

БАКАЛАВРСКА РОБОТА

БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ

Група АКП-22-1

Дмитро Глодан

2026

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

Глодан Дмитро Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5: 665.6
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Автоматизація установки знесолення та зневоднення нафти на нафтоперобному заводі
(назва роботи)

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)

174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)

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

Нормоконтроль

доцент О.В. Кучмистенко
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент І.І. Чигур
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-22-1 Д. М. Глодан
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент Л.І. Фешанич
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Допущено до захисту Завідувач кафедри

доцент А.І. Лагойда
(посада) (підпис) (дата) (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 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

« » 20 року

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

Глодану Дмитру Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація установки знесолення та зневоднення нафти на
нафтоперобному заводі

керівник роботи Фешанич Лідія Ігорівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «29» травня 2026 року № 192/7

2. Строк подання студентом роботи 12.06.2026

3. Вихідні дані до роботи Матеріали переддипломної практики, методичні
Вказівки, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) 1. Аналіз технологічно процесу.

2. Дослідження системи керування температурою нафти.

3. Синтез системи автоматичного керування.

4. Розробка проектної складової системи автоматичного керування.

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

Лист 1– Функціональна схема автоматизації – БР.АКП-57.00.00.001;

Лист 2– Схема підключення шафи автоматизації до мережі живлення –

БР.АКП-57.00.00.002; Лист 3 – Схема підключення контуру регулювання
температури – БР.АКП-57.00.00.003; Лист 4 – Схема підключення контурів

індикації – БР.АКП-57.00.00.004; Лист 5 –Схема підключення контурів

регулювання рівня та співвідношення компонент – БР.АКП-57.00.00.005;

Лист 6 – Шафа керування – БР.АКП-57.00.00.006.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 06.11.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічно процесу		
2	Дослідження системи керування температурою нафти.	30.04.2026 15.05.2026	
	Синтез системи автоматичного керування	30.05.2026	
3	Розробка проектної складової системи автоматичного керування.	12.06.2026	

Студент _____
(підпис)

Д.М. Глодан _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Л. І. Фешанич _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 75 сторінок друкованого тексту, 62 рисунків, 3 таблиць, 12 джерел у переліку посилань.

Тема: «Автоматизація установки знесолення та зневоднення нафти на нафтоперобному заводі».

Об'єктом дослідження є технологічний процес знесолення та зневоднення нафти на нафтопереробному заводі.

Предметом дослідження є система автоматичного регулювання температури нафти в установці знесолення та зневоднення.

Мета роботи: розроблення системи автоматизації установки знесолення та зневоднення нафти із забезпеченням ефективного автоматичного регулювання температурного режиму технологічного процесу.

Методи дослідження: методи теорії автоматичного керування, математичного моделювання динамічних об'єктів, ідентифікації параметрів об'єкта керування, структурного та параметричного синтезу систем автоматичного регулювання. Моделювання технологічного процесу (Aspen HYSYS).

Результати кваліфікаційної роботи: виконано аналіз технологічного процесу знесолення та зневоднення нафти та досліджено основне технологічне обладнання як об'єкт автоматизації. Проведено моделювання контуру регулювання температури нафти в середовищі Aspen HYSYS та отримано криві розгону об'єкта. Виконано апроксимацію експериментальних даних та визначено математичну модель об'єкта керування. Здійснено синтез системи автоматичного керування температурою на базі промислового регулятора. Розроблено функціональну схему автоматизації, виконано підбір технічних засобів автоматизації, розроблено електричну схему підключення та електричну шафу керування.

Ключові слова: автоматизація, нафта, знесолення, зневоднення, температура, система автоматичного керування, Aspen HYSYS, регулятор.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains 75 pages of printed text, 62 figures, 3 tables, and 12 references.

Topic: “Automation of an Oil Desalting and Dehydration Unit at an Oil Refinery”.

The object of research is the technological process of oil desalting and dehydration at an oil refinery.

The subject of research is the automatic temperature control system of oil in the desalting and dehydration unit.

The purpose of the thesis is to develop an automation system for the oil desalting and dehydration unit ensuring effective automatic control of the technological process temperature regime.

Research methods: methods of automatic control theory, mathematical modeling of dynamic objects, identification of control object parameters, structural and parametric synthesis of automatic control systems. The technological process was modeled using Aspen HYSYS.

Results of the qualification thesis: an analysis of the oil desalting and dehydration process was carried out, and the main technological equipment was investigated as an automation object. The oil temperature control loop was modeled in the Aspen HYSYS environment, and the process reaction curves were obtained. Experimental data approximation was performed, and a mathematical model of the control object was determined. An automatic temperature control system based on an industrial controller was synthesized. A functional automation diagram was developed, appropriate automation equipment was selected, an electrical connection diagram was designed, and a control cabinet was developed.

Keywords: automation, oil, desalting, dehydration, temperature, automatic control system, Aspen HYSYS, controller.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	9
1	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ	11
	1.1 Характеристика технологічного процесу та вихідної сировини....	11
	1.2 Опис технологічного процесу знесолення та зневоднення нафти..	12
	Висновки до розділу.....	13
2	ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НАФТИ.....	19
	2.1 Розроблення моделі системи керування температурою в середовищі Aspen HYSYS.....	19
	2.2 Криві розгону за результатами моделювання в Aspen HYSYS.....	23
	Висновки до розділу.....	26
3	СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	28
	3.1 Апроксимація динамічних характеристик об'єкта.....	28
	3.2 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування.....	31
	3.3 Синтез каскадної системи автоматичного керування.....	44
	Висновки до розділу.....	53
4	РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК.....	55
	4.1 Функціональна схема автоматизації.....	55
	4.2 Підбір технічних засобів автоматизації.....	57
	4.3 Електрична схема.....	65
	4.3.1 Схема підключення контуру регулювання температури.....	66
	4.3.2 Схема підключення контурів індикації.....	67

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація установки знесолення та зневоднення нафти на нафтоперобному заводі	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Глодан Д.М.					6	5
Перевір.		Фешанич Л.І.						
Реценз.		Чигур І.І.						
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.				Група АКП-22-1 ІФНТУНГ		

4.3.3	Схема підключення контурів регулювання рівня та співвідношення компонентів.....	64
4.4	Розроблення електричної шафи керування.....	69
	Висновки до розділу.....	71
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	72
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	74

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Сучасні нафтопереробні підприємства характеризуються високим рівнем складності технологічних процесів, що потребує широкого застосування засобів автоматизації. Впровадження автоматизованих систем керування дозволяє забезпечити стабільність виробництва, підвищити економічну ефективність функціонування установок та створити безпечні умови експлуатації технологічного обладнання. Автоматизація сприяє точному підтриманню технологічних параметрів, раціональному використанню енергетичних і матеріальних ресурсів, покращенню якості готової продукції та зниженню ризику виникнення аварійних ситуацій.

Особливе місце у структурі нафтопереробного заводу займають установки первинної переробки нафти, оскільки саме на цьому етапі формується сировинна база для подальших технологічних процесів. У результаті первинної переробки отримують широкий асортимент продуктів, серед яких прямогінний бензин, паливні фракції, дистиляти та інші компоненти, що використовуються як товарна продукція або надходять на подальшу переробку.

