot d_{\text{М}}^5}{\text{Re}} \quad (4.3)$$

де  $\text{Re}$  – критерій Рейнольдса,

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot n^{2-m} \cdot d_{\text{М}}}{K} \cdot (4 \cdot \pi)^{1-m} \quad (4.4)$$

де  $K$  – коефіцієнт консистенції,  $K = 708 \cdot 10^{-0,011 \cdot \theta_{\text{сн}}} = 708 \cdot 10^{-1,1} = 56,24$ .

Коефіцієнт Прандтля:

$$\text{Pr} = \frac{c_{\text{p}} \cdot K \cdot n^{m-1}}{\lambda} \cdot (4 \cdot \pi)^{m-1} \quad (4.5)$$

Критерій Нусельта:

$$\text{Nu} = C \cdot (\text{Re})^a \cdot (\text{Pr})^b \cdot \left( \frac{K}{K_{\text{СТ}}} \right)^c \quad (4.6)$$

де  $a$  – коефіцієнт,  $a=0,67$ ;

$b$  – коефіцієнт,  $b=0,33$ ;

$c$  – коефіцієнт,  $c=0,18$ ;

$C$  – коефіцієнт,  $C=0,374$ .

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot \text{Nu}}{d_{\text{М}}} \quad (4.7)$$

Ефективний коефіцієнт тепловіддачі:

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		66

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha - \frac{Q_{\text{дис}}}{F \cdot \Delta\theta} \quad (4.8)$$

Кількість обертів мішалки: n=10;

Теплота дисипації:

$$Q_{\text{дис}} = \frac{a \cdot n^3 \cdot \rho \cdot d_{\text{М}}^5}{\text{Re}} \quad (4.9)$$

де Re – критерій Рейнольдса.

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot n^{2-m} \cdot d_{\text{М}} \cdot (4 \cdot \pi)^{1-m}}{K} \quad (4.10)$$

Коефіцієнт Прандтля:

$$\text{Pr} = \frac{c_p \cdot K \cdot n^{m-1}}{\lambda} \cdot (4 \cdot \pi)^{m-1} \quad (4.11)$$

Критерій Нусельта:

$$\text{Nu} = C \cdot (\text{Re})^a \cdot (\text{Pr})^b \cdot \left( \frac{K}{K_{\text{СТ}}} \right)^c \quad (4.12)$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot \text{Nu}}{d_{\text{М}}} \quad (4.13)$$

Ефективний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha - \frac{Q_{\text{дис}}}{F \cdot \Delta\theta} \quad (4.14)$$

Кількість обертів мішалки: n=15;

Теплота дисипації:

$$Q_{\text{дис}} = \frac{a \cdot n^3 \cdot \rho \cdot d_{\text{М}}^5}{\text{Re}} \quad (4.15)$$

де Re – критерій Рейнольдса.

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot n^{2-m} \cdot d_{\text{М}} \cdot (4 \cdot \pi)^{1-m}}{K} \quad (4.16)$$

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		67

Коефіцієнт Прандтля:

$$\text{Pr} = \frac{c_p \cdot K \cdot n^{m-1}}{\lambda} \cdot (4 \cdot \pi)^{m-1} \quad (4.17)$$

Критерій Нусельта:

$$\text{Nu} = C \cdot (\text{Re})^a \cdot (\text{Pr})^b \cdot \left( \frac{K}{K_{\text{СТ}}} \right)^c \quad (4.18)$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot \text{Nu}}{d_{\text{М}}} \quad (4.19)$$

Ефективний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha - \frac{Q_{\text{дис}}}{F \cdot \Delta\theta} \quad (4.20)$$

Кількість обертів мішалки:  $n=20$ ;

Теплота дисипації:

$$Q_{\text{дис}} = \frac{a \cdot n^3 \cdot \rho \cdot d_{\text{М}}^5}{\text{Re}} \quad (4.21)$$

де  $\text{Re}$  – критерій Рейнольдса.

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot n^{2-m} \cdot d_{\text{М}}}{K} \cdot (4 \cdot \pi)^{1-m} \quad (4.22)$$

Коефіцієнт Прандтля:

$$\text{Pr} = \frac{c_p \cdot K \cdot n^{m-1}}{\lambda} \cdot (4 \cdot \pi)^{m-1} \quad (4.23)$$

Критерій Нусельта:

$$\text{Nu} = C \cdot (\text{Re})^a \cdot (\text{Pr})^b \cdot \left( \frac{K}{K_{\text{СТ}}} \right)^c \quad (4.24)$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		68

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{d_M} \quad (4.25)$$

Ефективний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha - \frac{Q_{\text{дис}}}{F \cdot \Delta\theta} \quad (4.26)$$

Кількість обертів мішалки: n=25;

Теплота дисипації:

$$Q_{\text{дис}} = \frac{a \cdot n^3 \cdot \rho \cdot d_M^5}{Re} \quad (4.27)$$

де Re – критерій Рейнольдса.

$$Re = \frac{\rho \cdot n^{2-m} \cdot d_M \cdot (4 \cdot \pi)^{1-m}}{K} \quad (4.28)$$

Коефіцієнт Прандтля:

$$Pr = \frac{c_p \cdot K \cdot n^{m-1}}{\lambda} \cdot (4 \cdot \pi)^{m-1} \quad (4.29)$$

Критерій Нусельта:

$$Nu = C \cdot (Re)^a \cdot (Pr)^b \cdot \left( \frac{K}{K_{\text{СТ}}} \right)^c \quad (4.30)$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{d_M} \quad (4.31)$$

Ефективний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha - \frac{Q_{\text{дис}}}{F \cdot \Delta\theta} \quad (4.32)$$

Кількість обертів мішалки: n=30;

Теплота дисипації:

$$Q_{\text{дис}} = \frac{a \cdot n^3 \cdot \rho \cdot d_M^5}{Re} \quad (4.33)$$

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		69

де  $Re$  – критерій Рейнольдса.

$$Re = \frac{\rho \cdot n^{2-m} \cdot d_M}{K} \cdot (4 \cdot \pi)^{1-m} \quad (4.34)$$

Коефіцієнт Прандтля:

$$Pr = \frac{c_p \cdot K \cdot n^{m-1}}{\lambda} \cdot (4 \cdot \pi)^{m-1} \quad (4.35)$$

Критерій Нусельта:

$$Nu = C \cdot (Re)^a \cdot (Pr)^b \cdot \left( \frac{K}{K_{ст}} \right)^c \quad (4.36)$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{d_M} \quad (4.37)$$

Ефективний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{эф} = \alpha - \frac{Q_{дис}}{F \cdot \Delta\theta} \quad (4.38)$$

Кількість обертів мішалки:  $n=35$ ;

Теплота дисипації:

$$Q_{дис} = \frac{a \cdot n^3 \cdot \rho \cdot d_M^5}{Re} \quad (4.39)$$

де  $Re$  – критерій Рейнольдса.

$$Re = \frac{\rho \cdot n^{2-m} \cdot d_M}{K} \cdot (4 \cdot \pi)^{1-m} \quad (4.40)$$

Коефіцієнт Прандтля:

$$Pr = \frac{c_p \cdot K \cdot n^{m-1}}{\lambda} \cdot (4 \cdot \pi)^{m-1} \quad (4.41)$$

Критерій Нусельта:

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		70

$$Nu = C \cdot (Re)^a \cdot (Pr)^b \cdot \left( \frac{K}{K_{CT}} \right)^c \quad (4.42)$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{d_M} \quad (4.43)$$

Ефективний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha - \frac{Q_{\text{дис}}}{F \cdot \Delta\theta} \quad (4.44)$$

Кількість обертів мішалки: n=40;

Теплота дисипації:

$$Q_{\text{дис}} = \frac{a \cdot n^3 \cdot \rho \cdot d_M^5}{Re} \quad (4.45)$$

де Re – критерій Рейнольдса.

$$Re = \frac{\rho \cdot n^{2-m} \cdot d_M}{K} \cdot (4 \cdot \pi)^{1-m} \quad (4.46)$$

Коефіцієнт Прандтля:

$$Pr = \frac{c_p \cdot K \cdot n^{m-1}}{\lambda} \cdot (4 \cdot \pi)^{m-1} \quad (4.47)$$

Критерій Нусельта:

$$Nu = C \cdot (Re)^a \cdot (Pr)^b \cdot \left( \frac{K}{K_{CT}} \right)^c \quad (4.48)$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{d_M} \quad (4.49)$$

Ефективний коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha - \frac{Q_{\text{дис}}}{F \cdot \Delta\theta} \quad (4.50)$$

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		71

При даній кількості обертів мішалки було розраховано технологічні параметри реактора. Для знаходження оптимальної кількості обертів мішалки будемо графік.

Розрахунок додаткової мішалки:

Теплота дисипації:

$$Q_{\text{дис}} = \frac{a \cdot n^3 \cdot \rho \cdot d_M^5}{\text{Re}}$$

де  $\text{Re}$  – критерій Рейнольдса.

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot n^{2-m} \cdot d_M}{K} \cdot (4 \cdot \pi)^{1-m} + 30\%$$

Коефіцієнт Прандтля:

$$\text{Pr} = \frac{c_p \cdot K \cdot n^{m-1}}{\lambda} \cdot (4 \cdot \pi)^{m-1}$$

Критерій Нусельта:

$$\text{Nu} = C \cdot (\text{Re})^a \cdot (\text{Pr})^b \cdot \left( \frac{K}{K_{\text{СТ}}} \right)^c$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot \text{Nu}}{d_M}$$

Залежність потужності перемішування від числа обертів зображено на рисунку 4.11

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		72

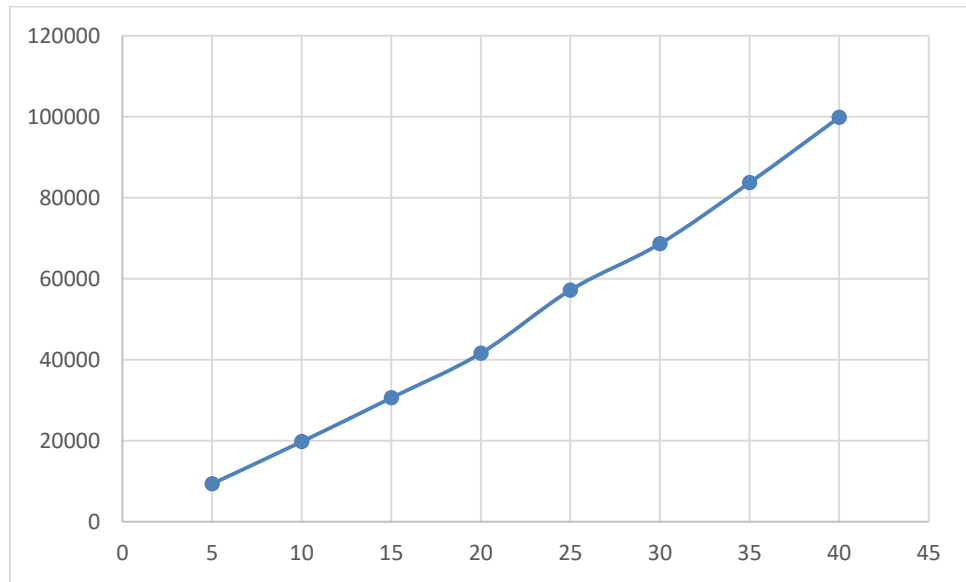


Рисунок 4.11 – Залежність потужності перемішування від числа обертів  
 Перепад в т.  $n_a$  викликається тим, що проведено підймання лопатей 8.

Залежність числа обертів від коефіцієнта тепловіддачі зображено на  
 рисунку 4.12.

