

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Хіміко-технологічний факультет**  
Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів

«До захисту допущено»  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Т.В.Бойко  
(підпис)

“ \_\_\_\_ ” червня 2019 р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**з напрямку підготовки (спеціальності) 6.050202(151) «Автоматизація та комп'ютерно- інтегровані технології»**

**на тему: «Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу  
отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до  
моторних олів»**

Виконала;  
студентка IV курсу, групи ХА-51  
Ткачова Тетяна Петрівна \_\_\_\_\_

Керівник:  
доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Бондаренко С. Г. \_\_\_\_\_

Консультанти:

з хімічної технології доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Безносик Ю.О.

\_\_\_\_\_ (підпис)

з автоматизов. регулювання доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Бондаренко С.Г.

\_\_\_\_\_ підпис

з охорони праці доцент каф. охорони праці, промислової  
та цивільної безпеки, к.т.н., доц Полукаров Ю.О.

\_\_\_\_\_ підпис

з організаційно-економічної частини доц. кафедри економіки і  
підприємництва, к.х.н. доц. Підлісна О.А.

Нормативний контроль доц. каф. КХТП, к.т.н., доц. Шахновський А.М.

Рецензент \_\_\_\_\_

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

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

Студентка; \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Хіміко-технологічний факультет

Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів .

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки (спеціальність) 6.050202 (151) "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_  
Т.В.Бойко  
(підпис)

«19» лютого 2019 р

**ЗАВДАННЯ  
на дипломний проект студенту**

Ткачовій Тетяні Петрівні

1. Тема проекту **Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив**, керівник проекту Бондаренко Сергій Григорович, к.т.н., доц., затверджені наказом по університету від «05» травня 2019 р № 1221-с.

2. Термін подання студентом проекту 11 червня 2019 р

3. Вихідні дані до проекту \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) \_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Полукаров Ю. О. доц. каф. охорони праці, промислової та цивільної безпеки		
Організаційно-економічна частин	Підлісна О.А. доц. кафедри економіки і підприємництва		
Розрахунок матеріальних балансів ХТС	Безносик Ю.О. доц. кафедри кібернетики ХТП		
Розроблення схеми автоматизації ХТС	Бондаренко С.Г. доц. кафедри кібернетики ХТП.		

7. Дата видачі завдання 19 лютого 2019

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту (роботи)	Строк викон. етапів проекту	Примітка
1	Характеристика виробництва, продукції, сировини, допоміжних матеріалів. Комп'ютерно-інтегрований розрахунок матеріальних балансів схеми.		
2	Розрахунок основного апарата. Блок-схема обчислювального модуля (формат А1).		
3	Кресленик (формат А1).		
4	Розробка рішень з контролю та керування виробництвом. Технологічна схема автоматизації (формат А1).		
5	Розробка рішень з охорони праці та економіки і управління виробництвом		
6	Оформлення пояснювальної записки, виконання ілюстративних матеріалів (презентації).		

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Т.П. Ткачова

Керівник проекту

\_\_\_\_\_  
(підпис)

С.Г. Бондаренко.

## РЕФЕРАТ

### КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПРИСАДКА, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ, НАЛАШТУВАННЯ РЕГУЛЯТОРА

Пояснювальна записка 89 с., 11 рис., 26 табл., 3 додатка, 25 джерела.

Темою даного проекту є комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив.

Метою даного проекту є проектування схеми отримання високотемпературної антиокислювальної присадки, розрахунок стаціонарних режимів процесу, ідентифікація температурного об'єкту, розробка схеми автоматизації, розрахунок ПІД-регулятора, розрахунок замкнутої системи регулювання.

В проекті обґрунтовано норми технологічних режимів, наведена та проаналізована технологічна схема отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив.

Виконано комп'ютерне моделювання в програмі – симуляторі ChemCAD 7 і визначені технологічні параметри.

Розроблено обчислювальний модуль для розрахунку налаштувань ПІД-регулятора. Розраховано перехідний процес замкнутої системи регулювання в середовищі Mathcad 15 з визначенням показників якості регулювання.

Розроблено схему автоматизації процесу. Обрані відповідні технічні засоби автоматизації.

Проведено економіко-організаційні розрахунки основних техніко-економічних показників даного виробництва з урахуванням автоматизації виробництва. Розглянуто техніку безпеки проведення виробничого процесу. Наведено технічні рішення з техніки безпеки.

## РЕФЕРАТ

### КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ, ПРИСАДКА, МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС, СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ, УСТАНОВКА РЕГУЛЯТОРА

Пояснительная записка 89 с., 11 рис., 26 табл., 3 приложения, 25 источника.

Темой данного проекта является компьютерное моделирование и автоматизация процесса получения высокотемпературной антиокислительной присадки к моторным маслам.

Целью данного проекта является проектирование схемы получения высокотемпературной антиокислительной присадки, расчет стационарных режимов процесса, идентификация температурного объекта, разработка схемы автоматизации, расчет ПИД-регулятора, расчет замкнутой системы регулирования.

В проекте обоснованно нормы технологических режимов, приведена и проанализирована технологическая схема получения высокотемпературной антиокислительной присадки к моторным маслам.

Выполнено компьютерное моделирование в программе-симуляторе ChemCAD 7 и определены технологические параметры.

Разработан вычислительный модуль для расчета настроек ПИД-регулятора. Рассчитан переходный процесс замкнутой системы регулирования в среде Mathcad 15 с определением показателей качества регулирования.

Разработана схема автоматизации процесса. Выбраны соответствующие технические средства автоматизации. Проведения экономико-организационные расчеты основных технико-экономических показателей данного производства с учетом автоматизации производства. Рассмотрена техника безопасности проведения производственного процесса. Приведены технические решения по технике безопасности.

## **ABSCTRACT**

**COMPUTER MODELING, AUTOMATION, ACCIDENT, MATERIAL  
BALANCE, REGULATOR, REGULATOR**

Explanatory note 89 p., 11 figures, 26 tables, 3 appendixes, 25 sources.

The topic of this project is computer simulation and automation of the process of obtaining high-temperature anti-oxidant additive to motor oils.

The purpose of this project is to study the scheme of obtaining high-temperature anti-oxidant additive, calculation of stationary mode of the process, identification of the temperature object, development of the automation scheme, calculation of the PID-regulator, calculation of the closed system of regulation.

The project substantiates the norms of technological regimes, presents and analyzes the technological scheme of obtaining high-temperature anti-oxidant additive to motor oils.

The computer modeling in the program - ChemCAD 7 simulator and the technological parameters have been determined.

A computational module for calculating the settings of the PID regulator has been developed. The transition process of a closed control system in the environment of Mathcad 15 with the definition of quality control parameters is calculated.

The scheme of process automation is developed. Selected appropriate technical means of automation.

The economic-organizational calculations of the main technical and economic indicators of this production taking into account the automation of production are carried out.

The safety technology of the production process is considered. Technical safety solutions are given.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень .....	8
ВСТУП .....	9
1 Технологічна схема процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив.....	10
1.1 Загальні відомості про присадки для моторних олив .....	10
1.2 Опис реакції Манніха .....	10
1.3 Опис технологічної схеми процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки .....	12
1.4 Система обігріву. ....	15
2 Розрахунок матеріальних балансів процесу процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки для моторних олив.....	16
2.1 Розрахунок матеріальних балансів в середовищі ChemCAD.....	16
3 Розрахунок параметрів системи керування температурою реакційної суміші в реакторі.....	20
3.1 Розрахунок параметрів системи керування при використанні ПД-регулятора за моделлю каналу керування температурою реакційної суміші засобами програмного пакету MathCAD.....	20
3.2 Налаштування ПД-регулятора.....	23
3.3 Розрахунок налаштувань за частотними характеристиками об'єкта (забезпечення заданого запасу стійкості в системі).....	24
3.4 Розрахунок оптимального налаштування регулятора за величиною максимуму АЧХ.....	25
3.5 Визначення налаштувань ПД – регулятора.....	26
3.6 Побудова перехідного процесу в замкнутій системі регулювання.....	30
3.7 Розрахунок прямих показників якості процесу регулювання.....	31
4 Автоматизація технологічної схеми процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки для моторних олив.....	34
4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми .....	36
4.2 Опис системи автоматизації .....	38
5 Економіко-технічні розрахунки.....	42

					ДП ХА5120 1490 001 ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Ткачова Т.П.			Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив				Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевір.											6	89	
Реценз.									КПІ ім. Ігоря Сікорського ХТФ, гр. ХА-51				
Н. Контр.		Шахновський											
Затверд.		Бондаренко С.Г.											

5.1	Схема організації цеху для процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив.....	42
5.2	Технологічна підготовка виробництва.....	43
5.3	Чисельність персоналу .....	46
5.4	Контроль виробництва .....	48
5.5	Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва .....	49
5.6	Розрахунок техніко-економічних показників .....	52
5.7	Перерахунок техніко – економічних показників з використанням автоматизації.....	54
6	Охорона праці .....	59
6.1	Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів на проектованому об’єкті. Заходи з охорони праці.....	59
6.1.1	Повітря робочої зони .....	59
6.1.2	Виробниче освітлення.....	65
6.1.3	Виробничий шум і вібрація.....	66
6.1.4	Електробезпека .....	67
6.1.5	Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання .....	68
6.2	Пожежна безпека.....	68
	ВИСНОВКИ.....	75
	Список використаних джерел .....	76
	ДОДАТКИ.....	77
	Додаток А.....	79
	Додаток Б .....	83
	Додаток В .....	86



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АФХ – амплітудно-фазову характеристики

АФ – алкілфенол

ВРПП – види руху предметів праці

2,6-ДТБФ – 2,6-дитретбутилфенол

КВЕД – Класифікація видів економічної діяльності

САР – система автоматичного регулювання

ТХК – термопара хромель-копель

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

При роботі двигунів і механізмів мастила знаходяться в контакті з повітрям, часто при підвищених температурах. В таких умовах і при каталітичному впливі металів мастила окислюються.

Актуальність теми полягає в отриманні високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олів за реакцією Манніха з суміші 2,6-дитретбутилфенола (2,6-ДТБФ) і алкілфенола (АФ).

Присадка – це спеціально розроблений склад, покликаний підвищувати характеристики автомобільного двигуна і виробляти невеликий непомітний ремонт його складових частин або запобігати можливому поява проблем.

Переваги використання присадок:

- потрапляючи в старий двигун, вони істотно додають йому потужності;
- надають відмінний антикорозійний захист;
- в низькосортному паливі підвищують октанове число;
- запобігають застигання масла при мінусових температурах;
- підвищують в'язкість масла, при втраті останнім своїх властивостей;
- використовуються для відновлення певних функцій в старих двигунах;
- запобігають перегрів мотора.

Суть впливу присадок досить проста: мастило з присадкою обволікає поверхню комплектуючих утворюючи на них захисний шар. Завдяки цьому знижується рівень зносу деталей.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Технологічна схема процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олів

## 1.1 Загальні відомості про присадки для моторних олів

При роботі двигунів і механізмів мастила знаходяться в контакті з повітрям, часто при підвищених температурах. В таких умовах і при каталітичному впливі металів мастила окислюються. Утворюються продукти кислотного характеру, які викликають корозію металевих деталей, і вуглецеві відкладення, які порушують нормальну роботу механізмів.

Процес окислення, мастил можливо уникнути шляхом введенням в їх склад антиокислювальних присадок. Інгібітори діють в двох напрямках – одні руйнують вільні радикали (розривають ланцюг), а інші взаємодіють з пероксидами, що утворюються в процесі окислення.

Найпоширенішими антиокислювачами, дія яких спрямована на розрив ланцюга, є сполуки фенолів і ароматичних амінів різної будови. Будучи речовинами активними, вони легко віддають свій водень радикалам, переводячи їх в неактивний стан [1].

## 1.2 Опис реакції Манніха

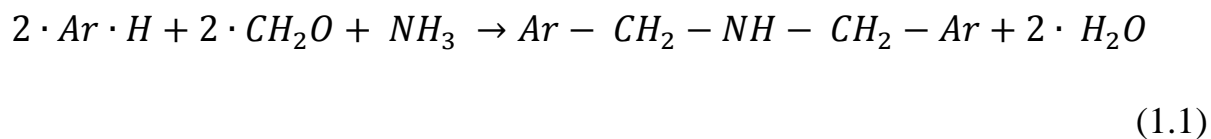
Дана антиокислювальна присадка являє собою розчин в оліві модифікованого борною кислотою продукту конденсації за реакцією Манніха суміші 2,6-ДТБФ та АФ, які містять в алкільному радикалі 8-12 вуглецеві атоми, з формальдегідом і аміаком.

Присадку отримують за реакцією Манніха конденсацією суміші 2,6-ДТБФ та АФ з параформом( параформальдегідом) і аміаком при модифікації основ Манніха борною кислотою.

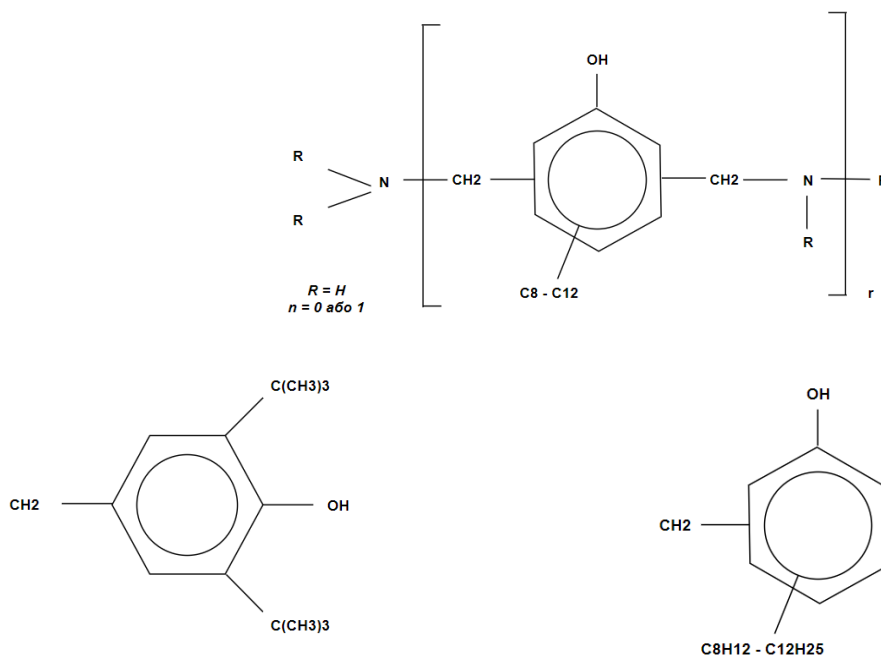
В результаті реакції конденсації утворюється суміш основ Манніха [2].

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Утворення основ Манніха біофенольної структури з вторинним атомом азота протікає відповідно до рівняння (1.1):



В загальному випадку утворення різних структур основ Манніха можна виразити структурною формулою:



Необхідна кількість реагентів розраховується за формулою (1.2):

$$X = \frac{\Pi \cdot M_{\text{сир}}}{M_{\text{прод}}}, \quad (1.2)$$

де  $\Pi$  – вага продукту, отриманого під час конденсації;  $M_{\text{сир}}$ ,  $M_{\text{прод}}$  – стехіометрична кількість речовини.

Стехіометрична кількість речовини для розрахунку:

Алкілфенолу –  $M_{\text{АФ}} = 220$ ;

2,6-дитретбутилфенолу –  $M_{\text{2,6ДТБФ}} = 206$ ;

Аміачної води –  $M_{\text{NH}_4\text{OH}} = 169, 6$ ;

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Параформу –  $M_{CH2O} = 2,5 \cdot 30$ ;

Борної кислоти –  $M_{N3BO3} = 0,03 \cdot 62$ ;

Продукту конденсації –  $M_{прод} = 480$ .

### 1.3 Опис технологічної схеми процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки

Технологічна схема процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олиव зображена на Рис. 1.1.

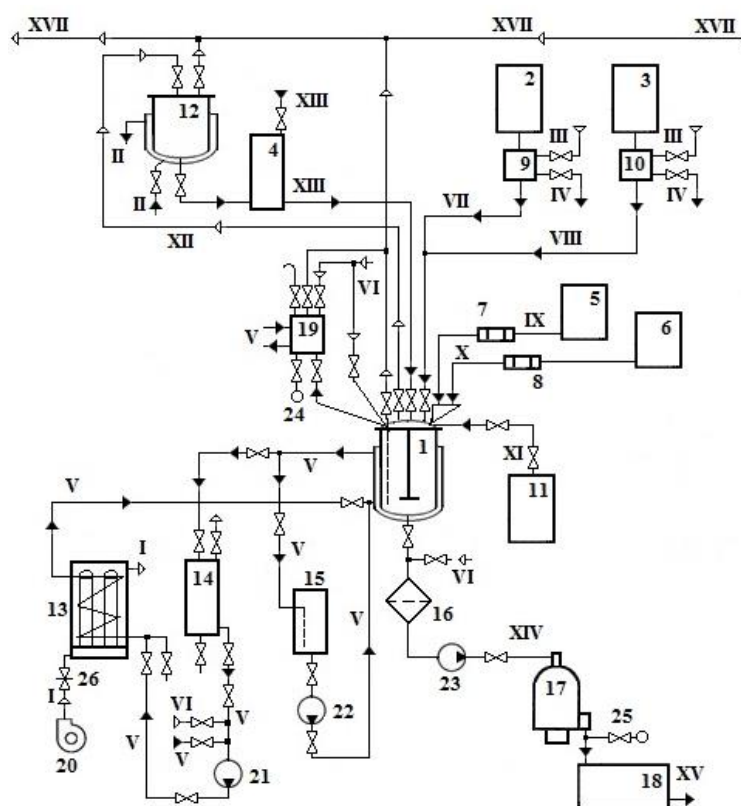


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив:

1 – реактор; 2 – ємність алкілфенолу (п-ноніл фенол); 3 – ємність 2,6-дитретбутил фенолу; 4 – ємність з водним розчином аміаку; 5 – бункер кристалічної борної кислоти; 6 – бункер параформу; 7, 8 – дозатори борної кислоти і параформу; 9,10 – плавники фенолу; 11 – ємність з мінеральною олією; 12 – вакуумний примач-охолоджувач; 13 – термоблок; 14 – ємність теплоносія (олива); 15 – ємність холодного теплоносія (олива); 16 – фільтр; 17 –

центрифуга; 18 – ємність готового продукту (присадки); 19 – стакан пробовідбірною пристрою; 20 – вентилятор; 21, 22, 23 – насоси; 24, 25 – пристрої відбору проб; 26 – шибер. Матеріальні потоки: I – повітря; II – вода; III – пара; IV – конденсат; V – теплоносій (олива АМТ-300); VI – азот; VII – алкілфенол (n-ноніл фенол); VIII – 2,6-дитретбутил фенол; IX – параформ; X – борна кислота; XI – мінеральна олива; XII – суміш парів води і аміаку; XIII – водний розчин аміаку; XIV – неочищена присадка; XV – готовий продукт (присадка); XVI – вакуумна лінія.

