

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ

Група АКП-21-1

**Нестор Мацук**

**2025**

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Факультет автоматизації та енергетики  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Мацук Нестор Тарасович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.646:621.438:681.5

(індекс)

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Автоматизація газоперекачувального агрегату з газотурбінним приводом

(назва роботи)

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

### Нормоконтроль

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

О.В. Кучмистенко

(ініціали та прізвище)

### Здобувач освітнього ступеня

АКП-21-1

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

Н.Т. Мацук

(ініціали та прізвище)

### Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.Я. Чигур

(ініціали та прізвище)

### Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

### Допущено до захисту

### Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 - «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри АКІТ**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я  
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Мацук Нестор Тарасович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація газоперекачувального агрегату з газотурбінним приводом

керівник роботи Лагойда Андрій Іванівна, доцент, к.т.н.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Технологічна схема об'єкту, параметри проходження процесу, стандарти, каталоги, методичні вказівки

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1 Аналіз технологічного процесу компримування газу як об'єкта автоматичного контролю і керування. 2 Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування. 3 Синтез структури системи автоматичного керування. 4 Розробка технічної документації на САК. Висновки. Перелік посилань на джерела.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКП-40.00.00.001;

Лист 2 - Аналіз і синтез одноконтурної АСК - БР.АКП-40.00.00.002;

Лист 3 - Аналіз і синтез каскадної АСК - БР.АКП-40.00.00.003;

Лист 4 - Схема зовнішніх з'єднань - БР.АКП-40.00.00.004;

Лист 5 - Загальний вигляд щита - БР.АКП-40.00.00.005.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 06.11.2024

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу компримування газу як об'єкта автоматичного контролю і керування	10.06.2025	
2	Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування	11.06.2025	
3	Синтез структури системи автоматичного керування	12.06.2025	
4	Розробка технічної документації на САК	13.06.2025	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Н.Т. Мацук \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

А.І. Лагойда \_\_\_\_\_  
(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить: 68 сторінок друкованого тексту, 24 рисунки, 5 таблиць, 11 переліків посилань на джерела і 3 додатки.

Тема: автоматизація газоперекачувального агрегату з газотурбінним приводом.

Об'єкт дослідження: газоперекачувальний агрегат з газотурбінним приводом.

Мета проекту: розробка автоматичної системи управління ГПА.

Методи дослідження: експериментальне моделювання ГПА.

Результати кваліфікаційної роботи: у роботі проведений аналіз технологічного процесу перекачування природного газу, вибрано параметри контролю і регулювання.

На основі даних активного експерименту знайдена передавальну функцію об'єкту по основному та допоміжному каналу регулювання, вибрані оптимальні регулятори, виконано розрахунок оптимальних параметрів налаштування регуляторів, виконаний розрахунок одноконтурної та каскадної системи регулювання, визначені показники якості процесу регулювання, а також досліджена система на стійкість.

Здійснено вибір технічних засобів автоматизації, а також розроблено проектну документацію.

Ключові слова: відцентровий нагнітач, камера згорання, газова турбіна, нечіткий регулятор, параметри налаштування регуляторів.

## **ABSTRACT**

The qualification work contains: 68 pages of printed text, 24 figures, 5 tables, 11 lists of references to sources and 3 appendices.

Topic: automation of a gas pumping unit with a gas turbine drive.

Object of research: a gas pumping unit with a gas turbine drive.

Project goal: development of an automatic control system for a gas pumping unit.

Research methods: experimental modeling of a gas pumping unit.

Results of the qualification work: the work analyzes the technological process of pumping natural gas, selects control and regulation parameters.

Based on the data of the active experiment, the transfer function of the object along the main and auxiliary regulation channels is found, optimal regulators are selected, the calculation of optimal regulator settings is performed, the calculation of a single-loop and cascade regulation system is performed, the quality indicators of the regulation process are determined, and the system is tested for stability.

The selection of technical means of automation is carried out, and project documentation is developed.

Keywords: centrifugal supercharger, combustion chamber, gas turbine, fuzzy controller, controller tuning parameters.

## ЗМІСТ

	<b>ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>9</b>
	<b>ВСТУП.....</b>	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОМПРИМУВАННЯ ГАЗУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>11</b>
	1.1 Призначення та суть процесу компримування газу.....	11
	1.2 Характеристика природного газу.....	14
	1.3 Аналіз технологічної схеми ГПА з газотурбінною установкою.....	15
	1.4 Призначення та характеристика складових частин ГПА.....	16
	1.4.1 Осьовий компресор.....	16
	1.4.2 Регенератор.....	17
	1.4.3 Камера згорання.....	18
	1.4.4 Турбіна високого тиску.....	18
	1.4.5 Турбіна низького тиску.....	19
	1.4.6 Відцентровий нагнітач.....	20
	1.5 Вибір і обґрунтування параметрів контролювання та регулювання..	22
	1.5.1 Захист по згасанню факела.....	22
	1.5.2 Захист від перевищення температури газу.....	22
	1.5.3 Захист по перевищенню частоти обертання роторів <i>ТВТ</i> і <i>ТНТ</i> .....	23
	1.5.4 Захист по температурі підшипників.....	23
	1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу.....	24
	Висновки до розділу.....	24
<b>2</b>	<b>МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>26</b>
	2.1 Вибір об'єкта керування.....	26

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація газоперекачувального агрегату з газотурбінним приводом			Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.	Мацук Н.Т.									6	68
Перевір.	Лагойда А.І.										
Реценз.	Чигур Л.Я.										
Н. Контр.	Кучмистенко О.В.										
Затверд.	Лагойда А.І.				ІФНТУНГ АКП-21-1						

2.2	Основні показники якості і критерії оптимальності системи автоматизації.....	26
2.3	Експериментальне дослідження динаміки керованого об'єкта.....	27
	Висновки до розділу.....	33
<b>3</b>	<b>СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....</b>	<b>34</b>
3.1	Розрахунок параметрів одноконтурної АСК.....	34
3.2	Розрахунок параметрів каскадної АСК.....	35
3.3	Дослідження на стійкість одноконтурної АСР.....	37
3.4	Дослідження на стійкість каскадної АСР.....	38
3.5	Оцінка якості керування за перехідними характеристиками.....	39
	Висновки до розділу.....	40
<b>4</b>	<b>РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК.....</b>	<b>41</b>
4.1	Структурна схема ієрархічної системи керування.....	41
4.2	Вибір технічних засобів автоматизації.....	42
4.2.1	Вибір датчиків.....	43
4.2.2	Вибір мікропроцесорних індикаторів технологічного процесу.....	46
4.2.3	Вибір регулятора.....	48
4.2.4	Вибір блоку перетворення інтерфейсів.....	49
4.2.5	Вибір блоку живлення для датчиків, перетворювачів, показуючих пристроїв і регуляторів.....	51
4.2.6	Вибір виконавчого механізму.....	51
4.2.7	Вибір пускового пристрою.....	52
4.3	Розробка ФСА на базі мікроконтролера МК-51.....	52
4.4	Проектування щита системи автоматизації.....	53
4.5	Проектування зовнішніх проводок.....	55
	Висновки до розділу.....	57
	<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>58</b>
	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....</b>	<b>59</b>

# ДОДАТКИ

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

ГПА - газоперекачувальний агрегат.

АСР - автоматизована система регулювання.

ГТУ - газотурбінна установка.

ВН - відцентровий нагнітач.

КЗ - камера згорання.

КО - керований об'єкт.

ОК - осьовий компресор.

РО - регулюючий орган.

ТВТ - турбіна високого тиску.

ТНТ - турбіна низького тиску.

ФСА - функціональна схема автоматизації.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## ВСТУП

Як відомо на даний час Україна володіє потужною системою експортних газопроводів за допомогою котрих виконується транзит газу із Росії до інших країн Західної та Центральної Європи.

Працююча у даний час система магістральних трубопроводів здійснює функції транспортування газу власного виробництва а також газу, що видобувається у Росії через територією України а також його розподіл між власними споживачами.

Наявні Українські мережі складаються із 13 підземними сховищами газу та відповідно складають цілу газотранспортну систему, котра володіє загальною протяжністю приблизно 37 тис. км. На усій протяжності задіяно 71 компресорну станцію та 1450 газорозподільні станції.

В умовах загострення конкуренції на ринку транспортування енергоносіїв наш стратегічний пріоритет - зміцнення транзитного потенціалу, забезпечення надійності поставок газу.

З метою досягнення потрібного ступеня стиснення перекачуваного газу на виході із компресорної станції задіюються декілька ГПА. Будь яке відхилення параметрів технологічного процесу компримування природного газу від встановлених норм викликає неефективне використання потенціалу задіяних ГПА, що у свою чергу викликає збільшення енергетичних витрат а відповідно підвищення собівартості природного газу. Саме тому підтримання на оптимальному рівні високої точності являється важливим параметром та має дуже важливе значення. Зазначені показники можуть досягатись тільки за допомогою використання високоефективних сучасних автоматичних систем автоматичного керування, які створені на основі використання промислових комп'ютерів.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КОМПРИМУВАННЯ ГАЗУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

## 1.1 Призначення та суть процесу компримування газу

Компримування - підвищення тиску газу з допомогою компресора.

Компримування - одна з основних операцій при транспортуванні вуглеводневих газів по магістральних трубопроводах, їх закачуванні в нафтогазові пласти для підтримування пластового тиску, в процесі заповнення підземних газосховищ, а також при скрапленні газів. Компримування здійснюється в один або декілька ступенів, тип і потужність компресора визначається залежно від кількості компримованого газу і необхідного ступеня підвищення тиску (ступеня стиснення). Компримування супроводжується підвищенням температури газу і, як правило, потребує його подальшого охолодження.

Газоперекачувальний агрегат (ГПА) являється основним технологічним обладнанням, котре забезпечує транспортування природного газу по усій протяжності магістрального газопроводу, а також компримування даного природного газу на наявних компресорних станціях а також підземних сховищах газу.

Вони призначаються для експлуатації на лінійних компресорних станціях (КС) магістральних газопроводів (МГ), дожимних компресорних станціях а також станціях підземних сховищ газу та відповідно для забезпечення зворотного закачування газу у пласт у випадку розробки газоконденсатних родовищ.

Розрізняють такі типи ГПА:

- за типом приводу:

- з газовим двигуном внутрішнього згоряння;
- з газотурбінним приводом;
- з електроприводом.

- за типом нагнітачів:

- поршневі газомоторні компресори;

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

•з відцентровими нагнітачами.

ГПА, які використовують газотурбінний привід, у свою чергу, підрозділяються на агрегати зі стаціонарним газотурбінним устаткуванням та із приводами, які виконують рух від газотурбінних двигунів авіаційного а також суднового типів.

Поршневі газомоторні компресори ГПА підрозділяються на агрегати, які забезпечують низький, середній та високий тиски. Компресори, які забезпечують низький тиск (0,30 – 2,00 МПа) зазвичай використовуються на головних КС у випадку транспортування газу із доволі виснажених родовищ а також нафтового газу із промислів. Їх також застосовують на КС з метою подавання низьконапірних штучних горючих газів. Компресори, які забезпечують середній тиск (2,0 – 5,0 МПа) зазвичай працюють на проміжних КС з метою збільшення пропускної спроможності газопроводів. Пристрої високого тиску (9,80 – 12,0 МПа) установлюють на компресорних станціях для закачування газу в підземні сховища. ККД сучасних газомотокомпресорів до 40 %.

Найпоширенішими являються агрегати потужністю від 221 до 5510 кВт, а за кордоном від 368 до 8100 кВт. ГПА із ВН досить широко використовуються як у нас так і за кордоном як основні агрегати на магістральних газопроводах. ВН також застосовують у вигляді першої ступені стиснення на підземних сховищах (ПС). Розрізняють ВН зі ступенем стиснення 1,230 - 1,250 які являються одноступінчастими (неповнонапірними) та зі ступенем стиснення 1,45-1,7 які являються двоступінчастими (повнонапірними). ВН мають суттєво більшу за поршневі компресори продуктивність (12,0 – 40,0 млн. м<sup>3</sup>/доб.).

Коефіцієнт корисної дії (ККД) агрегатів із ВН рівний 29 %, а із регенератором тепла рівний до 35 %. У якості приводу ГПА служить газотурбінне устаткування або електродвигун. Потужність ГПА з газотурбінним приводом складає 6, 10, 16 і 25 тис. кВт. Газотурбінне устаткування авіаційного і суднового типів відрізняється (від стаціонарних) невеликими габаритами і масою, що дає змогу здійснювати їх остаточне складання на заводах-виготовлювачах і доставляти на компресорні

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

станції в готовому вигляді. ГПА з приводом від устаткування авіаційного типу виконуються у блоково-контейнерному варіанті. Доставляється на компресорні станції з вмонтованими в них системами пожежогасіння і вибухобезпеки. Як електропривод в ГПА застосовують асинхронні двигуни, які володіють потужністю 4500 кВт а також синхронні, які мають потужність у межах від 4000 до 12500 кВт. Найбільша ефективність використання ГПА з електроприводом досягається при розміщенні компресорних станцій не далі ніж 300 км від лінії електропередачі.

Все більшого поширення в сучасному транспорті набувають газотурбінні двигуни. Газотурбінна установка складається з повітряного компресора, камер згорання і газової турбіни. Компресор складається з ротора, укріпленого на одній осі з турбіною, а також нерухомого направляючого апарату.

У процесі роботи турбіни компресорний ротор обертається. Лопасті ротора володіють такою формою, що у випадку їхнього обертання тиск перед компресором суттєво знижується, а відповідно за компресором суттєво підвищується. Повітря засмоктується в компресор, декілька східців лопаток компресора збільшують тиск повітря приблизно у 5-7 разів. Процес стискування протікає адіабатно, саме тому температура наявного повітря підвищується до температури не менше 200 °С.

Наявне стиснуте повітря направляється у камеру згорання. У цей самий час через форсунку в неї подається паливо. У процесі горіння палива повітря, котре виступає робочим тілом, одержує певну кількість тепла та відповідно нагрівається до температури у межах від 1500 до 2200 °С. Процес нагрівання повітря здійснюється за постійного тиску, саме тому повітря розширюється а його швидкість руху підвищується.

Рухоме повітря з дуже великою швидкістю, а також продукти горіння направляються у турбіну. У процесі переходу від ступені до ступені, вони поступово віддають свою кінетичну енергію лопаткам турбіни. Частина отриманої турбіною енергії витрачається на обертання компресора, а інша частина використовується з метою обертання гвинта морського корабля, гвинта літака чи коліс автомобіля, в нашому випадку для обертання ротора нагнітача.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2 Характеристика природного газу

Природний газ представляє собою деяку суміш газів, яка утворилася у надрах землі у процесі анаеробного розкладання органічних речовин.

Природний газ відноситься до корисних копалин. Природний газ в умовах (умовах залягання в земних надрах) пластів знаходиться у газоподібному стані як окремі скупчення (газових покладів), або у вигляді газової шапки нафтогазових родовищ, або в розчиненому стані в нафті або воді. За нормальних умов (101,325 кПа і 20 °С) природний газ знаходиться тільки в газоподібному стані. Так само природний газ може знаходитися в кристалічному стані у вигляді природних газогідратів.