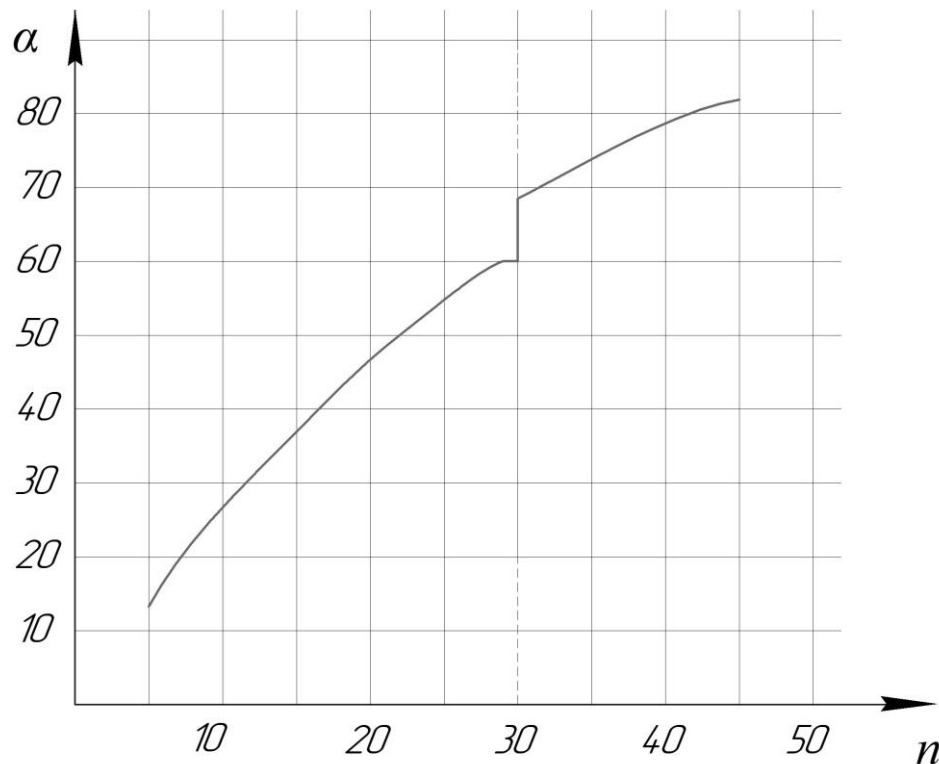
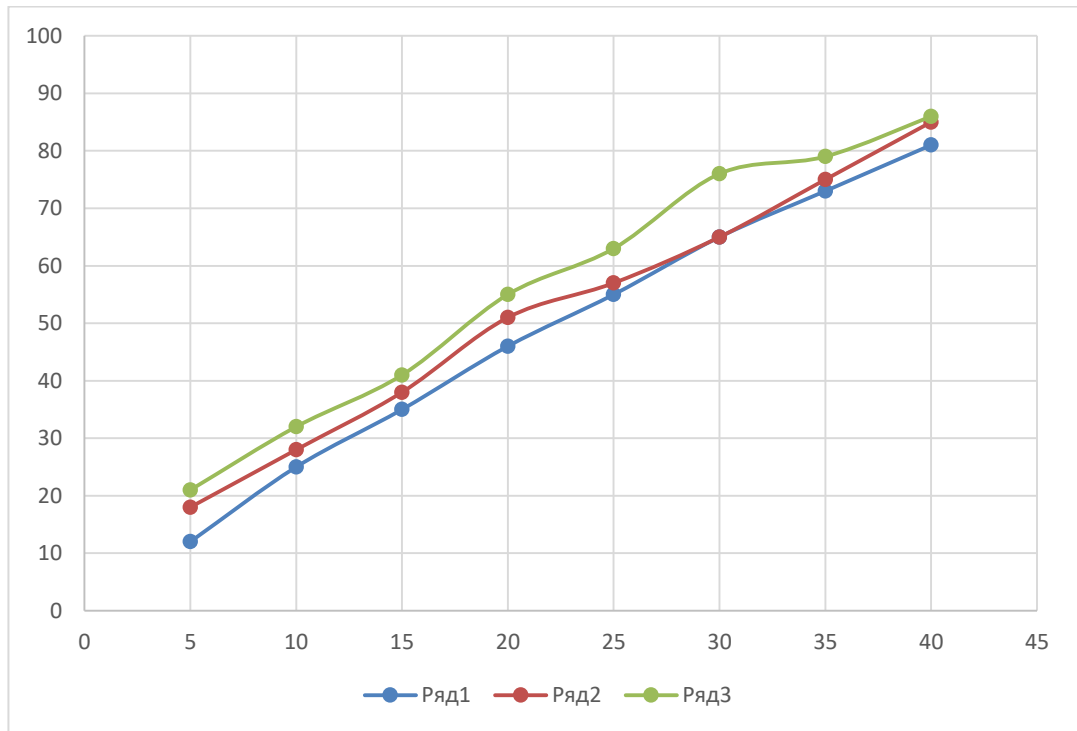


Рисунок 4.12 – Залежність числа обертів від коефіцієнта тепловіддачі

Графік залежності ефективності перемішування мішалок зображено на  
 рисунку 4.13.



1 – якірна, 2 – лопатєва, 3 – стрічкова

Рисунок 4.13 – Графік залежності ефективності перемішування мішалок

За рекомендацією [17] для якірного типу мішалки оптимальна кількість оборотів становить 25...40. Приймаємо:  $n_{\text{опт}} = 30$  об/с.

Тепло, яке відводиться із реактора разом з реакційною масою:

$$Q_{p.m} = G_{p.m} \cdot c_p \cdot \theta_{\text{сп}} \quad (4.51)$$

Тепло, яке було відняте рубашкою з реакційної маси:

$$Q_{\text{руб}} = \alpha \cdot F \cdot \Delta\theta \quad (4.52)$$

Тепло, яке надходить з розчином каучуку в стиролі:

$$Q_{p.k} = G_{p.k} \cdot c_p \cdot t_p \quad (4.53)$$

де  $t_p$  – температура стиролу перед подачею до реактора,  $t_p = 323K$ .

Загальна кількість тепла, яка надходить до реактора:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{p.k} + Q_{\text{пол.}} + Q_{\text{дис}} \quad (4.54)$$

Теплові витрати в навколишнє середовище:

$$Q_{\text{втр.}} = 0,06 \cdot Q_{\text{прих.}} \quad (4.55)$$

Кількість теплоти, яку ми можемо відвести з реактора:

$$Q_{\text{вит.}} = Q_{\text{р.м}} + Q_{\text{втр.}} + Q_{\text{руб.}} \quad (4.56)$$

У таблиці 4.2 наведено результати розрахунків для різних типів мішалок.

Таблиця 4.2 - Результати розрахунків.

Якірна			
п, кількість обертів	10	20	30
α, коефіцієнт тепловіддачі	22,4	26,3	28,5
$Q_{\text{пол}}$ , кількість тепла, яке підводиться до реактора	2103,8	2605,9	2835,5
$Q_{\text{прих}}$ , кількість тепла реакції полімеризації	4580,6	5103,0	5967,0
$Q_{\text{відв}}$ , кількість тепла, яке відводиться від реактора	4800,3	5102,3	5333,8

Лопатева			
п, кількість обертів	10	20	30
α, коефіцієнт тепловіддачі	4,3	6,8	9,2
$Q_{\text{пол}}$ , кількість тепла, яке підводиться до реактора	3500,9	4100,3	4471,0
$Q_{\text{прих}}$ , кількість тепла реакції полімеризації	5102,3	5300,8	5924,6
$Q_{\text{відв}}$ , кількість тепла, яке відводиться від реактора	3803,5	4208,3	4691,7

Стрічкова			
n, кількість обертів	10	20	30
$\alpha$ , коефіцієнт тепловіддачі	17,3	21,2	22,3
$Q_{пол}$ , кількість тепла, яке підводиться до реактора	1800,3	2103,8	2235,5
$Q_{прих}$ , кількість тепла реакції полімеризації	3800,5	3800,3	4014,9
$Q_{відв}$ , кількість тепла, яке відводиться від реактора	3100,8	3358,6	4986,8

Висновок: За результатами розрахунку було розраховано технологічні параметри і знайдено кількість обертів мішалки  $n=30$ об/с так як для нашої в'язкості це буде найкраща кількість обертів, а робоча площа теплообміну  $F=8,94$  м<sup>2</sup>.

## 4.2.2 Розрахунок вала реактора

### 4.2.2.1 Розрахунок вала реактора на вібростійкість

Мета розрахунку: вибір режимів роботи валів і геометричних параметрів, при яких кутова частота вимушених коливань вала буде знаходитись в потрібному співвідношенні з частотою його власних коливань.

Схема розрахунку вала на вібростійкість зображено на рисунку 4.11.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		76

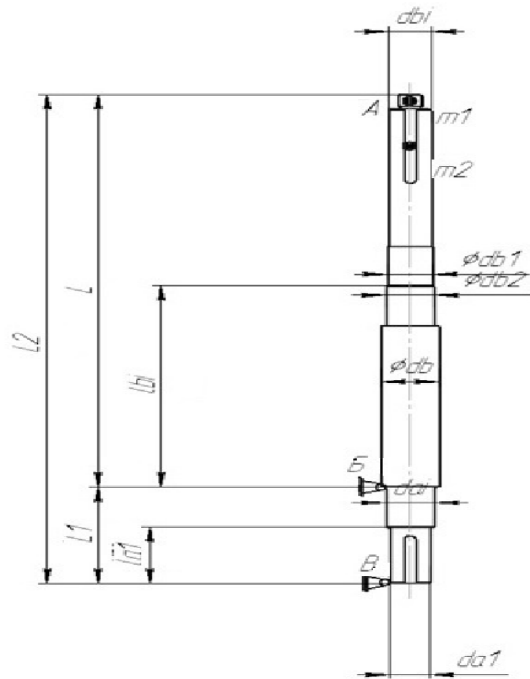


Рисунок 4.11 – розрахункова схема консольного ступінчатого вала

Вихідні дані:

Довжина прольоту $L_1$ , м	0,5;
довжина консолі $L$ , м	2,0;
довжина валу $L_2$ , м	2,5;
густина матеріалу $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7850;
модуль пружності матеріала вала, Е, Па	$2 \cdot 10^{11}$ ;
частота обертів вала $n$ , с <sup>-1</sup>	30;
потужність $N$ , кВт	2,5

Методика розрахунку згідно [18].

Відносна довжина консолі:

$$L'_1 = \frac{L}{L_2} = \frac{1,05}{1,32} = 0,45.$$

Відносна довжина прольоту:

$$L' = \frac{L_1}{L} = \frac{3,5}{1,05} = 3,31.$$

Відносні координати центрів ваги деталей:

- на консолі

$$l'_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{0,45}{0,53} = 0,65.$$

$$l'_2 = \frac{l_2}{L} = \frac{0,53}{0,53} = 1.$$

Коефіцієнт ,що враховує вплив маси деталі в прольоті на його прогин:

$$K_1 = f(l_i, L'), K = 0,015.$$

Динамічний прогин вала в центрі виги деталі:

$$y_{li} = f(l'_i, L') ; y_{l2} = 0,56 ; y_{l3} = 1.$$

Коефіцієнт враховуючий умову кріплення вала:

$$\eta = 3 \cdot L'_1 = 3 \cdot 3,5 = 10,5.$$

Безрозмірний коефіцієнт:

$$f = \frac{8 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot L_1^2}{\xi^2 \cdot \eta \cdot E} = \frac{8 \cdot 7850 \cdot 319^2 \cdot 1,05^2}{0,7^2 \cdot 13,4 \cdot 2,1 \cdot 10^{11}} = 9,6 \cdot 10^{-3}.$$

Приведена маса деталей:

- на консолі

$$m_{1j} = m_1 \cdot y_{l1}^2 = 4,4 \cdot 0,56^2 = 1,3098 \text{ кг.}$$

$$m_{2j} = m_2 \cdot y_{l2}^2 = 0,1 \cdot 1^2 = 0,1 \text{ кг.}$$

Сума приведених мас деталей:

$$m_{np} = \sum m_{ij} = 1,098 + 0,1 = 1,198 \text{ кг.}$$

Підкорінні одночлени:

перший  $A_1 = q \cdot f \cdot L_1^2 = 0,25 \cdot 7,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,05^2 = 5,33 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		78

$$\text{другий } A_2 = \frac{8 \cdot m_{np} \cdot f \cdot L}{\pi \cdot \rho} = \frac{8 \cdot 1,198 \cdot 7,6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,05}{3,14 \cdot 7850} = 2,23 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Розрахунковий діаметр вала в опорному перерізі:

$$d_{p6} = \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}} = \sqrt{5,33 \cdot 10^{-4} + \sqrt{(5,33 \cdot 10^{-4})^2 + 2,23 \cdot 10^{-6}}} = 0,026 \text{ м.}$$

Приймаємо  $d_6 = 26 \text{ мм}$ .

Маса 1-го метра довжини вала:

$$m_4 = \frac{\pi \cdot d_6^2 \cdot \rho}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,026^2 \cdot 7850}{4} = 10,7 \text{ кг.}$$

Відносна приведена маса деталей на гладкому валу діаметром  $d_6$ :

$$m_{np}' = m_{np} / (m_4 \cdot L) = 1,198 \cdot 10^{-3} / (10,7 \cdot 1,05) = 2,1 \cdot 10^{-4}.$$

Діаметр вала в перерізі В:

$$d_B = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot N_1}{\pi \cdot \omega \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 4000}{3,14 \cdot 319 \cdot 100 \cdot 10^6}} = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Приймаємо  $d_B = 25 \text{ мм}$ .

Крутний момент, необхідний для подолання сил тертя в сальниковому ущільненні:

$$\begin{aligned} M_{кр} &= [\pi \cdot d_b \cdot S_n \cdot \rho \cdot f_{кин} / 2 \cdot K \cdot f] \cdot (e^{2k \cdot f \cdot h/S} - 1) \cdot \frac{d_6}{2} = \\ &= [3,14 \cdot 0,026 \cdot 0,014 \cdot 7850 \cdot 0,01 / (2 \cdot 0,9 \cdot 7,6 \cdot 10^{-3})] \times \\ &\quad \times (2,75^{2 \cdot 0,9 \cdot 7,6 \cdot 10^{-3} \cdot 0,006 / 0,014} - 1) \cdot \frac{0,026}{2} = 0,19. \end{aligned}$$

Діаметр вала в перерізі :

$$d_{A1} = \sqrt[3]{\frac{16}{\pi \cdot [\tau]} \cdot \left( \frac{N_1 + N_2}{\omega} + M_{\delta\delta} \right)} = \sqrt[3]{\frac{16}{3,14 \cdot 100 \cdot 10^6} \cdot \left( \frac{4000 + 4000}{319} + 0,31 \right)} = 1,08 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Приймаю  $d_{A1} = 30 \text{ мм}$ .