Технологічний процес отримання присадки складається з наступних стадій:

1. Підготовка сировини і матеріалів.

Дана стадія полягає в розігріві 2,6-ДТБФ в плавнику до 60 – 80°C.

2. Завантаження реагентів в реактор.

3. Конденсація суміші 2,6-ДТБФ, АФ з формальдегідом і аміаком з одночасною відгонкою води і модифікації продукту борною кислотою.

Чистий прогрітий реактор продувають азотом, зачиняють люк і завантажують необхідну кількість АФ при температурі 15–25°C, 2,6-ДТБФ при температурі 60–80°C, попередньо нагрітий в плавильнику та водний аміак при 15–25°C. Вмикають на 0,2 год перемішування. Потім перемішування вимикають, знімають вакуум і через завантажувальну воронку з засувом додають формальдегід і борну кислоту при температурі 35–50°C. Зачиняють засув завантажувальної воронки, вмикають перемішування протягом 0,5 год при температурі 35–50°C. Вміст реактора при перемішуванні і атмосферному тиску нагрівають до 100°C і за таких умов із реакційного середовища відганяють воду.

Повноту відгонки контролюють аналізом за допомогою пробовідбірним приладом у наступному порядку:

- 1) в сорочку стакану пробовідбірною приладу заливають холодне зневоднене масло АМТ – 300; зачиняють воздушки на стакані пробовідбірною приладу і продувають пробовідбірник азотом;

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 2) включають вакуум;
- 3) відчиняють вентиль подачі продукту в стакан;
- 4) за оглядовим склом визначають наявність продукту в стакані пробовідбірного приладу;
- 5) зачиняють вентиль подачі продукту в стакан;
- 6) вимикають вакуум;
- 7) відкривають «воздушки»;
- 8) через 15–30 хв відібрану пробу при температурі не вище 60–70°C зливають в суху і чисту банку, призначену для доставки проби в лабораторію.

4. Розбавлення продукту конденсації частиною оливи.

Після відгонки води в реактор за допомогою вакууму завантажують базову оливу М–8 (М–6) в кількості 50% від маси продукту конденсації.

5. Нагрівання продукту конденсації до 180–190°C, витримка за даної температури з одночасним вакуумуванням.

Після відгону води і додавання 50% оливи від маси продукту конденсації, реакційну суміш при перемішуванні і при атмосферному тиску нагрівають до 180°C поступово підключають вакуум, доводять його до глибини 0,7–0,8 атмосфери і витримують при 180–190°C 2–3 год. При цьому відганяються залишки пари води, аміаку і формальдегіду.

6. Охолодження продукту конденсації до 90°C і розбавлення продукту конденсації до 50% концентрації.

Під час охолодження реакційної суміші не вимикають перемішування та вакуум. Швидкість нагрівання і температура реакційної суміші регулюється подачею теплоносія в сорочку реактора. Після охолодження до температури 90°C в реактор завантажують базову оливу М–8 (М–6) в масовому співвідношенні 1:1 до продукту конденсації (з урахуванням доданої раніше оливи). Кількість завантаження контролюється мірною лінійкою. Вимикають вакуум та перемішують суміш в реакторі протягом 0,5 год і відбирають пробу(при температурі приблизно 60°C) спеціальним пробовідбірним

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

приладом. Дана стадія необхідна при незадовільних результатах відібраної проби. При занижених результатах за азотом в реакційну суміш додають формальдегід і аміачну воду в кількості, відповідно, 25% та 50% від їх маси при первинному завантаженні і повторюють обробку реакційної суміші описаним вище способом. При задовільних результатах, за виключенням механічних домішок продукт направляється на центрифугування.

#### 7. Очистка продукту від механічних домішок.

Центрифугування присадки проводять до отримання результатів, які відповідають вимогам ТУ по вмісту механічних домішок. Після центрифугування відбирають пробу і при позитивних результатах присадку відправляють на затарювання.

#### 8. Затарювання продукту в бочки.

### 1.4 Система обігріву

Для нагрівання продукту в реакторі використовується олива АТМ–300. Пуск системи теплоносія відбувається в наступному порядку :

- 1) Налаштовується циркуляція оливи АТМ–300;
- 2) стабілізують витрату оливи і в встановленому режимі вмикають підігрів термоблоку.
- 3) Температура оливи на виході із термоблоку не повинна перевищувати 200°C. З даною метою встановлене блокування за температурою і регулювання температури виходу оливи з термоблоку. Температура контролюється термопарою ТХК.
- 4) При охолодженні продукту періодично в систему подається холодна олива, що не допускає перегрівання оливи АТМ–300 вище заданої температури.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 2 Розрахунок матеріальних балансів процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки для моторних олиф

### 2.1 Розрахунок матеріальних балансів в середовищі ChemCAD 7

У даному розділі виконується комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки для моторних олиф, визначення загальних витрат, витрат кожного компоненту, склад потоків.

Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів було виконано в спеціалізованому середовищі ChemCAD 7. Розроблена схема наведена на рисунку 2.1.

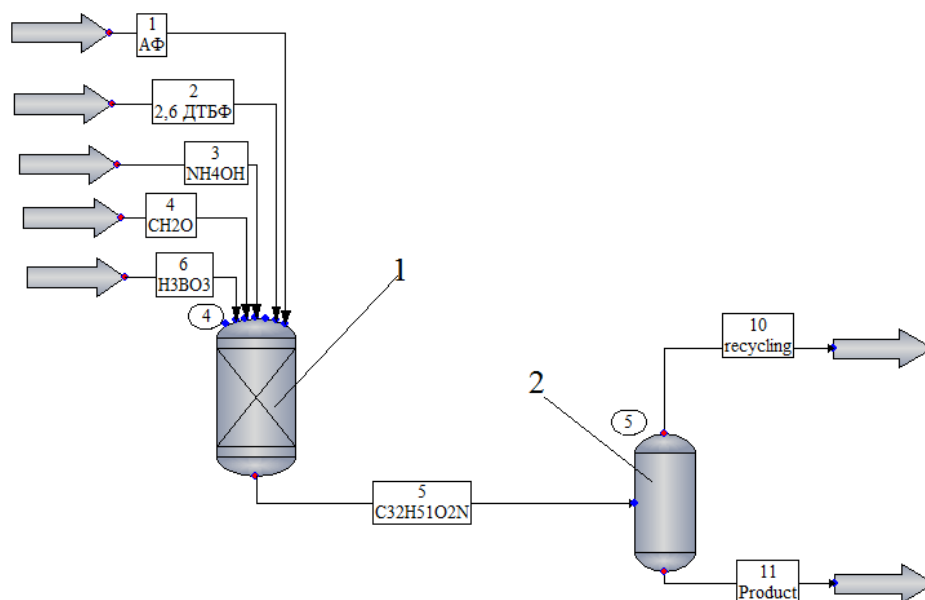

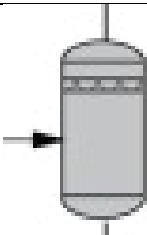


Рисунок 2.1 – Схема процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки для моторних олиф в CHEMCAD 7

Для створення схеми, зображеної на рис. 2.1, було обрано з бібліотеки програми ChemCAD 7 відповідні апарати, які найбільш точно відображають характер реальних апаратів, які наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Список використаних блоків та матеріальних потоків

Назва блоку	Апарат	Вигляд моделі	Вхідні потоки	Вихідні потоки
1	2	3	4	5
Stoichiometric Reactor(4)	Реактор		$C_{14}H_{22}O$ , $C_8H_{10}O$ , $NH_4OH$ , $CH_2O$ , $H_3BO_3$	$C_{32}H_{51}O_2N$ , $H_2O$ ,
Component Separator (5)	Сепаратор		$C_{32}H_{51}O_2N$ , $H_2O$	$C_{32}H_{51}O_2N$ , $C_{14}H_{22}O$ , $NH_4OH$ , $H_2O(g)$

Опис блоків бібліотеки моделей ChemCAD 7:

1. Stoichiometric Reactor – Реактор. Моделює хімічну реакцію для заданого ключового компонента і ступеня конверсії. Реактор може бути заданий адіабатичним, ізотермічним або з тепловим навантаженням.
2. Component Separator – багатоцільовий розділювач. Використовується для сепарації компонентів [3].

Таблиця 2.2 – Специфікація апаратів

Апарат	Умови роботи			
	Значення		Фаза	Тип
	температура, °C	тиск, Мпа		
Stoichiometric Reactor(4)	190	3	рідина-рідина	Ізотермічний
Component Separator (5)	90	3	рідина-рідина	-

Таблиця 2.3 – Матеріальний баланс рівноважного реактору

Компоненти	Вхід (кг/год)	Вихід (кг/год)
	Потік 1	Потік 2
Алкілфенол	220	59,86
2,6 ДТБФ	1210	362,3
Пароформ	60	54,7
Аміачна вода	102	93,1
Борна кислота	0,5	0,054
Присадка $C_{32}H_{51}O_2N$	0	1022,5
$\Sigma$	1592,5	1592,5

Таблиця 2.4 – Матеріальний баланс сепаратору

Компоненти	Вхід (кг/год)	Вихід (кг/год)	
	Потік 2	Потік 3	Потік 4
Алкілфенол	59,86	7,1	52,76
2,6 ДТБФ	362,3	32,7	329,66
Пароформ	54,7	50,2	4,4
Аміачна вода	93,1	93	0,1
Борна кислота	0,054	0,054	0
Присадка $C_{32}H_{51}O_2N$	1022,5	0	1022,5
$\Sigma$	1592,5	183,054	1409,44

Таблиця 2.5 – Загальний матеріальний баланс

Компоненти	Вхід (кг/год)	Вихід (кг/год)	
	Потік 1	Потік 3	Потік 4
1	2	3	4
Алкілфенол	220	7,1	52,76
2,6 ДТБФ	1210	32,7	329,66
Пароформ	60	50,2	4,4
Аміачна вода	102	93	0,1
Борна кислота	0,5	0,054	0

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4
---	---	---	---

Присадка $C_{32}H_{51}O_2N$	0	0	1022,5
$\Sigma$	1592,5	183,054	1409,44
Загальна сума $\Sigma$	1592,5	1592,5	

На основі виконаних розрахунків можна зробити висновок, що матеріальний баланс процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив у спеціалізованому середовищі Chemcad 7 розрахований вірно. Результати розрахунків приведені у додатку А.

### 3 Розрахунок параметрів системи керування температурою реакційної суміші в реакторі

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.1 Розрахунок параметрів системи керування при використанні ПД-регулятора за моделлю каналу керування температурою реакційної суміші засобами програмного пакету MathCAD

Передавальна функція аперіодичної ланки першого порядку має вигляд (3.1):

$$W(p) = \frac{\varphi(p)}{\mu(p)}, \quad (3.1)$$

де  $\varphi(p)$  та  $\mu(p)$  – зображення відповідно вхідної та вихідної величин.

Подаємо на вхід системи вплив у вигляді одиничної сходинок ( $\mu(t) = 1(t)$ ), що має зображення за Лапасом -  $\bar{\mu} = \frac{1}{p}$ , маємо (3.2):

$$\bar{\varphi} = W_3(p) \cdot \bar{\mu} = \frac{W_3(p)}{p} \quad (3.2)$$

Перехідну функцію  $\varphi(t)$  можна отримати за допомогою зворотного перетворення Лапласа (3.3):

$$\varphi(t) = L^{-1} \left( \frac{W_3(p)}{p} \right) \quad (3.3)$$

Зворотне перетворення за Лапасом зазвичай складного виразу, який відсутній у таблиці відповідності операторного методу, потребує використання методів спрощення виразу шляхом представлення правої частини у вигляді суми простих доданків. Ці перетворення потребують досить значних витрат часу [4].

Нехай зображення вихідної величини має вигляд (3.4):

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$\bar{\varphi} = \frac{N(p)}{M(p)} \bar{\mu} = \frac{N(p)}{pM(p)}, \quad (3.4)$$

де  $M(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_2 p^2 + a_1 p + 1$ ;  $N(p) = b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_2 p^2 + b_1 p + 1$  – поліноми.

Знайдемо корені характеристичного рівняння системи  $M(p) = 0$  (знаменник передавальної функції):  $p_1, p_2, \dots, p_n$  (3.5).

Напишемо,

$$\begin{aligned} M(p) &= a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_2 p^2 + a_1 p + 1 \\ &= n_a (p - p_1)(p - p_2) \dots (p - p_n) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Для побудови перехідної характеристики замкненої системи регулювання необхідно визначити передавальну функцію об'єкта.

Для цього за експериментально знятою кривою зміни температури в реакторі при подачі на вхід одиничного збурення  $\mu(t)$ , наведеною на Рис. 3.1, знайдемо вигляд передавальної функції за допомогою методу  $2/3\varphi(\infty)$ .

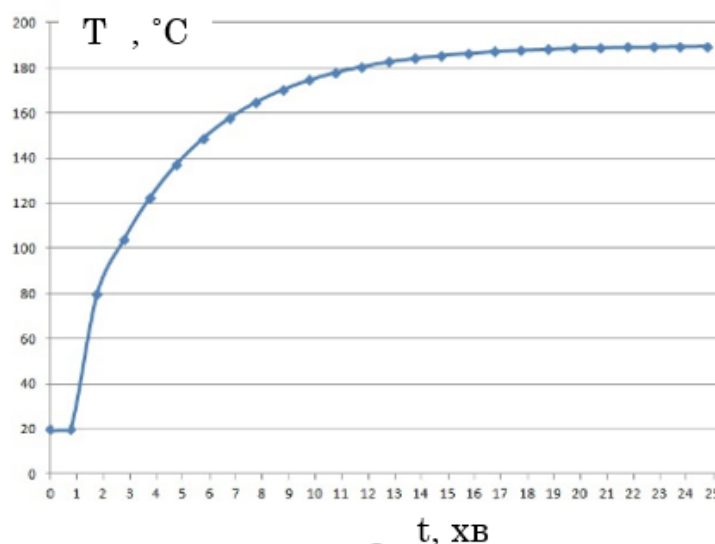


Рисунок 3.1 – Крива зміни температури в реакторі при подачі на вхід одиничного збурення  $\mu(t)$

Алгоритм методу  $2/3\varphi(\infty)$ :

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

1. На перехідній характеристиці визначаємо відрізок осі абсцис, що дорівнює  $k$ . Позначимо  $k = \varphi(\infty)$ , тоді  $\varphi(\infty) = 168$ . Необхідно врахувати, що початкові умови – ненульові.
2. Відрізок  $\varphi(\infty)$  ділимо у співвідношенні 0,632:0,368. В даному випадку вісь ординат ділимо в точці 127,1.
3. Через точку поділу відрізка  $\varphi(\infty)$  на долі 0,632:0,368 проводимо горизонталь до перетину з перехідною характеристикою  $\varphi(t)$ .
4. З точки перетинання горизонталі з перехідною характеристикою опускаємо перпендикуляр на вісь абсцис, який відтинає відрізок осі абсцис(часу) від початку координат, що дорівнює сталій часу. З графіку (Рис. 3.2) видно, що  $T = 4,2$ .

В даному випадку необхідно визначити ще час запізнення  $\tau_z$ . Значенню часу запізнення буде відповідати довжина відрізка від початку координат до початку перехідного процесу  $\tau_z = 0,75$  [4].

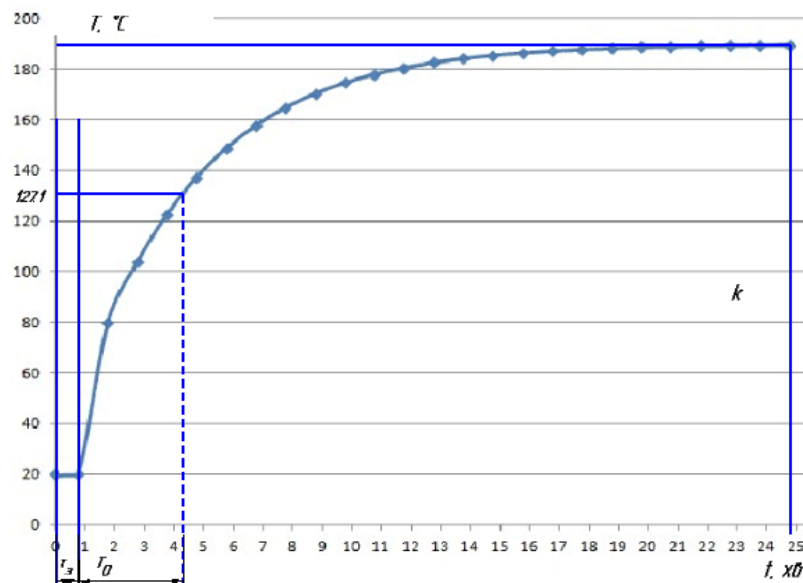


Рисунок 3.2 – Метод  $2/3\varphi(\infty)$  для знаходження вигляду передавальної функції

В результаті апроксимації отримаємо вираз (3.6)

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \sum_{i=1}^n \frac{k}{T} e^{\frac{t}{T}} \quad (3.6)$$

Під час побудови перехідної характеристики необхідно зсунути графік перехідної характеристики на час запізнення  $\tau_3$ . Однак для отримання передаточної функції вираз (3.8) є незручним. Необхідно виконати перетворення за Лапласом і в результаті отримаємо (3.7):

$$W(p) = \frac{168}{4,2p + 1} e^{-p \cdot 0,75} \quad (3.7)$$

Для подальших розрахунків і побудови перехідного процесу замкнутої системи регулювання обрано ПД-регулятор.