Базову частину природного газу становить метан ( $CH_4$ ) - від 92 до 98 %. Зазвичай у склад природного газу також можуть входити такі важчі вуглеводні як гомологи метану: пропан ( $C_3H_8$ ); етан ( $C_2H_6$ ); бутан ( $C_4H_{10}$ ), та такі неуглеводневі речовини як: сірководень ( $H_2S$ ); водень ( $H_2$ ); азот ( $N_2$ ); гелій ( $He$ ); діоксид вуглецю ( $CO_2$ ).

Газ без домішок не має ні кольору і запаху. З метою визначення витоків за запахом, в газ додають невелику кількість речовин, що мають сильний неприємний запах (одорантів). Найчастіше в якості одоранту застосовується етилмеркаптан (16 г на 1000 м<sup>3</sup> природного газу).

Для полегшення транспортування і зберігання природного газу його зріджують, охолоджуючи при підвищеному тиску.

Орієнтовні фізичні характеристики (залежать від складу) за нормальних умов, якщо не вказане інше:

- Щільність:
  - стан відносно повітря сухий газоподібний у межах 0,68 - 0,85 кг/м<sup>3</sup>;
  - рідкий приблизно 400 кг/м<sup>3</sup>.
- Вибухонебезпечна концентрація сумішей газів та повітря у межах 5 - 15 % об'ємних.
- Величина температури для самозаймання становить 650 °С.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

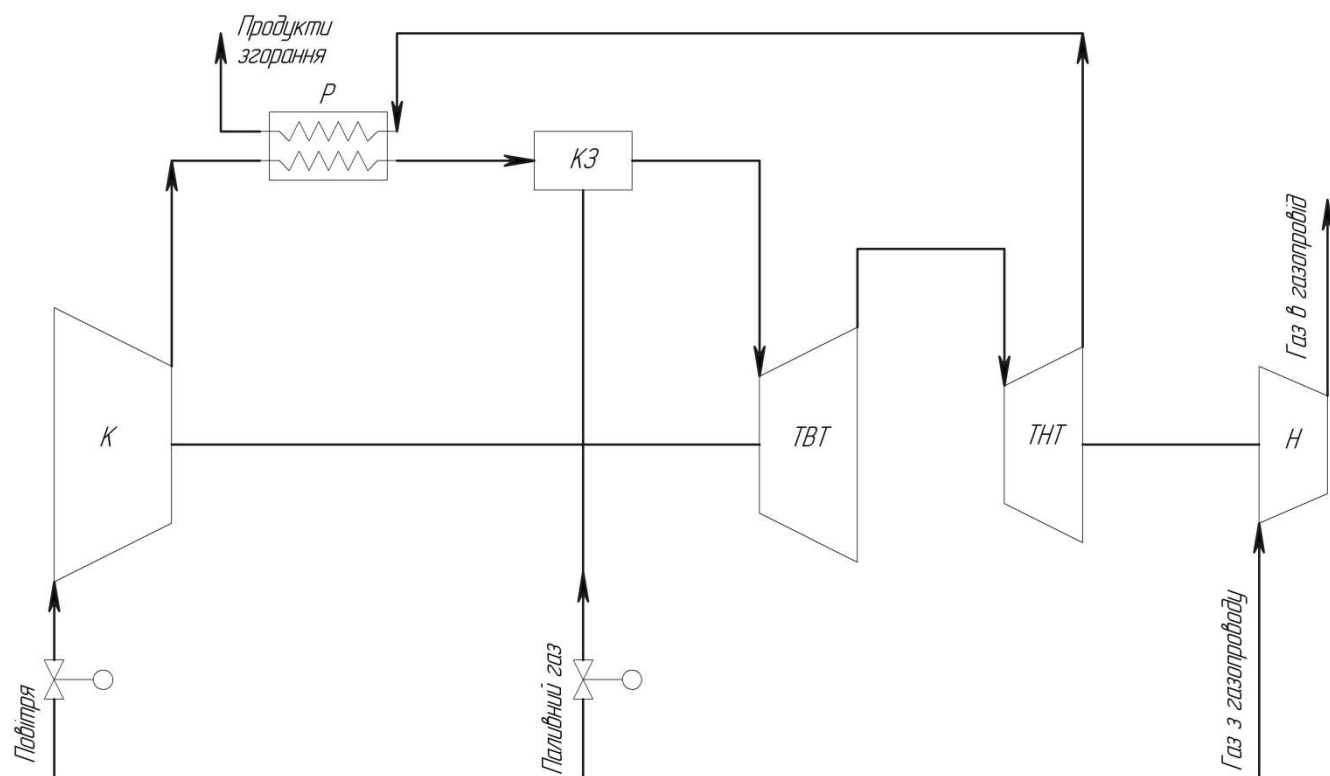
- Величина октанового числа у випадку використання у двигунах внутрішнього згорання становить 120-130.

- Величина питомої теплоти згорання 28 - 46 МДж/м<sup>3</sup>.

- Легший за повітря в 1,8 разів, тому при витокі не збирається в низинах, а піднімається вгору.

### 1.3 Аналіз технологічної схеми ГПА з газотурбінною установкою

Робочий процес установки з регенерацією теплоти газів (рис. 1.1), що відходять, здійснюється таким чином: атмосферне повітря після проходження системи фільтрів і стискування в осьовому компресорі *К* поступає у регенератор *Р*, де за рахунок використання теплоти газів, що відходять з турбіни, його температура підвищується на 200-250 °С.



*К* - осьовий компресор; *КЗ* - камера згорання; *Р* - регенератор;  
*ТВТ* і *ТНТ* - турбіни високого і низького тисків; *Н* - нагнітач

Рисунок 1.1 - Схема ГПА з газотурбінною установкою

Після регенератора стиснене повітря поступає в камеру згорання (*КЗ*), куди одночасно ззовні підводиться паливний газ. В результаті спалювання палива

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

температура продуктів згорання, що утворилися, перед газовою турбіною високого тиску доводиться до величини, обумовленої жаростійкістю дисків і лопаток турбіни. Після розширення в газовій турбіні продукти згорання проходять регенератор, в якому вони частково охолоджуються, віддаючи частину теплоти повітрю, що йде з осьового компресора в камеру згорання, і потім через димар викидаються в атмосферу.

На рисунку 1.2 показані процеси, що характеризують утворення циклу ГТУ в координатах  $PV$ . На цих графіках процес 1-2 - характеризує стискування в осьовому компресорі; 2-3 - процес підведення теплоти в регенераторі і камері згорання; 3-4 - процес розширення робочого тіла в газовій турбіні; 4-1 - процес вихлопу робочого тіла в атмосферу. Також приведений цикл ГТУ і в координатах  $TS$ . Лініями 1-2 і 3-4 відмічені відповідно реальні процеси стискування і розширення робочого тіла в циклі, штриховими 1-2' і 3-4' - процеси стискування і розширення в ідеальному циклі ГТУ.

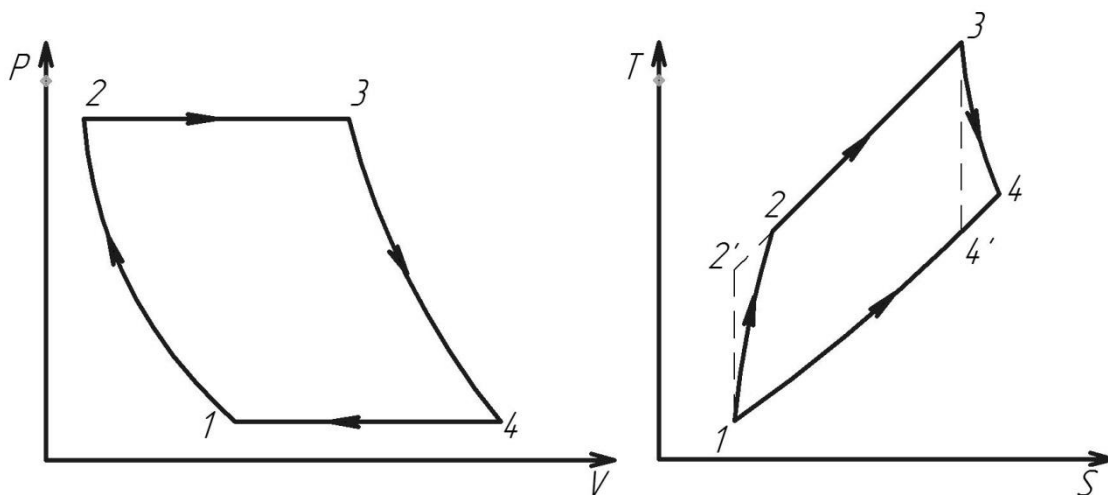


Рисунок 1.2 - Цикл ГТУ в координатах  $PV$  і  $TS$

## 1.4 Призначення та характеристика складових частин ГПА

### 1.4.1 Осьовий компресор

Осьовий компресор призначений для подання необхідної кількості повітря в камеру згорання газотурбінної установки.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Повітряний компресор осьового типу включає 10 ступенів. Робочі лопасті перших чотирьох ступеней кріпляться на приставних дисках. Необхідна жорсткість забезпечується центральним стягуванням, яке сполучає диски з ротором барабанного типу.

Для уникнення виникнення помпажу передбачені відбір повітря зі ступеней компресора і антипомпажного клапана.

Ротор осьового компресора - збірний (комбінований барабанно-дисковий). Диски, барабан і хвостовик стягнуті центральним стягуванням з високоміцної легованої сталі. Гайки стягування стопоряться штифтами. Така конструкція ротора дозволяє поєднувати достоїнства дискових і барабанних роторів, тобто підвищується міцність при дії відцентрових сил і спрощується технологія виготовлення ротора.

Усі направляючі лопатки компресора мають легкий знімний бандаж, просте допускають розбирання. Основне призначення бандажа - ущільнення радіальних проміжків по ротору дискової конструкції, а також підвищення вібронадійності направляючих лопаток.

Розширення діапазону стійкої роботи осьового компресора на змінних режимах забезпечують спеціальні пристрої розміщені під робочими лопастями.

Робочі лопасті виконані із закручуванням. Хвостовик зубчастий, що забезпечує можливість термічного розширення і надійність з'єднання. Лопатки виготовлені з нержавіючої сталі, що підвищує їх корозійну стійкість. Корпус зварно-литий з горизонтальним роз'ємом, що забезпечує поліпшення технології виготовлення, ремонтпридатність і зборку.

### **1.4.2 Регенератор**

Регенератор є теплообмінним апаратом для підвищення температури повітря, що поступає після осьового компресора в камеру згорання (КЗ), і у той самий час зниження витрати паливного газу по усьому агрегату.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.4.3 Камера згорання

Кільцева камера згорання розташована в корпусі турбіни високого тиску і кріпиться до обойми *TBT* утворюючи з нею єдиний збірний вузол. Камера згорання складається з двох напівкільцевих частин з горизонтальним роз'ємом.

Вогневий об'єм камери згорання обмежений на вході фронтними пристроями, а з боків дисковими стінками, встановленими в каркасі і прикріпленими сегментами до обойми *TBT*.

Пристрій пальника містить двадцять циліндричних реєстрів, рівномірно розташованих по колу на вході в камеру згорання і встановлені в них пальники типу «грибок» з отворами діаметром 4 мм для підведення природного газу в зону горіння.

Запалення газоповітряної суміші здійснюється електрозапалювальними свічками, встановленими в двох пускових пальниках, розміщених в районі горизонтального роз'єму турбіни в нижній половині камери згорання і приєднаними високовольтними кабелями до пускових котушок запалення, встановлених на кронштейнах рами - маслобака.

Між фронтними пристроями і дисковими стінками в місці їх закріплення в каркасі передбачені підведення охолоджувального повітря для створення захисної ізолюючої плівки повітря на внутрішній поверхні стінок камери згорання, а також підведення повітря в прикореневий і периферійний переріз соплового апарату *TBT*.

### 1.4.4 Турбіна високого тиску

*TBT* виступає приводом осьового компресора а також знаходиться із ним на спільному валу.

Ротор *TBT* збірний, диски стягнуті стяжними болтами. Диски виконані без центрального отвору складної конфігурації. Ротор *TBT* жорстко (механічно) пов'язаний з ротором осьового компресора *OK* і утворюють ротор газогенератора. Робочі лопатки (*PL*) мають закручений профіль.

Між дисками встановлені вставки для зменшення протікань робочого тіла.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

*РЛ ТВТ* набрано в сегменти, які встановлені в обойми. Це забезпечує свободу термічних розширень деталей статора. Обойма *ТВТ* - лита з горизонтальним роз'ємом. Також *ТВТ* має систему повітряного охолодження, що зменшує термічні деформації, що виникають в обоймі *РЛ ТВТ*. *РЛ* виконані порожнистими, охолоджуваними, з системою охолодження типу дефлектора.

*РЛ* - мають змінний профіль, кріпляться зубчастими хвостовиками в дисках, де виконані канали для охолодження кореня і хвостовика лопатки.

Лопатки виконані з жароміцної сталі і нікелевих сплавів, що підвищує ресурс їх роботи і міцність.

#### **1.4.5 Турбіна низького тиску**

Турбіна низького тиску (*ТНТ*) служить для приводу відцентрового нагнітача.

Після *ТВТ* продукти згорання по проміжному патрубку спрямовується в *ТНТ*. Перехідний патрубок - зварний з жароміцної сталі, складається із зовнішньої і внутрішньої обтічників.

*ТНТ* - одноступінчата турбіна, ротор якої складається з суцільно кованого диска і порожнистого хвостовика сполучених по вертикальному роз'єму. Перевага такого ротора - простота і легкість виготовлення, відносна легкість балансування і центрування. Також ротор має достатню жорсткість для передачі крутного моменту.

*РЛ ТНТ* мають закручування і профіль зі змінним перерізом по висоті. Хвостовики робочих лопаток виконуються ялинковим типом. Гребінь диска і хвостовики лопаток охолоджуються повітрям низького тиску відібраного після 4 ступені осьового компресора (ОК). *РЛ* набираються в спеціальні верхні і нижні обойми, що зменшує протікання через радіальні проміжки.

Для зменшення витоків охолоджувального повітря в проточну частину *ТНТ* ротор виконаний з кільцями ущільнювачів для запобігання протіканням робочого тіла.

Дифузор *ТНТ* - зварний, складається із зовнішнього і внутрішнього обода сполучених між собою обтічними стійками. Дифузор має горизонтальний роз'єм.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

*ТНТ* механічно не пов'язана з ротором газогенератора, тому має свої підшипники, опорний спереду і опорно-упорний ззаду (по ходу робочого тіла).

Корпус *ТНТ* зварно-литий, має горизонтальний роз'єм, спереду з'єднується з корпусом *ТВТ*, ззаду з вихлопною частиною.

#### **1.4.6 Відцентровий нагнітач**

Нагнітач природного газу є відцентровим газовим компресором який не має проміжного охолодження та призначається для компримування природного газу.

Відцентровий нагнітач (*ВН*) типу 650 є повнонапірною двоступінчатою відцентровою машиною, призначеною працювати на КС у паралельній схемі. Разом з допоміжним устаткуванням і первинними датчиками САК нагнітач змонтований на рамі і є транспортно-монтажним блоком.