Важливою стадією підготовки нафтової сировини є видалення води та мінеральних солей. Якість виконання цих операцій безпосередньо впливає на ефективність роботи технологічних установок, технічний стан обладнання та характеристики кінцевих нафтопродуктів. У сучасних умовах посилення вимог до надійності виробництва та екологічної безпеки автоматизація процесів знесолення і зневоднення набуває особливої актуальності.

Нафта, що надходить на переробку, зазвичай містить певну кількість пластової води та розчинених солей. Вміст води може досягати 1 % маси, тоді як концентрація солей інколи становить до 500 мг/л. Для забезпечення ефективного функціонування нафтопереробних установок необхідно знизити концентрацію солей до рівня не більше 20 мг/л, а масову частку води — до 0,1 %.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Постійне підвищення вимог до якості підготовки нафтової сировини обумовлює необхідність удосконалення технологій її очищення. Навіть незначне зменшення залишкового вмісту солей забезпечує суттєве скорочення корозійних процесів, підвищення надійності обладнання та покращення техніко-економічних показників виробництва.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Характеристика технологічного процесу та вихідної сировини

Підготовка нафти перед подальшою переробкою передбачає проведення комплексу технологічних операцій, основною метою яких є вилучення води та сольових домішок. Реалізація цих процесів дозволяє створити необхідні умови для стабільної та безпечної роботи обладнання нафтопереробного підприємства.

Одним із головних завдань процесу знесолення є видалення мінеральних сполук, присутніх у нафті у вигляді хлоридів, сульфатів та інших солей. Наявність таких компонентів негативно впливає на стан технологічного обладнання, сприяючи розвитку корозійних процесів та скороченню терміну його експлуатації.

Не менш важливим етапом є зневоднення нафтової сировини. Під час видобування та транспортування нафта містить значну кількість води, яка ускладнює подальшу переробку. Надлишкова волога сприяє прискореному руйнуванню металевих поверхонь, погіршує характеристики готових продуктів і може створювати труднощі під час транспортування та зберігання сировини.

Зменшення концентрації сторонніх домішок позитивно впливає на якість продукції, що отримується в результаті переробки. Використання належним чином підготовленої сировини дозволяє забезпечити стабільність технологічних режимів та отримати нафтопродукти з прогнозованими експлуатаційними властивостями.

Додатковою перевагою очищення нафти є підвищення надійності виробничого обладнання. Зниження корозійної активності середовища та мінімізація відкладень на внутрішніх поверхнях апаратів сприяють збільшенню міжремонтних періодів і скороченню експлуатаційних витрат.

Нафта, що надходить на установку ЕЛОУ-АВТ, являє собою складну багатокомпонентну систему, до складу якої входять вода у вигляді емульсії, розчинені солі та механічні домішки. Найбільш поширеними сольовими компонентами є хлориди натрію, кальцію та магнію.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Механічні домішки негативно впливають на роботу технологічного обладнання. Їх присутність спричиняє прискорене зношування робочих поверхонь, зменшує пропускну здатність трубопроводів і теплообмінних апаратів, погіршує теплопередачу та підвищує стійкість водонафтових емульсій. Крім того, збільшується зольність залишкових продуктів переробки.

Особливу небезпеку становлять хлоридні солі, здатні вступати в реакції гідролізу з утворенням агресивних корозійно-активних речовин. Найбільш небезпечними є хлориди магнію та кальцію. У процесі їх розкладання утворюється хлороводень, який значно прискорює руйнування металевих конструкцій. Саме наявність солей магнію вважається одним із головних чинників інтенсивної корозії обладнання нафтопереробних установок.

Крім сольових домішок, у нафті присутні сірковмісні сполуки. Під впливом температури вони здатні розкладатися з утворенням сірководню. Взаємодія сірководню з металевими поверхнями призводить до формування сульфідів заліза. Подальші хімічні реакції за участю хлороводню сприяють розвитку корозійних процесів та руйнуванню обладнання.

Наявність води в нафтовій сировині також негативно позначається на роботі установки. Вона збільшує витрати енергії на нагрівання, сприяє утворенню додаткових парів у системі, підвищує робочий тиск і прискорює корозійне руйнування трубопроводів та технологічних апаратів.

1.2 Опис технологічного процесу знесолення та зневоднення нафти

Нафта, що надходить на нафтопереробне підприємство, зазвичай містить значну кількість пластової води, яка перебуває у вигляді стійкої водонафтової емульсії. Така емульсія складається з великої кількості дрібнодисперсних водяних крапель діаметром переважно від 2 до 5 мкм, рівномірно розподілених у нафтовому середовищі.

Стійкість емульсій пояснюється наявністю на поверхні водяних краплин захисних адсорбційних оболонок. Формування цих оболонок відбувається за

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

рахунок смолисто-асфальтенових речовин, органічних кислот та їхніх солей, які добре розчиняються у нафті. Додатково до складу поверхневих плівок входять найдрібніші частинки парафінів, глинистих порід та мулових відкладень. З часом товщина захисного шару збільшується, а його механічна міцність зростає, внаслідок чого емульсія стає більш стійкою до руйнування.

Для прискорення процесу розділення нафтової та водної фаз на нафтопереробних установках застосовують спеціальні хімічні реагенти — деемульгатори. Їх використовують як під час термічного оброблення сировини, так і в процесах електрохімічного руйнування емульсій. Необхідну кількість реагенту визначають дослідним шляхом залежно від властивостей нафти. У більшості випадків витрата деемульгатора становить від 0,002 до 0,005 % від маси оброблюваної сировини.

Механізм дії деемульгаторів полягає у послабленні та руйнуванні адсорбційних оболонок навколо водяних краплин. Після руйнування захисних плівок окремі краплини зливаються між собою, утворюючи більші агрегати. Завдяки збільшенню розмірів таких частинок значно полегшується їх подальше осадження та відокремлення від нафтової фази.

Ефективність руйнування емульсій суттєво підвищується зі збільшенням температури. Зазвичай процес здійснюють у діапазоні від 80 до 120 °С. За таких умов знижується в'язкість нафти, зростає рухливість водяних краплин, а поверхневі плівки стають менш міцними та легше руйнуються. Подальше підвищення температури понад 120 °С не забезпечує суттєвого покращення процесу, оскільки в'язкість нафти змінюється незначно.

Для руйнування особливо стійких емульсій використовують електричне поле високої напруги. Під його впливом водяні краплини поляризуються та набувають витягнутої форми. На протилежних кінцях краплин виникають різнойменні заряди, що спричиняє взаємне притягання сусідніх частинок. У момент зближення сили взаємодії стають достатніми для руйнування захисної оболонки та об'єднання краплин у більші утворення.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

У промислових умовах для електричної обробки нафти переважно використовують змінний струм частотою 50 Гц. Напруга між електродами зазвичай підтримується в межах від 25 до 35 кВ, що забезпечує ефективне протікання процесу коалесценції.

Підвищення результативності електрозневоднення досягається шляхом одночасного застосування деемульгаторів та попереднього нагрівання сировини. Щоб запобігти інтенсивному випаровуванню води та утворенню газової фази, електродегідратори працюють під надлишковим тиском.

На підприємствах нафтопереробної галузі застосовують декілька конструктивних типів електродегідраторів:

- вертикальні циліндричні апарати з горизонтально розташованими круглими електродами, між якими проходить потік нафти;
- сферичні електродегідратори з кільцевими електродами, що використовуються на установках великої продуктивності;
- горизонтальні апарати з прямокутними електродами, в яких сировина подається під шар відстояної води в нижню частину обладнання.