### 3.2 Налаштування ПД-регулятора

Перед установкою на об'єкті керування та в процесі експлуатації системи автоматичного регулювання необхідно проводити розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів, при яких система, будучи в достатній мірі стійкою, задовольняє прийнятим показниками якості перехідного процесу.

Незважаючи на те, що в практику комплексної автоматизації виробничих процесів впроваджується обчислювальна техніка, вимоги до точності і якості оптимальних налаштувань регуляторів не тільки не знижуються, але ще більше підвищуються через ускладнення всього комплексу управління [5].

Оптимальні параметри регуляторів підвищують якісні та економічні показники роботи основного і допоміжного устаткування, а також надійність їх експлуатації.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Динамічні властивості системи автоматичного регулювання (САР) залежать від характеристик об'єкта і регулятора. Всі параметри САР можна розділити на три групи:

1. задані параметри, які не можна змінювати (наприклад, статичні і динамічні параметри об'єкта);
2. параметри, які можуть бути обрані конструктором при розробці регулятора, але не можуть бути змінені при налаштуванні;
3. параметри, які можна змінити при налаштуванні (настроювальні).

Параметри налаштування регуляторів повинні бути обрані такими, щоб у замкненій системі автоматичного регулювання був забезпечений заданий запас стійкості; при цьому обраний показник якості регулювання повинен відповідати необхідному (або повинен мати екстремальне значення).

Оскільки в теорії автоматичного регулювання запас стійкості може бути оцінений по-різному, а також використовуються різні показники якості регулювання, в інженерних розрахунках застосовуються декілька методів визначення оптимальних параметрів налаштування регуляторів [5].

### **3.3 Розрахунок налаштувань за частотними характеристиками об'єкта (забезпечення заданого запасу стійкості в системі)**

Амплітудно-фазову характеристику (АФХ) об'єкта керування можна використовувати для розрахунку налаштувань регуляторів, де головним критерієм є забезпечення заданого запасу стійкості в системі.

Розрахунок налаштувань регуляторів можна виконувати з використанням звичайних частотних характеристик об'єкту і регулятора або розширених частотних характеристик, коли необхідно задовольнити вимоги до заданого ступеня затухання перехідного процесу [5].

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Як наголошувалося раніше, система автоматичного регулювання повинна мати достатній запас стійкості, і в межах запасу стійкості не менше заданого, якість регулювання повинна бути якнайкращою в сформульованому сенсі.

Відповідно до цього розрахунок оптимального налаштування регулятора складається з наступних етапів:

1. визначення області в просторі параметрів налаштувань, в якій система має необхідний запас стійкості;
2. знаходження в цій області точки, що забезпечує якнайкращу якість регулювання.

Запас стійкості системи може бути оцінений величиною  $m$  (ступінь коливальності системи) або величиною  $M$  (показник коливальності), які характеризують затухання коливальної складової перехідного процесу і зв'язані залежністю із ступенем затухання  $\psi$  [5].

### **3.4 Розрахунок оптимального налаштування регулятора за величиною максимуму АЧХ**

Запас стійкості замкненої системи визначається ступенем віддалення АФХ розімкненої системи  $W(j\omega)$  від точки з координатами  $(-1, j0)$ . Проходження АФХ через цю точку відповідає знаходженню САР на коливальній межі стійкості. Віддалення АФХ від точки  $(-1, j0)$  вправо відповідає підвищенню запасу стійкості. Цю відстань можна характеризувати за допомогою двох позитивних чисел, які називають запасами стійкості системи за амплітудою (модулю АФХ) і за фазою.

Запас стійкості за модулем – це довжина відрізка  $S$ , яка дорівнює відстані від точки перетину АФХ розімкненої системи від'ємної дійсної осі до точки з координатами  $(-1, j0)$ . Чисельно він показує, на скільки повинен змінитися модуль АФХ розімкненої системи при незмінних фазових співвідношеннях для виходу системи на границю стійкості [5].

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Запас стійкості за фазою – це кут  $\gamma$ , який лежить між дійсною і від’ємною піввіссю і променем, проведеним з початку координат в точку перетину АФХ розімкненої системи з колом одиничного радіуса з центром в початку координат.

Чисельно він показує, на скільки повинно збільшитися зміщення за фазою в розімкненій системі при незмінному модулі АФХ (амплітуді) для виходу системи на границю стійкості.

Показник коливальності  $M$  – це відношення максимального значення амплітудно – частотної характеристики (АЧХ) замкненої системи (модуля АФХ) до її значення при нульовій частоті –  $\omega = 0$  (початкової координати).

Показник коливальності  $M$  є показником запасу стійкості системи. Зручність показника коливальності визначається тим, що запас стійкості системи характеризується одним числом, що має для порівняно широкого класу систем регулювання порівняно вузькі межі ( $M=1,1..1,6$ ) [5].

### 3.5 Визначення налаштувань ПД – регулятора

Дані, для розрахунку:

- 1) передавальна функція об’єкту регулювання (3.8):

$$W_{ob}(p) = W(p) = \frac{k}{Tp + 1} e^{-p\tau} \quad (3.8)$$

- 2) передавальна функція ПД-регулятора (3.9):

$$W_{reg}(p) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u \cdot p} + T_{pr} \cdot p\right), \quad (3.9)$$

де  $k_p$  – коефіцієнт підсилення,  $T_u$  – час ізодрому,  $T_{pr}$  – час передування;

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

3) початкове значення коефіцієнта підсилення  $k_p$  (3.10):

$$k_{p\text{поч}} = 1, \quad T_{u\text{поч}} = 0,5 \quad (3.10)$$

4) значення показника коливальності  $M$  та параметри системи:

$$M = 1,4; k = 168; T = 4,2; \tau = 0,75.$$

Постійні часу інтегральної і диференціальної складової регулятора  $T_i, T_{pr}$ , зв'язують співвідношенням  $\alpha = \frac{T_{pr}}{T_i}$  ( $\alpha=0,1-0,5$ ). При цьому, оптимальним співвідношенням для ПД-регулятора є  $\alpha=0,5$ .

Тоді постійна часу  $T_{pr}$  визначається часом  $T_i$  за наступним відношенням (3.11):

$$T_{pr} = 0,5 \cdot T_i. \quad (3.11)$$

При  $M = 1,4$ ,  $\alpha = 0,5$  порядок налаштувань ПД – регулятора буде наступним:

1) Знаходимо вигляд передавальної функції об'єкта і регулятора при розімкненій системі за формулою (3.12):

$$W_{roz}(p) = \frac{k}{Tp + 1} e^{-p\tau} \cdot W_{reg} \quad (3.12)$$

2) Будуємо графік АФХ розімкненої системи при  $k_p=1, T_u = T_{u1} = 0,5$  за отриманою в п.2 передавальною характеристикою (Рис. 3.3).

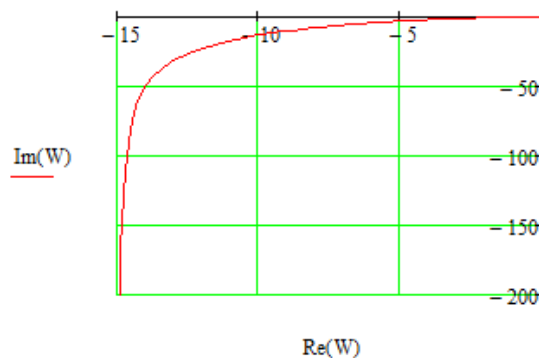


Рисунок 3.3 – АФХ розімкненої системи з ПД-регулятором

3) Будуємо промінь під кутом  $\arcsin \frac{1}{M}$  ( $\beta = 36^\circ$ ) до від'ємною дійсної піввісі.

4) Будуємо М-коло з центром на від'ємній дійсній піввісі, яке одночасно дотикаються до променя і до АФХ розімкненої системи (Рис. 3.4).

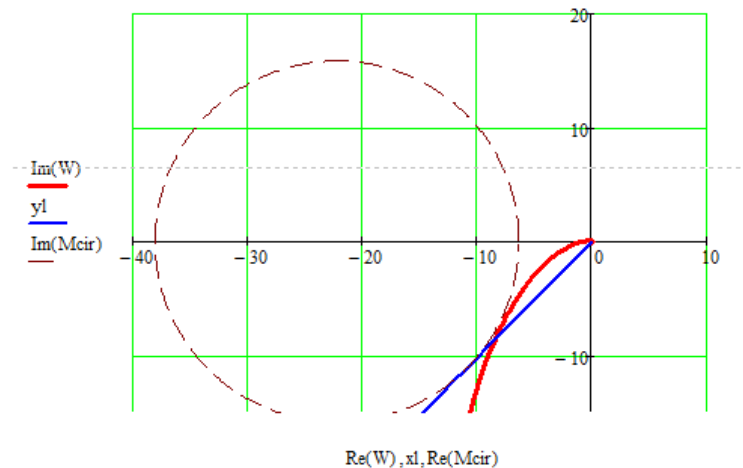


Рисунок 3.4 – Визначення оптимальних налаштувань ПІД – регулятора

Для цього задаємо приблизне значення відстані  $L$  від початку координат, в даному випадку  $L1 = 22.2$ . Також необхідно задати функцію М-кола.

5) Визначаємо радіус  $r$ , а за ним коефіцієнт підсилення  $k_p$  (3.13):

$$k_p = \frac{1}{r} \quad (3.13)$$

Таким чином, було отримано першу пару налаштувань ПІД – регулятора:

$$k_{p1} = 0,063, \quad T_{u1} = 0,5, \quad T_{pr1} = 0,5 \cdot T_u = 0,0315$$

6) Задаємо нові значення постійної часу  $T_u$  і за аналогією отримаємо інші пари налаштувань.

7) За результатами розрахунків в площині параметрів налаштувань регулятора  $k_p$  і  $T_u$  будують границю області запасу стійкості (Рис.3.5).

У цій області максимум АЧХ замкненої системи не буде перевищувати заданої величини.

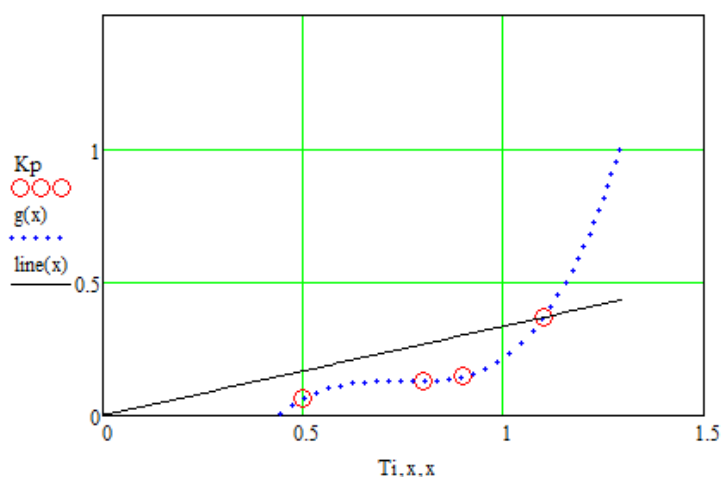


Рисунок 3.5 – Границя /області запасу стійкості

8) Обираємо оптимальні налаштування ПД-регулятора в цій області -  $k_{popt}$  і  $T_{uopt}$ . Значення часу передування  $T_{propt}$  визначається за формулою (3.14):

$$T_{propt} = T_u \cdot 0,5 \quad (3.14)$$

Оптимальним налаштуванням регулятора буде відповідати точка в області запасу стійкості, де відношення  $\frac{k_p}{T_u}$  буде максимальним. Цій умові задовольняє точка дотику до границі області запасу стійкості прямої, проведеної через початок координат.

Оптимальні налаштування для ПД – регулятора:

$$k_p = 0,368, \quad T_u = 1,1, \quad T_{pr} = 0.5 \cdot T_u = 0,55$$

Розрахунки виконані в середовищі MathCAD 15 та наведені в додатку (ДОДАТОК Б).

### 3.6 Побудова перехідного процесу в замкнутій системі регулювання

Після визначення оптимальних налаштувань регуляторів необхідно розрахувати та побудувати перехідний процес в замкнутій САР за каналом «завдання – вихід» при отриманих оптимальних параметрах налаштування заданих регуляторів.

Побудова перехідного процесу є завершальним етапом дослідження автоматичної системи. За отриманим графіком перехідного процесу можна наочно визначити основні показники якості процесу регулювання.

Для побудови перехідного процесу застосовуємо математичний пакет Mathcad 15.

Для побудови перехідного процесу при отриманих оптимальних параметрах налаштування ПІД – регулятора необхідно:

- 1) Записуємо передавальну функцію ПІД - регулятора з оптимальними налаштуваннями (3.15):

$$W_{reg}(p) = k_{popt} \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{uopt} \cdot p} + T_{propt} \cdot p\right) \quad (3.15)$$

- 2) Отримаємо передавальну функцію замкненої системи з ПІД – регулятором (3.16):

$$W_z(\omega) = \frac{W_{roz}(\omega)}{W_{roz}(\omega) + 1} \quad (3.16)$$

- 3) Отримаємо перехідну характеристику системи застосувавши зворотнє перетворення по Лапласу, попередньо помноживши на  $\left(\frac{1}{p} \cdot e^{-p}\right)$ .

$$\phi(t) := W_z \cdot \frac{1}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace}, p, t \\ \text{float}, 4 \end{array} \right. \rightarrow -0.9917 \cdot \cos(0.9946 \cdot t) \cdot e^{-0.189 \cdot t} + -0.06077 \cdot \sin(0.9946 \cdot t) \cdot e^{-0.189 \cdot t} + 1.0$$

4) В результаті отримали перехідну характеристику замкнутої системи регулювання з ПД – регулятором (Рис. 3,6) :

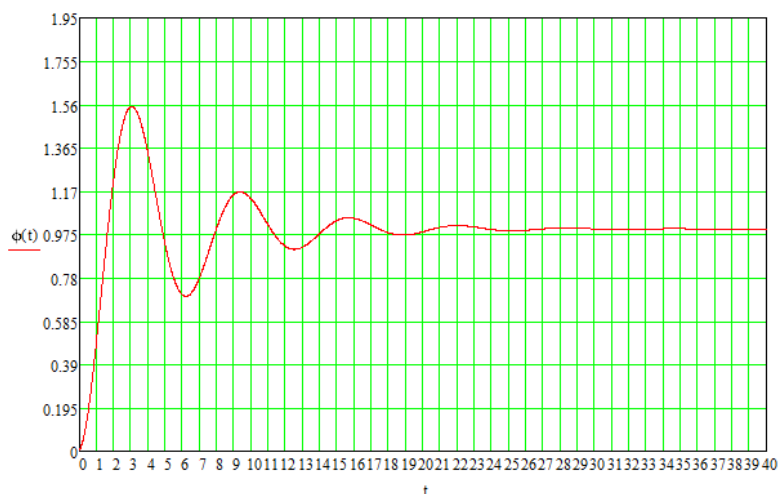


Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика замкненої системи з ПД-регулятором

### 3.7 Розрахунок прямих показників якості процесу регулювання

Після побудови перехідної характеристики замкненої системи з ПД-регулятором (Рис. 3.6), необхідно розрахувати показники якості процесу регулювання.

Прямі показники якості визначаються безпосередньо за графіком.

До них належать:

- 1) характер перехідного процесу;
- 2) тривалість перехідного процесу;
- 3) динамічна похибка (максимальне динамічне відхилення);
- 4) абсолютне перерегулювання;
- 5) відносне перерегулювання;
- 6) ступінь загасання коливань;
- 7) статична похибка [6].

Всі розраховані показники якості зведені і представлені в таблиці 3.1.



Таблиця 3.1 – Показники якості процесу регулювання

№ п/п	Показник якості перехідного процесу	Формула	Значення
1.	Характер перехідного процесу	-	коливальний загасаючий
2.	Тривалість перехідного процесу $t_{nn}$	$t_{nn} = \mp 5\% h_{уст}$	$t_{nn} = 14$ хв
3.	Динамічна похибка (максимальне динамічне відхилення)	$u_{дин} = u_{пот, max} - \Delta u_{зад}$	$u_{дин} = 1,54$
4.	Абсолютне перерегулювання	$\Delta = \Delta u_{max} - u_{сп}$	$\Delta = 0,34$
5.	Відносне перерегулювання	$\delta = \frac{u_{дин} - u_{уст}}{u_{уст}} 100\%$	$\delta = 34\%$
6.	Ступінь загасання коливань	$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = 1 - \frac{A_3}{A_1}$	$\psi = 0,81$
7.	Статична похибка	$\Delta u_{уст} = \Delta u_{ст} + \Delta u_{дин}$	$\Delta u_{уст} = 0,013$

Аналізуючи отримані значення, можна оцінити якість процесу регулювання.

Перехідний процес носить коливальний затухаючий характер, це свідчить про наявність хоча б однієї пари комплексно спряжених коренів характеристичного рівняння.

Перехідний процес вважається завершеним, коли вихідна величина системи не відрізняється від сталого значення на 1,2–5% [6].

Тривалість перехідного процесу  $t_{nn}$  визначається часом, за який вихідна величина увійшла в коридор шириною  $\pm 5\%$  від сталого значення і більше не вийшла. У цілому, цей показник характеризує швидкість процесу керування.

Максимальне динамічне відхилення регульованого параметру  $u_{дин}$  – максимальне відхилення регульованої величини у перехідному процесі від його завдання.

Абсолютне перерегулювання це максимальне значення екстремуму переходу регульованої величини через сталі значення.

Більш наочно описує перехідний процес – відносне перерегулювання – різниця між максимальним динамічним відхиленням регульованої величини в САР (система автоматичного регулювання) і сталим значення у відсотках.

Якість вважається задовільною, якщо відносне перерегулювання не перевищує 30-40%, а в реальних САР перерегулювання зазвичай складає 10-30%.

В даному випадку, відносне перерегулювання становить 34%, тому можна вважати якість задовільною.

За ступінем загасання перехідного процесу можна судити про швидкість затухання коливальних складових.

Інтенсивність вважається задовільною, якщо становить  $\psi = 0,75 \dots 0,95$ .

Для отриманого перехідного процесу, цей показник становить  $\psi = 0,81$ , це значення входить в діапазон задовільних [6].