*ВН* служить для стискування природного газу і його перекачування по магістральних газопроводах.

Корпус *ВН* виготовляється з високоякісних конструкційних сталей.

Корпус зварно-литий, з торцевих сторін що закривається кришками, які кріпляться до корпусу шпильками.

Ротор *ВН* - збірний, має кований вал і ковану основу коліс, на котрий можуть фрезеруватися спірального типу лопатки. Зазначені лопатки закриваються за допомогою покришок, що закріплюються за допомогою заклепок чи за допомогою зварювання. Усі колеса надійно з натягом насаджені на вали і кріпляться шпонками. Кожен ротор складається з необхідного числа коліс, шийок під опорні підшипники, наполегливого диска під наполегливий підшипник, диска реле осевого зрушення, спеціальних уступів і буртів під ущільнення і напівмуфти для зв'язку з ротором.

Перед кожним колесом передбачений вхідний конфузур у вигляді равлика. Це конструкція асиметричної форми, за рахунок якої газ спрямовується в колеса *ВН*. На виході з кожного колеса передбачені вихідні дифузори, де газ стискається. Колесо *ВН* з обох боків ущільнюється.

Уся ходова частина даної машини у тому числі ротор являються нерухомими

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елементами проточної частини, а наявні ущільнення а також підшипники утворюють у своєму поєднанні єдиний вузол-пакет, котрий може бути досить легко замінений у процесі експлуатації.

Таблиця 1.1 - Основні технічні характеристики *ВН*

Характеристика	Значення
Продуктивність об'ємна при 20°C і 0,01013 Па (760 мм.рт.ст.), м <sup>3</sup> /с, м <sup>3</sup> /доб.	544; 47·10 <sup>6</sup>
Продуктивність об'ємна віднесена до умов всмоктування, м <sup>3</sup> /хв, м <sup>3</sup> /с	580; 9,66
Тиск газу кінцевий при виході з нагнітального патрубка, МПа, кгс/см <sup>2</sup>	7,45; 76
Температура газу при виході з нагнітального патрубка, К, °С	314; 41
Потужність, споживана на муфті турбіни, МВт	25,5

Параметри, вказані в таблиці 1.1, повинні забезпечуватися нагнітачами за наступних умов:

- Тиск газу, початковий, абсолютний, при вході у всмоктуючий патрубок нагнітача, МПа, кгс/см<sup>2</sup> - 5,18; 52,78.

- Температура газу при вході у всмоктуючий патрубок на нагнітачі, К, °С - 288; 15.

- Щільність газу, віднесена до 293К, 200°C і 0,1013 МПа, 760 мм.рт.ст. - 0,68.

- Частота обертання ротора нагнітача номінальна, с<sup>-1</sup>, об/хв - 61,66; 3700.

Принцип роботи *ВН*.

Транспортований газ входить до колеса із деяким тиском та швидкістю. Ротор *ВН* постійно отримує енергію обертання від силової турбіни. Кожна частка газу бере участь в двох таких рухах:

- ковзає по спіралі лопатки;

- відкидається колесом за ходом обертання.

У міру видалення від центру до периферії колеса, швидкість газу безперервно росте. За допомогою обертання ротора у колесі *ВН* наявний газ отримує швидкість, а відповідно за колесом *ВН* на виході збільшується натиск.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

## 1.5 Вибір і обґрунтування параметрів контролювання та регулювання

Необхідний комплекс технічних засобів автоматизації повинен передбачати певну можливість для протікання нормальної роботи усіх технологічних установок без потрібної присутності обслуговуючого персоналу безпосередньо біля обладнання.

Головними параметрами, що впливають на роботу ГПА є:

- Параметри регулювання: витрата повітря, витрата паливного газу, швидкість обертання валу *THT*.

- Параметри контролю та сигналізації: швидкість обертання валу *TBT*, тиск (перед і після нагнітача, перед *TBT*, після компресора), температура (перед *TBT*, продуктів згорання, підшипників), наявність полум'я в КЗ.

### 1.5.1 Захист по згасанню факела

Система виявлення полум'я виконує дві функції:

- Під час нормального запуску агрегату світлочутливі елементи фотореле виявляють встановлення полум'я в камері згорання і дозволяють продовжувати послідовність запуску агрегату. Інакше припиняється подання паливного газу і, таким чином, унеможлиблюється його скупчення в турбіні, а отже, і можливість вибуху.

- У разі зриву полум'я під час роботи негайно припиняється подання паливного газу в камеру згорання, внаслідок чого унеможлиблюється подача незгорілого палива в патрубок турбіни, де могло б статися вторинне запалення в результаті зіткнення паливного газу з гарячими поверхнями, що небезпечно як для обслуговуючого персоналу, так і для самого устаткування.

### 1.5.2 Захист від перевищення температури газу

Цей захист є одним з основних системи захисту газової турбіни.

За нормальних умов експлуатації температура газу зазвичай підтримується регулюванням витрати палива. Проте при несправностях в системі регулювання,

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

помпажах осьового компресора або нагнітача кількість палива, що подається, і температура газу можуть перевищити встановлені норми. Це може привести до вигорання лопаток проточної частини, руйнування апарату лопатки і інших тяжких наслідків. На початку система захисту від перевищення температури газу включає попереджувальний звуковий і світловий сигнали, що вказує на необхідність розвантаження турбіни, запобігаючи тим самим її відключення. Якщо ж температура газу продовжуватиме підвищуватися, то система захисту зупиняє агрегат.

Система захисту спроектована таким чином, що являється незалежною від системи регулювання температури газу. Температуру газів вимірюють термопарами, що встановлюються за *THT* або перед *TBT*.

### **1.5.3 Захист по перевищенню частоти обертання роторів *TBT* і *THT***

Система захисту від перевищення частоти обертання призначена для захисту газової турбіни від можливих ушкоджень, що викликаються перевищенням максимальної частоти обертання валів *TBT* і *THT*.

При підвищенні частоти обертання може статися відрив лопаток, руйнування замків і дисків, можуть з'явитися осьові зрушення і руйнування підшипників, корпусних деталей і так далі.

Щоб запобігти перевищенню частоти обертання роторів допустимих значень, застосовують різного роду автомати безпеки. Ротор *THT* має два автомати безпеки: відцентровий (механічний, бойкового типу) і гідродинамічний. Захист від перевищення частоти обертання ротора *TBT* здійснюється по тиску олії за головним масляним насосом.

### **1.5.4 Захист по температурі підшипників**

Система захисту по температурі підшипників видає застережливий і аварійний сигнали при зростанні температури вище за допустиму, що може привести до руйнування підшипників, виплавлення бабіту вкладишів, осьових

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зрушень, підвищеній вібрації і тому подібне.

### **1.6 Вибір сучасного методу автоматизації технологічного процесу**

Процес перекачування природного газу представляє собою сукупність зв'язаних технологічних процесів з послідовно зв'язаними апаратами. Якість вихідних параметрів продукту наступного блоку залежить від роботи попереднього.

Щоб покращити керування процесом перекачування на даному агрегаті в цілому а також з метою чіткого дотримання певних норм даного технологічного режиму і потрібної якості перекачування природного газу а також для максимальної величини виробничої потужностей агрегатів на установці, з метою зменшення енергоспоживання, а також з метою забезпечення необхідної ритмічності виробництва, являється доцільним використання багатофункціональних мікропроцесорних пристроїв.

Для автоматизації досліджуваної установки використовуватимемо мікропроцесорний контролер моделі МІК-51, котрий дає можливість вирішувати досить багато задач автоматичного керування. Даний мікропроцесорний контролер дозволяє локальне, каскадне, програмне, супервізорне та багатозв'язкове регулювання. Програмування на мікропроцесорному контролері МІК-51 здійснюється шляхом використання алгоритмів, які для вирішення поставлених задач а також функцій об'єднуються за допомогою конфігурування.

З метою одержання інформації пропонується використовувати сучасні засоби автоматизації, котрі мають можливість з'єднуватись із мікропроцесорним контролером (МПК) МІК-51 оскільки вони усі оснащені уніфікованим вихідним сигналом, котрий спряжений із виходами контролера. Такими засобами є перетворювачі тиску ПД100ДИ М, вихрові витратоміри Rosemount 8800D, детектор наявності полум'я Dräger Flame 2300, термопари, датчики оборотів ОГ-018.

### **Висновки до розділу**

Розглянуто технологічний процес компримування природного газу, описано

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

призначення газоперекачувального агрегату з відцентровим нагнітачем і його складових частин. Дано характеристику природного газу. Описано технологічний процес компримування природного газу. Приведено параметри контролю і регулювання.

Удосконалення нової системи автоматичного керування, впровадження мікропроцесорного контролера МІК-51 на даному газоперекачувальному агрегаті приводять до покращення якості роботи, збільшення продуктивності ГПА, зниження енергетичних затрат на перекачування одиниці об'єму природного газу, зниження можливих простоїв обладнання а також можливих ремонтів повязаних зі збоями у управлінні технологічним процесом. Впровадження зазначеної системи керування гарантуватиме безаварійну роботу апаратури а також безпосередньо самої установки, суттєве покращення техніко-економічних показників, котрі приводяться в даному розділі у вигляді таблиць та розрахунків.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 2.1 Вибір об'єкта керування

Як зазначалось в попередніх розділах для створення автоматичної системи регулювання вибираємо газоперекачувальний агрегат з відцентровим нагнітачем.

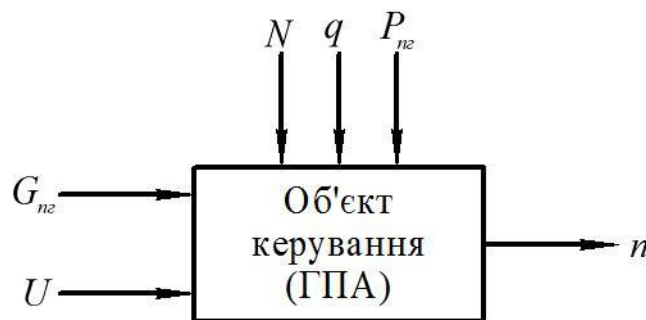
Основними збурюючими факторами є:

- варіація теплоти згорання паливного газу  $q_{nz}$ ;
- зміна навантаження на газоперекачувальний агрегат  $N$ ;
- тиск паливного газу  $P_{nz}$ .

Основною регулюючою дією є зміна витрати паливного газу.

До вихідних координат відносяться: частота обертання ротора нагнітача  $n$ .

Структурна схема підігрівача ГПА зображена на рисунку 2.1.



$G_{nz}$  - витрата паливного газу;  $n$  - частота обертання ротора відцентрового нагнітача;  $P_{nz}$  - тиск паливного газу;  $q$  - теплота згорання паливного газу;

$N$  - навантаження на ГПА

Рисунок 2.1 - Структурна схема ГПА

### 2.2 Основні показники якості і критерії оптимальності системи автоматизації

Метою системи автоматизації являється підтримання частоти обертання ротора відцентрового нагнітача. Дане регулювання проводиться витратою паливного газу, що подається в камеру згорання. З метою оцінки даного технологічного процесу визначатимемо такі показники якості системи

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

автоматичного регулювання:

- запас стійкості за амплітудою 0,5 - 0,6;
- похибка апроксимації  $< 2,5\%$ ;
- запас стійкості за фазою  $30^\circ - 60^\circ$ ;
- перерегулювання  $< 30\%$ ;
- степінь затухання коливань 0,75 - 0,95%.

### 2.3 Експериментальне дослідження динаміки керованого об'єкта

Однією із актуальних задач упровадження автоматичних систем регулювання (АСР) параметрів ГПА на компресорних станціях є їх налагоджування під час введення в експлуатацію. У практиці проведення таких робіт часто використовують експериментальні методи підбору оптимальних параметрів налаштування регуляторів (параметричної оптимізації). Ці методи базуються на прямому контролі перехідних або частотних характеристик АСР. Цілеспрямовано змінюючи параметри регулятора, досягають потрібних характеристик перехідного процесу.

Далі наведено аналітичний метод параметричної оптимізації, який базується на апроксимації перехідних характеристик об'єкта аперіодичною ланкою із запізненням і використанні інтегрального критерію оптимальності.

ГПА як об'єкт регулювання є складним агрегатом з багатьма вхідними і вихідними величинами, пов'язаними між собою нелінійними залежностями. Характеристики об'єкта можна отримати аналітично або експериментально. Через недостатню вивченість об'єкта регулювання і необхідність припущень для спрощення його математичного опису найбільш ймовірними слід вважати динамічні характеристики, отримані в результаті експериментів.

З метою експериментального визначення перехідних характеристик виконано збурення, відкрито РО, при цьому збільшилась витрата паливного газу. На виході об'єкту проводилось вимірювання частоти обертання ротора нагнітача. Результати експерименту подано в таблиці 2.1.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 - Результати експерименту

t, с	U, %	G, 10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup> /год	n, с <sup>-1</sup>	t, с	U, %	G, 10 <sup>3</sup> м <sup>3</sup> /год	n, с <sup>-1</sup>
0	15	6	44,583	200	15	7,494	48,333
20	15	6,6	44,625	220	15	7,5	48,708
40	15	6,96	44,667	240	15	7,5	49,063
60	15	7,17	44,833	260	15	7,5	47,354
80	15	7,305	45,188	280	15	7,5	49,583
100	15	7,38	45,729	300	15	7,5	49,792
120	15	7,425	46,25	320	15	7,5	49,958
140	15	7,455	46,875	340	15	7,5	50
160	15	7,4655	47,396	360	15	7,5	50
180	15	7,491	47,917	380	15	7,5	50

На основі даних таблиці 2.1 виконаємо побудову експериментальної перехідної характеристики за основним а відповідно і допоміжним каналами автоматичного регулювання (рис. 2.2 та рис. 2.3).