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				79

Діаметр вала в перерізі А:

$$d_{Ai} = \beta_l \cdot d_{A1} = 2,3 \cdot 1,08 \cdot 10^{-2} = 0,025 \text{ м.}$$

Приймаю  $d_{Ai} = 35 \text{ мм.}$

Момент інерції в перерізі А:

$$I_{A1} = \frac{\pi \cdot d_{A1}^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,03^4}{64} = 6,4 \cdot 10^{-10} \text{ м}^4.$$

$$I_{A2} = \frac{\pi \cdot d_{A2}^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,035^4}{64} = 1,88 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Еквівалентний момент інерції прольоту:

$$I_{\text{екв}}'' = I_{A1} \cdot \frac{1}{\frac{I_{A1}}{I_{A2}} + \left(\frac{l_{A1}}{L_1}\right)^3 \cdot \left(1 - \frac{I_{A1}}{I_{A2}}\right)} =$$
$$= 2,59 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{1}{\frac{6,4 \cdot 10^{-10}}{1,88 \cdot 10^{-8}} + \left(\frac{0,065}{0,13}\right)^3 \cdot \left(1 - \frac{6,4 \cdot 10^{-10}}{1,88 \cdot 10^{-8}}\right)} = 3,56 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4.$$

Момент інерції опорного перерізу Б:

$$I_B = \frac{\pi \cdot d_B^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,026^4}{64} = 1,98 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Відносна податливість прольоту:

$$\theta'' = \frac{I_B \cdot L_1}{(I_{\text{екв}}'' \cdot L)} = \frac{1,98 \cdot 10^{-7} \cdot 3,5}{4,42 \cdot 10^{-9} \cdot 0,25} = 1,09.$$

Показник степеня для валу  $d_{A1}, d_{A2}$ :

$$t'' = f(\theta'', m_{\text{пр}}') = 0,3.$$

Відносно координата кінця і-тої ступені на консолі:

$$z_{11}' = \frac{z_{11}}{l_{a1}} = \frac{0,03}{0,026} = 0,86.$$

$$z_{12}' = \frac{z_{12}}{l_{a1}} = \frac{0,03}{0,026} = 0,975.$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				80

Діаметр першої ступені консолі:

$$d_{Б11} = d_{Б} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{d_A^2}{d_{A1}^2}\right) \cdot z_{11}} = 0,026 \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{0,03^2}{0,035^2}\right) \cdot 0,86^{1,9}} = 0,0245.$$

$$d_{Б12} = d_{Б} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{d_A^2}{d_{A1}^2}\right) \cdot z_{12}} = 0,05 \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{0,03^2}{0,035^2}\right) \cdot 0,975^{1,9}} = 0,0356.$$

Коефіцієнти для валів:

$$b_1 = 1 - \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^2 = 1 - \left(\frac{0,03}{0,048}\right)^2 = 0,902.$$

$$b_2'' = L_1 \cdot I_B / (3 \cdot L \cdot I_{екв}) = 0,13 \cdot 2,4 \cdot 10^{-7} / (3 \cdot 0,5 \cdot 3,5 \cdot 10^{-9}) = 4,12.$$

$$b_3'' = 1 / (b_2'' + 1/3) = 1 / (3,5 + 1/3) = 0,154.$$

Відносний приведений коефіцієнт жорсткості ступінчатого консольного вала:

$$K'' = b_3'' \cdot \left[ b_2'' + 1/3 - 2 \cdot b_1 \cdot \left( \frac{1}{t''+1} - \frac{2}{t''+2} + \frac{1}{t''+3} \right) + b_1^2 \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot t''+1} - \frac{1}{2 \cdot t''+2} + \frac{1}{2 \cdot t''+3} \right) \right] =$$

$$= 0,154^2 \cdot \left[ 3,5^2 + 1/3 - 2 \cdot 0,86 \cdot \left( \frac{1}{0,5+1} - \frac{2}{0,5+2} + \frac{1}{0,5+3} \right) + 0,86^2 \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot 0,5+1} - \frac{1}{2 \cdot 0,5+2} + \frac{1}{2 \cdot 0,5+3} \right) \right] = 0,54.$$

Відносна приведена маса реального ступінчатого консольного вала:

$$m_{пр}'' = m_{пр}'' + b_3'' \cdot \left[ \frac{b_2''^2}{3} + 11/60 \cdot b_2'' + \frac{11}{420} - b_1 \cdot \left( \frac{b_2''^2}{t''+3} + \frac{b_2''}{t''+4} + \frac{1}{4 \cdot (t''+5)} - \frac{b_2''}{3 \cdot (t''+5)} - \frac{1}{4 \cdot (t''+6)} + \frac{1}{36 \cdot (t''+7)} \right) \right] =$$

$$= 2,7 \cdot 10^{-4} + 0,154^2 \cdot \left[ \frac{3,5^2}{3} + 11/60 \cdot 3,5 + \frac{11}{420} - 0,86 \cdot \left( \frac{4,47^2}{0,5+3} + \frac{4,47}{0,5+4} + \frac{1}{4 \cdot (0,5+5)} + \frac{1}{3 \cdot (0,5+5)} - \frac{1}{6 \cdot (0,5+6)} + \frac{1}{36 \cdot (0,5+7)} \right) \right] = 4,16 \cdot 10^{-2}.$$

Відносна критична кутова швидкість:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата					81

$$\omega_{\text{кр}}'' = \sqrt{\frac{K''_{\text{пр}}}{m''_{\text{пр}}}} = \sqrt{\frac{0,54}{4,16 \cdot 10^{-2}}} = 2,16 \text{с}^{-1}.$$

Критична швидкість консольного вала :

$$\omega'_{\text{кр}} = \left[ \omega''_{\text{кр}} \cdot d_{\text{Б}} / (4 \cdot L_2^2) \right] \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \left[ 3,79 \cdot 0,048 / (4 \cdot 0,53^2) \right] \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11}}{7850}} = 498,32 \text{с}^{-1}.$$

Умова вібростійкості:

$$\frac{\omega}{\omega_{\text{кр}}''} \leq 0,7 = \frac{319}{498,32} = 0,6876 \leq 0,7.$$

Умова вібростійкості виконується

Висновок: виконано вибір режимів роботи валів і геометричних параметрів, при яких кутова частота вимушених коливань вала буде знаходитись в потрібному співвідношенні з частотою його власних коливань, умова вібростійкості виконується.

#### 4.2.2.2 Розрахунок вала реактора на жорсткість

Мета розрахунку: визначити сумарне зміщення вала від осі обертання у небезпечних по жорсткості перерізах.

Схема розрахунку вала на жорсткість зображено на рисунку 4.12.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		82

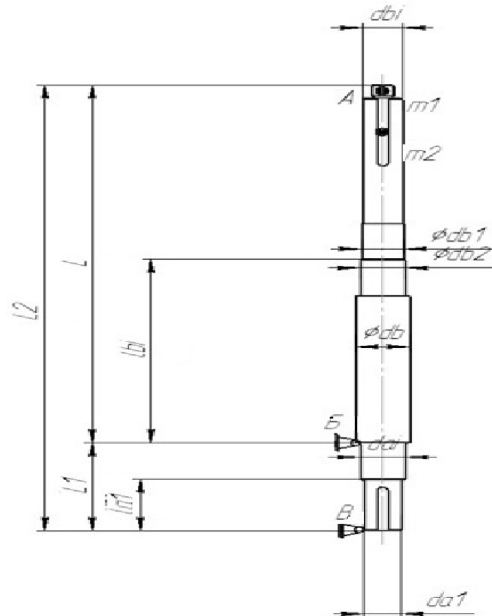


Рисунок 4.12 – розрахункова схема консольного ступінчатого вала

Вихідні дані:

Довжина прольоту $L_1$ , м	0,5;
довжина консолі $L$ , м	2,0;
довжина валу $L_2$ , м	2,5;
густина матеріалу $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7850;
модуль пружності матеріала вала, Па	$2 \cdot 10^{11}$ ;
частота обертів вала $n$ , с <sup>-1</sup>	30;
потужність $N$ , кВт	2,5

Схема розрахунку згідно [18].

Ексцентриситет маси деталі:

$$e_1 = 10^{-3} / \sqrt{w} = 10^{-3} / \sqrt{319} = 5,598 \text{ м.}$$

Відносна координата небезпечного по жорсткості перерізу вала:

$$z_1 = z_{11} / L = \frac{0,05}{1,05} = 4,76 \cdot 10^{-2}.$$

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		83

$$z_2 = z_{12} / L = \frac{0,03}{1,05} = 1,33 \cdot 10^{-2}.$$

Відносна довжина прольоту:

$$L' = \frac{L_1}{L} = \frac{3,5}{1,05} = 3,41.$$

Безрозмірний динамічний прогин в небезпечному по жорсткості перерізі:

$$y_{z1} = 0,045, y_{z2} = 0,043.$$

Відносна координата центру жорсткості деталі:

$$l_1' = l_1 / L = \frac{0,46}{1,05} = 0,438.$$

$$l_2' = l_2 / L = \frac{0,43}{1,05} = 0,38.$$

Безрозмірний динамічний прогин вала в місці установки деталі:

$$y_{11} = 0,25, y_{12} = 0,24.$$

Приведений ексцентриситет маси деталі:

$$e_{pr1} = e_1 / y_{11} = 5,598 / 0,25 = 2,23.$$

$$e_{pr2} = e_1 / y_{12} = 5,598 / 0,32 = 1,74.$$

Маса 1 метру довжини вала:

$$m_l = \pi \cdot d^2 \cdot \rho / 4 = 3,14 \cdot 0,048^2 \cdot 7850 / 4 = 14,19 \text{ кг.}$$

Приведена маса вала:

$$m_{pr'} = 0,25 \cdot m_l \cdot L = 0,25 \cdot 10,39 \cdot 1,05 = 1,98 \text{ кг.}$$

Приведена маса деталей:

$$m_{1pr} = m_1 \cdot y_{11} = 3,34 \cdot 0,25 = 0,106 \text{ кг.}$$

$$m_{2pr} = m_2 \cdot y_{12} = 0,1 \cdot 0,3 = 0,03 \text{ кг.}$$

Сума приведених мас деталей:

$$M_{pr} = m_{1pr} + m_{2pr} = 0,106 + 0,03 = 0,109 \text{ кг.}$$

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		84

Зміщення перерізу вала в точці приведення В, яке зв'язане з зазором в опорах:

$$\Delta_B = \frac{(\Delta_A + \Delta_B) \cdot L_2}{L_1} = \frac{(0,05 \cdot 10^{-3} + 0,018 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,48}{0,13} = 1,34 \cdot 10^{-4}.$$

Приведений ексцентриситет мас деталей:

$$e_{pr1}' = (m_{1pr} \cdot e_{pr1} + m_{2pr} \cdot e_{pr1}) / (M_{pr} + m_{pr}') = \\ = (0,156 \cdot 2,33 + 0,01 \cdot 1,74) / (0,4 + 1,88) = 2,34 \cdot 10^{-5}.$$

Приведений ексцентриситет мас деталей, посаджених на консолі:

$$e_{pr2}' = e_{pr1}' + \Delta_B + E_B = 2,92 \cdot 10^{-5} + 2,18 \cdot 10^{-4} + 0,5 \cdot 10^{-3} = 7,478 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Осьовий момент інерції перерізу вала:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,026^4}{64} = 2,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Відносна приведена маса деталей:

$$M_{pr}' = M_{pr} / (m_l \cdot L) = \frac{0,4}{10,39 \cdot 1,05} = 1,4 \cdot 10^{-2}.$$

Корінь часточного рівняння  $\alpha = 1,53$ .

Перша критична кутова швидкість:

$$w_{kr} = \left(\frac{\alpha}{L}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_l}} = \left(\frac{1,53}{1,05}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 2,6 \cdot 10^{-7}}{10,39}} = 530,2 \text{ с}^{-1}.$$

Динамічний прогин вала в точці приведення:

$$y_B = \frac{e_{pr2}'}{(w_{kr}/w)^2 - 1} = \frac{7,478 \cdot 10^{-4}}{(530,2/319)^2 - 1} = 5,67 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Зміщення перерізу вала в точці кріплення деталі, визване зазорами в опорах :

$$\Delta_{II} = \frac{(\Delta_A + \Delta_A') \cdot (l_1 + L_1)}{L_1} - \Delta_A = \frac{(0,02 \cdot 10^{-3} + 0,027 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,26 + 0,13)}{0,13} - \\ - 0,02 \cdot 10^{-3} = 1,45 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

						ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			85

$$\Delta_{l_2} = \frac{(\Delta_A + \Delta_{\dot{A}}) \cdot (l_2 + L_1)}{L_1} - \Delta_{\dot{A}} =$$

$$= \frac{(0,02 \cdot 10^{-3} + 0,027 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,53 + 0,13)}{0,13} - 0,02 \cdot 10^{-3} = 2,18 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Зміщення небезпечного перерізу вала, визваного зазорами в опорах:

$$\Delta_{z_1} = (\Delta_A + \Delta_{\dot{A}}) \cdot z_1 - \Delta_A = (0,02 \cdot 10^{-3} + 0,013 \cdot 10^{-3}) \cdot 7,4 \cdot 10^{-2} - 0,04 \cdot 10^{-3} = 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

$$\Delta_{z_2} = (\Delta_A + \Delta_{\dot{A}}) \cdot z_2 - \Delta_A = (0,02 \cdot 10^{-3} + 0,013 \cdot 10^{-3}) \cdot 2,6 \cdot 10^{-2} - 0,04 \cdot 10^{-3} = 3,09 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Зміщення перерізу вала в точці кріплення деталі, визваного початковою вгнутістю вала:

$$\varepsilon_{l_1} = \varepsilon_B \cdot y_{l_1} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2 = 0,00025 \text{ м.}$$

$$\varepsilon_{l_2} = \varepsilon_B \cdot y_{l_2} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,28 = 0,00014 \text{ м.}$$