Найбільшого поширення в сучасній практиці набули горизонтальні електродегідратори. Це пояснюється значною площею їх електродів, що забезпечує високу продуктивність та ефективність оброблення сировини. Крім того, зменшення вертикальної швидкості руху нафти сприяє кращому відокремленню водної фази. Конструкція таких апаратів дозволяє експлуатувати їх за підвищених температур і тисків, що позитивно впливає на ступінь знесолення та зневоднення.

Подача нафти до нижньої частини електродегідратора забезпечує додаткове промивання потоку та його послідовне проходження через дві зони електричного впливу. Спочатку сировина проходить область слабого електричного поля між поверхнею води та нижнім електродом, після чого потрапляє до зони інтенсивного електричного поля між електродами. Така схема дозволяє досягти високого ступеня руйнування емульсії.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Разом з тим надмірне збільшення напруги може негативно впливати на перебіг процесу. У деяких випадках це призводить до дроблення великих краплин на дрібніші, що підвищує стійкість емульсії та ускладнює подальше розділення фаз.

Для забезпечення стабільної роботи обладнання необхідно підтримувати оптимальні значення температури, тиску та напруги, а також контролювати режим подачі сировини. Правильний вибір технологічних параметрів дозволяє досягти високого ступеня очищення нафти від води та сольових домішок.

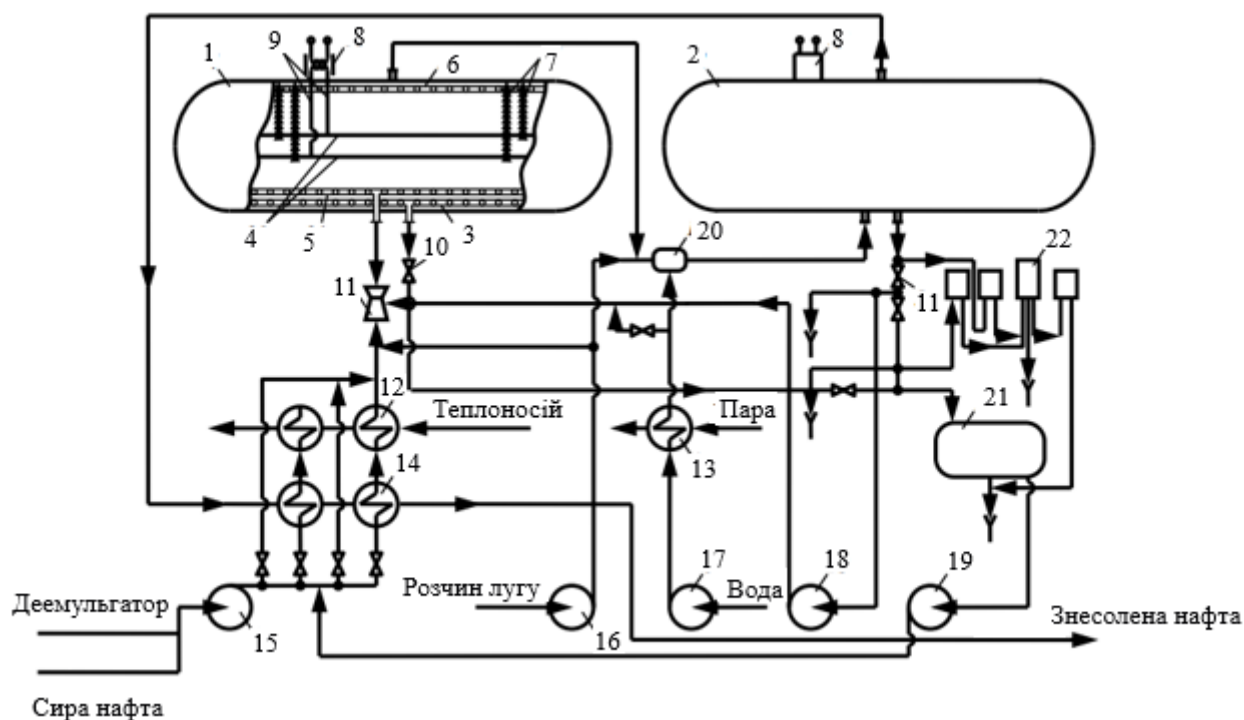
Електрознесолювальні установки зазвичай виконують двоступеневими. На першому ступені видаляється приблизно 75–80 % води та до 98 % розчинених солей. Другий ступінь забезпечує додаткове вилучення залишкової вологи та більшості солей, що залишилися після попередньої обробки. Кількість встановлених електродегідраторів визначається продуктивністю установки, фізико-хімічними характеристиками нафти та стійкістю утворюваних емульсій.

На сучасних комбінованих установках типу ЕЛОУ-АТ та ЕЛОУ-АВТ переважно використовують горизонтальні електродегідратори, які забезпечують високі показники очищення сировини. Типова апаратурно-технологічна схема електрознесолювальної установки наведена на рисунку 1.1.

Технологічний процес підготовки нафти на електрознесолювальній установці розпочинається з її подачі насосом 15 через систему теплообмінників 14 та парових підігрівників 12. У результаті нагрівання температура сировини підвищується до 110–120 °С, після чого вона надходить до електродегідратора першого ступеня 1 [1].

Для підвищення ефективності процесу до потоку нафти вводяться допоміжні реагенти. Перед насосом 15 дозується деемульгатор, який сприяє руйнуванню стійких водонафтових емульсій. Після секції підігріву в потік за допомогою насоса 16 подається лужний розчин. Одночасно до нафти додається вода, що надходить з електродегідратора другого ступеня, а також свіжа промивна вода, яка подається насосом 17. Повернення циркуляційної води здійснюється насосом 18.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



1, 2 – електродегідратори; 3 – колектор відведення солоної води; 4 – електроди; 5 – розподільник подачі сировини; 6 – колектор знесоленої нафти; 7 – підвісні ізолятори; 8 – трансформатор; 9 – струмопідводи; 10 – клапани автоматичного відведення солоної води; 11 – інжекторний змішувач; 12, 13 – підігрівники; 14 – теплообмінники; 15, 16, 17, 18, 19 – насоси; 20 – діафрагмовий змішувач; 21 – відстійник; 22 – оглядовий ліхтар

Рисунок 1.1 – Апаратурно-технологічна схема електрознесолювальної установки (ЕЛОУ)

У змішувачі 11 забезпечується інтенсивне перемішування нафти з водою та лужним реагентом. Використання лугу дозволяє зменшити корозійний вплив сірководню та нейтралізувати кислотні компоненти, які можуть потрапляти до сировини в процесі видобутку й підготовки нафти. Введення води необхідне для розчинення та подальшого видалення сольових домішок із нафтового потоку.

Подача сировини до електродегідратора першого ступеня здійснюється через розподільник 5, розташований у нижній частині апарата. Конструкція розподільника забезпечує рівномірне надходження нафти по всьому поперечному перерізу обладнання. Відведення очищеної нафти виконується через верхній

колектор 6, який має аналогічну будову. Таке конструктивне рішення сприяє рівномірному проходженню потоку через робочий об'єм апарата та підвищує ефективність процесу знесолення.