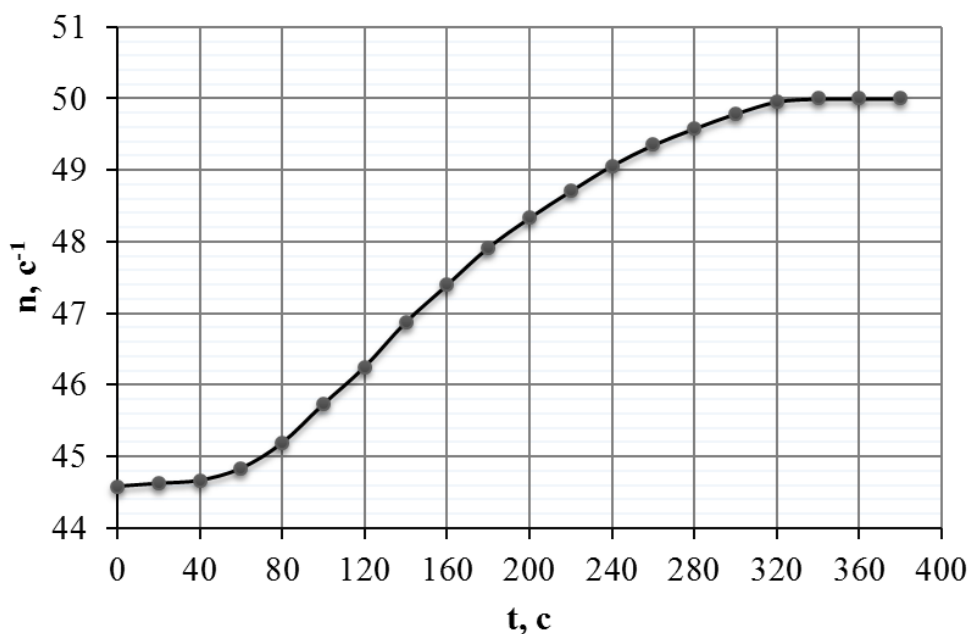


Рисунок 2.2 – Експериментально отримана перехідна характеристика за основним каналом регулювання

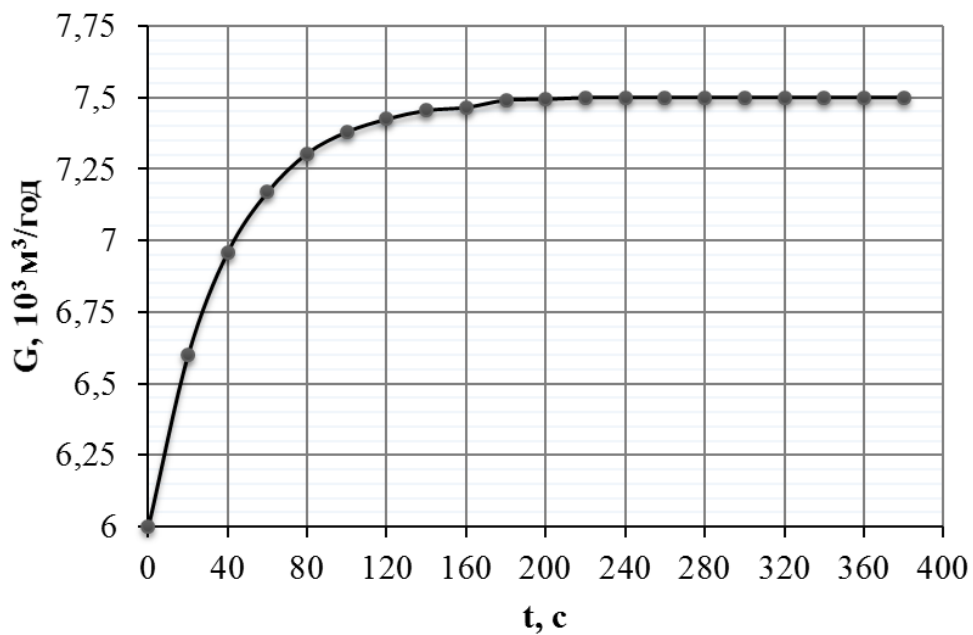


Рисунок 2.3 - Експериментальна перехідна характеристика по допоміжному каналу

З метою здійснення подальшого аналізу системи керування є необхідність перевести характеристику до вигляду безрозмірних величин відповідно до таких виразів:

$$X_{exi}^* = \frac{X_{exi} - X_{ex0}}{X_{ex\max} - X_{ex0}}, \quad Y_{vixi}^* = \frac{Y_{vixi} - Y_{vix0}}{Y_{vix\max} - Y_{vix0}}, \quad (2.1)$$

де  $X_{exi}$ ,  $Y_{vixi}$  - біжучі значення вхідної і вихідної величин в розмірних одиницях;

$X_{ex0}$ ,  $Y_{vix0}$  - значення вхідних та вихідних величин в розмірних одиницях до моменту нанесення збурення на керований об'єкт;

$X_{ex\max}$  - максимальне значення вхідної величини в розмірних одиницях;

$Y_{vix\max}$  - значення вихідної величини після закінчення перехідного процесу в розмірних одиницях.

Розрахунок для основного каналу є таким:

$$x_{ex} = 1.$$

$$y_{vix0} = \frac{44,583 - 44,583}{50 - 44,583} = 0;$$

$$y_{vix1} = \frac{44,625 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,0078;$$

$$y_{vix2} = \frac{44,667 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,016;$$

$$y_{vix3} = \frac{44,833 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,046;$$

$$y_{вих4} = \frac{45,188 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,122;$$

$$y_{вих5} = \frac{45,729 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,212;$$

$$y_{вих6} = \frac{46,25 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,308;$$

$$y_{вих7} = \frac{46,875 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,423;$$

$$y_{вих8} = \frac{47,396 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,519;$$

$$y_{вих9} = \frac{47,917 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,615;$$

$$y_{вих10} = \frac{48,333 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,692;$$

$$y_{вих11} = \frac{48,708 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,761;$$

$$y_{вих12} = \frac{49,063 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,827;$$

$$y_{вих13} = \frac{49,354 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,881;$$

$$y_{вих14} = \frac{49,583 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,923;$$

$$y_{вих15} = \frac{49,792 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,962;$$

$$y_{вих16} = \frac{49,958 - 44,583}{50 - 44,583} = 0,992;$$

$$y_{вих17-19} = \frac{50 - 44,583}{50 - 44,583} = 1.$$

Отримані вище результати зведемо у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Експериментальні дані в безрозмірних одиницях за основним каналом автоматичного регулювання

t, с	$x_{ex}$	$y_{вих}$	t, с	$x_{ex}$	$y_{вих}$
0	1	0	200	1	0,692
20	1	0,0078	220	1	0,761
40	1	0,016	240	1	0,827
60	1	0,046	260	1	0,881
80	1	0,112	280	1	0,923
100	1	0,212	300	1	0,962
120	1	0,308	320	1	0,992
140	1	0,423	340	1	1
160	1	0,519	360	1	1
180	1	0,615	380	1	1

На основі наведених у таблиці 2.2 даних побудуємо перехідну характеристику у безрозмірних одиницях на рисунок 2.4.

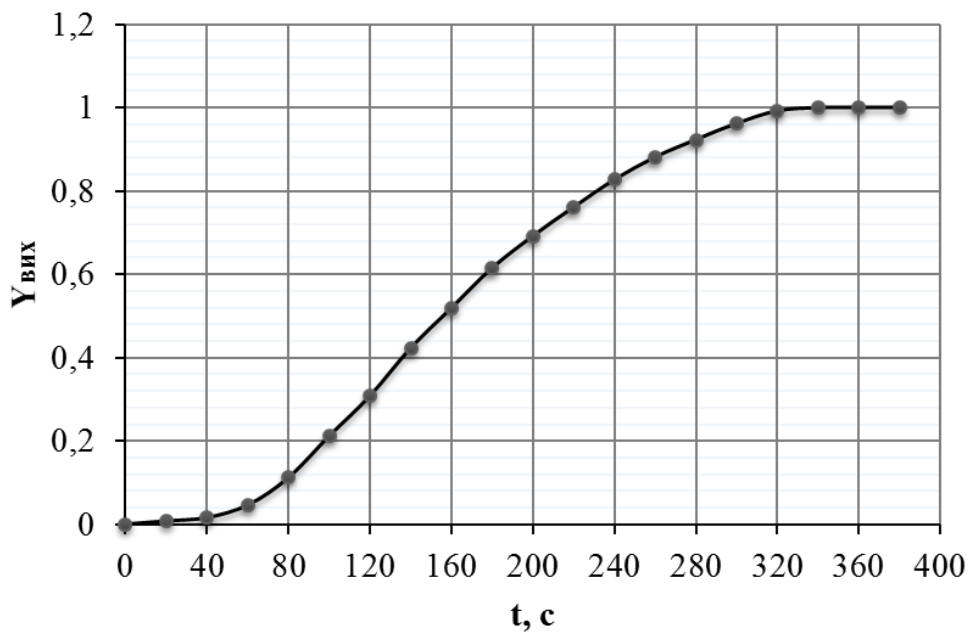


Рисунок 2.4 - Експериментальна характеристика в безрозмірних одиницях по основному каналу регулювання

Виконаємо апроксимацію за допомогою програмного продукту Аргох у результаті чого отримано таку передавальну функцію:

$$W(p) = \frac{1}{334079.431p^3 + 10883.779p^2 + 163.938p + 1}. \quad (2.2)$$

Максимальна похибка апроксимації в точці  $t = 60с$  рівна 1,9% (додаток А1).

Проведемо розрахунок для допоміжного каналу:

$$x_{ex} = 1.$$

$$y_{вих0} = \frac{6 - 6}{7,5 - 6} = 0;$$

$$y_{вих1} = \frac{6,6 - 6}{7,5 - 6} = 0,4;$$

$$y_{вих2} = \frac{6,96 - 6}{7,5 - 6} = 0,64;$$

$$y_{вих3} = \frac{7.17 - 6}{7,5 - 6} = 0,78;$$

$$y_{вих4} = \frac{7,305 - 6}{7,5 - 6} = 0,87;$$

$$y_{вих5} = \frac{7,38 - 6}{7,5 - 6} = 0,92;$$

$$y_{вих6} = \frac{7,425 - 6}{7,5 - 6} = 0,95;$$

$$y_{вих7} = \frac{7,455 - 6}{7,5 - 6} = 0,97;$$

$$y_{вих8} = \frac{7,4655 - 6}{7,5 - 6} = 0,977;$$

$$y_{вих9} = \frac{7,491 - 6}{7,5 - 6} = 0,994;$$

$$y_{вих10} = \frac{7,494 - 6}{7,5 - 6} = 0,996;$$

$$y_{вих11-19} = \frac{7,5 - 6}{7,5 - 6} = 1.$$

Зводимо результати обчислень у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Експериментальні дані в безрозмірних одиницях по допоміжному каналу регулювання

t, с	$x_{ex}$	$y_{вих}$	t, с	$x_{ex}$	$y_{вих}$
0	1	0	200	1	0,996
20	1	0,4	220	1	1
40	1	0,64	240	1	1
60	1	0,78	260	1	1
80	1	0,87	280	1	1
100	1	0,92	300	1	1
120	1	0,95	320	1	1
140	1	0,97	340	1	1
160	1	0,977	360	1	1
180	1	0,994	380	1	1

На основі наведених у таблиці 2.3 даних побудуємо перехідну характеристику у безрозмірних одиницях на рисунок 2.5.

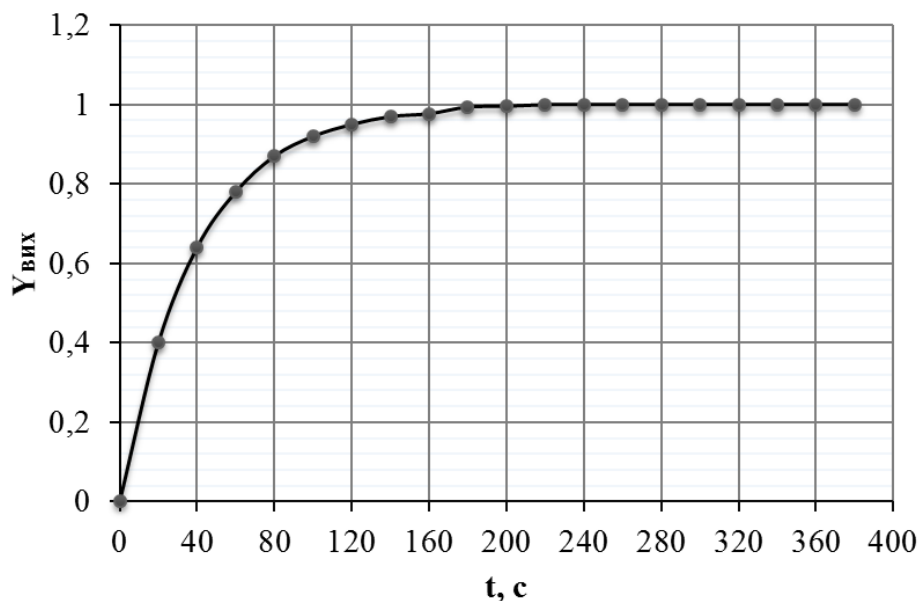


Рисунок 2.5 - Експериментальна характеристика в безрозмірних одиницях по допоміжному каналу регулювання

Використовуючи програму Arrox отримаємо функцію передачі:

$$W(p) = \frac{1}{39.186p + 1}. \quad (2.3)$$

Найбільша похибка апроксимації в точці  $t = 160c$  рівна 0,60% (додаток А2).

### **Висновки до розділу**

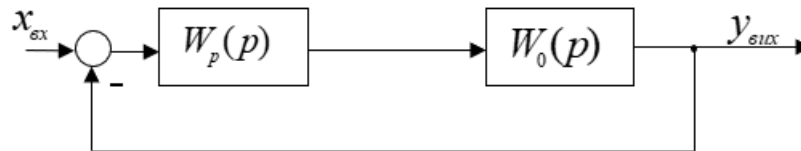
Встановлено об'єкт автоматичного керування, а також встановлено його структурну схему виходячи з сторони автоматизації. Апроксимовано експериментально отримані дані. На основі отриманих даних встановлено передавальну функцію за допоміжним та основним каналами автоматичного керування.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 СИНТЕЗ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Розрахунок параметрів одноконтурної АСК

Функціональна схема апарату у вигляді одноконтурної АСК зображена на рисунку 3.1.



$W(p)$  - передавальна функція керованого об'єкту;  $W_p(p)$  - передавальна функція регулятора

Рисунок 3.1 - Структура одно контурної АСК

Досліджуваний об'єкт володіє самовирівнюванням та в нормальних умовах працює за повного навантаженні. Виберемо регулятор із ПІ - законом автоматичного регулювання для досягнення потрібних показників якості автоматичного регулювання та якості перехідного процесу і забезпечення підвищення стійкості системи керування.

У символічному вигляді функція передачі такого регулятора є наступною:

$$W_p(p) = \frac{C_1 p + C_0}{p}. \quad (3.1)$$

Встановимо параметри регулятора  $C_0$  і  $C_1$ . Встановимо передавальну функцію для замкнутої автоматичної системи спочатку записавши функцію передачі розімкненої системи автоматичного керування:

$$W_{роз}(p) = \frac{1}{334079.431 p^3 + 10883.779 p^2 + 163.938 p + 1} \cdot W_p(p); \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} W_{роз}(p) &= \frac{1}{334079.431 p^3 + 10883.779 p^2 + 163.938 p + 1} \cdot \frac{C_1 p + C_0}{p} = \\ &= \frac{(C_1 p + C_0)}{334079.431 p^4 + 10883.779 p^3 + 163.938 p^2 + p}. \end{aligned}$$

У символічному вигляді функція передачі замкнутої системи є наступною:

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$W_{зам}(p) = \frac{W_{роз}(p)}{1 + W_{роз}(p)}; \quad (3.3)$$

$$W_{зам}(p) = \frac{(C_1 p + C_0)}{1 + \frac{334079.431 p^4 + 10883.779 p^3 + 163.938 p^2 + p}{(C_1 p + C_0)}} =$$

$$= \frac{(C_1 p + C_0)}{334079.431 p^4 + 10883.779 p^3 + 163.938 p^2 + p + (C_1 p + C_0)}.$$

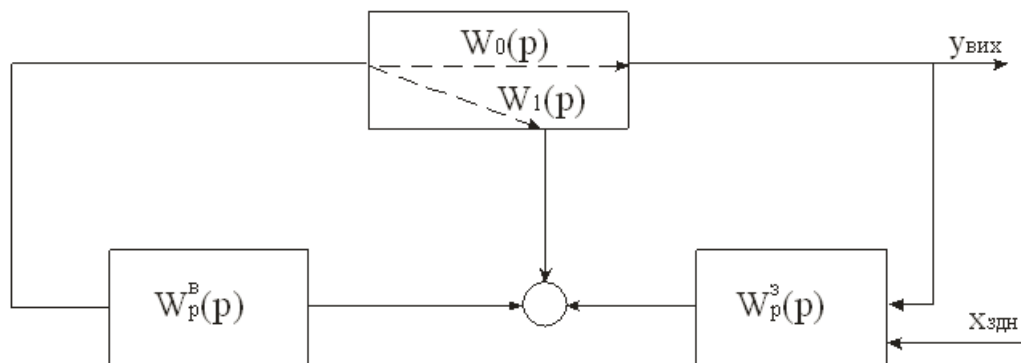
Встановлення параметрів налаштування регулятора здійснюватимемо підпрограмою Tune програми Matlab. Отже згідно з додатком Б1 отримаємо:  $K_p = C_1 = 0.3737$ ,  $K_i = C_0 = 0.004605$ .