Статична похибка регулювання характеризує відхилення сталого значення регульованої величини від заданого значення в кінці перехідного процесу, тобто у сталому режимі.

В загальному випадку помилка складається з статистичної похибки системи і динамічної похибки, яка накладається в перехідному процесі і зазвичай обумовлена наявністю зони нечутливості регулятора [6].

Підсумовуючи вищесказане, можна зробити висновок, що якість перехідного процесу є задовільною.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### **4 Автоматизація технологічної схеми процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки для моторних олив**

Автоматизація виробництва – вищий рівень розвитку машинної техніки, коли регулювання й управління виробничими процесами здійснюються без участі людини, а лише під її контролем. Сучасний стан розвитку автоматизації виробництва привів до появи якісно нової системи технологічних машин з керуючими засобами, що базуються на застосуванні електронних обчислювальних машин, програмованих логічних контролерів, інтелектуальних засобів вимірювання і контролю, інформаційно об'єднаних промисловими мережами. Автоматизація виробництва – один з головних напрямів науково-технічного прогресу.

Схеми автоматизації технологічних процесів є основними технічними документами, які визначають структуру і масштаб автоматизації промислових об'єктів, початковими даними для проектування систем управління.

Схеми автоматизації включають технологічну схему, що містить основні технологічні апарати і машини, зображену в спрощеному варіанті і розташовану у верхній частині листа, і засоби автоматизації, що входять до складу систем контролю, регулювання, які наносять на схему за допомогою умовних графічних позначень і ліній зв'язку [7].

##### **4.1 Аналіз параметрів технологічної схеми**

Завдання технологічного процесу виробництва полягає в синтезі цільового продукту – отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив високої якості та в заданій кількості.

Важливим моментом проходження хімічної реакції є дотримання температурного режиму та необхідних показників якості [8].

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Враховуючи фактор наявності побічних реакцій, важливим є контроль витрати вхідних речовин, а також в реакторі треба підтримувати температуру на рівні 190 °С.

В зв'язку з безперервним процесом, порушення будь-якого з етапів якого може нести за собою безповоротні втрати в якості речовини, є просто необхідним контроль та регулювання всіх речовин що беруть участь в процесі.

Аналіз технологічної схеми показав, що для забезпечення необхідного виходу присадки та протікання процесу за технічним регламентом необхідно регулювати наступні параметри:

1. тиск у трубопроводі подачі азоту;
2. температуру у вакуумному приймачі-охолоджувачі;
3. витрату розчину аміаку на вході в реактор;
4. рівень у всіх ємностях;
5. температуру у реакторі;
6. температуру у плавильнику АФ;
7. температуру у плавильнику 2,6 ДТБФ;
8. тиск у нутч-фільтрі;
9. витрату речовини після фільтру;
10. витрату речовини після центрифуги;
11. витрату готового продукту;
12. витрату борної кислоти на вході в реактор;
13. витрату оливи М-8 на вході в реактор;
14. перемикання насосів та вентилятору.

На підставі аналізу технологічної схеми було визначено необхідний рівень автоматизації виробництва. В результаті чого обрано параметри об'єкту автоматизації, що підлягають контролю та регулюванню.

Відповідно до обраних параметрів регулювання, контролю, сигналізації були вибрані місця для заміру параметру на технологічному об'єкті та номінальні значення параметрів, межі їх зміни.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Всі дані занесемо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри регулювання та контролю процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олів

№	Місце заміру параметру на технологічному об'єкті	Параметр, що вимірюється/регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації
1	2	3	4	5
1	Трубопровід подачі аміачного розчину в реактор	Витрата	$15 \pm 0.5 \text{ м}^3/\text{год}$	Контроль
2	Трубопровід подачі борної кислоти в реактор	Витрата	$19.4 \pm 0.5 \text{ м}^3/\text{год}$	Контроль
3	Трубопровід подачі оливи М-8 в реактор	Витрата	$19,4 \pm 0.5 \text{ м}^3/\text{год}$	Контроль
4	Трубопровід подачі присадки в центрифугу	Витрата	$15 \pm 0.5 \text{ м}^3/\text{год}$	Контроль
5	Трубопровід подачі присадки після центрифуги	Витрата	$15 \pm 0.5 \text{ м}^3/\text{год}$	Контроль
6	Трубопровід подачі готової присадки	Витрата	$15 \pm 0.5 \text{ м}^3/\text{год}$	Контроль
7	Трубопровід подачі азоту	Тиск	$0.3 \pm 0.03 \text{ МПа}$	Контроль і сигналізація
8	Нутч - фільтр	Тиск	$0,03 \pm 0.01 \text{ МПа}$	Контроль
9	Реактор	Температура	$185 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$	Регулювання
10	Трубопровід подачі 2,6-ДТБФ в реактор	Температура	$70 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$	Регулювання
11	Трубопровід подачі АФ в реактор	Температура	$20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$	Регулювання
12	Трубопровід подачі гарячого теплоносія АТМ-300	Температура	$145 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$	Регулювання

<b>13</b>	Трубопровід подачі холодного теплоносія АТМ-300	Температура	45± 5 °С	Регулювання
<b>14</b>	Приймач-охолоджувач	Температура	90 ± 5 °С	Регулювання
<b>15</b>	Ємність з АФ	Рівень	1,8 м	Контроль і сигналізація
<b>16</b>	Ємність з 2,6 ДТБФ	Рівень	3,8 м	Контроль і сигналізація
<b>17</b>	Ємність з оливою М-8	Рівень	1,8 м	Контроль і сигналізація
<b>18</b>	Ємність з аміачним розчином	Рівень	1,8 м	Контроль і сигналізація
<b>19</b>	Ємність з борною кислотою	Рівень	0,8 м	Контроль і сигналізація
<b>20</b>	Ємність з пароформом	Рівень	1,8 м	Контроль і сигналізація
<b>21</b>	Ємність з готовою присадкою	Рівень	1,8 м	Контроль і сигналізація

Також необхідно передбачити можливість дистанційного керування двигунами вентилятора та насосів. На основі даних, наведених в таблиці 4.1, розроблена схема автоматизації процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки.

При виборі приладів та засобів автоматизації слід дотримуватись наступних правил:

1. для регулювання однакових параметрів технологічного процесу застосовуються однотипні засоби автоматизації;
2. клас точності приладів повинен відповідати технологічним вимогам;
3. діапазон вимірювання приладів повинен відповідати діапазону технологічних параметрів, що регулюються [9].

Тому для автоматизації процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки для моторних олив були вибрані технічні засоби автоматизації за каталогами відповідних виробників [10-18].

Підібрані прилади наведена в специфікації (Додаток В).

## 4.2 Опис системи автоматизації

### I. Контроль та регулювання температури

В якості первинного перетворювача при вимірюванні температури з необхідною точністю для контурів 2, 6, 8, 10, 18, 20, 22 було обрано термоелектричний перетворювач марки ТХА-1387 (поз. 2-1, 6-1, 8-1, 10-1, 18-1, 20-1, 22-1) з діапазоном вимірювання температури 0-900°C, що призначений для вимірювання температури у рідких та газоподібних з малою похибкою, шляхом перетворення опору в уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА.

Отриманий сигнал з термоперетворювача передається на показуючий ПІД-регулятор марки ТРМ10 (поз. 2-3, 6-3, 8-3, 10-3, 18-3, 20-3, 22-3), який відображає вимірювану температуру і в контурі регулювання видає регулюючий вплив на виконавчий механізм (поз. 2-4, 6-4, 8-4, 10-4, 18-4, 20-4, 22-4).

### II. Контроль та регулювання витрат

Для контролю та регулювання витрати в контурах 4, 25, 26, 27, 34, 35 використовується ультразвуковий витратомір марки UFM 3030 (поз. 4-1, 25-1, 26-1, 27-1, 34-1, 35-1) з температурою вимірюваного середовища від -30 до 2200 °C, прилад містить вбудований первинний перетворювач у вихідний сигнал 4-20 мА.

Далі сигнал подається на показуючий та реєструючий пристрій зі станцією керування марки ФК0071(поз. 4-2, 25-2, 26-2, 27-2, 34-2, 35-2).

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### III. Контроль тиску

Регулювання тиску є другим визначальним параметром для підтримання продуктивності цільового процесу. Для вимірювання тиску в контурах 1 та 24 використано перетворювач тиску марки КВАНТ ДИЦ1, мод. 2420 В/П/М (поз. 1-1, 24-1) який може використовуватися у вибухонебезпечних і агресивних середовищах для вимірювання тиску до 0,6 МПа в рідких і газоподібних середовищах, вихідний сигнал манометру 0-20 мА, ступінь захисту – IP40.

Для сигналізації верхньої межі тиску використовуються індикаторні лампи марки УПС 1 (поз. HL1, HL2).

### IV. Контроль рівня

Для контролю та регулювання рівня в контурах 3, 14, 15, 16, 17, 21, 22 використовується промисловий рівнемір марки ЕС 1300 (поз. 3-1, 14-1, 15-1, 16-1, 17-1, 21-1, 22-1) з температурою вимірюваного середовища 10 – 280°C, точністю 0.3 та максимальною висотою ємності до 100м прилад містить вбудований первинний перетворювач у вихідний сигнал 4-20 мА.

Для сигналізації верхньої та нижньої межі рівня використовуються індикаторні лампи марки УПС 1 (поз. HL4, HL5, HL14, HL15, HL16, HL17, HL18, HL19).

### V. Контур перемикання

Контур дистанційного регулювання двигуна (поз. 14-1, 15-1, 16-1, 17-1) використовує пост керування кнопковий марки ПКУ 15-21- 131-УЗ, кнопки запобігання вимикання марки КМЕ-5111 УЗ та магнітні пускачі марки ПМ12-160210У2В.

Для сигналізації верхньої та нижньої межі рівня використовуються індикаторні лампи марки УПС 1 (поз. HL6, HL7, HL8, HL9, HL10, HL11, HL12, HL13). Розрахунок схеми автоматизації дозволяє проводити технологічний процес отримання високотемпературної антиокислювальної присадки для моторних олиव у відповідності до технологічного регламенту.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 5 Економічно-технічні розрахунки

### 5.1 Схема організації цеху для процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олів

Метою даного розділу є розрахунок техніко-економічних показників, які показують доцільність створення в промисловості цеху для отримання високотемпературної присадки для моторних олів.

Використання присадки можливе в нафтохімічній і нафтопереробній промисловості при отриманні малозольних мастильних маслах для двигунів працюючих на газоподібному паливі.

За видом економічної діяльності (КВЕД) – секція С «Переробна промисловість», розділ 20 «Виробництво хімічних речовин і хімічної продукції».

Основними споживачами даного продукту є автомобілісти. Велика частина присадок витрачається для моторних олів для великовантажних і легкових автомобілів.

Частка споживання присадок для цих категорій мастильних матеріалів становить 3/4 від загального обсягу споживання.

Саме тому, виробництво присадок є важливим як для нафтової та нафтопереробної промисловості, так і для використання в споживчих цілях.

Проект передбачає виробництво, з потужністю достатньою для створення отримання 900-950 кг отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олів за реакцією Манніха з суміші 2,6-ДТБФ і АФ.

Організаційна структура повинна повністю забезпечити потреби цеху в обслуговуванні. Режим роботи підприємства – безперервний.

Таким чином на підприємстві повинні працювати (Рис. 5.1):

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

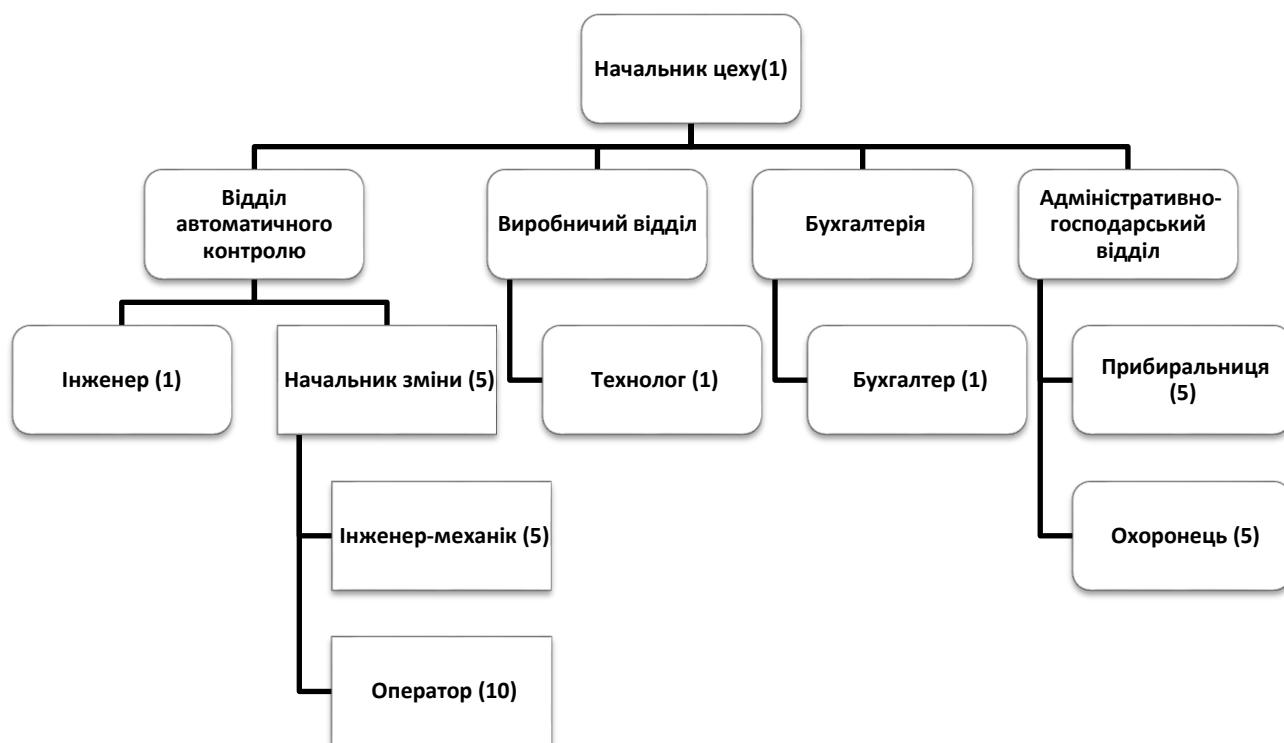


Рисунок 5.1 – Організаційна структура підприємства

## 5.2 Технологічна підготовка виробництва

Технологічна підготовка виробництва один із основних етапів під час розрахунку техніко - економічних показників, що показують доцільність створення цеху для отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних оли в умовах ринкової економіки.

Виробничі процеси підприємства поділяються на основні, допоміжні, підсобні та бічні наведені у таблиці 5.1.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 5.1 – Класифікація виробничих процесів цеху

Виробничі процеси	Стадії
Основні	1. Підготовка сировини; 2. Завантаження сировини у реактор; 3. Аналіз готової продукції; 4. Пакування та маркування готової присадки;
Допоміжні	1. Обслуговування та ремонт обладнання; 2. Транспортування;
Підсобні	1. Постачання палива та енергоресурсів; 2. Забезпечення деталями для ремонту;
Бічні	Утилізація відходів;

Даний процес виробництва антиокислювальної високотемпературної присадки має безперервний режим роботи. За один цикл отримується 935 кг готової присадки. Тривалість виробничого процесу складає 12 годин і складається із 10 операцій таблиця 5.2, оскільки виробництво безперервне працює 4 зміни по 6 годин без перерв.

Таблиця 5.2 – Тривалість операцій виробничого процесу

№	Назва операції	Час виконання, хв
1	2	3
1	Підготовка сировини	90
2	Завантаження сировини у реактор	120
3	Проміжний контроль якості	30
4	Завантаження оливи М-8(50 %)	90
5	Підключення вакууму	30
6	Завантаження М-8 (1:1)	90
7	Відключення вакууму	30
8	Аналіз готової продукції	60
9	Підготовка тари та вивантаження присадки	60
10	Пакування та маркування готової присадки	120

Послідовний види руху предметів праці (В)РПП – це ВРПП, під час якого обробка сировини проводиться послідовно на кожній стадії з наступною передачею на чергову стадію [19].

Для даного виробництва доцільно використати послідовний ВРПП, так як вхідна сировина проходить стадії обробки таким чином, що завантажування наступної партії є неможливим, доки сировина не досягне стадії готового продукту. Нижче приведені розрахунки кількості циклів за одну зміну 6 год.

$$n = \frac{60 * t_{зм}}{T_{вц}} = \frac{60 * 6}{720} = 0,5$$

Графік послідовного ВРПП по стадіям:

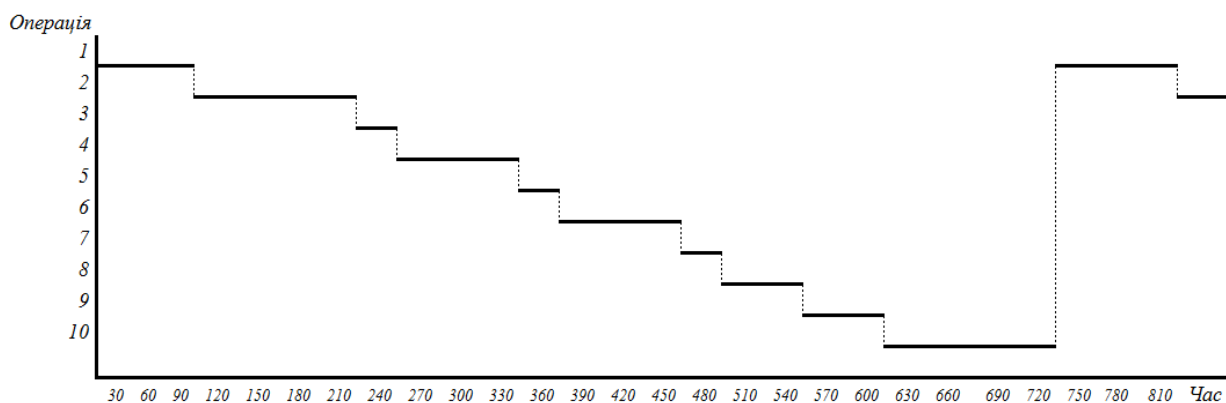


Рисунок 5.2 – Графік ВРПП

За попередніми розрахунками в середовищі Chemcad встановлено, що за одиничний цикл підприємство виробляє 935 кг готової продукції, за добу – 1870 кг, за рік – 680,36 тон.