Вода, що відокремлюється від нафти в процесі обробки, збирається в нижній частині електродегідратора та відводиться через колектори 3. Залежно від умов експлуатації вона може скидатися до системи промислової каналізації або спрямовуватися до відстійника 21 для додаткового очищення. Після відстоювання вода повертається в технологічний цикл насосом 19.

Після проходження першого ступеня обробки частково зневоднена нафта безпосередньо надходить до електродегідратора другого ступеня. Перед цим у діафрагмовому змішувачі 20 здійснюється її промивання свіжою водою. Підготовка промивної води виконується в підігрівнику 13, де вона нагрівається до температури 80–90 °С. Витрата промивної води зазвичай становить від 5 до 10 % від маси оброблюваної нафти.

Після завершення другого ступеня знесолення та зневоднення підготовлена нафта відводиться з верхньої частини електродегідратора та спрямовується до резервуарів готової сировини. На комбінованих установках типу ЕЛОУ-АВТ очищений продукт додатково нагрівається та подається на подальшу атмосферну перегонку в ректифікаційну колону.

Для забезпечення стабільності технологічного режиму в електродегідраторах передбачено автоматичне регулювання рівня водяної фази. Контроль якості відокремленої води здійснюється за допомогою оглядових ліхтарів 22, через які проходить частина потоку, що відводиться з апаратів. Це дозволяє оперативно оцінювати ефективність процесу відстоювання та своєчасно виявляти можливі відхилення від нормального режиму роботи установки.

Висновки до розділу

У першому розділі проведено аналіз технологічного процесу знесолення та зневоднення нафти, визначено його значення в структурі підготовки нафтової

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сировини до подальшої переробки. Розглянуто основні характеристики нафти, що надходить на нафтопереробний завод, а також досліджено вплив води, солей і механічних домішок на ефективність функціонування технологічного обладнання.

Окрему увагу приділено принципам роботи електрознесолювальних установок та особливостям реалізації процесів видалення води і сольових домішок. На основі аналізу апаратурно-технологічної схеми ЕЛОУ встановлено, що застосування електродегідраторів у поєднанні з реагентною обробкою та попереднім нагріванням забезпечує необхідний ступінь підготовки нафти для наступних стадій переробки. Отримані результати підтверджують важливість підтримання оптимальних технологічних режимів для підвищення ефективності виробництва, зменшення корозійного зношування обладнання та покращення якості кінцевих нафтопродуктів.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НАФТИ

2.1 Розроблення моделі системи керування температурою в середовищі Aspen HYSYS

Для дослідження роботи системи автоматичного регулювання температури використано програмний комплекс Aspen HYSYS, який широко застосовується для математичного моделювання технологічних процесів у нафтогазовій та хімічній промисловості [2]. Програмне забезпечення дозволяє створювати віртуальні моделі технологічних об'єктів, аналізувати їхню поведінку в різних режимах експлуатації та оцінювати вплив окремих параметрів на загальну ефективність процесу.

Використання Aspen HYSYS дає можливість виконувати розрахунок матеріальних і теплових балансів, досліджувати динаміку технологічних систем, проводити оптимізацію режимів роботи обладнання та перевіряти працездатність контурів автоматичного керування без необхідності втручання в реальний виробничий процес.

Для аналізу процесу підготовки нафти була створена модель вузла змішування потоків нафти та води з автоматичним підтриманням заданої температури. Загальний вигляд розробленої моделі наведено на рисунку 2.1.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

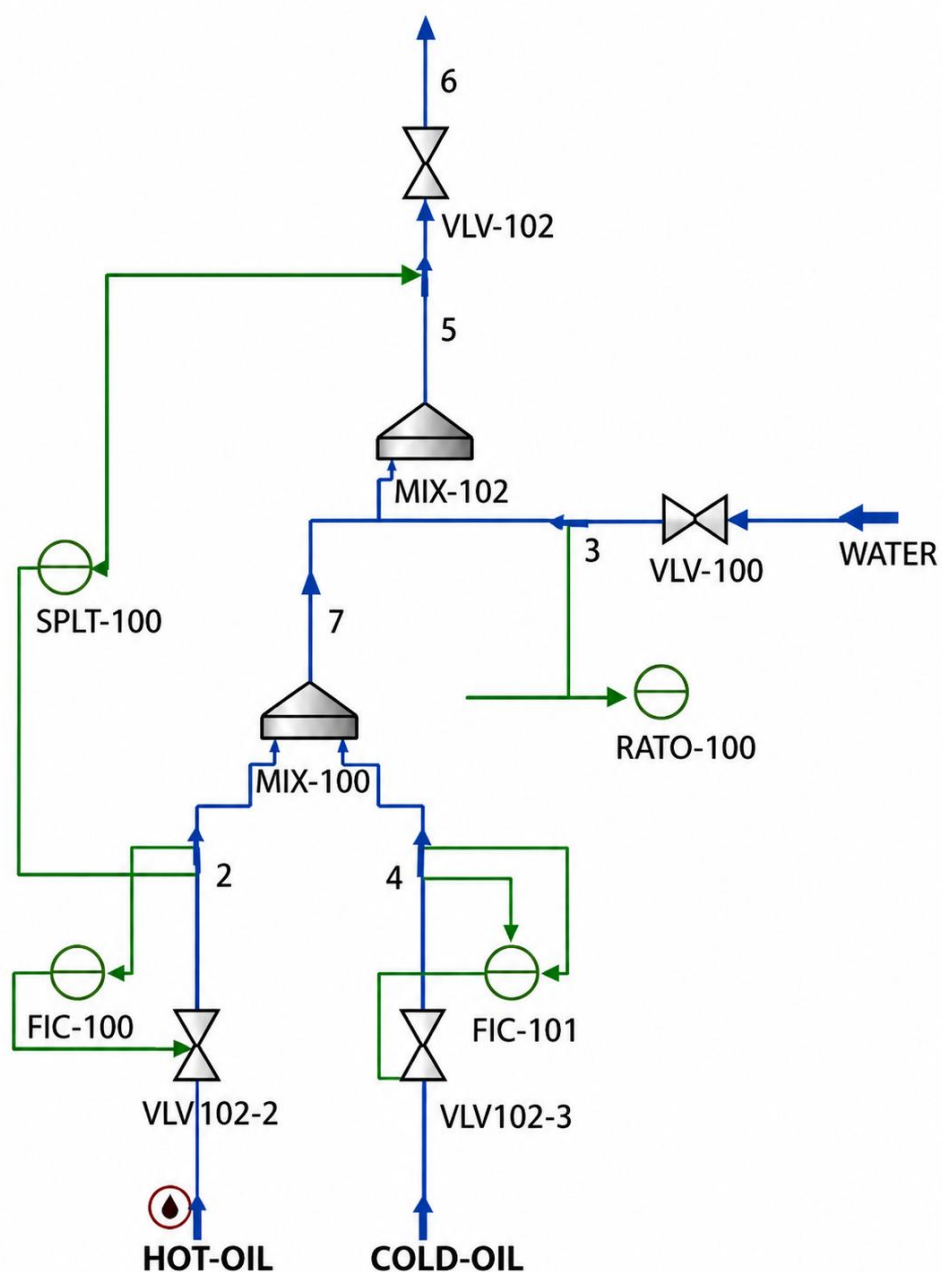


Рисунок 2.1 – Модель змішування потоків нафти та води з автоматичним регулюванням температури

Потік HOT-OIL представляє собою нагріту нафту, яка надходить після теплообмінного обладнання. Температура даного потоку підтримується на рівні 155 °C. Основні параметри потоку наведено на рисунку 2.2.