Зміщення небезпечного по жорсткості переріза вала, визваного початковою вгнутістю вала:

$$\varepsilon_{z_1} = \varepsilon_B \cdot y_{z_1} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,04 = 0,00025 \text{ м.}$$

$$\varepsilon_{z_2} = \varepsilon_B \cdot y_{z_2} = 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,032 = 0,0002 \text{ м.}$$

Сумарне динамічне переміщення перерізу вала в точці приведення В:

$$A_B = y_B + \varepsilon_B + \Delta_B = 4,59 \cdot 10^{-2} + 0,5 \cdot 10^{-3} + 1,78 \cdot 10^{-4} = 6,32 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Сумарне динамічне зміщення перерізу вала в центрі маси деталі:

$$A_{l_1} = y_B \cdot y_{l_1} + \varepsilon_{l_1} + \Delta_{l_1} + e_1 = 3,64 \cdot 10^{-2} \cdot 0,25 + 1,87 \cdot 10^{-4} + 5,598 = 3,79 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

$$A_{l_2} = y_B \cdot y_{l_2} + \varepsilon_{l_2} + \Delta_{l_2} + e_1 = 3,64 \cdot 10^{-2} \cdot 0,32 + 1,87 \cdot 10^{-4} + 5,598 = 2,998 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Сумарне динамічне зміщення небезпечного перерізу вала:

$$A_{z_1} = y_B \cdot y_{z_1} + \varepsilon_{z_1} + \Delta_{z_1} = 3,64 \cdot 10^{-2} \cdot 0,045 + 0,00025 + 3,24 \cdot 10^{-4} = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

$$A_{z_2} = y_B \cdot y_{z_2} + \varepsilon_{z_2} + \Delta_{z_2} = 3,64 \cdot 10^{-2} \cdot 0,052 + 0,0002 + 3,2439 \cdot 10^{-4} = 3,23 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Умова жорсткості:

$$A_{z_1} \leq [A_z] = 3,1 \cdot 10^{-4} \leq 2,5 \cdot 10^{-2};$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				86

$$A_{z2} \leq [A_z] = 3,623 \cdot 10^{-4} \leq 3,23 \cdot 10^{-2};$$

$$A_{l1} \leq [A_l] = 3,79 \cdot 10^{-4} \leq 1 \cdot 10^{-2};$$

$$A_{l2} \leq [A_l] = 2,998 \cdot 10^{-4} \leq 1 \cdot 10^{-2}; ,$$

де умови жорсткості:

$$A_{l_i} \leq [A_{l_i}],$$

$$A_{z_i} \leq [A_{z_i}].$$

Умова жорсткості виконується

Висновок: результат розрахунку показав, що сумарне динамічне зміщення вала в центрі мас деталі та сумарне динамічне зміщення вала в небезпечному перерізі не перевищує допустимих значень, отже умова жорсткості виконується.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		87

### 4.2.2.3 Розрахунок вала реактора на міцність

Мета розрахунку: визначити небезпечні за міцністю перерізи валу, знайти еквівалентні напруження у небезпечних перерізах, порівняти допустимі напруження з еквівалентним.

Схема розрахунку вала на міцність зображена на рисунку 4.13.

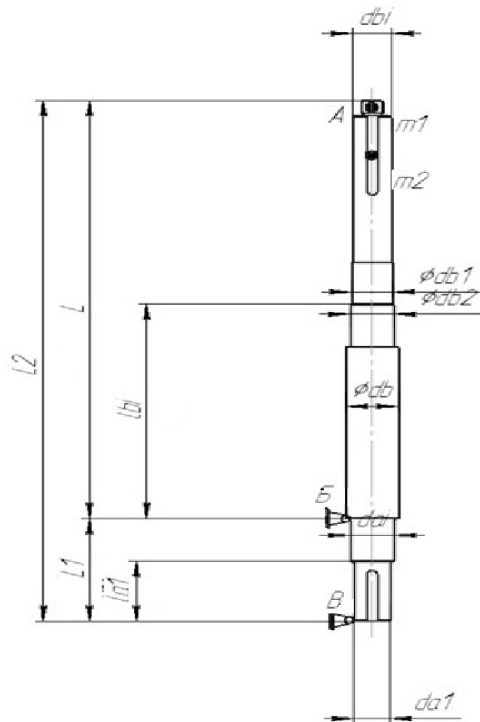


Рисунок 4.13 - Розрахункова схема консольного ступінчатого вала

Вихідні дані:

Довжина прольоту $L_1$ , м	0,5;
довжина консолі $L$ , м	2,0;
довжина валу $L_2$ , м	2,5;
густина матеріалу $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	7850;
модуль пружності матеріала вала, Па	$2 \cdot 10^{11}$ ;
частота обертів вала $n$ , с <sup>-1</sup>	30;

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		88

Методика розрахунку згідно [18].

Зосереджена відцентрова сила, яка діє на деталь:

$$F_1 = m_1 \cdot \omega^2 \cdot A_{l1} = 3,5 \cdot 319^2 \cdot 3,79 \cdot 10^{-4} = 153,33 \text{ Н},$$

$$F_2 = m_2 \cdot \omega^2 \cdot A_{l2} = 0,1 \cdot 319^2 \cdot 2,998 \cdot 10^{-4} = 3,76 \text{ Н},$$

де  $A_{l1}, A_{l2}$  - сумарні динамічні зміщення перерізів вала в центрах мас деталей, розрахованих в розрахунках на жорсткість.

Приведена відцентрова сила обертаючої маси вала:

$$F_{pr} = m_{pr} \cdot \omega^2 \cdot A_b = 0,167 \cdot 319^2 \cdot 6,32 \cdot 10^{-4} = 13,4 \text{ Н. Реакція опори А:}$$

$$R_A = (F_1 \cdot l_1 + F_2 \cdot l_2 + F_{pr} \cdot L_1) / L = (153,33 \cdot 0,46 + 3,37 \cdot 0,53 + 13,4 \cdot 3,5) / 1,05 = 650,4 \text{ Н.}$$

Реакція опори В:

$$R_B = (F_1 \cdot (L + l_1) + F_2 \cdot (L + l_2) + F_{pr} \cdot (L + L_1)) / L =$$

$$= (153,33 \cdot (1,05 + 0,46) + 3,37 \cdot (1,05 + 0,53) + 13,4 \cdot (1,05 + 0,13)) / 0,53 = 843,51 \text{ Н.}$$

Згинаючий момент в небезпечних по міцності перерізах консолі:

$$M_z = F_{pr} \cdot (L_1 - z_{1s}) + F_1 \cdot (l_1 - z_{1s}) + F_2 \cdot (l_2 - z_{1s}) =$$

$$= 13,4 \cdot (0,13 - 0) + 153,33 \cdot (0,46 - 0) + 3,37 \cdot (0,53 - 0) = 84,321 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Крутячий момент в небезпечних по міцності перерізах консолі:

$$M_{kr} = \omega^{-1} \cdot \sum N = 319^{-1} \cdot (4000 + 4000) = 25,07 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Момент опору небезпечних по міцності перерізах:

$$W_z = \pi \cdot d^3 / 32 = 3,14 \cdot 0,026^3 / 32 = 1,043 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Еквівалентне напруження в небезпечних по міцності перерізах:

$$\sigma_z = W_z^{-1} \cdot \sqrt{M_z^2 + M_{kr}^2} = 1,043 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{84,47^2 + 25,07^2} = 8236780 \text{ Па.}$$

Масштабний фактор  $E_M = 0,65$ .

Допустиме напруження на міцність в небезпечних перерізах консолі:

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				89

$$[\sigma_z] = \frac{E_M \cdot \sigma_{-1}}{K_{\sigma_z} \cdot n_{\min}} = \frac{0,65 \cdot 252}{1,46 \cdot 2} = 58,54 \text{ МПа},$$

де  $\sigma_{-1}$  - границя виносливості матеріалу,

$K_{\sigma}$  - ефективний коефіцієнт концентрації напружень.

Умова міцності

$$\sigma_z \leq [\sigma_z] = 8,23 \leq 58,54$$

Умова міцності виконується

Висновок: визначили небезпечні за міцністю перерізи валу, знайшли еквівалентні напруження у небезпечних перерізах, порівняли допустимі напруження з еквівалентним, умова міцності виконується.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		90

## 5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

На підприємстві потрібно розробити безпечні умови праці.

Ці умови включають раціональне використання площі виробничого приміщення та місця розташування необхідного обладнання, правильну експлуатацію обладнання та організацію необхідних технологічних процесів, захистити працюючих від впливу шкідливих умов праці, додержання в виробничих приміщеннях, місцях розташування обладнання та санітарно-гігієнічних норм та правил.

Згідно теми дипломного проекту «Модернізація установки виробництва полістиролу блочним методом з розробкою реактора-полімеризатора та охолоджувача», розглянемо те, що під час функціонування лінії можуть виникати шкідливі фактори для здоров'я людини, необхідно щоб фактори відповідали нормам, які встановлені державними та галузевими стандартами, а також санітарним нормам та правилам.

Дане обладнання обслуговує оператор, який виконує свої робочі обов'язки в окремому приміщенні площею  $S = 6 \text{ м}^2$   $V = 100 \text{ м}^3$ .

При роботі лінії з переробки полімерів будуть наступні шкідливі і небезпечні фактори, які виникають на виробництві:

- електронебезпека;
- параметри повітря робочої зони;
- виробничий шум;
- промислове освітлення;
- вплив деталей машин, що є рухомими та можуть обертаючись (конвеєрів, деталей електродвигунів);
- пожежна небезпека.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		91

### 5.1.1 Електронбезпека

Безпека поразки робітників при експлуатації електроустановок передбачається нормами ПУЕ, згідно яким дане виробництво відноситься до особливо небезпечних , тому що мається декілька факторів небезпеки:

- струмопровідна підлога.

Характеристика електричної мережі :

- напруга  $U_{УСТ} = 380/220$  В;
- частота  $f = 50$  Гц;
- мережа із ізольованою нейтраллю.

Причини електротравм:

- замикання на корпусі;
- порушення режиму ізоляції;
- старіння ізоляції;
- помилкові включення;
- коротке замикання;
- електрична дуга;
- відсутність орієнтувань в електроланцюгах ( проводи мають ізоляцію різного кольору , вивішування спеціальних табличок ( « Висока напруга » , «Йдуть роботи» , ...) , схем розведення проводів і т.ін. );
- відсутність заземлення.

**Захисні заходи при режимі роботи електроустановок:**

Безпечність експлуатації роботи електроустановок забезпечується наступним захисними заходами: використанням ізоляції, недоступністю струмоведучих частин, блокується безпека, методом орієнтації, застосуванням

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		92

малих напруги, ізоляцією електричних мереж від землі, компенсацією ємнісної складової струмо замикання на землю, вирівнюванням потенціалів і застосуванням ізолюючих площадок.

Електрична ізоляція – це конструкція, яка може бути виконана з діелектрика, потім струмопровідні елементи покривають інші конструктивні частини. Завдяки великому опору ізоляція забезпечує безпеку, яка перешкоджає протіканню значних струмів через ізоляцію.

Контролюють стан ізоляції по нормам і в термін, який встановлений правилами.

$$R_{iz} \geq 0,5 \text{ МОм}$$

Стаціонарні огорожі і розташування струмоведучих частин на недосяжній висоті.

Огородження бувають суцільними, сітчастими або змішаними. Огородження обладнуються кришками, дверима, які можуть замикаються на замок.

Блокування можуть поділяти на механічні, електромагнітні та електричні.

Механічні застосовуються у вигляді засувки, що стопорить поворотну частину механізму у відключеному стані. Механічні і електромагнітні блокування у вигляді замків застосовуються на підстанціях для забезпечення певної послідовності включень і відключень.

Вищеописані засоби дозволяють персоналу мати змогу орієнтуватися при виконанні робіт і застерігають його від помилок. Орієнтацію забезпечують маркування частин електрообладнання, попереджувальні сигнали написи і таблички, застережливий знаки "Обережно! Електрична напруга" та інші.

Мала напруга - це номінальна напруга не більше 42В між фазами і по відношенню до землі, що застосовується з метою зменшення небезпеки ураження електричним струмом. Схема заземлення зображена на рисунку 5.1.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		93

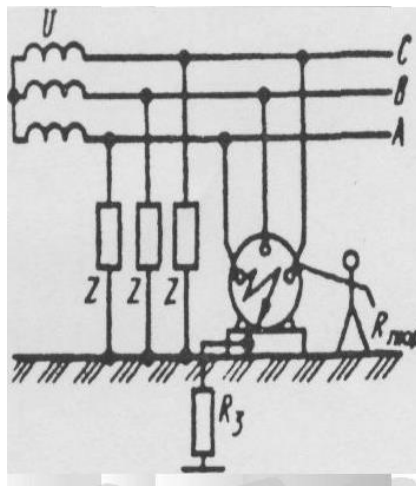


Рисунок 5.1 – Схема заземлення

Струм, проходячи через людину, що доторкнулася до корпусу ушкодженого устаткування (без заземлення):

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}} + \frac{r}{3}} = \frac{220}{5000 + \frac{20000}{3}} = 0,018 \text{ А} = 18 \text{ мА},$$

де  $R_{\text{л}}$  – опір тіла людини, який при розрахунках приймається рівним 5000 Ом;  $U_{\text{ф}}$  – фазна напруга, В;  $r$  – опір стікання, Ом.