### 5.3 Чисельність персоналу

Явочна чисельність – максимально допустима чисельність працівників, необхідна для виконання обсягу робіт та для повної комплектації робочих місць за зміну [20].

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Підприємство працює з режимом роботи чотири зміни. Для робочого персоналу та спеціалістів робоча зміна триває 6 годин.

Керуючий персонал та фахівці працюють 5 днів на тиждень, режим роботи однозмінний, тривалість робочої зміни 8 годин.

Персонал, який необхідний для підтримання безперервного виробництва, складається з наступних посад:

1. інженер-механік(1),
2. оператор(2),
3. начальник зміни(1),
4. прибиральниця(1),
5. охоронець(1).

Керуючий персонал:

1. інженер(1),
2. технолог(1),
3. бухгалтер(1)
4. начальник цеху(1).

Отже, чисельність явочна керуючого персоналу:

$$Ч_{\text{яв}} = 1 + 1 + 1 + 1 = 4 \text{ особи}$$

Чисельність явочна робочого персоналу:

$$Ч_{\text{яв}} = 1 + 1 + 2 + 1 + 1 = 6 \text{ осіб}$$

Графік змін на підприємстві:

- I зміна: 6.00-12.00;  
II зміна: 12.00 -18.00;  
III зміна: 18.00- 00.00;  
IV зміна: 00.00- 6.00.

Для забезпечення безперервності виробництва необхідно 5 бригад.  
Складемо графік змінності (таблиця 5.3).

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.3 – Графік змінності робочого персоналу

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I	1	1	1	1	1	В	2	2	2	2	2	В	3	3	3
II	В	2	2	2	2	2	В	3	3	3	3	3	В	4	4
III	2	В	3	3	3	3	3	В	4	4	4	4	4	В	В
IV	3	3	В	4	4	4	4	4	В	В	1	1	1	1	1
V	4	4	4	В	В	1	1	1	1	1	В	2	2	2	2
№	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
I	3	3	В	4	4	4	4	4	В	В	1	1	1	1	1
II	4	4	4	В	В	1	1	1	1	1	В	2	2	2	2
III	1	1	1	1	1	В	2	2	2	2	2	В	3	3	3
IV	В	2	2	2	2	2	В	3	3	3	3	3	В	4	4
V	2	В	3	3	3	3	В	4	4	4	4	4	4	В	1

Знаходимо фактичний відпрацьований час кожним працівником:

$$T_{\text{факт.}}^{\text{роб.}} = \left( \frac{365}{T_{\text{зм.об.}}} (T_{\text{зм.об.}} - T_{\text{вих.}}) \right) * T_{\text{зм.}} = \left( \frac{365}{25} (25 - 5) \right) * 6 = 1752 \text{ год/рік}$$

де  $T_{\text{зм.об.}}$  – змінооборот, днів;  $T_{\text{вих.}}$  – кількість вихідних;  $T_{\text{зм.}}$  – тривалість робочої зміни.

Тривалість роботи підприємства на рік:

$$T_{\text{підпр.}}^{\text{рік}} = 365 * 24 = 8760 \text{ год/рік}$$

Кількість бригад:

$$K_{\text{пер.}} = \frac{T_{\text{підпр.}}^{\text{рік}}}{T_{\text{факт.}}^{\text{роб.}}} = \frac{8760}{1752} = 5$$

Розраховуємо чисельність персоналу за списком:

$$Ч_{\text{сп}} = Ч_{\text{яв}} * K_{\text{перерах.}} = 6 * 5 = 30$$

Графік змінності керуючого персоналу: одна зміна 09:00 – 17:00 год.

Таблиця 5.4 – Графік змінності адміністративного персоналу

Бригада	Пн	Вт	Ср	Чт	Пт	Сб	Нд
I	1	1	1	1	1	В	В

Фактична тривалість роботи адміністративно-управлінського персоналу:

$$T_{\text{прац.}}^{\text{факт}} = \frac{365 - T_{\text{св.}}}{T_{\text{зм.об.}}} \cdot (T_{\text{зм.об.}} - T_{\text{вихідн.}}) \cdot T_{\text{зміни}} = \frac{365 - 11}{7} \cdot (7 - 2) \cdot 8$$

$$= 2022 \text{ год/рік.}$$

Чисельність за списком для керуючого персоналу дорівнює явочній чисельності  $\mathcal{C}_{\text{сп}} = \mathcal{C}_{\text{яв.}}$

$$\mathcal{C}_{\text{спцеху}} = 4 + 30 = 34 \text{ особи.}$$

#### 5.4 Контроль виробництва

Технічний контроль – сукупність методів, заходів та засобів, які забезпечують відповідність якості продукції, яка випускається, вимогам стандартів і нормативів. Об'єктом технологічного контролю є технологічний процес. Контроль поділяють на вхідний, заключний, проміжний [21].

Вхідний контроль – перевірка якості продукції, що надходить на підприємство, як сировини. На даному підприємстві це визначення якості вихідної сировини. Цей контроль проводиться начальником зміни. Вони зобов'язані вести журнал вхідного контролю.

Проміжний контроль – це перевірка технологічної дисципліни при виконанні технологічного процесу. Виконується технологом, який веде журнал проміжного контролю [21].

Заключний контроль – це оцінка якості готової продукції (присадки). Основна мета цього контролю – виявлення браку. Заключний контроль проводить технолог.

Результати заключного контролю заносять до журналу заключного контролю, згідно якого оформляється паспорт на продукцію. Результати досліджень доносяться до начальника цеху.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

## 5.5 Матеріальна, документальна та організаційно-технічна підготовка виробництва

Оборотні засоби – матеріальні цінності і грошові засоби, які у розпорядженні підприємства, використовуються в процесі виготовлення продукції і повертаються підприємством в ході продажу [22]. До них відносять:

- 1) заробітна плата;
- 2) затрати на сировину та електроенергію;
- 3) опалення [22].

Таблиця 5.5 – Заробітна плата працівників підприємства

Посада	ЗП працівника в місяць	ЗП всіх працівників на даній посаді
1	2	3
Начальник цеху	20000	20000
Технолог	15000	15000
Начальник зміни	13000	65000
Інженер	15000	15000
Інженер-механік	10000	50000
Оператор	8500	85000
Бухгалтер	8000	8000
Прибиральниця	5500	27500
Охоронець	6000	30000
Σ	315500	3786000

Отже, сумарна ЗП за місяць складає 315 500, а за рік складатиме 3786000 гривень.

$$\text{ФОП} = 3786000 * 1,22 = 4\,618\,920 \text{ грн/рік}$$



Таблиця 5.6 - Розрахунок вартості сировини для виробництва

Найменування	Норма витрат, кг/рік	Ціна, грн/кг	Сума витрат, грн/рік
2,6 ДТБФ	160 160	55,65	8 912 904
Алкілфенол	880 880	67,2	59 195 136
Аміачний розчин (15%)	74 256	41	3 044 496
Пароформ	43 680	32	1 397 760
Борна кислота	364	36	13 104
Олива М - 8	340 340	25	8 508 500
$\Sigma$	1 499 680	256,85	81 071 900

Розрахуємо витрати електроенергії, для цього:

Період роботи підприємства за рік:  $T_{\text{річ}} = 8760$  год

$$C_{\text{ел}} = \sum (T_{\text{рег}} \cdot T) \cdot P_{\text{обл}}^{\text{річ}}$$

$$C_{\text{ел}} = (2,69 \cdot 4380) \cdot 8000 + (1,5 \cdot 4380) \cdot 8000 = 146\,817\,600 \text{ грн/рік}$$

Витрати на опалення цеху розраховуються:

- 1) загальна площа:  $1000 \text{ м}^2$ ;
- 2) тарифна ставка на опалення:  $32,97 \text{ грн./м}^2 \text{ міс}$ ;
- 3) температурний коефіцієнт (при температурі в середині цеху  $18^\circ\text{C}$  та середній температурі зовнішнього повітря  $-8^\circ\text{C}$ ):  $0,77$ ;
- 4) сезон опалення: 6 місяців.

$$C_{\text{опал.}} = 1000 \cdot 0,77 \cdot 32,97 \cdot 6 = 152\,321,4 \frac{\text{грн}}{\text{рік}}$$

Вартість оборотних засобів таким чином становить:

$$O_{\text{бЗ}} = 4\,618\,920 + 146\,817\,600 + 152\,321,4 + 81\,071\,900 = 232\,660\,741 \text{ грн/рік}$$

Основні фонди – це засоби праці, які багаторазово використовуються у виробництві, не змінюють свою форму тривалий час, а їх вартість враховується у вартість готової продукції. До основних фондів належать: будівлі і споруди; машини і обладнання; транспорт; виробничий інвентар; нематеріальні активи [22].

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Основні фонди зведені в таблицю 5.7, в якій амортизація розрахована за формулою:

$$A = \frac{\Phi_{\text{пп}} + K + P - Л}{T_{\text{експ}}},$$

де А – амортизація, грн/рік;  $\Phi_{\text{пп}}$  – повна початкова вартість, грн; К – витрати на капітальні ремонти, грн; Р – витрати на поточні ремонти, грн; Л – ліквідаційна вартість, грн;  $T_{\text{експ}}$  – плановий період експлуатації, років.

Таблиця 5.7 – Основні фонди

Найменування	Кількість одиниць	Вартість, грн.	Норма амортизації за рік, %	Амортизація
1	2	3	4	5
Цех	1	500 000	5	25 000
Склад	1	350 000	5	17 500
Плавник	2	75 000	20	15 000
Реактор	1	470 000	20	94 000
Фільтр	1	105 500	20	21 100
Центрифуга	1	100 700	20	20 140
Дозатор	2	15 000	20	3000
Приймач-оохолоджувач	1	65 300	20	13 060
Термоблок	1	58 500	20	11 700
Вентилятор	1	3 500	20	700
Насос	3	2 500	20	500
Шибер	1	2 000	20	400
Ємність	8	1 500	20	300
Пробовідбірний пристрій	1	4 000	20	800
Стакан пробовідбірного пристрою	1	800	20	160
Σ	26	1 815 000	490	235 600

Амортизація :  $A = 235\,600$  грн/рік

Оборотні засоби:  $O_6З = 232\,660\,741$  грн/рік

Основні фонди :  $ОФ = 1\,815\,000$  грн/рік

Таблиця 5.8 – Калькуляція на вид продукції

№	Елемент	Ціна, грн./рік
1	Сировина	81 071 900
2	Амортизаційні відрахування	235 600
3	Електроенергія	146 817 600
4	Заробітна плата	3 786 000
5	Нарахування за ЗП	832 920
6	Інше (теплова енергія)	152 321,4
$\Sigma$		232 896 341

### 5.6 Розрахунок техніко-економічних показників

Собівартість випуску:

$$C = A + O_6З = 235\,600 + 232\,660\,741 = 232\,896\,341 \text{ грн}$$

Собівартість одного кілограма:

$$C_{од} = \frac{C}{B} = \frac{232\,896\,341}{680\,360} = 342,3 \text{ грн}$$

Ринкова оптова ціна: 412 грн/кг

$$\Pi = B * 412 = 680\,360 * 412 = 280\,308\,320 \text{ грн}$$

Прибуток:

$$\Pi = \Pi - C = 280\,308\,380 - 232\,896\,341 = 47\,411\,979 \text{ грн}$$

Капіталовкладення:

$$K = OF + O_6З = 1\,815\,000 + 232\,896\,341 = 234\,711\,341 \text{ грн}$$

Рентабельність продукту:

$$P = \frac{\Pi}{C} = \frac{47\,411\,979}{232\,896\,341} = 0,398 \text{ або } 39,8\%$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T = \frac{K}{\Pi} = \frac{234\,711\,341}{47\,411\,979} = 4,95 \text{ років}$$

Ефективність підприємства:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{47\,411\,979}{234\,711\,341} = 0,202 \text{ грн/грн}$$

Фондовіддача:

$$\Phi B = \frac{\Pi}{O\Phi} = \frac{280\,308\,320}{1\,815\,000} = 154 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність:

$$\Phi \epsilon = \frac{1}{\Phi B} = \frac{1}{154} = 0,006 \text{ грн/грн}$$

У таблиці 5.9 наведені основні техніко-економічні показники, які були розраховані для процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки.

Таблиця 5.9 – Техніко-економічні показники

Показники ТЕО	Розрахункові дані	Розмірність
1	2	3
Випуск продукції	680 360	кг/рік
Собівартість	232 896 341	грн/рік
Ціна	280 308 320	грн/рік
Прибуток	47 411 979	грн/рік
Рентабельність	39,8	%
Капіталовкладення	234 711 341	грн
Період повернення капіталовкладень	4,95	років

1	2	3
Ефективність підприємства	0,202	грн/грн
Фондовіддача	154	грн/грн
Фондоємність	0,006	грн/грн

### 5.7 Перерахунок техніко – економічних показників з використанням автоматизації

Під час розробки дипломного проекту було проведено автоматизацію технологічної схеми.

Головною перевагою застосування засобів автоматизації є те, що можна скоротити кількість персоналу у відділенні, а також зменшиться витрата сировини на 1,5 %.

Це можна пояснити тим, що:

1. Витрата рідких речовин регулюється безпосередню перед потраплянням в реактор, ще зменшує надлишкові витрати сировини.
2. Контроль частоти обертів центрифуги дає можливість отримати готовий продукт(присадку) більш високої якості, шляхом збільшення/зменшення обертів в залежності від кількості домішок.

Навіть мінімальна модернізація технологічної схеми засобами автоматизації досить суттєві відображується на техніко-економічних показниках.

Розрахуємо техніко-економічні показники з використанням автоматизації. Вартість сировини після автоматизації наведене в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Витрати сировини після автоматизації

Найменування	Норма витрат, кг/рік	Ціна, грн/кг	Сума витрат, грн/рік
2,6-ДТБФ	136 136	55,65	7 575 968,4
Алкілфенол	748 748	67,2	50 315 865,6
Аміачний розчин (15%)	63 117,6	41	2 587 821,6
Пароформ	37 128	32	1 188 096
Борна кислота	309,4	36	11 138,4
Олива М-8	289 289	25	7 232 225
Σ	1 274 728	256,85	68 911 115

Завдяки автоматизації виробництва стало можливим скоротити кількість працівників підприємства. Кількість працівників, що працюватимуть на новому виробництві приведено в таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Кількість персоналу на автоматизованому виробництві після автоматизації виробництва

Посада	Кількість
Начальник цеху	1
Технолог	1
Начальник зміни	5
Інженер	1
Інженер-механік	5
Оператор	5
Бухгалтер	1
Прибиральниця	5
Охоронець	5

Чисельність явочна робочого персоналу:

$$Ч_{яв} = 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 5 \text{ осіб}$$

Чисельність явочна керуючого персоналу:

$$Ч_{яв} = 1 + 1 + 1 + 1 = 4 \text{ особи}$$

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Кількість бригад:

$$K_{\text{пер.}} = \frac{T_{\text{підпр.}}^{\text{рік}}}{T_{\text{роб.}}^{\text{факт.}}} = \frac{8760}{1752} = 5$$

Розраховуємо чисельність робочого персоналу за списком:

$$Ч_{\text{сп}} = Ч_{\text{яв}} * K_{\text{перерах.}} = 5 * 5 = 25 \text{ осіб}$$

Чисельність за списком для керуючого персоналу дорівнює явочній чисельності  $Ч_{\text{сп}} = Ч_{\text{яв.}}$

Заробітна плата працівників цеху наведена в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Заробітна плата працівників підприємства після автоматизації виробництва

Посада	ЗП працівника в місяць	ЗП всіх працівників на даній посаді
Начальник цеху	20000	20000
Технолог	15000	15000
Начальник зміни	13000	65000
Інженер	15000	15000
Інженер-механік	10000	50000
Оператор	8500	42500
Бухгалтер	8000	8000
Прибиральниця	5500	27500
Охоронець	6000	30000
$\Sigma$		273 000

Отже, сумарна ЗП за місяць складає 273 000 грн, а за рік складатиме 32760000 грн.

$$\text{ФОП} = 32760000 * 1,22 = 3\,996\,720 \text{ грн/рік}$$

$$\begin{aligned} O_{\text{бз}} &= B_{\text{сир}} + Ц_{\text{ел}} + Ц_{\text{оп}} + \text{ФОП} = 68\,911\,115 + 146\,817\,600 + 152\,321,4 + \\ &+ 3\,996\,720 = 219\,877\,756 \text{ грн/рік} \end{aligned}$$

До вартості основних фондів необхідно додати приладів для автоматизації виробництва.

1) ОФ для виробництва без автоматизації : 1 815 000 грн

2) Вартість обладнання для автоматизації: 450 000 грн

ОФ для виробництва з автоматизацією :

$$\text{ОФ} = 1\,815\,000 + 450\,000 = 2\,265\,000 \text{ грн}$$

Розрахуємо амортизацію для автоматизованого виробництва:

$$A = \frac{\text{Вартість обл.}}{T_{\text{експ}}} + A = \frac{450\,000}{5} + 235\,600 = 325\,600 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 5.13 – Калькуляція на вид продукції після автоматизації виробництва

№	Елемент	Ціна, грн./рік
1	Сировина	68 911 115
2	Амортизаційні відрахування	325 600
3	Електроенергія	146 817 600
4	Заробітна плата	3 276 000
5	Нарахування за ЗП	720 720
6	Інше (теплова енергія)	152 321,4
Σ		220 203 356

Розрахунок техніко-економічні показники автоматизованого виробництва:

Собівартість випуску:

$$C = A + \text{Обз} = 325\,600 + 219\,877\,756 = 220\,203\,356 \text{ грн}$$

Собівартість одного кілограма:

$$C_{\text{од}} = \frac{C}{B} = \frac{220\,203\,356}{680\,360} = 323,6 \text{ грн}$$

Ринкова оптова ціна: 412 грн/кг

$$\text{Ц} = B * 412 = 680\,360 * 412 = 280\,308\,320 \text{ грн}$$

Прибуток:

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57



$$\Pi = \text{Ц} - \text{С} = 280\,308\,380 - 220\,203\,356 = 60\,105\,024 \text{ грн}$$

Рентабельність продукту:

$$P = \frac{\Pi}{\text{С}} = \frac{60\,105\,024}{220\,203\,356} = 0,472 \text{ або } 47,2\%$$

Капіталовкладення:

$$K = \text{ОФ} + \text{ОБЗ} = 2\,265\,000 + 219\,877\,756 = 222\,142\,756 \text{ грн}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$T = \frac{K}{\Pi} = \frac{222\,142\,756}{60\,105\,024} = 3,69 \text{ років}$$

Ефективність підприємства:

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{60\,105\,024}{222\,142\,756} = 0,270 \text{ грн/грн}$$

Фондовіддача:

$$\Phi B = \frac{\text{Ц}}{\text{ОФ}} = \frac{280\,308\,320}{2\,265\,000} = 123,75 \text{ грн/грн}$$

Фондоємність:

$$\Phi \text{Є} = \frac{1}{\Phi B} = \frac{1}{123,75} = 0,008 \text{ грн/грн}$$

У таблиці 5.14 наведені основні техніко – економічні показники, які були розраховані для процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки після автоматизації виробництва.