Worksheet		Attachments	Dynamics
Worksheet	Stream Name	HOT-OIL	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	0,0000
Properties	Temperature [C]	155,0	155,0
Composition	Pressure [bar_g]	3,000	3,000
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	0,2791	0,0000
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	116,8	0,0000
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0,1301	0,0000
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-7,693e+005	-1,253e+005
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	1180	274,5
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	-2,147e+005	0,0000
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	0,1294	0,0000
	Fluid Package	Basis-1	
	Utility Type		

Рисунок 2.2 – Параметри потоку HOT-OIL

Потік COLD-OIL характеризує нафту, що не проходить стадію попереднього нагрівання. Температура цього потоку становить 15 °C. Налаштування та основні характеристики потоку наведено на рисунку 2.3.

Worksheet	Attachments	Dynamics	
Worksheet	Stream Name	COLD-OIL	Vapour Phase
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000	0,0000
Properties	Temperature [C]	15,00	15,00
Composition	Pressure [bar_g]	3,000	3,000
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	0,1947	0,0000
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	81,51	0,0000
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	9,076e-002	0,0000
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-8,942e+005	-7,553e+004
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	830,2	170,9
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	-1,741e+005	0,0000
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	9,027e-002	0,0000
	Fluid Package	<i>Basis-1</i>	
	Utility Type		

Рисунок 2.3 – Параметри потоку COLD-OIL

Потік WATER моделює відстояну воду, яка використовується в процесі змішування. Температура води підтримується на рівні 80 °C. Основні параметри потоку наведені на рисунку 2.4.

Worksheet	Attachments	Dynamics
Worksheet	Stream Name	WATER
Conditions	Vapour / Phase Fraction	0,0000
Properties	Temperature [C]	80,00
Composition	Pressure [bar_g]	3,059
Oil & Gas Feed	Molar Flow [kgmole/h]	2,131
Petroleum Assay	Mass Flow [kg/h]	38,39
K Value	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	3,846e-002
User Variables	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,819e+005
Notes	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	66,89
Cost Parameters	Heat Flow [kJ/h]	-6,007e+005
Normalized Yields	Liq Vol Flow @Std Cond [m3/h]	3,783e-002
	Fluid Package	<i>Basis-1</i>
	Utility Type	

Рисунок 2.4 – Параметри потоку WATER

У створеній моделі передбачено декілька контурів автоматичного регулювання. Регулятор FIC-100 використовується для керування витратою потоку гарячої нафти, яка надходить після теплообмінників. Регулятор FIC-101 забезпечує підтримання необхідної витрати холодної нафти.

Координацію роботи обох контурів здійснює блок SPLT-100. Він отримує інформацію про поточне значення температури від відповідного датчика та формує керуючі сигнали для регуляторів витрати гарячої і холодної нафти. Завдяки зміні співвідношення між цими потоками забезпечується підтримання заданої температури суміші на виході з вузла змішування.

Для підтримання необхідного співвідношення між нафтою та водою використовується регулятор RATO-100. На його вхід надходять сигнали від витратомірів, встановлених на лініях подачі нафти та води. На основі отриманих даних регулятор формує керуючу дію на клапан VLV-100, змінюючи витрату води відповідно до заданого співвідношення компонентів.

Перевірка працездатності моделі виконувалась шляхом зміни завдання температури технологічної суміші. Початкове значення температури становило 100 °C. У процесі моделювання задане значення було збільшено до 120 °C, після чого проведено аналіз реакції системи автоматичного регулювання.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Результати моделювання наведено на рисунку 2.5. Із отриманих графічних залежностей видно, що температура суміші поступово досягає нового встановленого значення без суттєвих відхилень. Одночасно зі зростанням температури збільшується витрата гарячої нафти, тоді як подача холодної нафти зменшується. Такий характер зміни параметрів відповідає логіці роботи системи регулювання та підтверджує коректність налаштування моделі.

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що розроблена модель забезпечує ефективне підтримання температурного режиму процесу змішування та адекватно відтворює роботу реального контуру автоматичного регулювання.

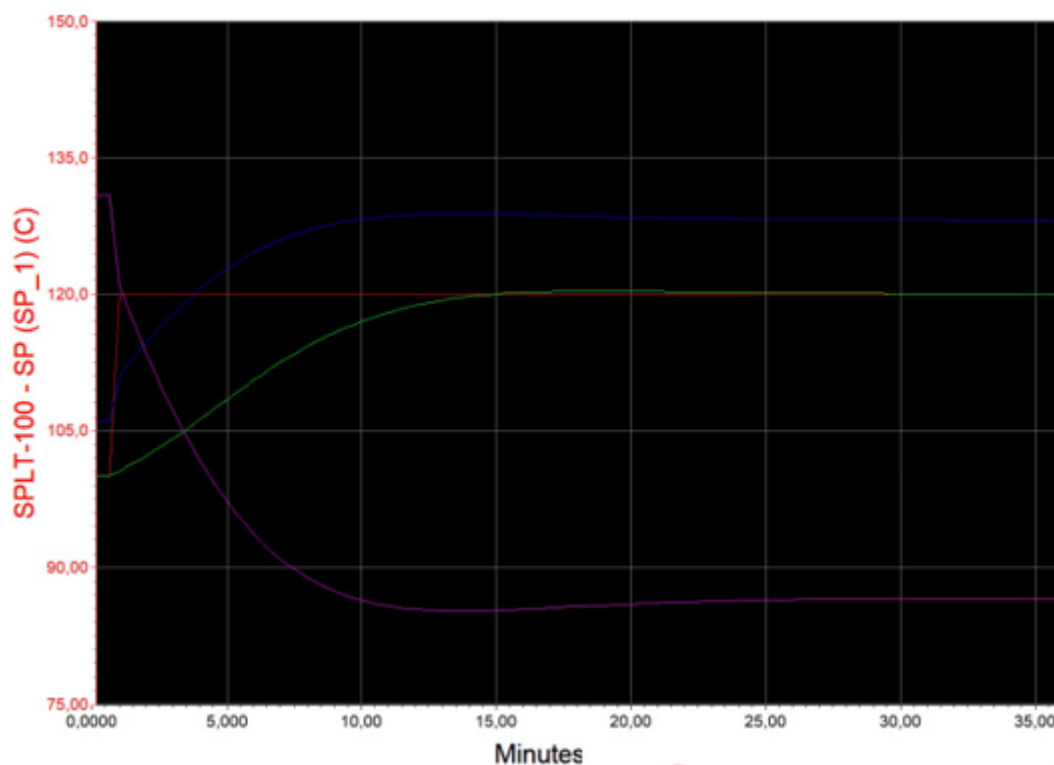


Рисунок 2.5 – Графіки перехідних процесів

2.2 Криві розгону за результатами моделювання в Aspen HYSYS

Для подальшого дослідження динамічних властивостей об'єкта керування було виконано побудову кривих розгону. Отримані характеристики дозволяють

оцінити реакцію системи на зміну вхідних параметрів та визначити особливості перебігу перехідних процесів.