Такий струм небезпечний для життя людини.

Тому необхідно розрахунки захисного заземлення.

Загальний опір:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_0}{\sqrt{n}} = 3,5 \text{ Ом}$$

Опір штучного заземлювача:

$$R = \frac{R_e : R_0}{R_e - R_0} = 4 \text{ Ом}$$

Необхідна кількість паралельно розташованих заземлювачів:

$$n = \frac{R_1}{R \cdot \eta} = 6$$

Загальний опір полоси та штирів приймається 5 Ом.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ	94

В якості заземлювачів використовують електроди діаметром 12 мм, довжиною 3 м та в кількості 6 штук.

При заземленні устаткування струм, що проходить через людину буде дорівнювати :

$$I_{\text{л}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{л}} + \frac{r}{3} + \frac{R_{\text{л}} \cdot r}{3 \cdot R_3}} = \frac{220}{5000 + \frac{20000}{3} + \frac{1000 \cdot 20000}{3 \cdot 4}} = 0,00013 \text{ A} = 0,13 \text{ mA},$$

де  $R_3$  – опір заземлення,  $R_3 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_{\text{заг}} = 3,5 \text{ Ом}$

Такий струм безпечний для людини і відповідає ГОСТ 12.1.038-82.

Впровадили наступні заходи безпеки для запобігання травм:

- рубильники включення установки знаходяться в спеціальній шафі;
- силові кабелі поміщені в спеціальні захисні металеві рукава;
- на панелі управління передбачені спеціальні лампи включення установки;
- вузли установки що можуть виявитись під напругою обладнати затискачами для підключення до заземлення.

Для захисту від іскрових розрядів статичного струму проектом передбачено відвід зарядів за рахунок приєднання установки, комунікацій, в яких статичний струм виникає та може накопичуватися, до заземляючого пристрою.

Для захисту від надзвичайних ситуацій, пов'язаних з електронезбезпекою машини оснащена пультом та автоматикою аварійного вимкнення живлення, також оператор працює на ізолюючому від фундаменту помості.

Робота обладнання лінії не утворює специфічних електромагнітних полів.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		95

### 5.1.2 Повітря робочої зони

Енерговитрати людини в цеху досягають 150 ккал/г (172 Дж/с ). Так як в процесі роботи вузли лінії піддаються інтенсивному охолодженню водою, то робочі поверхні нагріваються не вище 45°C.

Робота оператора, який буде обслуговувати лінію відноситься до категорії легких фізичних робіт по ДСН 3.3.6.042-99. Фактичні параметри температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні зводимо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1. Значення величин температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні виробничого приміщення.

Період року	Категорія роботи – легка		
	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
	Фактич.	Фактич.	Факт.
Холодний або перехідний	20 ÷ 23	60 ÷ 50	0,2
Теплий	22 ÷ 25	60 ÷ 40	0,2

Фактичні параметри умов відповідають нормам і забезпечуються заходами: взимку водяним опаленням, температура теплоносія 70-75°C та в літку кондиціонуванням повітря в приміщенні у відповідності з СНІП 2.04.05-86.

У приміщенні передбачена безперервно діюча припливно-витяжна вентиляція. Оптимальний ГДК=1,0 мг/м<sup>3</sup>, за ГОСТ 12.1.005-88 при цьому фактична концентрація=0,5 мг/м<sup>3</sup>, що відповідає ГОСТ 12.1.005-88/98.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		96

Видалення шкідливих речовин, що виділяються при переробці матеріалу забезпечується замовником з допомогою установки зонта над реактором.

Приміщення, де працює лінія, обладнане витяжним зонтом. Повітря робочої зони відповідає ГОСТ 12.1.005-88/98. Схема витяжних зонтів зображена на рисунку 5.2.

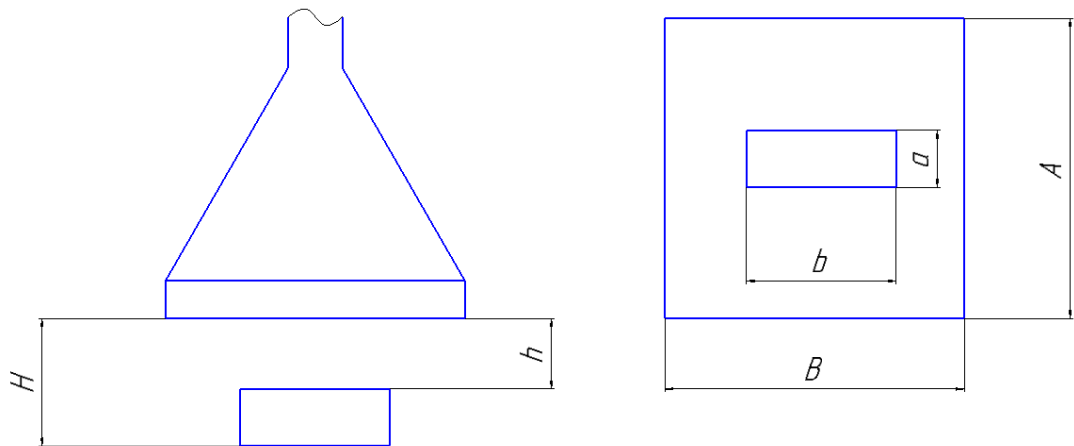


Рисунок 5.2 – Схеми витяжних зонтів

Вихідні дані:

Висота підвісу зонта $H$ , м	1,6;
відстань від пазу зонта до поверхні, що перекривається $h$ , м	0,8;
Ширина поверхні що перекривається $a$ , м	0,7;
Довжина поверхні що перекривається $b$ , м	4;
Відстань від низу зонта до поверхні що перекривається $h$ , м	0,8;
Кут розкриття зонта $\varphi$	60;
Середня швидкість в розрахунковому перерізі зонта $V$ , м/с	0,55;

Розрахунок ведемо за методикою що наведена у літературі [9]

Розміри прямокутної парасолі:

$$A = a + 0,8 \cdot h = 0,7 + 0,8 \cdot 0,8 = 1,34 \text{ м.}$$

$$B = b + 0,8 \cdot h = 4 + 0,8 \cdot 0,8 = 4,64 \text{ м.}$$

Кут зачинення зонти  $\varphi$  маємо приймати не більше  $60^\circ$  (в цьому випадку осьова швидкість в перерізі зонти близька до середньої по всьому перерізу зонти).

Повна висота зонти:

$$h_3 = \frac{A-D}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} + h_6 = \frac{1,34-0,3}{2 \cdot 0,57735} + 0,2 = 1,1 \text{ м,}$$

де  $D$  – діаметр витяжної труби,  $D = 0,3$  м;

$h_6$  – висота борту,  $h_6 = 0,2$  м.

Площа витяжної зони прямокутної парасолі:

$$F = A \cdot B = 1,34 \cdot 4,64 = 6,22 \text{ м}^2.$$

Об'єм повітря, що видаляється витяжною трубою від парасольки:

$$L = 3600 \cdot F \cdot V = 3600 \cdot 6,22 \cdot 0,55 = 12,316 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Вибираємо осьовий вентилятор МЦ-7 за [9] з заданими характеристиками:

Продуктивність  $L = 16000 \text{ м}^3/\text{год}$ ; ККД –  $\eta = 0,56$ ; Повний тиск –  $P = 8 \text{ кГ/м}^2$ .

Визначаємо потужність двигуна, кВт:

$$N = \frac{L \cdot k \cdot P}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \cdot \eta_{\Pi}} = \frac{16000 \cdot 1,5 \cdot 8}{3600 \cdot 102 \cdot 0,56 \cdot 0,6} = 16,245$$

де  $\eta_{\Pi}$  – ККД передачі,  $\eta_{\Pi} = 0,6$ .

Потужність електродвигуна  $N$  розраховується з коефіцієнтом запасу  $k = 1,5$ .

Приймаємо електродвигун потужністю  $N = 16$  кВт з кількістю обертів  $n = 950$  об/хв.

Гранично допустимі концентрації і клас небезпечності шкідливих речовин, що виділяються, відповідає ГОСТ 12.1.005-98.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		98

### 5.1.3 Захист персоналу від шуму

Джерелом шуму при роботі лінії є:

- електродвигуни;
- транспортери;
- приводи робочих органів;
- живильники.

Це відповідає рівню звука на робочому місці приблизно 95дБа.

Тому потрібно прийняти наступні міри до послаблення шуму:

- змащування всіх поверхонь, що труться ( $\Delta L=6-7$ дБа);
- використання захисних засобів, наприклад, кожух( $\Delta L= 6-7$ дБа);
- збільшення фундаменту у 2 рази технологічних машин( $\Delta L= 5-7$ дБа);;
- встановлення резинових прокладок( $\Delta L= 5$ дБа);;
- використання шумопонижуючих з'єднувальних муфт з полімеру ( $\Delta L= 7-8$ дБа);
- зміна напрямку шуму, наприклад, екран( $\Delta L= 15$ дБа)
- облицювання стін та стелі шумопоглинаючим матеріалом ( $\Delta L= 6-7$ дБа).

Фактичний рівень шуму на робочому місці, що відповідає прийнятим  $L=70$ дБа згідно ДСН 3.3.6.037 – 9. Персонал, який працює безпосередньо в цеху, забезпечуємо протишумовими навушниками ПШН-Б ГОСТ 12.4.051.87, що знижують рівень шуму до 22...28 дБа, і проти шумними вкладишами „Беруши СТ-1” ТУУ 25513947.002-99, що знижують рівень шуму до 16...20 дБа.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		99

### 5.1.4 Промислове освітлення

Проектом передбачається штучне освітлення у всіх приміщеннях і на всіх площадках технологічної лінії.

Штучним джерелом освітлення промислового приміщення в цеху є дугові ртутні лампи ДРЛ-400 потужністю  $N=400$  Вт, у кількості  $n=40$  шт. і забезпечують світловий потік  $\Phi=19000$  лм.

Для зовнішнього освітлення планується використання світильників типу «Широкоизлучатель».

В цеху:

$$E_{\text{факт}} = 300 \text{лк}$$

Охоронне, аварійне і ремонтне освітлення планується з використанням ламп СПО-36/100,  $\Phi=3600$ лм, тому що вони вигідні в експлуатації, не вимагають додаткових пристосувань для включення в мережу. Світильники аварійного освітлення живляться від незалежного джерела.

В операторській використовуємо світлодіодні лампи  $W=8$ Вт,  $\varnothing=80$ мм,  $n=3$ .

Для місцевого освітлення використовується вакуумна лампа розжарювання НВ, що дає освітлення  $E=200$ лк і відповідає до ДБНВ 2.5.28-2006.

Згідно СН 181-70 для підвищення рівномірності розподілу яскравості у полі зору, стеля і стіни виробничих приміщень пофарбовані у салатовий колір. Виробниче обладнання пофарбоване в яскраво-зелені тони, частини що рухаються – яскраво-жовті, а відкриті механізми в яскраво-червоний колір.

Для контролю освітленості використовують люксметри Ю-116 не рідше ніж один раз у рік і кожного разу після ремонту освітлювальної установки.

Оскільки фактичне освітлення в приміщенні цеха складає 100 лк, а згідно ДБНВ 2.5.28-2006 освітленість має бути не менше 150 лк, то необхідно розрахувати пристрій освітлення, який забезпечить виконання нормативної величини освітлення.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		100

### 5.1.5 Вплив деталей машин, що рухаються та обертаються

Небезпечними в даному випадку є обертові частини двигунів і конвеєрів, що знаходяться на лінії. Для запобігання нещасних випадків обертові частини закриті захисними сталевими кожухами. З метою захисту персоналу конвеєри та їхні привідні механізми огорожені захисною сіткою, яка має розміри отворів 10 см. Ця сітка закріплена горизонтально на рухомих шарнірах і спирається кожною стороною на бокові опори конвеєрів. В разі необхідності захисну сітку можна відкинути вертикально вбік.

### 5.2 Надзвичайні ситуації

Пожежа - це неконтрольований процес горіння, який супроводжується знищенням цінностей і створює небезпеку для життя.

Причинами пожежі можуть бути:

- порушення технологічного режиму;
- куріння в невстановлених місцях;
- несправність електрообладнання і електропроводки;
- розряди статичної електрики.

Відповідно з ОНТП 24 - 86 приміщення для даної лінії відносять до категорії В – пожежонебезпечні, так як вони містять горючі речовини (температура займання стиролу – 400°C). У відповідності з СН и П 2.01.02 – 85 клас зони П -Па (ПУЕ), будівля відноситься до 1-го ступеню вогнетривкості. Кількість поверхів не обмежується. Площа поверхів в межах пожежних відсіків не обмежується. Ширина евакоходів – 0,9 м.

Використовуємо – сповіщувачі, вогнегасники(стаціонарні).

Приміщення є вибухо-небезпечним, балони можуть вибухнути. Тому аварійна вентиляція (продуктивність L=8K) без робочої вентиляції.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		101

Автоматично спрацьовує вентиляція при досягненні 20% нижньої концентраційної межі вибуху (НКМВ – 4,8%).

У випадках, коли  $L < 10\%$ , то НКМВ = 0,5% - вентилятори із кольорових металів у вибухо захищеному виконанні.

В цілях протипожежної безпеки в цеху систематично видаляється пил з поверхонь, змащувальні матеріали зберігаються в металевих ящиках у відведених місцях. Засобом захисту від статичної електрики являється заземлення

При виникненні пожежі необхідно, не зволікаючи, вимкнути вентиляцію (як приточну, так і витяжну), зупинити і вимкнути лінію. Також при первинній пожежній небезпеці повинні бути здійсненні первинні заходи пожежегасіння.