Таблиця 5.14 – Техніко-економічні показники після автоматизації виробництва

Показники ТЕО	Розрахункові дані	Розмірність
1	2	3
Випуск продукції	680 360	кг/рік
Собівартість	220 203 356	грн/рік
Ціна	280 308 320	грн/рік

Продовження таблиці 5.14

1	2	3
Прибуток	60 105 024	грн/рік
Рентабельність	47,2	%
Капіталовкладення	222 142 756	грн
Період повернення капіталовкладень	3,69	років
Ефективність підприємства	0,270	грн/грн
Фондовіддача	123,75	грн/грн
Фондоємність	0,008	грн/грн

Для кращого сприйняття та аналізу отриманих результатів розрахунку наведемо порівняння техніко-економічних показників виробництва до автоматизації та після. Дані розрахунків приведені у таблиці 5.15.

Таблиця 5.15 – Порівняння техніко-економічних показників до автоматизації виробництва та після

Показники ТЕО	Розрахункові дані виробництва до автоматизації	Розрахункові дані виробництва після автоматизації	Розмірність
1	2	3	4
Випуск продукції	680 360	680 360	т/рік
Собівартість	232 896 341	220 203 356	грн/рік
Ціна	280 308 320	280 308 320	грн/рік
Прибуток	47 411 979	60 105 024	грн/рік
Рентабельність	39,8	47,2	%
Капіталовкладення	234 711 341	222 142 756	грн

Продовження таблиці 5.15

1	2	3	4
Період повернення капіталовкладень	4,95	3,69	років
Ефективність підприємства	0,202	0,270	грн/грн
Фондовіддача	154	123,75	грн/грн
Фондоємність	0,006	0,008	грн/грн
Чисельність керуючого персоналу	$\text{Ч}_{\text{сп}} = \text{Ч}_{\text{яв}} = 4$	$\text{Ч}_{\text{сп}} = \text{Ч}_{\text{яв}} = 4$	особи
Чисельність робочого персоналу	$\text{Ч}_{\text{яв}} = 30$	$\text{Ч}_{\text{яв}} = 25$	особи

Після автоматизації зменшились капіталовкладення за рахунок зменшення витрат сировини.

Після порівняння отриманих значень, можна зробити висновок, що автоматизоване виробництво є більш ефективним та має безліч переваг.

За допомогою використання на виробництві засобів автоматизації вдалося досягти:

- 1) зменшення собівартості готової продукції і, як наслідок, збільшення прибутку ;
- 2) збільшення рентабельності виробництва;
- 3) скорочення періоду повернення капіталовкладень з 4,95 років до 3,69 років;
- 4) зменшення чисельності робочого персоналу.

Отже, можна зробити висновок, що виробництво, що модернізоване шляхом використання засобів автоматизації, є більш економічно вигідним, порівняно зі звичайним виробництвом. Загалом економічні показники підприємства зростають.

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Як випливає з технологічної частини проекту в проектованому виробництві обертаються шкідливі пожежонебезпечні речовини і матеріали, використовується механічна, теплова, електрична енергії та температура в апаратах. Всі проектні рішення прийнято з урахуванням вимог охорони праці.

В даному розділі на підставі аналізу всіх можливих небезпечних і шкідливих виробничих факторів виявлених на проектованому об'єкті, розроблені заходи, направлені на створення здорових і безпечних умов праці, пожежної безпеки.

### 6.1 Виявлення і аналіз шкідливих і небезпечних факторів на проектованому об'єкті. Заходи з охорони праці

#### 6.1.1 Повітря робочої зони

Згідно ДСН 3.3.6.042- 99 роботи, що виконуються на запроектованому цеху за затратами фізичної енергії відносяться до категорії середньої важкості(II б).

У таблиці 6.1 наведені прийняті проектом гігієнічні норми метеорологічних умов у приміщенні цеху, що проектується.

Температура внутрішніх поверхонь робочої зони не повинна виходити більш ніж на 2 °С за межі оптимальних величин.

Допустима температура:

$$t_{\text{поверх}} = t_{\text{навк.сер.}} + 2^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{поверх}} = 22 + 2 = 24^{\circ}\text{C}$$

де  $t_{\text{навк.сер.}}$  – оптимальне значення температури повітря робочої зони в теплий період року.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Таблиця 6.1 – Санітарні оптимальні норми параметрів мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Фактичне значення температури повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Фактичне значення відносної вологості повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	Фактичне значення швидкості руху, м/с
Холодний	II б	17 – 19	18	60 – 40	50	0,2	0,2
Теплий		20 – 22	21	60 - 40	50	0,3	0,3

У таблиці 6.2 наведена коротка санітарна характеристика цеху відповідно до ГОСТ 12.1.005.88.

Таблиця 6.2 – Санітарні норми

Назва виробничої ділянки	Шкідливі речовини	Характеристика шкідливого впливу	ГГДК, мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпечності	ЗІЗ	Долікарська допомога	Метод контролю вимірювання	Клас виробництва	Санітарна група
Трубопровід	2,6-ДТБФ	Шкідливий, токсичний, отруєння	10	IV	Респіратор “РПГ-67”	Винести на свіже повітря, при відсутності дихання – штучне дихання	Газо-аналізатори УГ-1, УГ-2	4	II
Трубопровід	Азот	Шкідливий, токсичний, отруєння	2	III	Респіратор “РПГ-67”	Винести на свіже повітря, при відсутності дихання – штучне дихання	Газо-аналізатори УГ-1, УГ-2		

Продовження таблиці 6.2

Трубопровід	Алкіл-фенол	Шкідливий, токсичний, отруєння	10	IV	Респіратор “РПГ-67”	Винести на свіже повітря, при відсутності дихання – штучне дихання	Газо-аналізатори УГ-1, УГ-2		
Трубопровід	Паро-форм	Шкідливий, токсичний, отруєння	3	II	Респіратор “РПГ-67”	Винести на свіже повітря, при відсутності дихання – штучне дихання	Газо-аналізатори УГ-1, УГ-2		
Трубопровід	Аміачний розчин	Шкідливий, токсичний, отруєння	20	III	Респіратор “РПГ-67”	Винести на свіже повітря, при відсутності дихання – штучне дихання	Газо-аналізатори УГ-1, УГ-2		
Трубопровід	Борна кислота	Шкідливий, токсичний, отруєння	10	IV	Респіратор “РПГ-67”	Винести на свіже повітря, при відсутності дихання – штучне дихання	Газо-аналізатори УГ-1, УГ-2		
Реактор	Пари аміаку та води	Шкідливий, токсичний, отруєння	20	III	Респіратор “РПГ-67”	Винести на свіже повітря, при відсутності дихання – штучне дихання	Газо-аналізатори УГ-1, УГ-2		

За способом організації повітрообміну передбачена загальнообмінна, місцева й комбінована вентиляція. Передбачається схема вентиляції згори до низа.

У приміщенні цеху передбачена загальнообмінна припливно-витяжна вентиляція та місцева припливно-витяжна вентиляція. Додатково передбачені витяжні шафи.

Тепловиділення у виробничих приміщеннях нейтралізують шляхом теплової ізоляції частин апаратів.

Для захисту рук від опіків при ремонтах, а також при огляді обладнання робітники застосовують спеціальні рукавиці та надлокотниками. Проводяться попередні і періодичні (один раз на рік) медогляди.

Проектом передбачено проводити наступні заходи. Проведення два рази на місяць контролю вмісту у повітрі робочої зони шкідливих речовин і параметрів.

Використання термографів для безперервного контролю температури. Визначення відносної вологості повітря за допомогою стаціонарного, а також аспіраційного психрометра М-34.

Встановлення чашкових анемометрів для спостереження за швидкістю руху повітря у приміщенні цеху.

#### 6.1.2 Виробниче освітлення

За ДБН В 2.5-28-06, роботи в цеху за зоровими умовами відносяться до розряду Vг. Проектом передбачено три види освітлення: природне, штучне і суміщене освітлення. Система природного освітлення – комбіноване освітлення.

Штучне освітлення представлено системою загального рівномірного освітлення і здійснюється в цеху за допомогою газорозрядних ламп низького тиску (люмінесцентні типу ЛБ-40). Світильники - пиловологонепроникні ЛПО-01.

Проектом передбачена робота аварійного, евакуаційного, ремонтного і охоронного освітлення, яке представлене люмінесцентними лампами.

У виробничих і побутових приміщеннях прийнята система загального рівномірного освітлення.

Для оцінки освітленості у виробничих приміщеннях передбачено фотоелектричний люксметр Ю-116.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Норми параметрів освітлення, згідно ДБН В 2.5-28-06 приведені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Норми виробничого освітлення

Робоче місце	Характеристика зорової роботи	Розряд та підрозряд зорової роботи	Освітленість, лк		КПО, $e_n$ %		
			Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення
			Комбіноване	Загальне	Верхнє	Бокове	
Литтєва машина	Малої точності	VГ	-	100	3	1	1,8

### 6.1.3 Виробничий шум і вібрація

Джерелами вібрації на виробництві, що проектується є вентилятор та насоси. Джерелами шумів на виробництві є реактор, нутч - фільтр, центрифуга, вакуумний приймач - охолоджувач.

Для зниження рівня шуму на робочому місці оператора, проектом прийнято закрити ці механізми кожухами із звуконепроникного матеріалу[23].

За ДСН 3.3.6.0.37-99, рівень звуку не повинен перевищувати 50 дБА. В проектуваному виробництві як обладнання використовуються: плавильники, реактор, нутч-фільтр, вакуумний приймач – охолоджувач, центрифуга, система підігріву теплоносія . Найбільш шумне місце – це центрифуга, рівень звуку досягає 45 дБА, що відповідає нормі).

Службами відділу охорони праці періодично проводяться виміри виробничого шуму, вібрації на робочих місцях, які вимірюються за допомогою



приладів ВШВ-2, ВШВ-2п вимірниками шуму і вібрації, а також універсальним віброакустичним комплектом фірм RFT (ГДР) і «Бюль і Кеер».

Для зниження шуму на шляху його розповсюдження передбачається облицювання частини внутрішніх поверхонь звукопоглинальними матеріалами (пінопласт) [23].

Рівень загальної технологічної вібрації, згідно ДСН 3.3.6.039-99 для таких октавних смуг 1, 2, 4, 8, 16, 32, 63 Гц не повинен перевищувати 109, 107, 98, 93, 91, 91, 91 дБ відповідно.

Предбачено істотне ослаблення шуму якісним монтажем окремих вузлів машин і своєчасним проведенням планового запобіжного ремонту.

Для захисту від виробничого шуму на підприємстві передбачені звукоізоляційні пристрої: перегородки, екрани й об'ємні звукопоглиначі у вигляді перфорованих кубів і куль, підвішених над агрегатами, які спричиняють шум.

Для зниження рівень вібрації під вібруюче устаткування встановлюють амортизатори, виготовлені зі сталевих пружин.

В якості індивідуальних засобів захисту від шуму згідно передбачено м'які протишумові вкладки. Для захисту рук від дії вібрацій застосовують рукавиці з спеціальними віброзахисними вставками.

Для захисту від вібрацій що передаються через ноги передбачено взуття товстою гумовою підошвою [23].

#### 6.1.4 Електробезпека

Цех, який проектується, відноситься до класу приміщень з особливою небезпекою, оскільки присутні дві умови особливої небезпеки:

- 1) Обладнання в цеху живиться від трифазної чотирьохпровідної мережі змінного струму промислової частоти з глухозаземленою нейтраллю.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

2) Ураження електричним струмом можливе у результаті впливу дотику до відкритих струмопровідних елементів обладнання, що опинилися під напругою в результаті порушення ізоляції, а також ураження кроковою напругою та через електричну дугу [23].

Найбільш часто відбувається однофазний дотик людини до мережі змінного струму.

Сила струму, який проходить через тіло людини, розраховується за формулою:

$$I_L = \frac{U_{\phi} \cdot 10^3}{R_L + R_0}, mA \quad (6.1)$$

$$U_D = I_L \cdot R_L, B \quad (6.2)$$

де  $R_L$  – опір людини (2 – 4 кОм);  $R_0 = 4$  – опір заземлення нейтралі джерела струму, Ом;  $I_L$  – електричний струм, який проходить через людину;  $U_{\phi} = 220$  В – фазна напруга.

Згідно ГОСТ 12.1.038-82, гранично допустимі значення становлять:  $I_L = 6$  мА і  $U_D = 36$  В змінного струмі в аварійному режимі при  $\tau > 1$  с та  $I_L = 0.3$  мА і  $U_D = 2$  В при нормальному режимі при  $\tau \leq 10$  хв/добу.  $R_L = 3000$  Ом,  $R_0 = 4$  Ом. Тоді, згідно з рівняннями 6.1 – 6.2:

$$I_L = \frac{220 \cdot 10^3}{3000 + 4} = 73.23, mA$$

$$U_D = 73.23 \cdot 3 = 219.72, B \quad (6.4)$$

Отже, розраховані значення  $I_L$  і  $U_D$  значно перевищують наведені вище нормативні значення. Це свідчить про те, що при порушенні вимог ПУЕ в цеху можливі електротравми з тяжкими наслідками.

На проектованому підприємстві з метою збереження здоров'я персоналу всі струмоведучі частини обладнання, до яких можливий дотик персоналу,

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ізолювані (опір ізоляції електропроводів вище 0.5 МОм). Як захист від ураження електрикою розраховано занулення.

Перевіряємо умови забезпечення вимикальної здатності занулення:

$$I_{к.з} \geq 3 \cdot I_{пн.вст}^H \quad (6.5)$$

Визначаємо номінальний струм електродвигуна:

$$I_{ел.дв}^H = \frac{1000 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \alpha} = \frac{1000 \cdot 3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.9} = 17.1 \text{ A}$$

де  $P$  – номінальна потужність двигуна, кВт;  $U_H$  – номінальна напруга, В;  $\cos \alpha$  – коефіцієнт потужності.

Значення зовнішнього індуктивного опору петлі фаза-нуль для розрахунку береться 0,6 Ом/км.

Визначаємо пусковий струм двигуна:

$$I_{ел.дв}^{пус} = 7.5 \cdot I_H = 7.5 \cdot 17.1 = 128.2 \text{ A} \quad (6.7)$$

Розрахуємо номінальний струм плавкої вставки: 1

(6.8)

$$I_{пл.вс}^H = \frac{I_{ел.дв}^{пус}}{\alpha} = \frac{128.2}{2} = 64.1 \text{ A}$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт режиму роботи електродвигуна;  $\alpha = 2$  – з нечастими пусками двигуна.

Визначаємо очікуване значення  $I_{к.з}$  за формулою :

$$I_{к.з} \geq 3 \cdot 64.1 = 192.3 \text{ A}$$

Вибираємо стандартне значення перетину нульового дроту 4x10 мм і розрахуємо густину струму  $\delta$ :

$$I_{к.з} = 192.3 \text{ A} \quad (6.10)$$

За табличними даними знаходимо активні і індуктивні опори сталевих провідників. Для цього задаємось перетином і завдовжки нульового  $l_H$  і фазового  $l_\phi$  сталевих провідників:

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

$l_n = 50 \text{ м; перетин } 4 \times 40 \text{ мм; } S = 160 \text{ мм}^2;$

$l_\phi = 100 \text{ м; перетин } \Phi = 8 \text{ мм; } S = 50.27 \text{ мм}^2$

Перетин нульового провідника і його матеріал вибирається при умові, що повна провідність нульового провідника була не менше ніж половина повної провідності фазового дроту [23]:

$$\frac{R_\phi + X_\phi}{R_n + X_n} \geq \frac{1}{2}$$

Активний опір фазового і активного опору нульового дроту вибирається залежно від площі перетину і густини струму:

$$R_\phi = r \cdot l_\phi = 6.4 \cdot 0.1 = 0.64 \text{ Ом} \quad (6.12)$$

Визначаємо внутрішні індуктивні опори фазового і індуктивного провідників  $X_\phi$  і  $X_n$ :

$$X_\phi = X_w \cdot l_\phi = 6.4 \cdot 0.1 = 0.64 \text{ Ом} \quad (6.12)$$

$$X_n = X_w \cdot l_n = 1.81 \cdot 0.05 = 0.09 \text{ Ом} \quad (6.13)$$

де  $X_w$  – індуктивний опір провідника, Ом;  $l$  – довжина провідника, км.

Зовнішній індуктивний опір петлі фаза-нуль:

$$X_l = 0.6 \text{ Ом/км.}$$

Загальна довжина петлі фаза-нуль  $1.5 \cdot 100 = 150 \text{ м} = 0.15 \text{ км}$ , тоді

$$X_l = 0.6 \cdot 0.15 = 0.09 \text{ Ом.}$$

Розрахуємо опір петлі фаза-нуль по залежності 6.14:

$$\begin{aligned} Z_T &= \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + (X_\phi + X_n + X_l)^2} = \\ &= \sqrt{(0.064 + 0.009)^2 + (0.38 + 0.054 + 0.09)^2} = 0.778 \text{ Ом,} \end{aligned} \quad (6.14)$$

де  $Z_T$  – опір трансформатора, Ом.