У межах дослідження було сформовано три криві розгону, які відображають залежність температури суміші на виході від зміни витрати окремих компонентів процесу. Зокрема, досліджено вплив витрати гарячої нафти, холодної нафти та води на температурний режим кінцевого продукту.

Побудова кривих здійснювалася методом ступінчастого збурення. Для цього значення витрати відповідного потоку різко змінювали на певну величину, після чого спостерігали за реакцією системи та фіксували зміну температури на виході об'єкта. Отримані експериментальні дані використовувалися для побудови графічних залежностей.

На рисунку 2.6 наведено криву розгону, що характеризує зміну температури суміші при збільшенні витрати гарячої нафти.

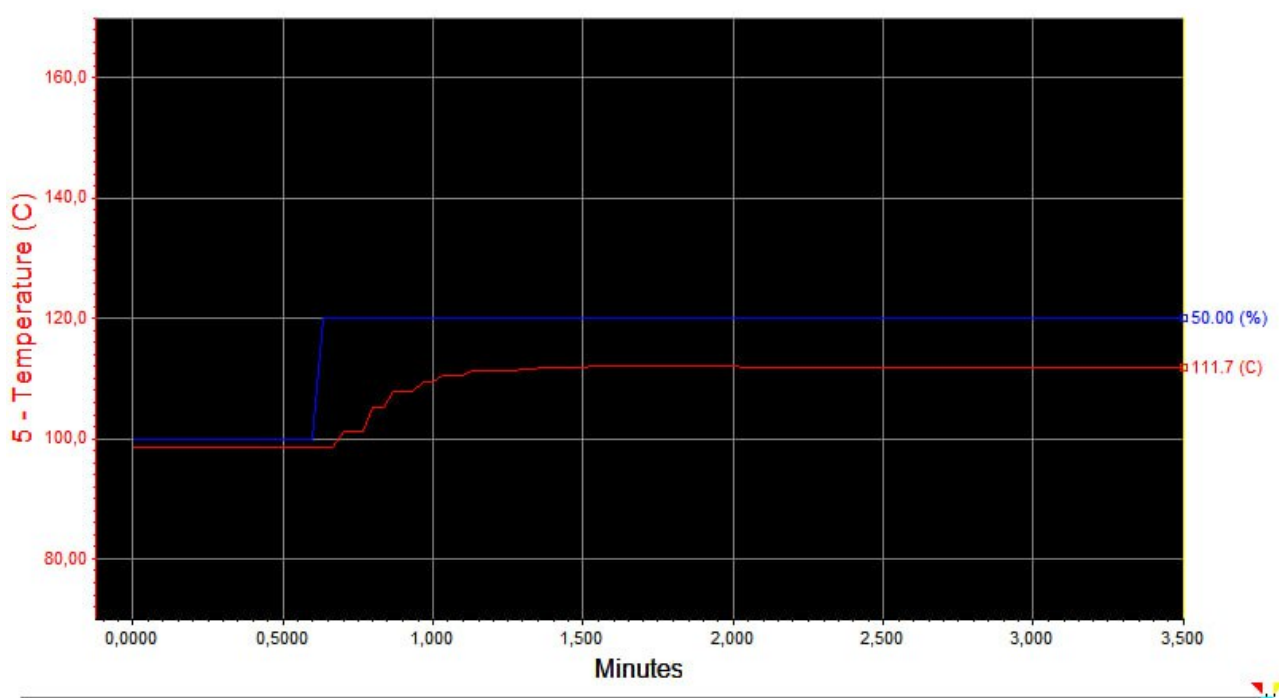


Рисунок 2.6 – Крива розгону температури суміші при збільшенні кількості гарячої нафти

Аналіз наведеної залежності показує, що збільшення подачі гарячої нафти призводить до поступового підвищення температури технологічної суміші до

нового усталеного значення. Отримана характеристика відображає динамічні властивості об'єкта та може бути використана для подальшого визначення його параметрів.

На рисунку 2.7 представлено реакцію системи на зміну витрати холодної нафти.

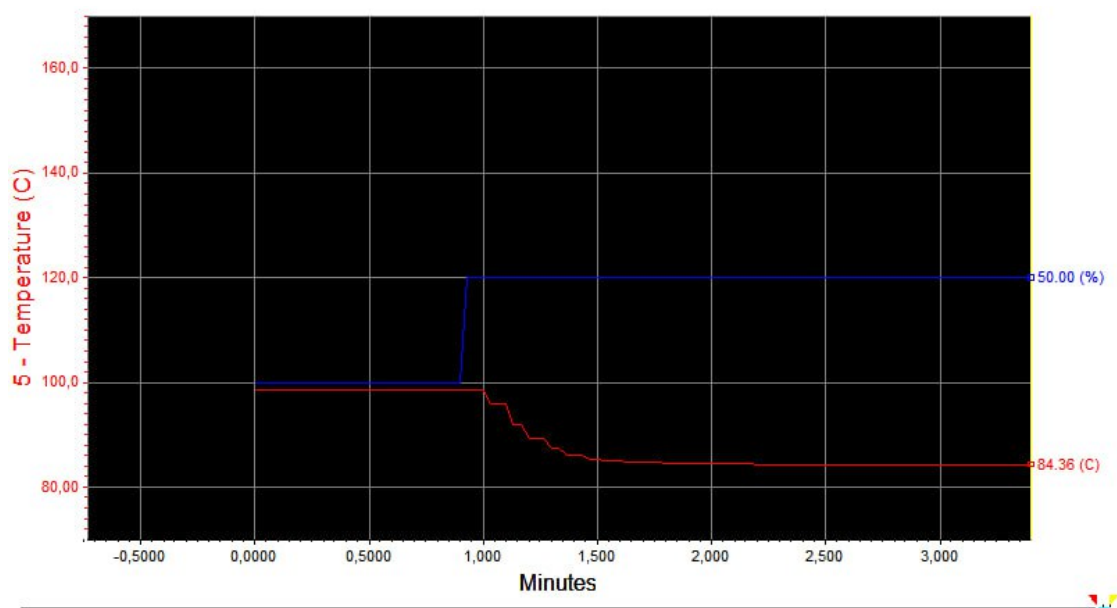


Рисунок 2.7 – Крива розгону температури суміші при збільшенні кількості холодної нафти

З отриманої характеристики видно, що збільшення кількості холодної нафти викликає зниження температури суміші. При цьому процес переходу до нового усталеного стану відбувається поступово, що свідчить про наявність інерційних властивостей технологічного об'єкта.

На рисунку 2.8 наведено криву розгону для випадку зміни витрати води, яка подається до вузла змішування.