Тоді:

$$W_{зам}(p) = \frac{0.3737 p + 0.004605}{334079.431 p^4 + 10883.779 p^3 + 163.938 p^2 + 1.3737 p + 0.004605}.$$

### 3.2 Розрахунок параметрів каскадної АСК

Каскадну АСК (рис. 3.2) реалізуємо шляхом додавання до основного контуру автоматичного регулювання додаткового допоміжного малоінерційного контуру автоматичного регулювання.



$W_0(p)$  - передавальна функція за основним каналом регулювання;

$W_1(p)$  - передавальна функція за допоміжним каналом регулювання;

$W_p^3(p)$  - передавальна функція зовнішнього регулятора;  $W_p^6(p)$  - передавальна функція внутрішнього регулятора

Рисунок 3.2 - Структура каскадної АСК

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Процес розрахунку каскадної АСК здійснюватимемо починаючи із основного каналу регулювання, який має у символічному вигляді такий вид:

$$W_e'(p) = \frac{W_p^e(p)}{1 + W_1(p) \cdot W_p^e} W_0(p), \quad (3.4)$$

де  $W_0(p)$  - передавальна функція за основним каналом регулювання:

$$W_0(p) = \frac{1}{334079.431p^3 + 10883.779p^2 + 163.938p + 1}.$$

$W_1(p)$  - передавальна функція по допоміжному каналу регулювання:

$$W_1(p) = \frac{1}{39.186p + 1}.$$

Зробимо припущення, що робоча частота нашого основного контуру  $W_p'$  є принципово меншою, за допоміжного  $W_p''$ . Тому при  $W = W_p'$  являтиметься справедливою нерівність:

$$\frac{1}{(W_p^e(j\omega))} \ll (W_1(j\omega)). \quad (3.5)$$

Отже на основі (3.5) можемо встановити, що  $W_e' = \frac{W_0(p)}{W_1(p)}$ . Підставивши величини  $W_0(p)$  та  $W_1(p)$ , одержимо:

$$\begin{aligned} W_e'(p) &= \frac{\frac{1}{334079.431p^3 + 10883.779p^2 + 163.938p + 1}}{\frac{1}{39.186p + 1}} = \\ &= \frac{39.186p + 1}{334079.431p^3 + 10883.779p^2 + 163.938p + 1}. \end{aligned}$$

Встановлення параметрів налаштування регулятора (ПІ-регулятора) здійснюватимемо підпрограмою Tune програми Matlab. Отже згідно з додатком Б2 отримаємо:  $K_p = C_1 = 0,434$ ,  $K_i = C_0 = 0,006725$ .

Передавальна функція основного регулятора матиме вигляд:

$$W_p^s(p) = \frac{0,434p + 0,006725}{p}. \quad (3.6)$$

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приводимо розрахунок для допоміжного каналу регулювання:

$$W_e''(p) = W_1(p) + W_0(p) \cdot W_p^3(p).$$

Виконавши підстановки отримаємо:

$$\begin{aligned} W_e''(p) &= \frac{1}{334079.431p^3 + 10883.779p^2 + 163.938p + 1} \cdot \frac{0,434p + 0,006725}{p} + \\ &\quad + \frac{1}{39.186p + 1} = \\ &= \frac{334079.431p^4 + 10883.779p^3 + 180.945p^2 + 1.697p + 0.006725}{13091236.58p^5 + 760571.19p^4 + 17307.85p^3 + 203.124p^2 + p}. \end{aligned}$$

Встановлення параметрів налаштування регулятора здійснюватимемо підпрограмою Tune програми Matlab. Отже згідно з додатком БЗ отримаємо таку функцію передачі для ПІ-регулятора:

$$W_p^e(p) = \frac{213.9p + 20.43}{p}.$$

Еквівалентна передавальну функцію для каскадної АСР у символьному має такий вид:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{W_p^3(p)W_0(p)W_p^e(p)}{W_p^3(p)W_0(p)W_p^e(p) + W_1(p)W_p^e(p) + 1}. \quad (3.7)$$

Виконавши математичні операції одержимо:

$$W_e^{кас}(p) = \frac{3637.74p^3 + 496.65p^2 + 15.69p + 0.1374}{13091236,6p^6 + 72220161,5p^5 + 9170590,9p^4 + 261262,8p^3 + 4060,8p^2 + 36,12p + 0,1374}.$$

### 3.3 Дослідження на стійкість одноконтурної АСР

За критерієм Михайлова АСР являтиметься стійкою, коли описуватиметься рівнянням  $n$ -ого порядку а годограф Михайлова відповідно проходить  $n$  квадрантів.

Виділимо з функції передачі одноконтурної АСР характеристичний поліном:

$$F(p) = 334079.431p^4 + 10883.779p^3 + 163.938p^2 + 1.3737p + 0.004605.$$

Визначений поліном прирівняємо до нуля:

$$334079.431p^4 + 10883.779p^3 + 163.938p^2 + 1.3737p + 0.004605 = 0.$$

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Зробимо підстановку  $p = j\omega$ :

$$334079.431\omega^4 - 10883.779j\omega^3 - 163.938\omega^2 + 1.3737j\omega + 0.004605 = 0.$$

Виділимо дійсну та уявну частини:

$$P(\omega) = 334079.431\omega^4 - 163.938\omega^2 + 0.004605;$$

$$Q(\omega) = -10883.779\omega^3 + 1.3737\omega.$$

За допомогою програмного продукту Mathcad здійснимо побудову годографа Михайлова (Додаток В1). Оскільки годограф пройшов чотири квадранти і пішов у безкінечність, що повністю задовольняє умови критерію Михайлова то можемо стверджувати що система стійка.

### 3.4 Дослідження на стійкість каскадної АСР

Виділимо з функції передачі каскадної АСР характеристичний поліном::

$$F(p) = 13091236,6p^6 + 72220161,5p^5 + 9170590,9p^4 + 261262,8p^3 + 4060,8p^2 + 36,12p + 0,1374.$$

Прирівняємо даний поліном до нуля:

$$13091236,6p^6 + 72220161,5p^5 + 9170590,9p^4 + 261262,8p^3 + 4060,8p^2 + 36,12p + 0,1374 = 0.$$

Проведемо підстановку  $p = j\omega$ :

$$-13091236,6\omega^6 + 72220161,5j\omega^5 + 9170590,9\omega^4 - 261262,8j\omega^3 - 4060,8\omega^2 + 36,12j\omega + 0,1374 = 0.$$

Виділимо уявну та дійсну частини:

$$P(\omega) = -13091236,6\omega^6 + 9170590,9\omega^4 - 4060,8\omega^2 + 0,1374;$$

$$Q(\omega) = 72220161,5\omega^5 - 261262,8\omega^3 + 36,12\omega.$$

За допомогою програмного продукту Mathcad здійснимо побудову годографа Михайлова (Додаток В2). Оскільки годограф пройшов шість квадрантів і пішов у безкінечність, що повністю задовольняє умови критерію Михайлова то можемо стверджувати що система стійка.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

### 3.5 Оцінка якості керування за перехідними характеристиками

Перехідну характеристику одноконтурної АСР з метою визначення якісних показників побудуємо за допомогою використання програми Matlab та його компоненту Simulink (рис. 3.3).

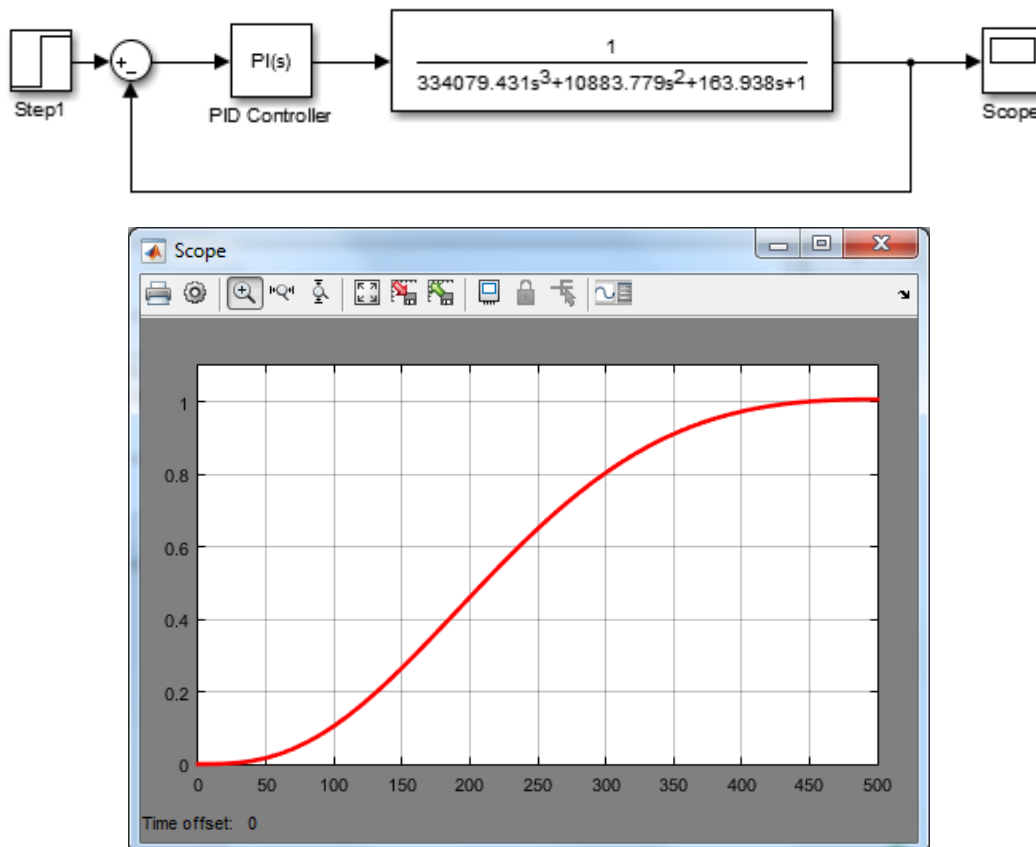


Рисунок 3.3 - Перехідна характеристика одноконтурної АСР

Побудована на рисунку 3.3 перехідна характеристика має такі якісні показники:

- час перехідного процесу:

$$t_n = 440 \text{ с};$$

- величина перерегулювання:

$$\delta = \frac{x_{\max} - x_{\infty}}{x_{\infty}} \cdot 100\% = \frac{1,0 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 0\% .$$

Перехідну характеристику каскадної АСР з метою визначення якісних показників побудуємо за допомогою використання програми Matlab та його компоненту Simulink (рис. 3.4).

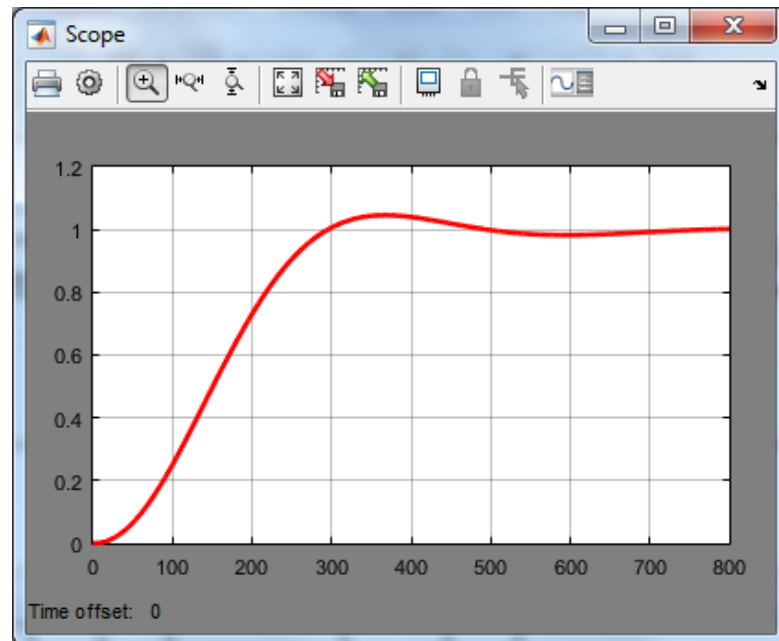
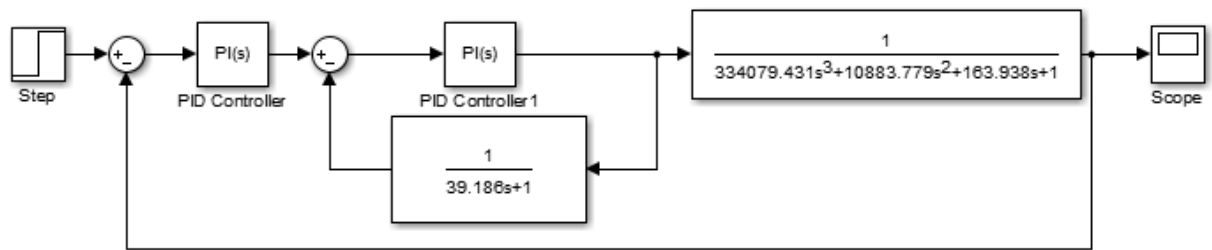


Рисунок 3.4 - Перехідна характеристика каскадної АСР

Побудована на рисунку 3.4 перехідна характеристика має такі якісні показники:

- час перехідного процесу:

$$t = 300 \text{ с;}$$

- величина перерегулювання:

$$\delta = 5\% .$$

### Висновки до розділу

Проведено дослідження каскадної та одноконтурної автоматичної системи керування. Здійснено визначення оптимальних (за якісними показниками) параметрів налаштування регуляторів для обох систем автоматичного керування.

Досліджено стійкість систем та визначено якісні показники.

## 4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА САК

### 4.1 Структурна схема ієрархічної системи керування

У процесі розробки проекту автоматизованої системи необхідно у першу чергу встановити із котрих саме місць усі ділянки технологічного об'єкту будуть управлятися. У яких місцях будуть розташовані операторські приміщення, пункти управління, який повинен представлятися взаємозв'язок між даними пунктами. Під загальною структурою системи управління розуміється певна сукупність окремих частин автоматичної системи керування, на котрі вона може являтися розділена за визначеними ознаками та певні шляхи передачі усіх взаємодій між даними членами. Загальне графічне відображення структури системи управління має назву структурною схеми.