Виконуємо перевірку умови надійного спрацьовування захисту:

$$I_{к.з} \geq 3 \cdot I_{пн.вст}^H \geq 462 \geq 3 \cdot 64.1 \text{ А;} \quad (6.15)$$

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$462 > 192.3.$$

Отже, струм  $I_{к.з.}$  більше ніж в 3 рази перевищує величину струму плавкової вставки, тому при замиканні на корпус плавка вставка перегорить впродовж 5-7 секунд.

Завдяки цьому відбудеться відключення пошкодженої фази.

За значенням номінального  $I$  вибираємо плавку вставку серії ПН - 100 з номінальним  $I = 80$  А при напрузі мережа 380 В.

#### 6.1.5 Безпека технологічних процесів і обслуговування обладнання

В проектуваному виробництві використовується різноманітне обладнання: транспортні засоби (електрокари), змішувачі, трубопроводи та реактори, які з точки зору техніки безпеки створюють небезпеку.

Для уникнення травм робітників транспортні шляхи, призначені для цехового транспорту і проходи на території підприємства проектуються таким чином, щоб транспорт було видно заздалегідь; або ж використовують звукові сигнали. Конструкцією колони синтезу передбачено зручність і безпеку її обслуговування і ремонту, монтажу та демонтажу механізмів, вузлів і оснащення. Частини компресорів, що нагріваються до температури понад 25°C, теплоізовані або закриті кожухом. Причиною травматизму, може бути падіння важких частин оснащення, тому операції знімання та установки форм максимально механізовані. Певну небезпеку складає протікання аміаку з трубопроводів, при цьому виникає ризик удушенню, втрати свідомості, смерті.

### 6.2 Пожежна безпека

На виробництві, що проектується, можливими джерелами пожежі є перенавантаження електроустаткування, нагріті стінки обладнання, іскри електрообладнання та тертя деталей машин, виникнення електричної дуги при обриві ланцюгів високої напруги, перегріву електроустаткування, а також прямий удар блискавки в будівлю[24].

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

За захистом від блискавки виробнича будівля відноситься до III категорії. Будівлі захищаються від прямих ударів блискавки блискавковідводами. Для захисту від занесення високих потенціалів блискавки по трубопровода – заземленням їх, перед входом до будівлі.

У якості захисту від дії статичної електрики використане заземлення. Для захисту електрообладнання від загорання застосовуються пристрої захисного вимкнення (реле типу ЕЛ-1, ЕЛ-12.), передбачена ізоляція електропроводки (гетинакс, текстоліт) [25].

За ступенем вогнестійкості виробнича будівля відносяться до 1 групи. У виробничому корпусі і на території проектного заводу передбачаються наступні протипожежні заходи:

- 1) у виробничому корпусі передбачено 6 виходів, що забезпечують евакуацію людей при пожежах;
- 2) через кожні 5.0 – 7.5 м по ланцюгу зовнішнього водопроводу встановлені гідранти;
- 3) передбачений внутрішній протипожежний трубопровід;
- 4) налаштування протипожежних перепон у будівлях, системах вентиляції, опалювальних та кабельних комунікаціях;
- 5) вода береться з водопровідної мережі даного підприємства;
- 6) із зовнішньої сторони будівлі встановлено два пожежні сходи.

На проектованому підприємстві передбачається пожежна сигналізація і зв'язок. Протипожежні розриви між будівлями складають 10 м.

Для уникнення іскор удару чи тертя рухомі частини обладнання своєчасно змащуються. Для гасіння пожежі передбачений внутрішній протипожежний водопровід, в приміщенні знаходяться ємності з піском і пожежні щити [25].

Показники пожежо- та вибухонебезпечності наведено у таблиці 6.4.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

Таблиця 6.4 – Показники пожежо- та вибухонебезпечності речовин

Назва установки	Речовини, що обертаються у виробництві	Агрег. стан реч. при нормальних умовах	Горючість, займистість, вибухонебезпечність	Показники пожежо- та вибухонебезпечності	Межа спалаху	Вибухо-небезпечні суміші	Засоби пожежогоасіння	Категорія і тип зони захисту від блискавки згідно СН 305-97
Реактор	2,6 ДТБФ	Кристалічний продукт з характерним фенольним запахом	Негорючий, Вибухо-небезпечний	Температура самозаймання, °С	%	Категорія	Група	Інертні розчинники
				236	3,0-12,5	II-C	T1	III-A

АФ	Кристалічний продукт з характерним фенольним запахом	Негорючий, Вибухо-небезпечний	395	1,4-9,5	II-C	T1	Інертні розчинники
Пароформ	Аморфний білий порошок	Горючий	430	3,0-12,5	II-C	T1	Інертні розчинники

Продовження таблиці 6.4

	Аміачний розчин	Прозора рідина з масовою часткою аміака не менше 25%	Горючий	651	1,4-9,5		T1	Інертні розчинники
	Олива М-8	В'язка речовина темного кольору з характерним запахом	Горючий	296	3,0-12,5		T1	Інертні розчинники



## ВИСНОВКИ

В ході виконання даного дипломного проекту проведений аналіз схеми процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив. Проведено моделювання процесу в програмі ChemCAD 7, в ході якого було розраховано матеріальні баланси вхідних та вихідних речовин, які зійшлись, що свідчить про те, що модель працює правильно.

Розроблена схема автоматизації процесу отримання високотемпературної антиокислювальної присадки до моторних олив. В результаті обрано 8 контурів контролю і сигналізації, 7 контурів контролю, 5 контурів регулювання, 4 контури, які призначені для дистанційного керування вентилятором та насосами.

Проведена ідентифікація параметрів технологічної схеми, як об'єкту керування, розраховано налаштування ПД-регулятора та побудовано перехідний процес замкнутої САР з ПД-регулятором в програмі MathCAD 15. На основі графіку перехідного процесу регулювання розраховані прямі показники якості перехідного процесу і наведені обґрунтовані висновки.

В ході розрахунку техніко-економічних показників розрахований економічний ефект на підприємстві з встановленими технічними засобами автоматизації, в порівнянні з підприємством без автоматизації.

В розділі охорони праці наведені основні правила техніки безпеки на виробництві, показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин та матеріалів та заходи для запобігання виникненню пожеж або вибухів у цеху.

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаних джерел

1. Дружинина А.В., Цигуро Т.А., Филиппов В.Ф. Присадки к маслам и топливам. -М., 1961, с.247-253.
2. Виппер А.Б., Виленкин А.В., Гайснер Д.А. Зарубежные масла и присадки. -М.: Химия, 1981, 192 с.
3. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов с применением моделирующей программы CHEMCAD. URL: <http://mysagni.ru/fea/ait/1910-posobie-matematicheskoe-modelirovanie-i-optimizaciya-himiko-tehnologicheskikh-processov-s-primeneniem-modeliruyuschey-programmy-chemcad-.html> (дата звернення 05.04.2019)
4. Остапенко Ю. О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування: Підручник для студентів ВНЗ напрямку підготовки 050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" К.: Задруга, 1999. – 424 с.
5. Бондаренко С. Г., Сангінова О. В. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Теорія автоматичного керування» для студентів напрямку підготовки 6.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології". К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 60 с.
6. Бондаренко С. Г., Сангінова О. В. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт та самостійної роботи з дисципліни «Теорія автоматичного керування» для студентів напрямку підготовки 6.050202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології". К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 60 с.

7. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. - М.: Химия, 1982. - 296 с.
8. Лукінюк М.В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації. К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 236 с.
9. Кафаров В.В., Глебов М.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Высшая школа, 1991. – 400с.
10. ТХА-1387 – Краткое описание. URL: [http://www.owen.ru/catalog/izmeritel\\_pid\\_regulyator\\_odnokanal\\_nij\\_ov\\_en\\_trm10/opisanie](http://www.owen.ru/catalog/izmeritel_pid_regulyator_odnokanal_nij_ov_en_trm10/opisanie) (дата звернення 05.06.2019)
11. ПИД-регулятор одноканальный URL: <http://www.kaskad-electro.ru/magazin/tag/%D0%A3%D0%9F%D0%A1+1> (дата звернення 05.06.2019)
12. UFM 3030. URL: <https://electro.mashinform.ru/pribory-dlya-izmereniya-i-regulirovaniya-raskhoda-i-kolichestva-zhidkостей-gazov-i-sypuchih-materialov.html> (дата звернення 05.06.2019)
13. ФК00711. URL: <https://electro.mashinform.ru/pribory-dlya-izmereniya-i-regulirovaniya-temperature.html> (дата звернення 05.06.2019)
14. Преобразователь давления КВАНТ 2420 В/П/М. URL: <https://electro.mashinform.ru/pribory-dlya-izmereniya-i-regulirovaniya-davleniya-i-razryazheniya.html> (дата звернення 05.06.2019)
15. УПС 1. URL: <http://www.kaskad-electro.ru/magazin/tag/%D0%A3%D0%9F%D0%A1+1> (дата звернення 05.06.2019)
16. Промышленный уровнемер ЕС 1300. URL: <https://electro.mashinform.ru/pribory-dlya-izmereniya-i-regulirovaniya->

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

[urovnya-zhidkостей-i-sypuchih-materialov.html](http://urovnya-zhidkостей-i-sypuchih-materialov.html) (дата звернення 05.06.2019)

17. Пост управління ПКУ 15-21-131УЗ. URL: <https://electro.mashinform.ru/oborudovanie-nasosnoe-i-nasosy-dlya-nefteproduktov-i-himicheski-aktivnyh-sred.html> (дата звернення 05.06.2019)

18. Кнопка виключення КМЕ-5111. УЗ URL: <https://electro.mashinform.ru/svetosignalnye-ustrojstva.html> (дата звернення 05.06.2019)

19. Види руху предметів праці. URL: [http://bookwu.net/book\\_kl-z-organizaci-planuvannya-ta-upravlinnya\\_977/25\\_3.6.-vidi-ruhu-predmetiv-praci](http://bookwu.net/book_kl-z-organizaci-planuvannya-ta-upravlinnya_977/25_3.6.-vidi-ruhu-predmetiv-praci). (дата звернення 05.05.2019)

20. Методи планування чисельності персоналу. URL: <http://buklib.net/books/27958/> (дата звернення 05.05.2019)

21. Організація контролю якості продукції. URL: [http://pidruchniki.com/15890315/ekonomika/organizatsiya\\_kontrolyu\\_ya\\_kosti\\_produktsiyi](http://pidruchniki.com/15890315/ekonomika/organizatsiya_kontrolyu_ya_kosti_produktsiyi) (дата звернення 05.05.2019)

22. Оборотні активи та їх організація на підприємствах. URL: [http://pidruchniki.com/1463062153094/finansi/oborotni\\_aktiv\\_i\\_organizatsiya\\_pidpriyemstvah](http://pidruchniki.com/1463062153094/finansi/oborotni_aktiv_i_organizatsiya_pidpriyemstvah) (дата звернення 05.05.2019)

23. Орленко, А. Т. Методичні вказівки щодо загальних вимог з охорони праці до технологічних процесів і обладнання при переробці пластмас у виробі. К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 30 с.

24. Пожежонебезпечна характеристика об'єктів. URL: [http://pidruchniki.com/1342012039049/bzhd/pozhezhonebezpechna\\_harakteristika\\_obyektiv](http://pidruchniki.com/1342012039049/bzhd/pozhezhonebezpechna_harakteristika_obyektiv) (дата звернення 05.04.2019)

25. Законодавство про охорону праці. URL: <https://refdb.ru/look/1076513-pall.html> (дата звернення 05.04.2019)

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

# ДОДАТКИ

## Додаток А.

### Результати розрахунку матеріальних балансів в ChemCAD 7

#### STREAM PROPERTIES

Stream No.	1	3	4	5
Name	AF	2.6DTBF	NH4OH	CH2O
- - Overall - -				
Molar flow kmol/h	37.0368	3.1481	2.7775	24.8465
Mass flow kg/h	1592.4999	135.3625	935.0000	2392.1257
Temp C	<b>110.0000</b>	110.0000	<b>120.0000</b>	120.0000
Pres Pa	<b>101325.0000</b>	101325.0000	<b>101325.0000</b>	101325.0000
Vapor mole fraction	1.000	1.000	0.0000	0.3120
Enth MJ/h	-4404.6	-374.39	-1684.6	-8687.6
Tc C	1153.2979	1153.2979	537.2500	1922.6251
Pc Pa	89953008.0000	89953032.0000	1037004.0625	8018664.0000
Std. sp gr. wtr = 1	1.179	1.179	0.808	1.063
Std. sp gr. air = 1	1.485	1.485	11.623	3.324
Degree API	-11.4842	-11.4842	43.6562	1.6259
Average mol wt	42.9977	42.9977	336.6380	96.2760
Actual dens kg/m3	1.8882	1.8882	742.7318	45.9542
Actual vol m3/h	843.3865	71.6879	1.2589	52.0546
Std liq m3/h	1.3507	0.1148	1.1574	2.2506
Std vap 0 C m3/h	830.1302	70.5611	62.2531	556.9014
- - Vapor only - -				
Molar flow kmol/h	37.0368	3.1481		7.7515
Mass flow kg/h	1592.5000	135.3625		361.9640
Average mol wt	42.9977	42.9977		46.6963
Actual dens kg/m3	1.8882	1.8882		7.2384
Actual vol m3/h	843.3865	71.6879		50.0064
Std liq m3/h	1.3507	0.1148		0.3205
Std vap 0 C m3/h	830.1302	70.5611		173.7384

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Cp J/kmol-K	47696.6289	47696.6289	36644.0273
Z factor	0.7244	0.7244	0.2000
Visc Pa-sec	6.789e-006	6.789e-006	2.795e-006
Th cond W/m-K	0.0125	0.0125	0.0042
- - Liquid only - -			
Molar flow kmol/h		2.7775	17.0951
Mass flow kg/h		935.0000	2030.1619
Average mol wt		336.6380	118.7571
Actual dens kg/m3		742.7318	991.1906
Actual vol m3/h		1.2589	2.0482
Std liq m3/h		1.1574	1.9300
Std vap 0 C m3/h		62.2531	383.1630
Cp J/kmol-K		828597.1250	157075.3438
Z factor		0.0190	0.0665
Visc Pa-sec		0.001920	0.002485
Th cond W/m-K		0.1303	0.1630
Surf. tens. N/m		0.0220	0.0162

Flow rates in kg/h

P-t-Octylphenol 32.7120	1210.0000	329.6600	0.0000
1-Ethyl-3-hydrobenzen 7.1000	220.0000	52.7600	0.0000
Boric Acid 0.4575	0.5000	0.0425	0.0000
Ammonium Hydroxi 93.0000	102.0000	0.1000	0.0000
Formaldehyde 54.9000	60.0000	5.1000	0.0000
C32H51O2N 1022.5132	0.0000	0.0000	0.0000

Stream No.	7	10	11
Name	C29H33O2N	recycling	Product

- - Overall - -

Molar flow kmol/h	33.8887	14.0061	10.8404
Mass flow kg/h	1457.1375	1833.7744	558.3515
Temp C	110.0000	120.0000	120.0000
Pres Pa	101325.0000	101325.0000	101325.0000
Vapor mole fraction	1.000	0.0000	0.9469
Enth MJ/h	-4030.2	-6422.6	-2185.8
Tc C	1153.2976	1920.1550	1931.6814
Pc Pa	89952992.0000	-27278.6328	48722708.0000
Std. sp gr. wtr = 1	1.179	1.022	1.225
Std. sp gr. air = 1	1.485	4.521	1.778
Degree API	-11.4842	6.9845	-15.9733
Average mol wt	42.9977	130.9268	51.5064
Actual dens kg/m3	1.8882	966.7990	8.4277
Actual vol m3/h	771.6989	1.8967	66.2518
Std liq m3/h	1.2359	1.7947	0.4559
Std vap 0 C m3/h	759.5693	313.9279	242.9735

- - Vapor only - -

Molar flow kmol/h	33.8887	10.2647
Mass flow kg/h	1457.1375	514.2650
Average mol wt	42.9977	50.1002
Actual dens kg/m3	1.8882	7.7660
Actual vol m3/h	771.6989	66.2201
Std liq m3/h	1.2359	0.4249
Std vap 0 C m3/h	759.5693	230.0702
Cp J/kmol-K	47696.6250	41732.7031
Z factor	0.7244	0.2000
Visc Pa-sec	6.789e-006	3.447e-006
Th cond W/m-K	0.0125	0.0051

- - Liquid only - -

Molar flow kmol/h	14.0061	0.5757
Mass flow kg/h	1833.7743	44.0865

					ДП ХА 5120 1490 001 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Average mol wt	130.9268	76.5803
Actual dens kg/m3	966.7989	1392.3009
Actual vol m3/h	1.8967	0.0317
Std liq m3/h	1.7947	0.0310
Std vap 0 C m3/h	313.9279	12.9033
Cp J/kmol-K	171499.0938	27249.0879
Z factor	0.0763	0.0753
Visc Pa-sec	0.003531	0.002596
Th cond W/m-K	0.1560	0.2351
Surf. tens. N/m	0.0160	0.0095

Flow rates in kg/h

P-t-Octylphenol	369.3101	32.7000	329.6601
1-Ethyl-3-hydrobenzen	59.8600	7.1000	52.700
Boric Acid	0.5000	0.0025	0.4575
Ammonium Hydroxi	93.1000	93.0000	0.1000
Formaldehyde	54.7000	50.2000	4.4000
C32H51O2N	1022.5132	0.0000	0.0



**Розрахунок параметрів системи керування при використанні ПД-регулятора за моделлю каналу керування температурою реакційної суміші засобами програмного пакету MathCAD**

***Визначення оптимальних налаштувань ПД - регулятора***

***Вводимо уявну одиницю:***

$$j \equiv \sqrt{-1}$$

***Задамо масив індексів:***

$$i := 1..1000$$

***Задамо масив значень  $\omega$  і  $p$ :***

$$\omega_i := 0.01 \cdot i \quad p_i := \omega_i \cdot j \quad \text{ORIGIN} \equiv 1 \quad n := 1..4$$