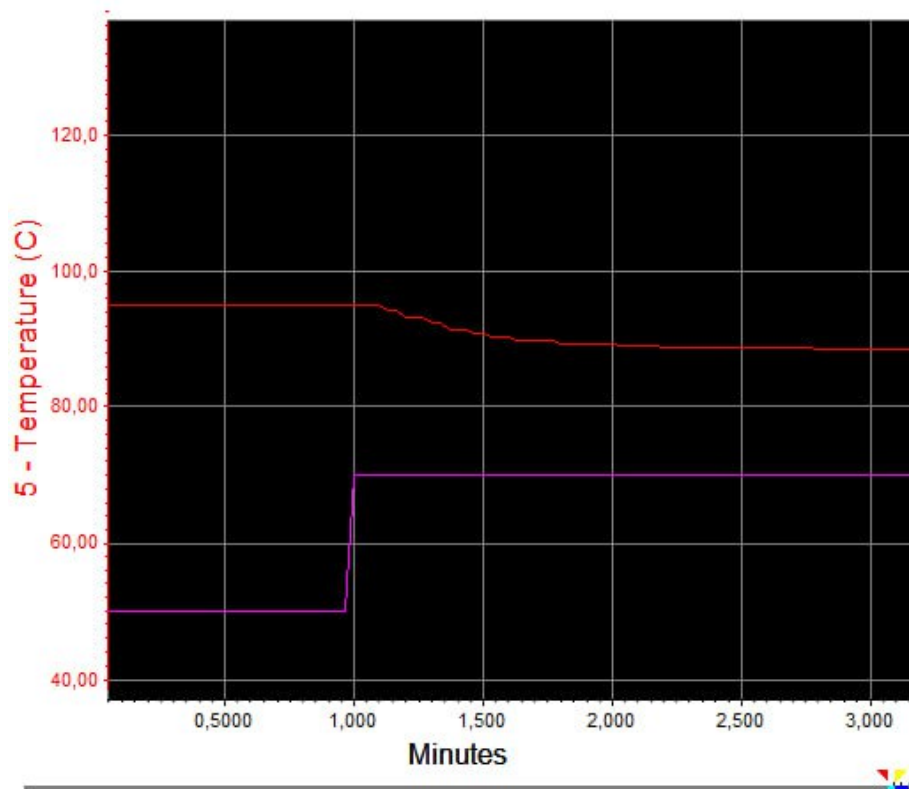


Рисунок 2.8 – Крива розгону температури суміші при збільшенні кількості води

Отримана залежність демонструє вплив водяного потоку на температурний режим процесу. Зміна витрати води призводить до відповідної зміни температури кінцевої суміші, що підтверджує необхідність врахування цього параметра під час побудови системи автоматичного регулювання.

Висновки до розділу

У другому розділі виконано моделювання контуру автоматичного регулювання температури нафти з використанням програмного комплексу Aspen HYSYS. Створена модель дозволила дослідити особливості взаємодії потоків гарячої нафти, холодної нафти та води, а також оцінити ефективність підтримання заданого температурного режиму.

На основі проведених експериментів отримано криві розгону за трьома каналами впливу, а саме: за зміною витрати гарячої нафти, холодної нафти та води.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Аналіз одержаних характеристик дав змогу оцінити динамічні властивості об'єкта керування та визначити характер його реакції на зовнішні збурення.

Результати моделювання підтвердили адекватність побудованої моделі та можливість її використання для подальшого синтезу системи автоматичного регулювання. Застосування Aspen HYSYS дозволяє досліджувати поведінку технологічного процесу в різних режимах роботи, що сприяє підвищенню ефективності проектування та налаштування систем керування нафтопереробних установок.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Апроксимація динамічних характеристик об'єкта

Одним із важливих етапів синтезу системи автоматичного керування є отримання математичної моделі об'єкта регулювання [3]. Для цього використовується апроксимація експериментально отриманих перехідних характеристик, що дозволяє замінити реальний технологічний процес спрощеною математичною моделлю з достатньою точністю опису його динамічних властивостей.

Під апроксимацією розуміють процедуру побудови математичної залежності, яка найбільш точно відтворює поведінку досліджуваного об'єкта на основі експериментальних даних. Отримані моделі надалі використовуються для аналізу стійкості системи, вибору структури регулятора та визначення його параметрів налаштування.

Для обробки результатів моделювання та ідентифікації параметрів об'єкта було використано програмне середовище MATLAB. На основі кривих розгону, отриманих у програмі Aspen HYSYS, виконано апроксимацію кожного каналу керування та визначено відповідні передавальні функції.

Канал 1: витрата гарячої нафти – температура суміші.

Результати апроксимації перехідної характеристики за каналом впливу витрати гарячої нафти на температуру суміші наведено на рисунку 3.1.

Порівняння експериментальної та апроксимованої характеристик показало, що найкращу відповідність дослідним даним забезпечує модель у вигляді аперіодичної ланки другого порядку. Обрана модель досить точно відтворює динаміку об'єкта в досліджуваному діапазоні режимів роботи.

Відповідна передавальна функція має вигляд

$$W1(p) = \frac{0.65}{45.43s^2 + 13.48s + 1}. \quad (3.1)$$

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

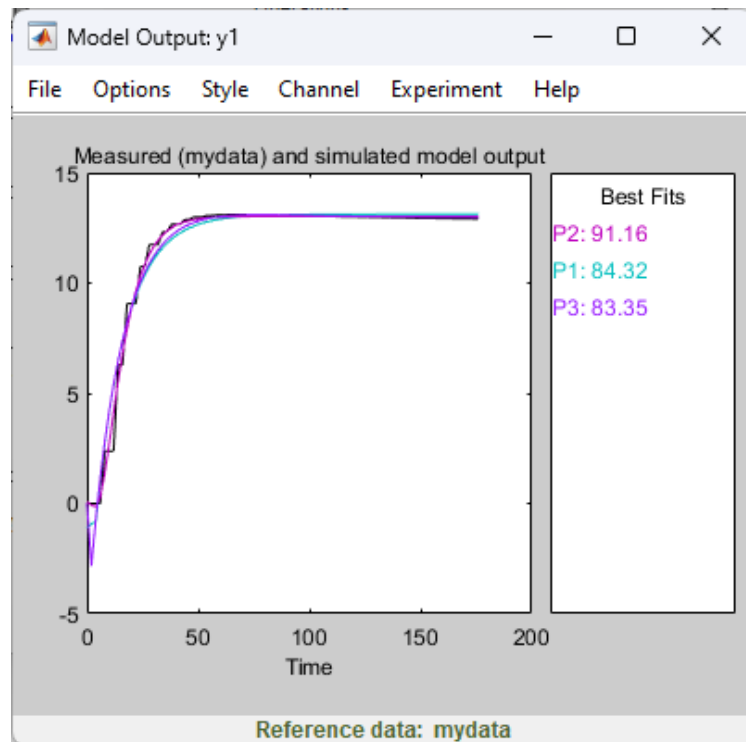


Рисунок 3.1 – Апроксимована перехідна характеристика об'єкта за каналом 1

Канал 2: витрата холодної нафти – температура суміші

Результати апроксимації для другого каналу наведено на рисунку 3.2.