Структурна схема представляє собою один із базових проектних документів, оскільки саме за допомогою нього встановлюються певні канали управління технологічним процесом з метою отримання позитивних експлуатаційних показників.

Призначенням структурних схем являється визначення системи автоматичного контролю та управління виробничими процесами об'єкта та встановлення взаємних зв'язків між задіяними щитами а також пультами управління.

Систему автоматичного керування технологічним процесом а також збором даних розроблятимемо з урахуванням таких вимог:

- забезпечення надійної та продуктивної роботи підприємства, для виконання необхідної функції управління, котрі безпосередньо пов'язані із автоматичним регулюванням змінними а також захистом усього процесу а очевидно і обладнання;
- забезпечення взаємодії у масштабі реального часу, оператора та усього обслуговуючого персоналу із досліджуваним технологічним процесом та обладнанням котре безпосередньо використовується у процесі;
- забезпечення видачі потрібної інформації за певний період до моменту

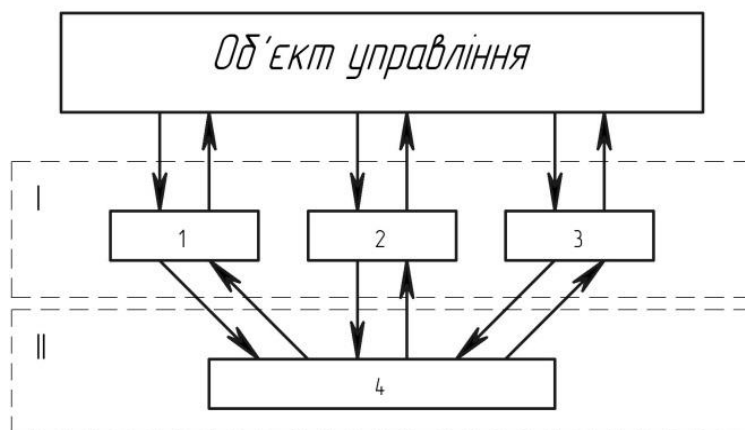
					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

початку спостережень.

Структурні схеми систем управління можуть являтися:

- однорівневими децентралізованими;
- однорівневими централізованими;
- багаторівневими.

В даному проекті пропонується дворівнева структура управління, яка приведена на рисунку 4.1.



I - перший рівень управління; II - другий рівень управління; 1, 2, 3 - цифрові регулятори і індикатори; 4 - ПЕОМ

Рисунок 4.1 - Двохрівнева структурна схема

Вибрана структура системи автоматичного управління підвищить її оперативність, надійність а також ремонтпридатність. У випадку використання зазначеної структури досить легко досягається оптимальний рівень централізованого управління із досить малою кількістю технічних засобів автоматизації.

## 4.2 Вибір технічних засобів автоматизації

Процес вибору потрібних технічних засобів автоматизації відбувається у строгій відповідності із їхнім призначенням, потрібними метрологічними характеристиками та можливими умовами експлуатації. Будь який з технічних засобів автоматизації характеризуються певними діапазонами а також певною точністю вимірювання. Діапазони вимірювань у загальному характеризуються

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

нижньою а також верхньою границями вимірювань, а точність приладів характеризується класом точності приладів.

Дивлячись з точки зору виду виконання прилади а також обладнання можуть виготовлятися: вибухозахищеними, вибухонепроникними, маслонаповненими підвищеного захисту від вибуху.

За приведеною похибкою виходячи із точки зору допустимої похибки вибирається клас точності приладу для кожного технологічного параметру.

#### 4.2.1 Вибір давачів

Для вимірювання витрати вибираємо вихрові витратоміри Rosemount 8800D, які мають наступні основні характеристики:

- Вимірювані середовища: газ, пара, рідина.
- Діаметр умовного проходу трубопроводу: Ду 15, 25, 40, 50, 80, 100, 150, 200, 250, 300 мм.
- Надмірний тиск вимірюваного середовища: до 25 МПа.
- Вихідні сигнали: 4..20 мА.
- Цифровий сигнал на базі HART протоколу.
- Основна відносна похибка:
  - для рідини  $\pm 0,65\%$ ;
  - для пари, газу  $\pm 1,35\%$ .



Рисунок 4.2 - Вихровий витратомір Rosemount 8800D

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Для вимірювання швидкості обертання ротора вибираємо перетворювач частоти обертання ОГ 018, який має наступні характеристики:

- Діапазон вимірювання: 1000..49000 об/хв.
- Вихідний сигнал: 0-10В.
- Температура навколишнього середовища: -253..+100 °С.
- Основна відносна похибка: 1%.



Рисунок 4.3 - Перетворювач частоти обертів

Для вимірювання температури підшипників вибираємо термопари ТХА 9619 з наступними характеристиками:

- Діапазон вимірюваних температур: -40..+600 °С.
- Номінальна статична характеристика (НСХ): ХА(К).
- Основна відносна похибка: 2%.

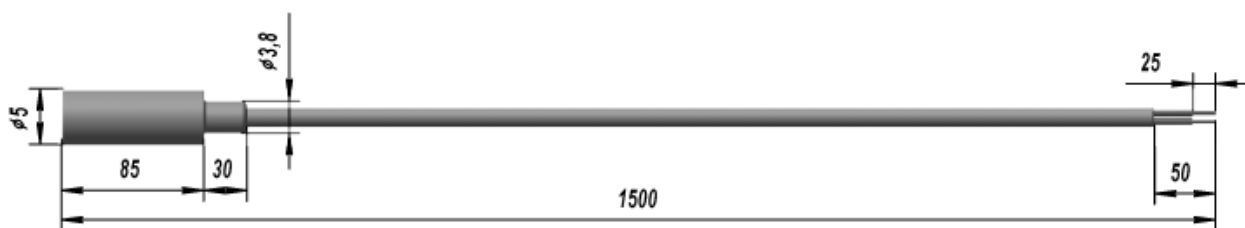


Рисунок 4.4 - Термопара ТХА 9619

Для вимірювання температури вибираємо термопари ТХА 9416 вибухозахищені з наступними характеристиками:

- Вимірювані середовища: азотоводневі суміші і гази після згорання природного газу, конвертованого газу, газоподібного а також рідкого аміаку, моноетаноламінового розчину із певними домішками сірководню і сірчистого ангідриду; Ру 1; 2,5; 16МПа.

- Межі виміру: 0...+1300 °С.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

- Середнє напрацювання на відмову: 50000 год.
- Основна відносна похибка: 2 %.



Рисунок 4.5 - Термопара ТХА 9416

Для вимірювання тиску вибираємо перетворювач надмірного тиску мікропроцесорний ОВЕН ПД100-ДИ з наступними характеристиками:

- Межі виміру: 100кПа-100МПа.
- Вихідний сигнал: 4..20мА.
- Середнє напрацювання на відмову: 100000 год..
- Основна відносна похибка: 0,5%.



Рисунок 4.6 - Перетворювач надмірного тиску ОВЕН ПД100-ДИ

В якості детектора полум'я вибираємо Dräger Flame 2300 з наступними основними характеристиками:

- Спектральний діапазон: ІЧ: 4,2..4,7 мікрон, УФ: 0,185..0,26 мікрон.
- Вихідний сигнал: 4..20мА.
- Корпус: IP 66 / NEMA 4X.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



Рисунок 4.7 - Детектор полум'я Dräger Flame 2300

#### 4.2.2 Вибір мікропроцесорних індикаторів технологічного процесу

Для здійснення індикації технологічних параметрів використовуватимемо мікропроцесорні індикатори ІТМ-11 та ІТМ-12, котрі надають можливість відображати вимірювані параметри на табло, проводити сигналізацію параметрів вимірювання а також можуть пересилати отриману інформацію на ЕОМ для реєстрації.

Структура індикаторів ІТМ-11 і ІТМ-12 за допомогою певної конфігурації може змінюватись таким чином, що можуть вирішуватись наступні завдання автоматизації:

- Вимірювач-індикатор одного і двох параметрів відповідно з уставками сигналізації мінімум і максимум.
- Системи цифрової і лінійної індикації технологічних параметрів.
- Віддалений збір даних, диспетчерський контроль, управління виробництвом.



а

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46



б

Рисунок 4.8 - Індикатори ІТМ-11 (а) і ІТМ-12 (б)

Таблиця 4.1 - Характеристики індикаторів ІТМ-11 і ІТМ-12

Характеристика	ІТМ-11	ІТМ-12
1	2	3
Кількість аналогових входів	1	2
Основна приведена погрішність $\pm 0,2\%$	+	+
Типи аналогових входів: 0-5мА, 0-10В, 0(4)-20мА	+	+
ТСМ, ТСП, Pt, ТХК (L), ТХА (K)	+	1 вх
ТВП (S), ТПР (B), ТВР (A), ТЖК (J), ТХКн (E)	+	1 вх
Кількість контурів регулювання	0-2	0-2
Типи регуляторів: 2-х, 3-х позиційне	+	+
Індикація значень аналогових параметрів:		
Цифрова (кіл. груп x кіл. індикаторів)	1x4	2x4
Лінійна (кіл. груп x кіл. сегментів)	1x31, 1x21	1x31, 1 x21
Функції і режими:		
Цифрова фільтрація вхідного сигналу	+	+
Масштабування шкал	+	+
Лінеаризація вхідних сигналів (кількість точок)	20	20
Витягання квадратного кореня	+	+
Сигналізація порушень MIN, MAX	+	+
Цифрове калібрування аналогових входів	+	+
Дискретні виходу, вільно програмовані	2	2

1	2	3
Інтерфейс RS - 485 (збір інформації)	+	+
Гальванічна ізоляція входів-виходів	+	+
Напруга живлення ~220(+22,-33) В, 50Гц =(24±4)В	- +	- +
Корпус щитового виконання 48x96 мм	+	+

### 4.2.3 Вибір регулятора

В якості регулятора вибираємо мікропроцесорний контролер МІК-51.



Рисунок 4.9 - Мікропроцесорний контролер МІК-51

МІК-51 являється достатньо компактним багатофункціональним мікропроцесорним контролером, котрий безпосередньо призначається для автоматичного керування технологічним процесом. Даний мікропроцесорний контролер призначається для встановлення у харчовій, цементній, електротехнічній, енергетичній, металургійній, хімічній, а також багатьох інших галузях народного господарства.

Вибраний мікропроцесорний контролер здатний ефективно вирішувати як складні так відповідно і порівняно прості завдання автоматичного управління. Перевагою малоканальності являється можливість економічного управляти досить

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

невеликим агрегатом а, також з іншого боку, можливість забезпечення високої живучості великої системи керування.

Незважаючи на малоканалність контролер дає можливість вести локальне, супервізорне, програмне, багатозв'язкове та каскадне регулювання.

Завдяки вдалій архітектурі контролер надає можливість забезпечувати як автоматичне так і ручне включення, відключення, перемикання та навіть переконфігурування контурів автоматичного регулювання. Поряд із роботою із аналоговими сигналами регулятор дає можливість ефективно виконувати логічні перетворення сигналів а також виробляти не тільки аналогові чи імпульсні, а також і дискретні команди автоматичного управління. Наявні логічні функціональні блоки дають можливість формувати логічні програми крокового керування із можливістю задання контрольного часу на кожному з кроків кроці. Поряд із обробкою дискретних сигналів мікропроцесорний контролер надає можливість виконання різноманітних функціональних перетворень аналогових сигналів а також виробляти дискретні та аналогові сигнали.

Мікропроцесорний контролер має можливість оперативно виконувати управління, за допомогою панелі, яка розташована на лицьовій стороні контролера. Дана панель дозволяє в ручному режимі виконувати зміну режимів роботи, задавати необхідні завдання, виконувати покрокове управляти ходом виконання програми, а також за допомогою ручного режиму управляти задіяними виконавчими пристроями.

Наявні стандартні аналогові а також дискретні давачі та виконавчі механізми підключаються до мікропроцесорного контролера МІК-51 за допомогою використання персональних кабельних зв'язків. Як і у будь якому контролері даний контролер здійснює оброблення сигналів у цифровій формі.

#### **4.2.4 Вибір блоку перетворення інтерфейсів**

З метою організації обміну інформації за одним гальванічно ізольованим

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

каналом послідовного зв'язку виберемо блок для перетворення інтерфейсів БПІ-485 котрий виробляє фірми «Мікрол». БПІ-485 здійснює перетворення сигналів інтерфейсу RS-232 у необхідні нам сигнали, які мають тип інтерфейсу RS-485/RS-422 чи навпаки.



Рисунок 4.10 - Блок перетворення інтерфейсів БПІ-485

Технічна характеристика:

- Величина напруги ізоляції становить 1000 В.
- Кількість каналів перетворення: 1.
- Величина температури навколишнього середовища повинна знаходитися у межах від мінімальних +5 до максимальних +50 °С.
- Трьохрівнева гальванічна ізоляція за входом, виходом та по живленню.
- Потужність, яку може споживати прилад не більша 2 Вт.
- Наявність світлодіодних індикаторів для живлення, прийому та передачі даних.
- Маса до 0,23 кг.
- Живлення може здійснюватись від мережі постійного струму напругою від мінімум 20 В до максимум 30 В.
- Кріплення здійснюється на рейку DIN35x7.5.
- Корпус (ШxВxГ): 92x44x130.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

#### 4.2.5 Вибір блоку живлення для датчиків, перетворювачів, показуючих пристроїв і регуляторів

Виберемо для усіх без винятку приладів стабілізовані блоки живлення БП 36-2к.

Вибрані блоки володіють такими технічними характеристиками:

- опір ізоляції становить 40 Ом;
- гальванічне живлення виконується від мережі;
- струм короткого замикання рівний 30 мА;
- кількість каналів рівний 2;
- номінальний струм для навантаження одного каналу становить 20 мА;
- номінальна вихідна напруга становить 36В;
- клас стабілізації вихідної напруги рівний 0.2;
- потужність: 16 Вт;
- напруга: 220 В, 50 Гц.



Рисунок 4.11 - Блоки живлення стабілізовані БП 36-2к

#### 4.2.6 Вибір виконавчого механізму

Вихідним сигналом з МІК-51 є електричний сигнал. На основі цього потрібно вибрати виконавчий механізм, котрий надаватиме можливість забезпечувати перетворення поступаючого від контролера електричного командного сигналу у певний обертовий момент, котрий потрібний для виконання конкретного позиціонування регулюючого органу. Виходячи із зазначених завдань виберемо

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

однообертвий виконавчий механізм типу МЕО-10/10-0.63, котрий має можливість розвивати крутний момент до 10 кг/см та виконувати 0,63 оберти за приблизно 10 секунд.



Рисунок 4.12 - Виконавчий механізм МЕО-10

#### 4.2.7 Вибір пускового пристрою

З метою комутування на виконавчі механізми які мають тип МЕО силової напруги номіналом ~220В використаємо безконтактні реверсивні пускачі, які мають тип ПБР-2М.