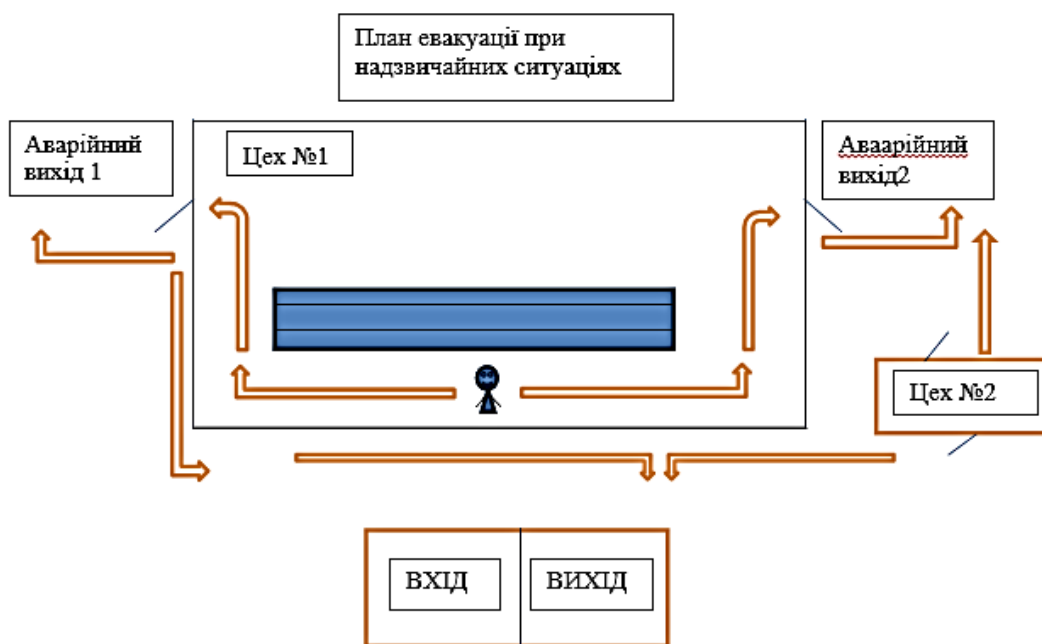


Рисунок 5.3 – Схема евакуації

В приміщенні повинно бути 2 аварійних виходи , перший на початку цеху, другий в кінці. Ширина кожного аварійного виходу не менше 2 м, згідно СНП 2.09.02-85.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				ЛН71мп.066341.001 ПЗ	102

## 6. Рекомендації з виготовлення, монтажу та експлуатації установки

Робота реактора без збоїв залежить від точності складання, монтажу, вивірки взаємного положення вузлів та деталей. При розробці робочої документації на машину, розробляють спеціальну монтажну документацію у відповідності до галузевого стандарту. Монтаж обладнання повинен виконуватись у відповідності з вимогами СНП 3.05.05:

1. Монтаж провести у відповідності з вимогами технічної документації, в якій викладені конструктивні і технологічні особливості реактора:

- монтажно-складальні, монтажні-установочні креслення;
- технічні вимоги заводу-виробника.

2. Монтажу вузлів і частин повинно передувати виконання повного об'єму будівельних робіт.

3. Розпакування обладнання виконують з урахуванням технологічної послідовності складання та монтажу.

4. Для монтажу та подальшого обслуговування цех, в якому проводиться монтаж, повинен мати кран, з двома візками, вантажопідйомністю не менше 15 т.

5. Поставні блоки, які підвішуються до крюків підйомного механізму, повинні бути міцно та надійно закріплені. При цьому:

- стропи повинні бути накладені на блок, що піднімається, без вузлів та перекручувань, та повинні забезпечити стійкість блоків в час підйому.
- на гострих ребрах, блоку що підіймається, під стропи повинні бути підкладені прокладки, для запобігання від перегинів під гострим кутом і перетирання.

6. Перед монтажем ретельно оглянути блоки з метою виявлення ушкоджень при транспортуванні та перевірити відповідність фундаменту вимогам креслення.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		103

7. При експлуатації реактора необхідно виконувати правила техніки безпеки та вимоги виробничих інструктажів, для працюючих на даному підприємстві.

### **6.1.2 Рекомендації, щодо експлуатації реактора**

Надійна та тривала робота при мінімальному зношуванні деталей можлива при правильному догляді з дотриманням графіку планово-попереджувальних робіт і підтриманні реактора в справному стані.

Необхідно виконувати огляд реактора кожні 6 – 12 місяців для планово-попереджувального ремонту тривалістю 6 – 8 годин. Кожен рік необхідно зупиняти реактор на 2 – 3 дні для проведення більш крупного ремонту.

Мета такого ремонту – своєчасним оглядом обладнання та заміною зношених деталей та вузлів попередити можливість поломки деталей, забезпечити безперебійну роботу обладнання та попередити його неприпустиме зношення. При планово – попереджувальному ремонті огляд обладнання проводять у встановлені графіком строки. Деталі та окремі частини замінити в залежності від їх фактичного зносу. Кожні 5 років виконувати зупинку на 15—30 днів для капітального ремонту.

Необхідно впровадити метод крупноблочного вузлового ремонту. Це дозволить зменшити тривалість та покращити якість виконання ремонтних робіт.

## **6.2 Холодильник**

### **6.2.1 Рекомендації, щодо монтажу холодильника**

Перш ніж приступитися до монтажу встаткування, варто підготувати фундамент (для апаратів з нижніми опорами) або несучі металеві конструкції.

Перед початком роботи з монтажу встаткування необхідно:

- ознайомитися з написами й знаками, нанесеними на впакування, і дотримувати цих вимог;
- зняти впакування з дотриманням необхідних запобіжних заходів, не

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		104

допускаючи ударів по корпусі встаткування, тому що це може привести до ушкодження покриття усередині апаратів; перевірити наявність і комплектність поставки, наявність повноту технічної й товаросупроводжувальної документації, стан окремих вузлів і деталей, відповідність настановних розмірів устаткування;

– зняти пломби й розкрити апарати, а також провести ревізію покриття відповідно до вимог «Положення про поставки продукції виробничо-технічного призначення»;

– при передачі апаратів у монтаж виробляється візуальний огляд цілісності покриття в присутності представника монтажної організації й представника замовника й складається двосторонній акт передачі апаратів у монтаж.

Підготовка й монтаж встаткування, повинні виконуватися робочим і технічним персоналом, "котрі пройшли спеціальний інструктаж. У зв'язку з особливостями монтажу цього встаткування оцінка про проведення інструктажу повинна бути зроблена у відповідному документі.

Монтаж встаткування повинен проводитися відповідно до вимог технічної документації й дійсної інструкції.

Стропування окремих складальних вузлів й апаратів при підйомі й установці їх у проектне положення повинна вироблятися у відповідності зі схемами, зазначеними в паспорті апарата.

Кількість затискачів і болтів на апаратах повинне відповідати зазначеному в технічній документації. Затягування болтів і затискачів варто робити спочатку одночасно із протилежних сторін, а потім рівномірно, повертаючи гайки від півобороту до одного оберту(мал. 2). При наявності спеціального шаблона варто контролювати правильність установки затискачів на апараті.

випадку, якщо немає необхідності звільнити кришку апарата від корпусу, встаткування варто монтувати в зібраному виді: установити комплектуючі вироби, що поставляють в окремому впакуванні, і приєднати трубопроводи.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		105

При зборці встаткування між фланцями допускається застосування тільки м'яких неметалічних прокладок (гуми, азбесту шнурового, комбінованих прокладок із фторопластовим чохлам і т.п.).

При монтажі апаратів варто звернути особливу увагу на старанність розконсервації посадкових місць у сполучають деталях, що, і якість зборки шпонкового з'єднання й муфти.

Установку апаратів у строго вертикальному положенні варто здійснювати за допомогою рівня встановлюваного на контрольну площадку.

При установці апаратів їх піддають вивірці по осях.

Вивірка апаратів здійснюється:

- по осях за допомогою натягнутої струни й висків по монтажних мітках (ризикам);
- вертикальність установки на фундаменті - при по моці рівня, установлюваного на контрольній площадці;
- вертикальність вала - по виску або рамному рівні (для апаратів із пристроєм, що переміщує).

Розташування монтажних міток і контрольної площадки зазначені на складальному кресленні. Для вивірки вертикальності апарата можна приймати за базу оброблені поверхні стійки привода або кришки апарата.

### **6.2.2 Рекомендації, щодо експлуатації холодильника**

До експлуатації апарат повинен пройти перевірку всіх витрат, на вході і на виході також перевіряється, тиск всередині апарата та в трубопроводах.

Результати випробувань апарату заносять в акт випробувань на конкретний апарат.

Апарат вважається прийнятим в експлуатацію після підписання акту з боку представників монтажної організації та замовника.

Необхідно виконувати огляд холодильника кожні 6 – 12 місяців для планово-попереджувального ремонту тривалістю 6 – 8 годин. Кожен рік необхідно

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		106

зупиняти холодильник на 2 – 3 дня для проведення більш крупного ремонту.

Мета такого ремонту – своєчасним оглядом обладнання та заміною зношених деталей та вузлів попередити можливість поломки деталей, забезпечити безперебійну роботу обладнання та попередити його неприпустиме зношення. При планово – спопереджувальному ремонті огляд обладнання проводять у встановлені графіком строки. Деталі та окремі частини замінити в залежності від їх фактичного зносу. Кожні 5 років виконувати зупинку на 15—30 днів для капітального ремонту.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		107

## 7. Рівень стандартизації та уніфікації

Стандартизація - установлення й використання правил з метою впорядкування детальності в машинобудуванні на користь і при участі всіх зацікавлених сторін, для досягнення загальної оптимальної економії при виконанні функціональних умов і техніки безпеки.

Уніфікація - приведення продукції і засобів виробництва або їх елементів до однієї форми, розмірам, структури, складу. У техніці - раціональніше зменшення типових розмірів. Машинобудівних об'єктів однакового функціонального призначення; найрозповсюдженіший і найефективніший метод стандартизації.

Коефіцієнт стандартизації реактора:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{256}{442} = 0,57,$$

де N – загальна кількість деталей, N=442,

$n_c$  – стандартні деталі,  $n_c= 256$ ,

$n_3$  – уніфіковані деталі,  $n_3= 16$ .

Коефіцієнт уніфікації реактора:

$$K_y = \frac{n_c + n_3}{N} = \frac{256 + 16}{442} = 0,65,$$

де N – загальна кількість деталей, N=442,

$n_c$  – стандартні деталі,  $n_c= 256$ ,

$n_3$  – уніфіковані деталі,  $n_3= 16$ .

Коефіцієнт стандартизації холодильника:

$$K_c = \frac{n_c}{N} = \frac{120}{130} = 0,92,$$

де N – загальна кількість деталей, N=130,

$n_c$  – стандартні деталі,  $n_c= 120$ ,

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		108

$n_3$  – уніфіковані деталі,  $n_3= 10$ .

Коефіцієнт уніфікації холодильника:

$$K_y = \frac{n_c + n_3}{N} = \frac{120 + 10}{130} = 1,$$

де  $N$  – загальна кількість деталей,  $N=130$ ,

$n_c$  – стандартні деталі,  $n_c= 120$ ,

$n_3$  – уніфіковані деталі,  $n_3= 10$ .

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		109

## 8. Стартап

### 8.1 Опис ідеї проекту

Ідея полягає в створенні апарату для виробництва, який буде більш енергоефективним, тобто зменшивши витрати на перемішування встановленням додаткової мішалки, та збільшити коефіцієнт корисної дії.

Реактор – це апарат, в якому протікає основний процес хімічної технології (утворення нового продукту в результаті важкої взаємодії вихідних матеріалів), повинен працювати ефективно, тобто забезпечувати задану продуктивність та певний гідродинамічний режим.

Вибір конструктивного типу полімеризатора залежить від продуктивності, часу полімеризації, теплового ефекту реакції, реологічних та теплофізичних властивостей середовища, допустимої різниці температур в реакторі, вимоги до якості продукції.

У процесі необхідно забезпечити гідродинамічний режим ідеального перемішування (повного змішування), що обумовлює миттєве вирівнювання концентрації та температури у всьому реакційному об'ємі.

Будь-яке підприємство перебуває і функціонує у середовищі. Аналіз середовища є початковим етапом формування стратегії діяльності підприємства, оскільки забезпечує відповідну базу для визначення місії і цілей його функціонування.

Апарат може бути застосований на будь-якому хімічному підприємстві. Вироби, які виробляються з полістиролу є потрібними кожній людині. Наприклад, пластиковий посуд, для виготовлення іграшок, канцелярських товарів, упаковок, елементів сантехники, оздоблювальних матеріалів та ін.

Мій апарат зможе інтенсифікувати процес, тому підприємства будуть зацікавлені у виготовленні більшого обсягу виробництва даних полімерних матеріалів. Підприємства будуть зацікавлені в купівлі цих апаратів тому і обсяг виробництва зросте. Опис ідеї стартап-проекту показаний в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Інтенсифікація процесу перемішування стирола, для виготовлення більшого обсягу продукції.	1.Виготовлення деталей електро- та радіотехнічної апаратури.	Стійкість.
	2.Виробництво Пінопласта.	Легкість.
	3. Хімічна промисловість.	Хороші теплоізоляційні властивості.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				110

На сьогоднішній день розвиток українського ринку полістиролу, що спінюється, знаходиться на стадії зростання. При чому темпи зростання дуже високі. Це характеризується насамперед зростанням обсягів виробництва пенополістирольної продукції.