***Передавальна функція об'єкта***

***Введемо відомі параметри передавальної об'єкта:***

$$k := 1.68 \quad T_d := 4.2 \quad \tau := 0.75$$

***Введемо власне функцію об'єкта у вигляді масиву:***

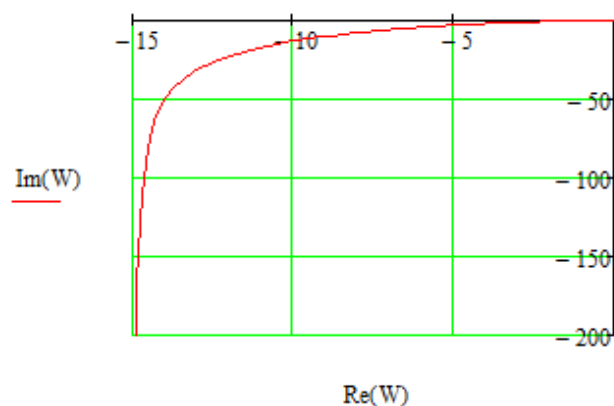
$$Wob_i := \frac{k}{T \cdot p_i + 1} \cdot e^{-p_i \cdot \tau}$$

***Передавальна функція ПД регулятора***

***Задаємо початкове значення коефіцієнта підсилення:***

$$Kp_n := 1 \quad T_d := 0.5$$

***Побудуємо АФХ розімкненої системи з ПД-регулятором:***



### Побудова променя і М-кола

Задаємо значення М:  $M := 1.4$

Знаходимо кутовий коефіцієнт променя:  $kl := \tan\left(\arcsin\left(\frac{1}{M}\right)\right)$

Знаходимо масив індексів для частини променя:  $il := 1..20$

Знаходимо масиви координат для побудови променя:

$$xl_{il} := -il + 1 \quad yl_{il} := kl \cdot xl_{il}$$

Задаємо масив індексів М-кола:  $ic := 1.. \frac{2 \cdot 3.14}{0.01}$

Задаємо приблизне значення:  $L1 := 22.2$

Вводимо функцію М-кола:

$$r := \frac{L1}{M} \quad \beta_{ic} := 0.01 \cdot ic \quad Mcir_{ic} := \left(\cos(\beta_{ic}) + j \cdot \sin(\beta_{ic})\right) \cdot \frac{L1}{M} - L1$$

Будуємо описаним вище способом графік:

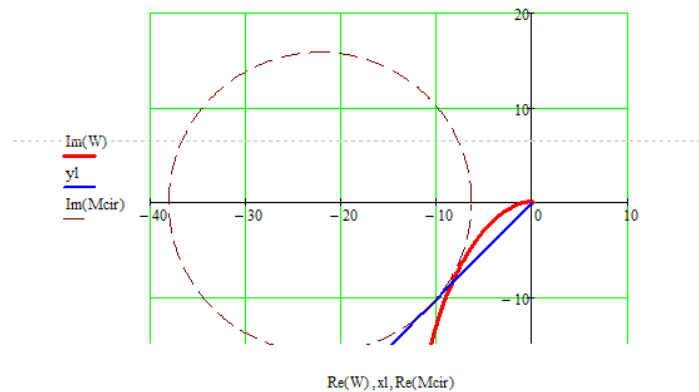


Рис.Д.1.2. Графік АФХ розімкненої системи, М -коло і промінь в одній системі координат

### Визначення оптимального значення коефіцієнта пропорційності

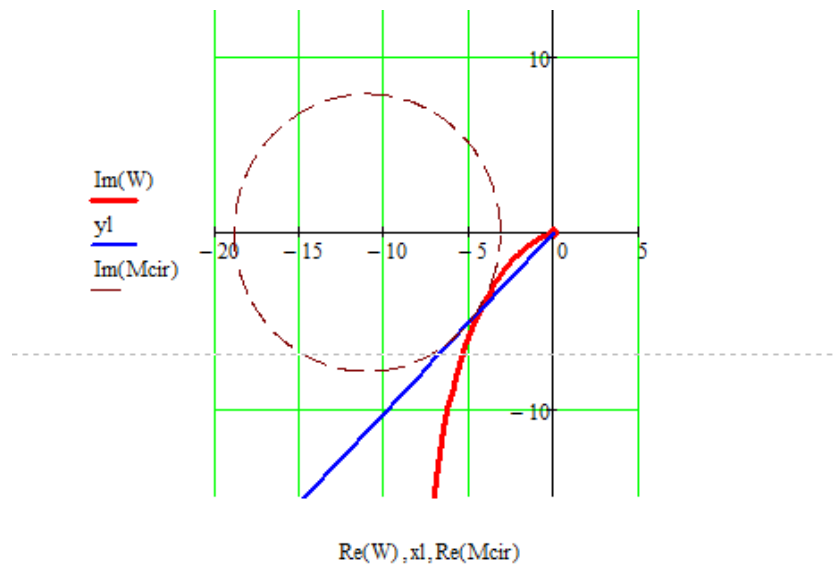
Змінюючи значення введеного вище  $L$  потрібно домогтися дотику М кола до АФХ

Обчислюємо  $Kp$ :  $r = 15.857 \quad Kp_1 := \frac{1}{r} = 0.063$

Аналогічно:  $Kp_2 := 1 \quad T_2 := 0.8$

$$Wreg_i := Kp_2 \cdot \left(0.5 \cdot T_2 \cdot p_i + 1 + \frac{1}{T_2 \cdot p_i}\right)$$

$$W_i := Wob_i \cdot Wreg_i \quad L1 := 11$$



**Обчислюємо  $Kp$ :**

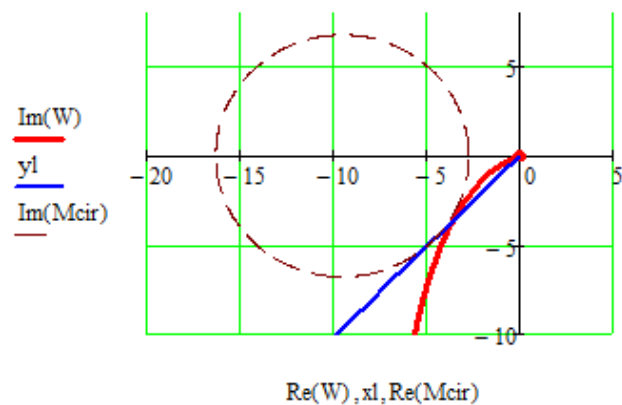
$$\underline{r} := \frac{L1}{M} \quad r = 7.857 \quad Kp_2 := \frac{1}{r} = 0.127$$

$$Kp_3 := 1 \quad T_3 := 0.9$$

$$Wreg_i := Kp_3 \cdot \left( 0.5 \cdot T_3 \cdot p_i + 1 + \frac{1}{T_3 \cdot p_i} \right)$$

$$W_i := Wob_i \cdot Wreg_i \quad \underline{L1} := 9.5$$

$$Mcir_{ic} := \left( \cos(\beta_{ic}) + j \cdot \sin(\beta_{ic}) \right) \cdot \frac{L1}{M} - L1$$



Обчислюємо  $K_p$ :  $r := \frac{L1}{M}$   $r = 6.786$   $K_{p3} := \frac{1}{r} = 0.147$

$r := \frac{L1}{M}$   $r = 2.714$   $K_{p4} := \frac{1}{r} = 0.368$

Знаходження оптимальних параметрів регулятора:

Маємо таблиці значень  $T_i$  і  $K_p$ :

$$T_i := \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.8 \\ 0.9 \\ 1.1 \end{pmatrix} \quad K_p = \begin{pmatrix} 0.063 \\ 0.127 \\ 0.147 \\ 0.368 \end{pmatrix}$$

$$\text{coef} := \text{cspline}(T_i, K_p)$$

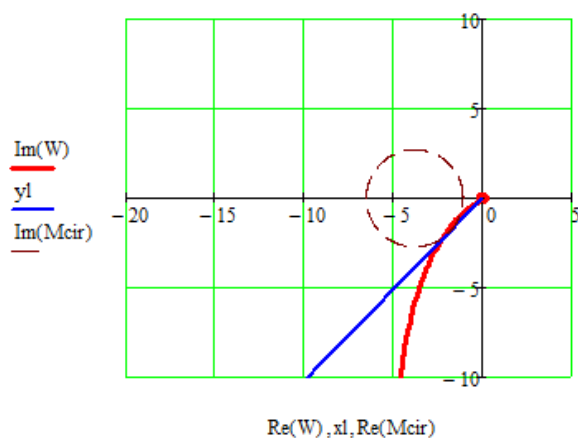
$$g(x) := \text{interp}(\text{coef}, T_i, K_p, x)$$

$$T_{i\_opt} := 1.1 \quad K_{p\_opt} := 0.368$$

$$\text{line}(x) := \frac{K_{p\_opt}}{T_{i\_opt}} \cdot x \quad x := 0, 0.01 \dots 1.3$$

$$W_i := W_{ob_i} \cdot W_{reg_i} \quad L1 := 3.8$$

$$M_{cir_{ic}} := \left( \cos(\beta_{ic}) + j \cdot \sin(\beta_{ic}) \right) \cdot \frac{L1}{M} - L1$$



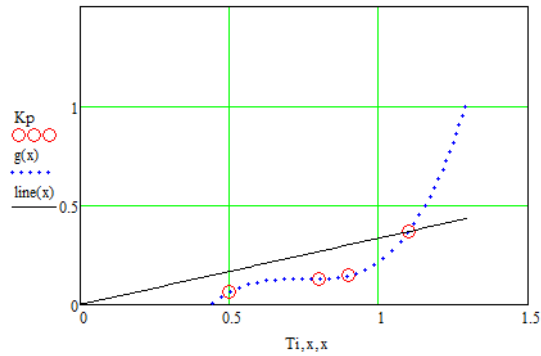


Рис.Д.1.6. Границя області запасу стійкості

### Побудова перехідної характеристики замкненої системи з ПІД-регулятором

Оголошуємо  $p$ , як символічну змінну:  $p := p$

Введемо передавальну функцію об'єкта (без ланки чистого запізнення) і регулятора у символічній формі:

$$W_{ob} := \frac{k}{T \cdot p + 1}$$

$$W_{reg\_opt} := K_{p\_opt} \cdot \left( \left( 0.5 \cdot T_{i\_opt} \cdot p + 1 + \frac{1}{T_{i\_opt} \cdot p} \right) \right)$$

Отримуємо передавальну функцію розімкненої системи:

$$W_{pr} := W_{reg\_opt} \cdot W_{ob}$$

Отримаємо передавальну функцію замкненої системи:

$$W_z := \frac{W_{pr}}{W_{pr} + 1}$$

Отримаємо перехідну характеристику системи застосувавши зворотнє перетворення по Лапласу, попередньо помноживши на  $i \frac{1}{p}$ :

$$\phi(t) := W_z \cdot \frac{1}{p} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace}, p, t \\ \text{float}, 4 \end{array} \right. \rightarrow -0.9917 \cdot \cos(0.9946 \cdot t) \cdot e^{-0.189 \cdot t} + -0.06077 \cdot \sin(0.9946 \cdot t) \cdot e^{-0.189 \cdot t} + 1.0$$

Задаємо діапазон побудови перехідної характеристики:  $t := 0, 0.01 \dots 90$

Будуємо графік  $\phi(t)$  від  $t$ :

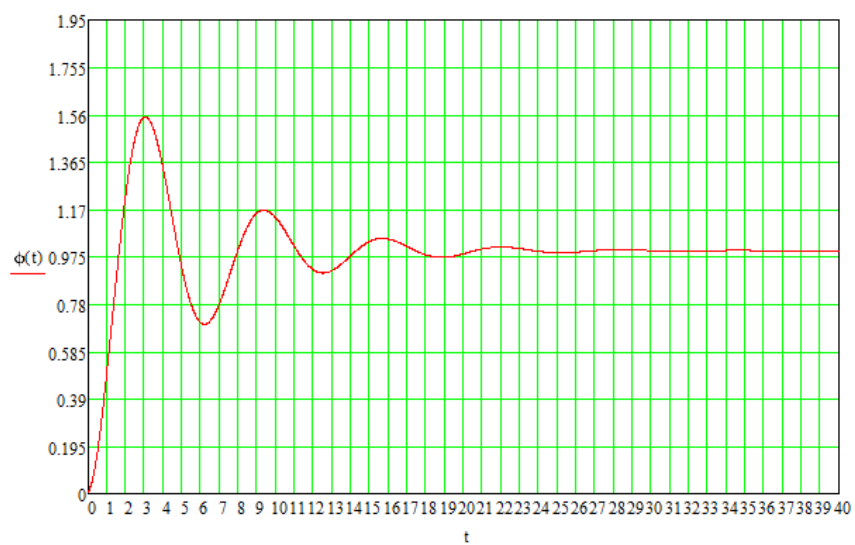


Рис. Д.3.1. Перехідна характеристика замкненої системи з ПД-регулятором

Додаток В

Специфікація устаткування

Позиція на схемі	Назва параметра	Місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Завод-виробник	К-ть
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2-1, 6-1, 8-1, 10-1, 18-1, 20-1, 22-1	Температура	Трубопровід подачі АФ	190 °С	Трубопровід	Термоелектричний перетворювач, НСХ К, діапазон вимірювання 0...900 °С; Р <sub>у</sub> = (0,4– 32) МПа; показник теплової інерції 3 с; клас точності 2	ТХА-1387	НВО «Електротермія», Приладобудівний завод, м. Луцьк	6
		Трубопровід подачі 2,6 ДТБФ						
		Трубопровід подачі гарячого теплоносія АТМ-300						
		Трубопровід подачі холодного теплоносія АТМ-300						
		Приймач-охолоджувач		Місцевий				
		Реактор						

ДП ХА4121 1490 001 ПЗ

Продовження Специфікації устаткування

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2-3 6-3, 8-3, 10-3, 18-3, 20-3, 22-3				Щит керування	Вимірювальний ПІД-регулятор одноканальний Вх. сигнал 4 - 20 мА; Вих. 4..20мА. Клас точності 0,25. Напруга живлення 0...1В, - 50...+50мВ. Максимальна похибка вимірювань 0,15 % Діапазон робочих температур від – 20 до +50 °С	TRM10	«ОВЕН», м. Москва	6
4-1, 25-1, 26-1, 27-1, 34-1, 35-1	Витрата	Трубопровід подачі аміачного розчину Трубопровід подачі борної кислоти Трубопровід подачі присадки у центрифугу Трубопровід подачі присадки після центрифуги Трубопровід подачі присадки готового продукту Трубопровід подачі оливи М-8		Трубопровід	Ультразвуковий витратомір Клас точності 0.1. Температура вимірюваного середовища від -30 до 2200 °С Вих. сигнал 4 – 20 мА. Похибка вимірювання 0,5%. Імпульсний, Profibus PA	UFM 3030	«ТД ТЕК-Україна» м. Запоріжжя	6

ДП ХА4121 1490 001 ПЗ



Продовження Специфікації устаткування

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4-2, 25-2, 26-2, 27-2, 34-2, 35-2	Витрата			Щит керування	Пневматичний показувальний і реєструвальний прилад зі станцією керування; Р <sub>жив</sub> ==140 кПа; Р <sub>вх</sub> ==20...100 кПа;гранично допустима похибка 0,5 %;	ФК0071 1	АТ «ТИЗПРИБОР», м. Москва	6
1-1, 24-1	Тиск	Трубопровід подачі азоту	0.03 МПа	Трубопровід	Вимірювальний перетворювач тиску серії КВАНТ ΔР <sub>max</sub> = 63 кПа; ΔР <sub>доп</sub> = 1,6 МПа; І <sub>вих</sub> = 4...20 мА	КВАНТ ДИЦ1, мод. 2420 В/П/М	НВФ «АГАТ-1», м. Харків	2
		Нутч - фільтр	0.03 Мпа	Місцевий				
HL1, HL2				Щит керування	Світлодіодна лампа Кут випромінювання 120°; Напруга 220В; Робоча температура навколишнього та вимірюваного середовища: -60 – +100°С	УПС 1	ТОВ "ТД Каскад- Електро", м. Харків	2
3-1, 14-1, 15-1, 16-1, 17-1, 21-1, 22-1	Рівень	Ємність: 2, 3, 4, 5, 6, 11, 18	0.8 ... 3.8 м	Місцевий	Промисловий рівнемір Вхідний сигнал 0 – 20 мА Максимальна висота вимірювання 100 м Діапазон тиску 0 – 10 бар Робоча температура навколишнього та вимірюваного середовища -10 – +100°С	ЕС 1300	"FineTeK", м. Берлін	7
HL3, HL4, HL5, HL14, HL15, HL16, HL17, HL18, HL19				Щит керування	Світлодіодна лампа Кут випромінювання 120°; Напруга 220В; Робоча температура навколишнього та вимірюваного середовища: -60 – +100°С	УПС 1	ТОВ "ТД Каскад- Електро", м. Харків	9

ДП ХА4121 1490 001 ПЗ

Лист

# Продовження Специфікації устаткування

1	2	3	4	5	6	7	8	9
SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, SB6, SB7, SB8	Витрата	Насоси М – 1, М – 2, М – 3, М – 4		Щит керування	Пост керування кнопочий, кількість елементів управління – 2 Номинальна напруга ізоляції (за змінного струму частотою 50/60 Гц) 660 В, номінальний тепловий струм 10 А; температура довкілля від (-40) °С до 40 °С, відносна вологість повітря 98 %, комутаційна зносостійкість 1 000 000 циклів	ПКУ 15-21- 131-УЗ	ЗАТ «Променергоавтоматика», м. Київ	8
SA1, SA2, SA3, SA4				Місцевий	Кнопка запобіжного вимикання Номинальна робоча напруга: змінна (частота 50...60 Гц) 660 В, постійна – 440 В, номінальний тепловий струм – 10А	КМЕ-5111 УЗ	ТОВ «Кам'янецьПоділький електромеханічний завод», м. Кам'янець Подільський	4
МП1, МП2, МП3, МП4				Місцевий	Пускач магнітний безконтактний неревверсивний I=160А, робоча напруга 220...380 В, потужність 45 кВт	ПМ- 12160210 УЧВ	ВО «Электро-прибор», м.Чебоксари	4
HL6, HL7, HL8, HL9, HL10, HL11, HL12, HL13				Щит керування	Світлодіодна лампа Кут випромінювання 120°; Напруга 220В; Робоча температура навколишнього та вимірюваного середовища: -60 – +100°С	УПС 1	ТОВ "ТД Каскад- Електро", м. Харків	8

ДП ХА4121 1490 001 ПЗ

Лист