Рисунок 4.13 - Безконтактний реверсивний пускач ПБР-2М

#### 4.3 Розробка ФСА на базі мікроконтролера МК-51

Базовим проектним документом, на котрому усі елементи системи автоматизації показуються за допомогою умовних позначень є функціональна схема автоматизації.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Розроблена ФСА у роботі відображається на листі графічної частини. Схемою передбачається регулювання, контроль а також сигналізація усіх задіяних технологічних параметрів, а саме тиску, витрати, температури, швидкості обертання і наявності полум'я.

На основі ФСА здійснюють складання специфікації для виконання замовлення приладів та необхідних засобів автоматизації.

У нашому випадку позначення на ФСА приладів та технічних засобів автоматизації є наступним.

Для контролю температури використовуємо термомпари (позиції 5а, 6а, 6б, 7а, 7б, 8а, 9а) і цифрові показуючі, реєструючі і сигналізуючі прилади (позиції 5б, 6б, 7б, 9б).

Для контролю тиску в різних точках установки застосовані перетворювачі тиску мікропроцесорні ОВЕН ПД100-ДИ М (позиції 3а, 4а, 10а, 11а) і цифрові показуючі, реєструючі і сигналізуючі прилади (позиції 4в, 11в).

Для контролю швидкості обертання вала вибрано давач ОГ-018 (позиція 12а), наявності полум'я в камері згорання - Dräger Flame 2300 (позиція 13а), витрати газу - витратомір Rosemount 8800D (позиція 14а) і цифрові показуючі, реєструючі і сигналізуючі прилади (позиції 12б, 13б, 14в відповідно).

Контур регулювання витрати паливного газу утворюють давач витрати 1а, давач швидкості обертання валу 1в, мікропроцесорний контролер 1г і виконавчий пристрій 1д.

Контур регулювання співвідношення паливного газу і повітря утворюють давач витрати палива 1а, давач витрати повітря 2а, мікропроцесорний контролер 2в і виконавчий пристрій 2г.

#### **4.4 Проектування щита системи автоматизації**

З метою розміщення приладів для контролю та управління технологічним процесом використовуються щити систем автоматизації. Зазначені щити

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлюються в виробничих приміщеннях а також таких спеціальних щитових приміщеннях як операторні, апаратні та диспетчерські.

Компоновка приладів і апаратів на фасадних панелях щитів і в середині повинна виконуватись з врахуванням допустимих полів монтажу. Головним правилом під час розташування апаратури на щитах являється зручність для монтажу та відповідно експлуатації.

Щоб унеможливити потрапляння обслуговуючого персоналу під небезпечні напруги та відповідно попередження можливих механічних пошкоджень електроапаратури у розроблюваному проекті вибраний щит шкафного типу: ЩШ-ЗД-2200x800x600.

Креслення загального вигляду щита КВПіА і управління насосами представлено на листі графічної частини кваліфікаційної роботи.

На передній панелі щита у діапазоні від 2025 мм до 1100 мм розташована апаратура у наступній послідовності:

- на висоті 1750-1300 мм прилади контролю, сигналізації та регулювання типу МК-51, ІТМ-12, ІТМ-11;

У середній частині щита розташована електроапаратура, а саме на лівій а також на правій боковій стінках на DIN рейках розташовані клемні з'єднувачі типу КБЗ.

З правого боку розміщуються:

- на висоті 1750 - 1300 мм розташовано такі клемні блочні з'єднувачі, як ХТ2, ХТ3, ХТ11, ХТ4, ХТ5;

- на висоті 700 мм розташований блок затискачів ХТ1.

Із правої сторони блоку розміщено:

- на висоті 1750-1300 мм клемні блочні з'єднувачі ХТ6, ХТ7, ХТ10, ХТ8, ХТ9, а також блок для перетворювач інтерфейсів БПІ-485;

- на висоті 600-450 мм розташована плата із вмонтованою у неї розеткою автоматичним вимикачем SF1.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обв'язка електроапаратури виконується за допомогою використання проводу, який має полівінілхлоридну ізоляцію ПВ 1x1 мм.

#### 4.5 Проектування зовнішніх проводок

Схеми зовнішніх з'єднань - це комбінована схема, на якій зображаються зовнішні підключення задіяних апаратів, безпосередньо щити, пульти, а також електричні й трубні зв'язки які з'єднують приладами та безпосередньо засобами автоматизації, встановленими безпосередньо на технологічному обладнанні, за межами щитових та на щитових. Головними документами в процесі проектування та функціонування являються: технологічні схеми автоматизації; специфікації на задіяне обладнання а також технічні засоби автоматизації; принципові пневматичні та електричні схеми.

Усі можливі схеми підключень будуються без дотримання будь якого масштабу. У промислових умовах застосовують два види проектування схем: графічні й табличні. Найбільш розповсюджений - графічний.

У випадку виконання схем підключень у вигляді умовних зображень відображають: щити і пульти управління і контролю а також сигналізації вимірюваних параметрів; відбірні пристрої а також первинні перетворювачі; різноманітні позащитові прилади і технічні засоби автоматизації; електропроводки а також кабелі, котрі з певних вимог прокладені за межами щитів; з'єднувальні а також протяжні коробки; захисне заземлення; запірну арматуру.

Шафи, які оснащені окремими приладами умовно позначаються за допомогою прямокутників та кіл, в середині яких розміщуються відповідні написи.

Схеми зовнішніх проводок обов'язково узгоджуються із кресленнями загальних виглядів щитів, та із планами розташування усіх засобів автоматизації. У досить узагальненому випадку технологічні схеми зовнішніх проводок мають вміщати: різноманітні пункти контролю а також управління; різноманітні позащитові прилади та засоби автоматизації; з'єднувальні та відповідно протяжні

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

коробки; електричні й різноманітні трубні проводки; підвід технологічного стиснутого повітря; основні надписи; різноманітні технологічні вказівки; таблиці умовних графічних позначень.

Схеми зовнішніх з'єднань виконуються без дотримання масштабу.

На цій схемі під'єднання зроблено таким чином:

- всі давачі температури з'єднані із вторинними приладами (мікропроцесорними регуляторами та контролерами), котрі розташовані на щиті, за допомогою використання компенсаційних провідників типу ПКГВ 3x1,5, котрі безпосередньо прокладені в коробці які призначені для пірометричних проводок;

- аналогічно давачі тиску з'єднані із наявними вторинними приладами за допомогою використання кабеля ПХВ;

- давачі витрати, що встановлені на трубопроводах а відповідно мають у собі первинні перетворювачі з'єднуються із вторинними перетворювачами, які знаходяться на щиті за допомогою кабеля, який входить в комплект поставки витратомірів;

- всі перетворювачі тиску, витрати, а також виконавчі механізми з'єднані із вторинними засобами автоматизації за допомогою використання контрольних кабелів, які мають тип КВВБГ 4x1, та прокладаються у коробці електричних проводок.

На розробленій схемі підключень відображені під'єднання кабелів до задіяних давачів, а також перетворювачів і регуляторів усіх типових контурів автоматичного регулювання, котрі застосовуються безпосередньо у даній роботі. До клемів давачів температури під'єднується відповідні проводи кабеля ПВГХК, другим кінцем проводи під'єднуються до клемників КБЗ цих приладів. Відповідно до клемів цих же приладів під'єднують провід кабелю, другий кінець цих проводів під'єднуються до клем позиціонерів виконавчих механізмів.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки до розділу

Здійснено розробку технічної документації на АСР. Вибрана структура ієрархічної дворівневої системи керування, розроблена функціональна схема автоматизації на базі контролера МІК-51, виконано вибір технічні засоби автоматизації, котрі будуть безпосередньо використовуватись у технологічному процесі, спроектовано щит і схему зовнішніх проводок, а також описано призначення і позиції технічних засобів автоматизації на функціональній схемі.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

## ВИСНОВКИ

Розглянуто один із найважливіших елементів газотранспортної індустрії, а саме технологічний процес компримування природного газу. У роботі розроблений верхній рівень процесу компримування що привело до його суттєвого покращення, а також підвищення ефективності та відповідно створення автоматизованого робочого місця для оператора на базі використання мікропроцесорної техніки. В процесі розробки системи автоматизації використано найсучасніші прилади а також модулі, які призначені для збору а також передачі інформації.

Обґрунтовано потребу експериментального визначення динамічних характеристик об'єкта керованого а також визначено їх за допомогою аперіодичних впливів. Визначено вимоги до об'єкта автоматизації та вимоги до показників якості автоматичного регулювання.

Визначено передавальні функції об'єкту за різними каналами регулювання та встановлено оптимальні параметри для налаштування регуляторів. Виконано синтез а також аналіз систем автоматичного регулювання.

Правильність обрахунків підтверджується результатом обрахунку стійкості та визначенням якісних показників.

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Дранчук М. М. Проектування систем автоматизації технологічних процесів в нафтовій та газовій промисловості. - Івано-Франківськ: Факел, 2005. - 448 с.
2. Когутяк, М. І. Програмовані логічні контролери [Текст] : метод. вказ. до виконання курсової роботи / М. І. Когутяк, А. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. – 81 с.
3. Когутяк, М. І. Сучасні комп'ютерні технології в автоматизації [Текст]: навч. посіб. Ч. 2 : автоматизовані системи керування підприємствами / М. І. Когутяк, А. І. Лагойда. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. – 141 с.
4. Когутяк, М. І. Сучасні комп'ютерні технології в автоматизації [Текст]. Ч. 2 : Автоматизовані системи керування підприємствами / М. І. Когутяк, А. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2011. – 141 с.
5. Лагойда, А. І. Мікроконтролери та програмовані логічні контролери [Текст]: лаб. практикум / А. І. Лагойда, М. І. Когутяк, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. – 88 с.
6. Лагойда, А. І. Програмно-технічні комплекси та програмне забезпечення автоматизованих систем управління технологічними процесами [Текст] : лаб. практикум. Ч. 1 / А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 227 с.
7. Семенцов Г. Н., Горбійчук М. І., Дранчук М. М., Когуч Я. Р. Автоматизація технологічних процесів та виробництв в нафтовій та газовій промисловості. - Івано-Франківськ: Факел, 2003. - 51 с.
8. Семенцов Г.Н. Теорія автоматичного керування. - Івано-Франківськ: Факел, 1999. - 611 с.
9. Семенцов Г. Н., Когуч Я. Р., Когутяк М. І., Дранчук М. М., В.С. Борин, М.В. Шавранський Автоматизація періодичних технологічних процесів. - Івано-Франківськ: Факел, 2003. - 174 с.
10. Когутяк, М. І. Алгоритмізація та програмування промислових контролерів

					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

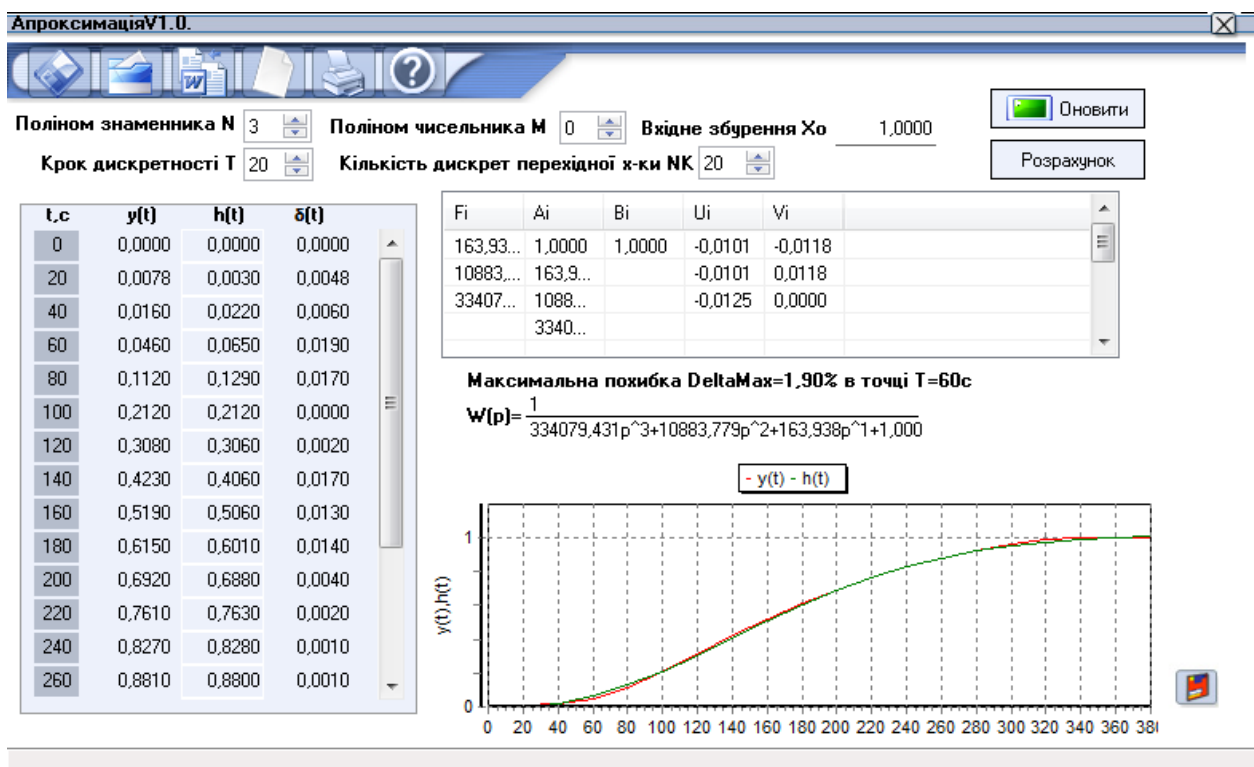
[Текст]: лаб. практикум. Ч. 2: Синтез цифрових статичних та динамічних коректорів / М. І. Когутяк, А. І. Лагойда, Л. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 89 с.

11. Лагойда, А. І. Програмно-технічні комплекси та програмне забезпечення автоматизованих систем управління технологічними процесами [Текст] : конспект лекцій / А. І. Лагойда. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2023. – 26 с.