Перспективність розвитку споживання пінополістирольної продукції на українському ринку зв'язана, перш за все, з розвитком будівельної галузі.

Пінополістирол, завдяки своїм властивостям, забезпечує необхідні теплотехнічні характеристики об'єктів, що будуються або реконструюються. Однією з основних переваг пінополістиролу є здатність нести відносно високе механічне навантаження при мінімальній щільності. Це в значній мірі визначає можливості його використання в будівництві.

Для визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик. Оскільки аналогічних послуг на ринку не виявлено. Порівняння буде проводитись з продавцями. Найбільш популярними торговими марками є Концерн Стирол та Азот, таблиця 8.2.

Таблиця 8.2. - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Концерн Стирол	Азот			
Новий вид реактора-полімеризатора	Отримується більше кінцевого продукту при такій же потужності	Менша кількість готового продукту.		-	-	+
Додаткова мішалка	Починає працювати при більшій в'язкості продукту.	-		-	-	+
Вартість послуги	Вартість з одиницю сягає від 3000 грн	Вартість з одиницю сягає від 6000 грн		-	-	+

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

## 8.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Реактор – це апарат, в якому протікає основний процес хімічної технології (утворення нового продукту в результаті важкої взаємодії вихідних матеріалів), повинен працювати ефективно., тобто забезпечувати задану продуктивність та певний гідродинамічний режим.

Опис технологічного процесу наведено в пункті 8.1.

Таблиця 8.1 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Інтенсифікувати процес	Забезпечення продуктивності.	Необхідність в доробці.	Дані технології знаходяться відкритому доступі.
2	Встановлення додаткової мішалки	Розробити креслення додаткової мішалки	Дані технології існують. В доробці їх немає необхідності.	Дані технології знаходяться відкритому доступі.
<p>Обрана технологія реалізації ідеї проекту: 1 – Інтенсифікація процесу завдяки встановленню додаткової мішалки.</p>				

Проаналізувавши технологічну здійсненність проекту можна зробити висновок, що проект можна реалізувати. Для реалізації проекту обрано технологію інтенсифікації процесу перемішування зважаючи на необхідність цих методів в доробці.

## 8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата					112

Для цього спочатку проводився аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, таблиця 8.4.

Середня норма рентабельності в галузі 25% вища ніж середній банківський відсоток на вкладення 15%. За попереднім оцінюванням можна сказати, що ринок є привабливим для входження [27].

Таблиця 8.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, млн грн	15
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Фінансові, особистісні, цінові
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	25

Визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи, таблиця 8.5.

Таблиця 8.5-Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Більший вихід кінцевого продукту.	Хімічні підприємства.	Потенційна група клієнтів одна, тому відмінностей немає.	- якість; - економічна ефективність; - ціна.

На сьогоднішній день в Україні існує ряд проблем, які обмежують можливості виробників пінополістиролу.

Головна проблема українського ринку — залежність від імпоротної сировини.

Виробництво ВПС відбувається по застарілих технологіях, заснованих на методі суспензійної полімеризації. Сучасні ж технології виробництва виробів з ВПС засновані на використанні ВПС, отриманому шляхом безперервної полімеризації в масі. Як наслідок, російські переробники ВПС, що мають сучасне устаткування, вимушені використовувати виключно імпортну сировину.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				113

На початку просування власного стартапу мною було заплановано створення власної сторінки в інтернет ресурсах, головним завданням якої буде пошук цільової аудиторії, реклама виробництва продукції.

На даний етап часу основна реклама відбувається в інтернеті. Я б додала свій сайт до пошукової системи GOOGLE – таким чином я повідомлю аудиторію про його існування.

Також можна оптимізувати сторінки для SEO (оптимізація під пошукові системи). Це дасть мені можливість залучити якомога більше людей до мого проекту. Цільова аудиторія має зрости.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводився аналіз ринкового середовища: складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту, таблиця 8.6, та факторів, що йому сприяють таблиця 8.7. Фактори в таблицях подано в порядку зменшення значущості [27].

Таблиця 8.6 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Висока вірогідність появи нових конкурентів	Тенденції зміни числа конкурентів	Зниження ціни
Політичні конфлікти між країнами	Може вплинути на продаж послуги	Зміна напрямків роботи
Політико-правові «Закон України про підприємницьку діяльність «Закони України про ліцензування певних видів господарської діяльності».	Може вплинути на працездатність проекту, Недостатня підтримка державою нових підприємців. Дорого вартісні ліцензії, заборона на діяльність без ліцензії.	Відповідність вимогам законодавства України та країн з якими ведеться співпраця
Соціо-культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів використовувати інноваційні рішення	Використання додаткової мішалки.

Таблиця 8.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Науково-технічний прогрес	За заданою продуктивністю більша кількість продукту.	Розробка нового обладнання та технології. Впровадження даної технології та декларування власної ціни на дану пропозицію
2	Демографічні: Зростання населення	Збільшення попиту на вироби зі стиrolу	Збільшення числа потенційних клієнтів в майбутньому
3	Соціально-культурні: Консервативність поглядів споживачів	Небажання споживачів використовувати нові технології	Використання додаткової мішалки.

Отже, було сформовано можливу реакцію компанії появи нових загроз та можливостей. Після чого проводився аналіз пропозиції: визначалися загальні риси конкуренції на ринку, таблиця 8.8.

Таблиця 8.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції: Олігополістична	Олігополія характеризується небагаточисельністю учасників конкуренції - коли відносно мала (в межах десятку) кількість фірм панує на ринку товарів чи послуг. Небагаточисельність фірм сприяє монополістичним угодам між ними: щодо встановлення цін, розділу чи розподілу ринків або щодо інших способів обмеження конкуренції між ними.	Для цієї моделі характерна висока ймовірність змови щодо асортименту продукції, її обсягу і цінової політики.. Кожний продавець має чітко реагувати на стратегію та дії конкурентів. Якщо будь-який з них знизить ціни, покупці, звичайно, віддадуть перевагу його продукції. Інші конкуренти мусять негайно вжити відповідних заходів: або знижувати ціни, або використовувати нецінові методи (наприклад, впроваджувати додаткові послуги для покупців).
2. Рівень конкурентної боротьби: Національна - конкуренція між компаніями всередині країни	Менше компаній-конкурентів, за рахунок того, що іноземні компанії не конкурують з національними.	Першим кроком орієнтуватися та виходити на національний ринок, збирати зворотній зв'язок, проблеми та побажання. Охоплювати у співпраці максимальну кількість національних клієнтів, спілкуватися з ними особисто. Паралельно працювати над

		іміджем компанії.
3. За галузевою ознакою: Міжгалузева	Полістирол можна використовувати для різних видів виробництва – в будівельній, побутовій, с/г та ін..	Створення апарату, який буде більш удосконалений та вироблятиме у декілька разів більше продукції, при чому енергозатрати будуть менші.
4. Конкуренція за видами товарів: функціональна	Виникає, оскільки будь-яку потребу можна задовольнити по-різному. Отже, товари, за допомогою яких можливо задоволення, виступають конкурентами.	Передбачення способів просування товару та демонстрації його переваг з урахуванням потреб та точок зору різних категорій клієнтів
5. За характером конкурентних переваг: цінова	За рахунок покращення з точки зору клієнта співвідношення ціна/якість підвищується конкурентоспроможність товару	Постійне спостереження та оцінка цінової політики на ринку. Регулювання ціни в комплексі з якістю товару. Просування товару методами, що використовують фактичні розрахунки переваг товару (у чисельному вигляді)
6. За інтенсивністю: марочна	Для вдалого просування, підвищення каналів збуту, кількості клієнтів та партнерів необхідно зарекомендувати себе, створити власне ім'я.	Створення логотипу, нанесення його (або назви) на продукт. Реклама в інтернеті. Збільшення кількості ділових контактів.

#### 8.4 Аналіз умов конкуренції в галузі за Портером

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, таблиця 8.9).

Таблиця 8.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	«Концерн Стирол» (КС) ПАО «Азот» (А) ПАТ «РівнеАзот» (РА)	Основні бар'єри входження на ринок: ефект масштабу великих компаній, недостатність інвестицій, обмежена можливість науково-дослідницьких та досвідно-конструкторських робіт.	Існує загроза інтегрування постачальників в бізнес (відома подібна практика закордоном).	Цінова чутливість покупців. Негативно ставляться до виникнення нових «неперевіреніх» компаній.	Інші фірми виробляють схожу продукцію. Забезпечення продуктивності вище немає.

Висновки:	Основна перевага – досвід, відоме ім'я. Але, за рахунок інновацій, тісного контакту з клієнтом можна заробити імідж та отримати клієнтів.	Можливість входу на ринок існує. Потенційними конкурентами можуть стати схожі підприємства-новатори.	Постачальники диктують умови.	Імпорт з закордону дуже дорогий, тому клієнти будуть спрямовані на купівлю товару в Україні.	Товарів заміників не існує.
-----------	---	--	-------------------------------	--	-----------------------------

Можна зробити висновок, що для того щоб проект був конкурентоспроможним на ринку він повинен бути інноваційним та малозатратним щоб подолати всі бар'єри на стадії розвитку. Та з огляду на конкурентну ситуацію на ринку, доведено потенційні можливості існування стартапу.

На основі аналізу конкуренції, таблиця 8.9, а також із урахуванням вимог споживачів до товару, таблиця 8.5, та факторів маркетингового середовища, таблиці 8.6-8.7, визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [27], таблиця 8.10.

Таблиця 8.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
Доступна ціна	За рахунок зменшення енергозатрат – загальна вартість знижується
Інноваційність технології	Впровадження модернізованого реактора-полімеризатора раніше не було застосовано.
Енерго- та ресурсозбереження	За рахунок встановлення додаткової мішалки, швидкість процесу буде проходити скоріше, тому і виготовлення матеріалу буде в декілька разів більшим.
Адаптованість продукту на суміжні ринки	Використання реактора можливо тільки у сфері виробництва полімерів.
Можливість виходу на закордонний ринок	Інноваційність технології дозволяє впроваджувати реактори не тільки на території України

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 8.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 8.11).

Таблиця 8.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін систем ідентифікації з градієнтним алгоритмом.

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «Стирол-Плюс»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ціна	10	A		КС				M
2.	Інноваційність технології	20				КС	M		
3.	Енерго- та ресурсозбереження	18		A	КС		M		
4.	Адаптованість продукту на суміжні ринки	14				M		A	
5.	Можливість виходу на закордонний ринок	7			M		КС		

M – мій проект;

КС – Концерн Стирол;

A – Азот.

Сильні сторони проекту: більша кількість готового продукту; відносно великий асортимент послуг, що надаються; універсальність застосування модернізованого обладнання.

Слабкі сторони проекту: необхідність розробки додаткової мішалки.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities)), таблиця 8.12, на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, таблиця 8.12 [27].

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

SWOT-аналіз наведено в таблиці 8.12.

Таблиця 8.12 -SWOT- аналіз.

<b>Сильні сторони</b>	<b>Слабкі сторони</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Високий інтелектуальний потенціал проекту</li> <li>- Інноваційність технології</li> <li>- Високий рівень енергозбереження та ресурсозбереження загалом</li> <li>- Адаптованість продукту суміжні ринки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Невідоме «ім'я»</li> <li>- Недостатній рівень фінансування</li> <li>- Висока конкуренція на ринку</li> <li>- Малий досвід роботи на ринку</li> <li>- Низька дохідність проекту.</li> <li>- Необхідність купівлі імпоротної установки</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Можливість виходу на закордонний ринок</li> <li>- Перевага над конкурентним товаром за рахунок малокомпонентності, енергоефективності, екологічної безпеки....</li> <li>- Підвищення продуктивності розробок за рахунок ефективної командної діяльності</li> <li>- Подолання конкуренції за рахунок унікального дизайну систем</li> <li>- Плідна співпраця з постачальниками на взаємовигідних умовах поступок</li> </ul>	
<b>Можливості</b>	<b>Загрози</b>
<p>Науково-технічний прогрес Демографічні: Зростання населення Соціально-культурні: Консервативність поглядів споживачів</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Поява інноваційного промислового обладнання, що не потребує впровадження пропонованих систем</li> <li>- Витіснення конкурентами компанії з ринку</li> <li>- Недостатнє фінансування галузі,</li> <li>- відсутність інвесторів</li> <li>- Недостатність клієнтів-підприємств, що можуть дозволити собі оновлення систем</li> <li>- Витіснення вітчизняного товару закордонним</li> <li>- Зменшення кількості можливих постачальників в умовах кризи</li> </ul>

**Управлінська проблема:**

Удосконалення стратегії просування інновації шляхом формування бренду і спрощення ставлення клієнтів до інновацій

За даним дослідженням в нас посилення сильних сторін за рахунок можливостей.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (таблиця 8.13).

Таблиця 8.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
<b>Загарбник</b>	Значні	Максимум рік
<b>Наступник</b>	Суттєві	Максимум рік

Після аналізу обираємо альтернативу **Загарбник**.

Найоптимальніший шлях вирішення управлінської проблеми – адекватне комбінування напрямів та шляхів розв’язання проблеми; всебічне просування власного бренду; неупинна праця над якістю, енергоефективністю та ергономічністю товару.

## 8.5 Розроблення ринкової стратегії ринку

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, таблиця 8.14, [48].