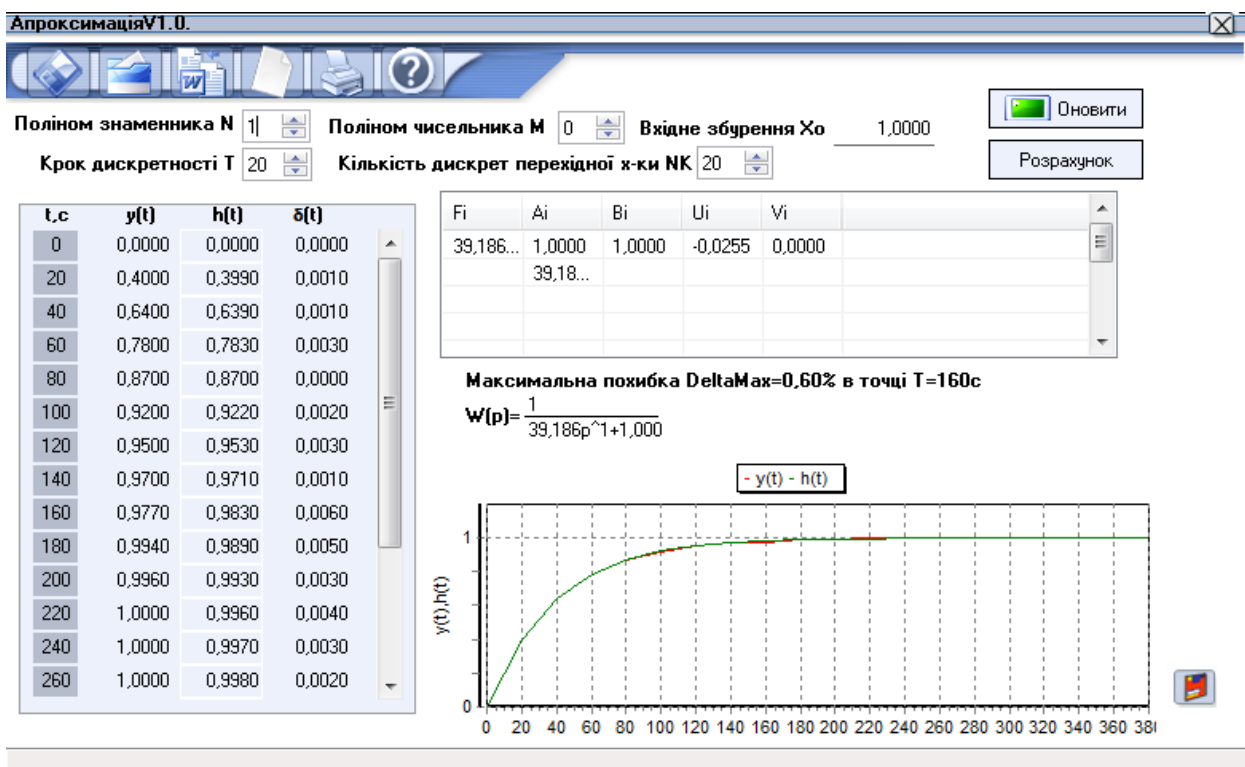
					БР.АКП-40.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

ДОДАТКИ

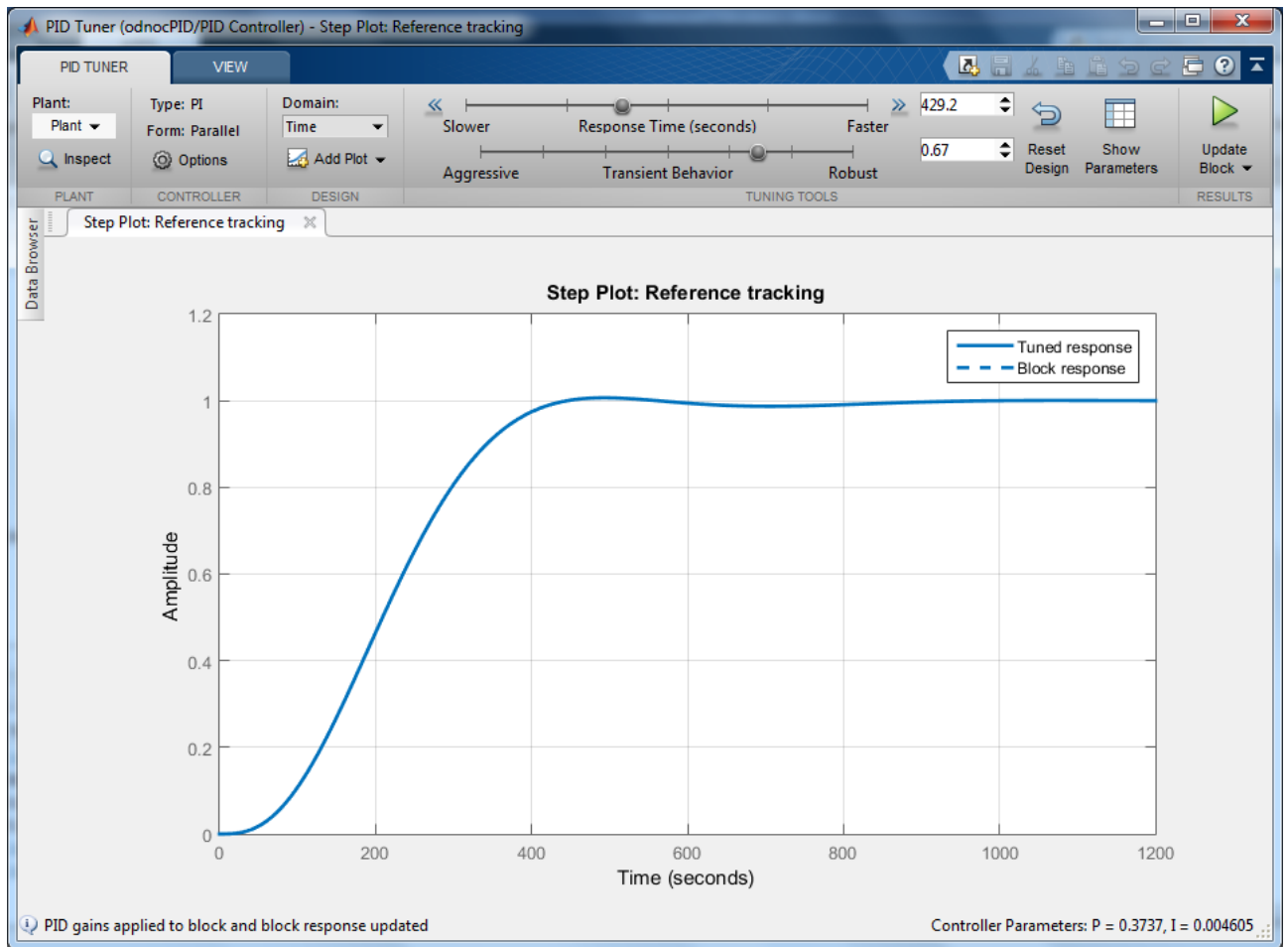
# Додаток А1



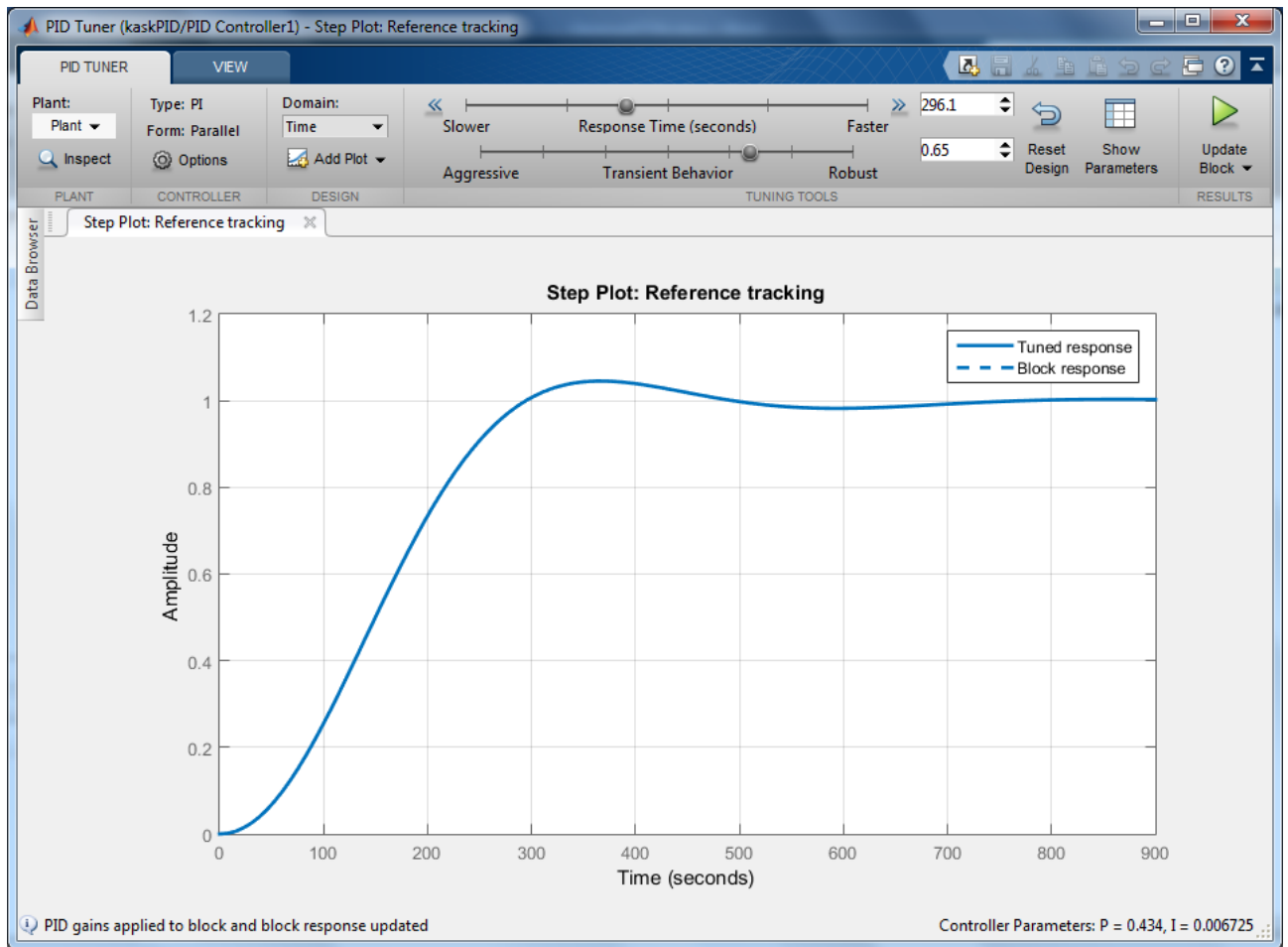
## Додаток А2



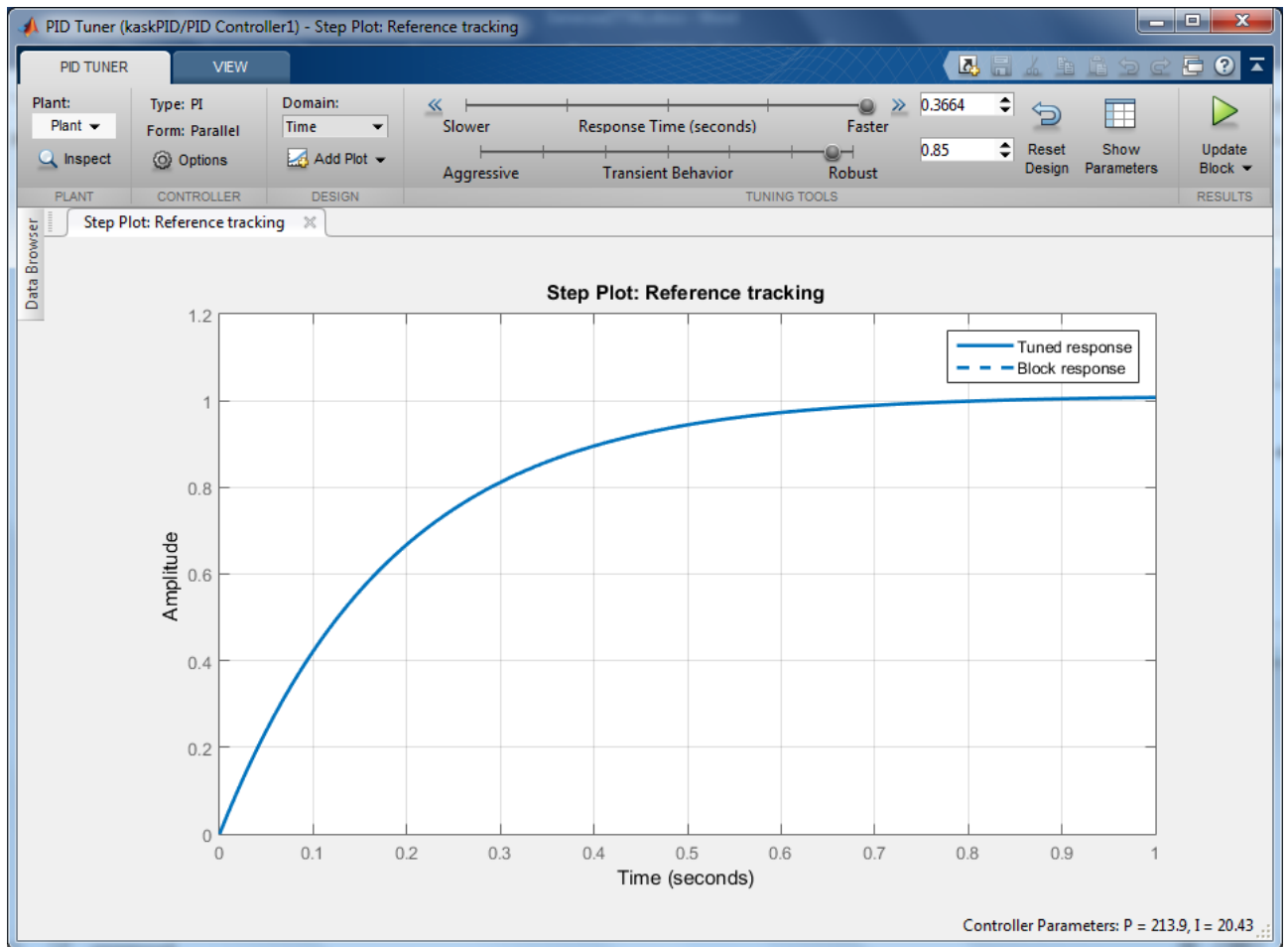
# Додаток Б1



## Додаток Б2



## Додаток Б3

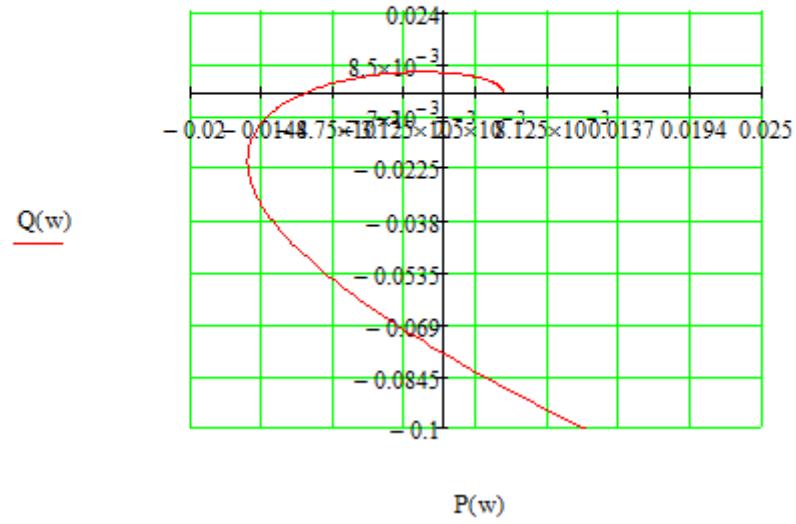


## Додаток В1

$$P(w) := 334079.431w^4 - 163.938w^2 + 0.004605$$

$$Q(w) := -10883.779w^3 + 1.3737w$$

$$w := 0, 0.0001.. 30$$



## Додаток В2

$$P(w) := -13091236.6 \cdot w^6 + 9170590.9 \cdot w^4 - 4060.8 \cdot w^2 + 0.1374$$

$$Q(w) := 72220161.5w^5 - 261262.8 \cdot w^3 + 36.12 \cdot w$$

$$w := 0, 0.0001.. 30$$