Таблиця 8.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входження у сегмент
1.	Приватні та державні компанії хімічної та нафтопереробної промисловості	75%	80%	На даний момент конкуренція в нашій країні мала, адже в нас поки це не дуже розвинено.	Спілкуватися з представниками компаній, докладно показуючи свою ідею та підтвердження розрахунками/кресленнями.
2.	Заводи інших галузей промисловості	80%	75%	Якщо брати заводи інших країн до уваги, то конкуренція буде високою.	На ринок буде потрапити важко, бо в основному компанії працюють з відомими фірмами.

Які цільові групи обрано: Для того щоб вийти на ринок необхідно почати працювати з компаніями як і державними так і приватними. Це можуть бути компанії різних галузей промисловості як і будівельної так і хімічної та багато ін. Дане технічне рішення буде цікаве багатьом компаніям, при мінімальних затратах, адже вони будуть виробляти в декілька разів більше продукту.

За результатами аналізу профілю групи споживачів, було визначено цільові групи, таблиця 8.14, для яких пропонується стратегія диференційованого маркетингу [48].

Для роботи в обраних сегментах ринку було сформовано базову стратегію розвитку, таблиця 8.15, [48].

Таблиця 8.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Максимальне збільшення продукту	Масовий маркетинг	Для клієнта це буде дуже цікаво, при таких же енергозатратах продукту буде отримуватися в декілька разів більше.	Стратегія лідерства по витратах
2.	Підписання довгострокових контрактів	Диференційований маркетинг	Супровід обладнання, їх технічне обслуговування, навчання персоналу	Стратегія диференціації

Отже, для роботи в обраних сегментах ринку було обрано стратегію диференціації, яка дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.16, [27].

Таблиця 8.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є «першопрохідцем»?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Ні	В моєму випадку стартап буде цікавий багатьом, адже апарат дозволить виробляти більше продукції.	Апарат є унікальним та запатентованим, продукція буде конкурентною.	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, таблиця 8.4, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку, таблиця 8.14, та стратегії конкурентної поведінки, таблиця 8.15, розроблено стратегію позиціонування, таблиця 5.16, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельний проект [48].

Таблиця 8.17 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1.	1. Аргументована ціна. 2. Супроводження товару 3. Необхідна якість	Стратегія диференціації	1. В декілька разів більше виробництво продукції. 2. Можливість економити на енергії. 3. Програми лояльності за тривалі контракти. 4. Супровід товару.	1. Зменшення енергозатрат. 2. Технічне обслуговування. 3. Програми лояльності.

В результаті виконання даного підрозділу було узгоджено систему рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрям роботи стартап-компанії на ринку.

### 8.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 8.17 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [27].

Таблиця 8.17 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Висока актуальність використання полістиролу в різних галузях	Збільшення виробництва полістиролу. Покращення показника корисної дії.	- Підвищення продуктивності процесу. - Інноваційність технології - Високий рівень енергозбереження. - Адаптованість продукту на суміжні ринки

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару.



Таблиця 8.19. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари - аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1.	150 тис. грн	немає	100-150 тис. грн	Верхня: 200 тис. грн Нижня: 100 тис. грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (таблиця 8. 20).

Таблиця 8.20 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1.	Клієнти хочуть на власні очі бачити обладнання та його тестування перед закупівлею, потребують доставки, встановлення, консультацій, супроводу	Гарантія Тестування Доставка Ремонт Допомога введення у експлуатацію Допомога при запуску	Нульовий рівень. Наша компанія сама встановлює і проектує обладнання. До споживача доходить продукція з усіма необхідними компонентами.	Власна система збуту і домовленість про подальшу співпрацю

При визначенні оптимальної системи збуту було вирішено, що ми будемо проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту).

Останньою і основною складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів, таблиця 8.21, [27].

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				124

Таблиця 8.21 - Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Орієнтована на швидке та ефективне спілкування, бажано спеціалізоване	Спілкування як онлайн (сайти, соц.мережі) так і офлайн (зустрічі, телефонні розмови, виставки тощо). Друкована продукція (каталоги, спецвидання). Документальне оформлення домовленостей	Якість залежить від ціни; Тривале партнерство = лояльні ціни; Вчасно, ефективно і економно.	Ефективна демонстрація переваг продукції залежно від напрямку зацікавленості клієнта	Офіційний стиль. Наочна демонстрація даних (розрахунки, графіки, діаграми). Призначення зустрічей.

Результатом останнього пункту має стати ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				125

## 8.7 Висновки

1. Визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними апаратами найбільш популярних торгових марок, що дозволило нам зробити попередні висновки щодо доцільності реалізації даного проекту;

2. Обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей, так як імовірність отримання ресурсів найбільша, а строк реалізації найменший;

3. Наявність попиту, що визначається потребою підвищення ефективності, енергоефективності, свідчить про можливість ринкової комерціалізації проекту;

4. Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку, оцінки рівня та динаміки конкуренції в базовій та спорідненій галузях, дозволяють стверджувати про перспективи створення та розвитку стартап-проекту.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		126

## Висновок

У дисертації магістра на тему «Модернізація установки виробництва полістиролу блочним методом з розробкою реактора-полімеризатора та охолоджувача»

Модернізація полягає у тому, що запропоноване технічне рішення дозволить зменшити витрати на перемішування та збільшити коефіцієнт корисної дії.

Виконано: опис технологічного процесу, вибір типу холодильника, реактора-полімеризатора та їх місце в технологічній схемі, наведено технічна характеристика апаратів. Описано та обґрунтовано вибір конструкцій холодильника, реактора-полімеризатора і принцип дії основних складальних одиниць та деталей. Виконано параметричні розрахунки охолоджувача та багатоваріантний розрахунок реактора-полімеризатора. За результатами розрахунку виконали поставлену задачу, яку забезпечує реактор-полімеризатор з заданою продуктивністю. Проведено порівняння основних показників розробленої конструкції апаратів з аналогами. Виконане патентне дослідження конструкцій. Розроблено заходи, щодо охорони праці.

В дисертації магістра наведено рекомендації, щодо монтажу та експлуатації, також розроблено старт-ап проект.

Графічна частина проекту складається з десяти креслень формату А1, що містять: технологічну схему виробництва полістиролу, схему автоматизації виробництва полістиролу, складальні креслення холодильника, корпусу холодильника, кришка холодильника, реактора, корпусу реактора, кришка реактора, мішалка, пристосування для свердління отворів. До кожного складального креслення складені специфікації.

За період виконання магістерської дисертації зроблені 3 доповіді на XIII, XIV та XV всеукраїнських науково-практичних конференціях студентів, аспірантів і молодих вчених, а також отримано одну заявку на Патент України на корисну модель «Апарат для перемішування».

									Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	ЛН71мп.066341.001 ПЗ				127

## Вывод

В магистерской диссертации на тему «Модернизация установки производства полистирола блочным методом с разработкой реактора-полимеризатора и холодильника».

Модернизация состоит в том, что предлагаемое техническое решение разрешит уменьшить расходы на перемешивание и увеличить коэффициент полезного действия.

Выполнено: описание технологического процесса, выбор типа теплообменника, реактора и кипятильника и их место в технологической схеме, приведены техническая характеристика аппаратов. Описаны и обоснован выбор конструкций теплообменника, реактора и кипятильника и принцип действия основных сборочных единиц и деталей. Выполнено параметрические расчёты холодильника и многовариантный расчёт реактора-полимеризатора. По результатам расчёта выполнили поставленную задачу, которую исполняет реактор-полимеризатор с заданной продуктивностью. Проведено сравнение основных показателей разработанной конструкции аппаратов с аналогами. Проведенное патентное исследование конструкций. Разработаны мероприятия по охране труда.

В магистерской диссертации приведены рекомендации по монтажу и эксплуатации, также разработаны старт-ап проект.

Графическая часть проекта состоит из десяти чертежей формата А1, содержащие: технологическую схему производства полистирола, схему автоматизации производства полистирола, сборочные чертежи холодильника, корпуса холодильника, крышка холодильника, опора, реактора, корпуса реактора, крышка реактора, мешалка, приспособления для сверления отверстий. К каждому сборочному чертежу составлены спецификации.

За период выполнения магистерской диссертации сделаны 3 доклада на XIII, XIV и XV всеукраинских научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых, а также получено одну заявку на патент Украины на полезную модель «Аппарат для перемешивания».

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		128

## Conclusion

In the Master`s thesis on the theme "Modernization of polystyrene production unit with block method with the development of polymerization reactor and cooler" the polystyrene production unit has been modernized.

The modernization consists of that proposed technical solution will reduce the cost of mixing and increase the efficiency.

In the Master`s thesis technological process is described, the choice of heat exchanger, reactor and boiler and their place in technological scheme are validated, technological characteristics of apparatus are given. Parametric calculations of cooler and multivariant calculation of the reactor-polymerizer have been done. Based on the results of calculation, the problem has been solved by a reactor-polymerizer with specified productivity. Comparisons of basic performance indicators of the developed design of heat exchanger with analogues are made. Patent research of a reactor unit have been carried out. Labour protection measures are developed.

The Master's thesis gives recommendations on installation and maintenance, and a start-up project is also developed.

The graphical part of the project consists of ten drawings of format A1 that contain: technological polystyrene production flow chart, polystyrene manufacturing automation scheme, the heat exchanger assembly drawings, an assembly drawing of heat exchanger shell, a heat exchanger cover, a reactor assembly drawing, an assembly drawing of a reactor shell, a reactor cover, a mixer, a boiler assembly drawing, the drawing of a reactor cover and the instruments for drilling apertures. To each assembly drawing specifications are made.

While working on the Master's thesis, 3 reports have been made at the XIII, XIV and XV All-Ukrainian scientific and practical conferences of students, postgraduates and young scientists, as well as one application for the Patent of Ukraine on the useful model "Mixing Machine" has been received.

					ЛН71МП.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		129

## Перелік посилань

1. Брацихин Е.А., Шульгина Э.С. Технология пластических масс: Учебное пособие для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982. – 328 с
2. Андреев І.А., Зубрій О.Г., Мікульонок І.О. Застосування матеріалів у хімічному машинобудуванні. Сталі й чавуни: Навчальний посібник. – К.: ІЗМН, 1999. – 148 с.
3. Патент № 126278 Україна, МПК(2018.01) B01F 3/08, заявлено 19.01.2018, опубл. 11.06.2018
4. Патент № 129618 Україна, МПК(2011.01) F23B 90/06, заявлено 06.04.2018, опубл. 12.11.2018
5. Патент № 114428 Україна, МПК(2006.01) B01F 7/16, заявлено 26.08.2017, опубл. 10.03.2017
6. Патент № 20672693 Китай, МПК(2006.01) H01F 29/12, заявлено 23.03.2017, опубл. 12.08.2017
7. Патент № 146009 Китай, МПК(2006.01) B01J 19/24, заявлено 23.02.2016, опубл. 31.08.2017
8. Патент № 102358 Україна, МПК(2015.01) F28D 7/00, заявлено 29.04.2017, опубл. 26.10.2017
9. Патент № 128851 Україна, МПК(2018.01) F28D 7/00, заявлено 16.04.2018, опубл. 10.10.2018
10. Патент № 121952 Україна, МПК(2018.01) F28D 7/00, заявлено 12.06.2017, опубл. 26.12.2017
11. Патент № 15592672 США, МПК(2006.01) F28D 1/02, заявлено 11.05.2018, опубл. 14.11.2018
12. Патент № 0023732 США, МПК(2006.01) F16L 19/0286, заявлено 19.07.2017, опубл. 25.01.2018
13. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		130

- 14.Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
- 15.Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры - Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
- 16.Конструювання та розрахунок фланцевих з'єднань: Навч. посібник / В. Г. Доброногов, І. О. Мікульонок. – К.: НМК ВО, 1992. 104с.
- 17.Методичні вказівки по виконанню обчислювальної техніки по курсу “Машини и аппараты химических производств алгоритм расчета реактора-полимеризатора” Киев КПИ 1981,ст.39
- 18.Розрахунок і конструювання машин і апаратів хімічних підприємств / Укл.: Міхалов М.Ф. - М: Машиностроение, - 1984р. – 301ст.
- 19.Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
- 20.Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроение. Справочник технолога. М.: Машиностроение, - 1976. – 288 с.
- 21.Обработка металлов резанием: Справочник технолога / Под ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
- 22.Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т.2.–5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980.–559с., ил.
- 23.Промислові засоби автоматизації: навч. посібник: У 2 ч. Частина 1. Вимірювальні пристрої / А.К. Бабиченко, В.І. Хотинський, В.С. Михайлов, М.О. Подустов, О.В. Пугановський; За заг. ред. А.К. Бабиченка. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003 р. – 470 с.
- 24.Промислові засоби автоматизації: навч. посібник: У 2 ч. Частина 2. Регулювальні і виконавчі пристрої / А.К. Бабиченко, В.І. Хотинський, В.С. Михайлов, В.І. Молчанов, М.О. Подустов, О.В. Пугановський, В.І. Вельма; За заг. ред. А.К. Бабиченка. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003 р. – 658 с.

						ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			131

25. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752 с.

26. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1982. – 772 с.

27. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

28. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.

29. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

30. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20seminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20seminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		132

31. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

32. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

33. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : [http://futurollog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).

34. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступа : [http://futurollog.com.ua/blog\\_konferencia\\_kneu\\_2015\\_12\\_15.phtml](http://futurollog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml).

35. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступа : <http://futurollog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.

					ЛН71мп.066341.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		133