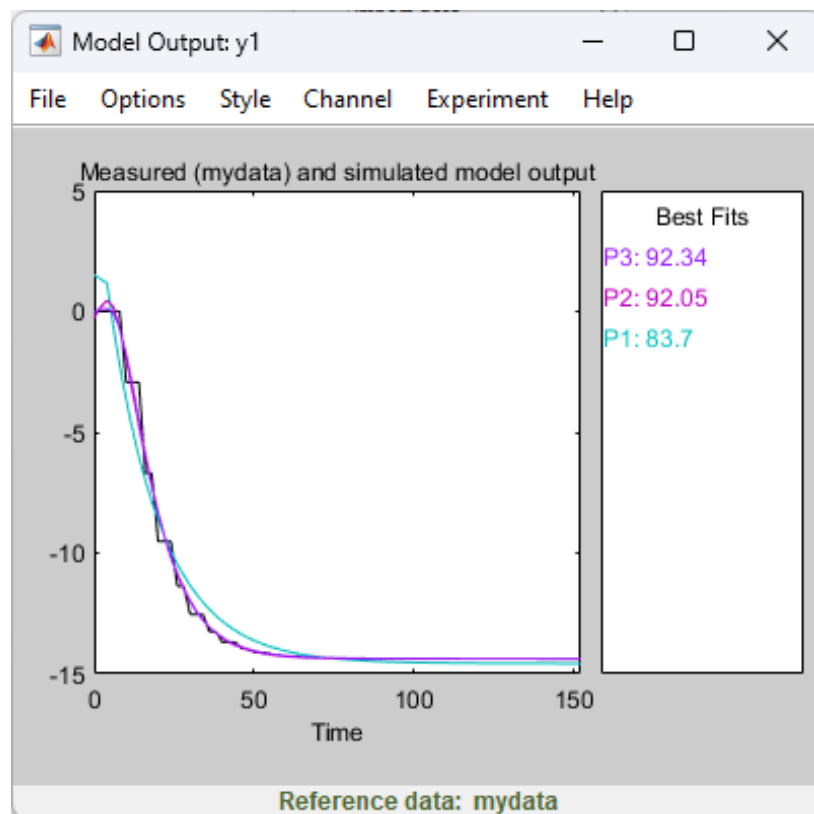


Рисунок 3.2 – Апроксимована перехідна характеристика об'єкта за каналом 2

Аналіз отриманих результатів свідчить, що аперіодична ланка другого порядку також забезпечує високу точність опису динамічних властивостей об'єкта. Відхилення між експериментальною характеристикою та математичною моделлю є незначним, що підтверджує коректність обраної структури.

Передавальна функція каналу 2 має вигляд

$$W1(p) = \frac{-0.71}{61.02s^2 + 15.63s + 1} \quad (3.2)$$

Негативне значення коефіцієнта підсилення пояснюється тим, що збільшення витрати холодної нафти призводить до зменшення температури суміші.

Результати апроксимації третього каналу (витрата води – температура суміші) наведено на рисунку 3.3.

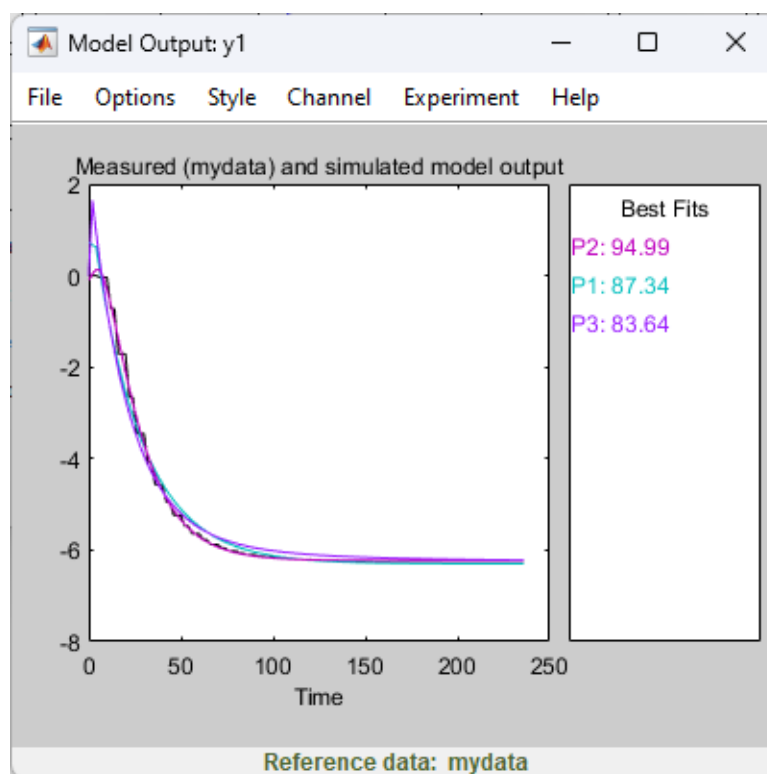


Рисунок 3.3 – Апроксимована перехідна характеристика об'єкта за каналом 3

Порівняння експериментальної кривої з апроксимованою моделлю показало, що динаміка даного каналу також найкраще описується аперіодичною ланкою другого порядку. Отримана модель забезпечує достатню точність для подальшого синтезу системи автоматичного регулювання.

Передавальна функція третього каналу визначається виразом

$$W1(p) = \frac{-0.311}{137.17s^2 + 25.65s + 1} \quad (3.3)$$

Таким чином, для всіх досліджуваних каналів отримано адекватні математичні моделі у вигляді аперіодичних ланок другого порядку. Отримані передавальні функції можуть бути використані для подальшого аналізу системи та розрахунку параметрів регуляторів.

3.2 Синтез одноконтурної системи автоматичного керування

Аналіз отриманих математичних моделей показав, що досліджуваний об'єкт має два керуючі впливи та один канал збурення. Керування температурою суміші здійснюється шляхом зміни витрати гарячої та холодної нафти, тоді як зміна витрати води розглядається як зовнішнє збурення, що впливає на температурний режим процесу.

До керуючих каналів належать:

Канал 1 «витрата гарячої нафти – температура суміші»;

Канал 2 «витрата холодної нафти – температура суміші».

Як канал збурення розглядається:

Канал 3 «витрата води – температура суміші».

Для оцінювання можливостей регулювання було виконано синтез класичних регуляторів та проведено дослідження їх роботи у складі замкненої системи керування. Аналіз виконано для каналу «витрата гарячої нафти – температура сировини».

На першому етапі було виконано налаштування пропорційного регулятора. Структурна схема системи автоматичного керування з Р-регулятором наведена на рисунку 3.4.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

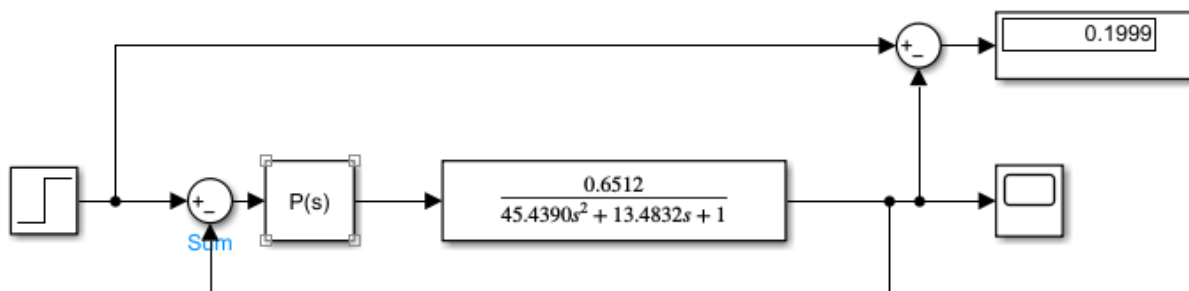


Рисунок 3.4 – Структурна схема системи керування з Р –регулятором

У результаті налаштування отримано таке значення параметра регулятора:

$$P = 6.14521$$

Дослідження перехідного процесу замкненої системи дозволило оцінити якість регулювання температури при використанні лише пропорційної складової. Отриману перехідну характеристику наведено на рисунку 3.5.

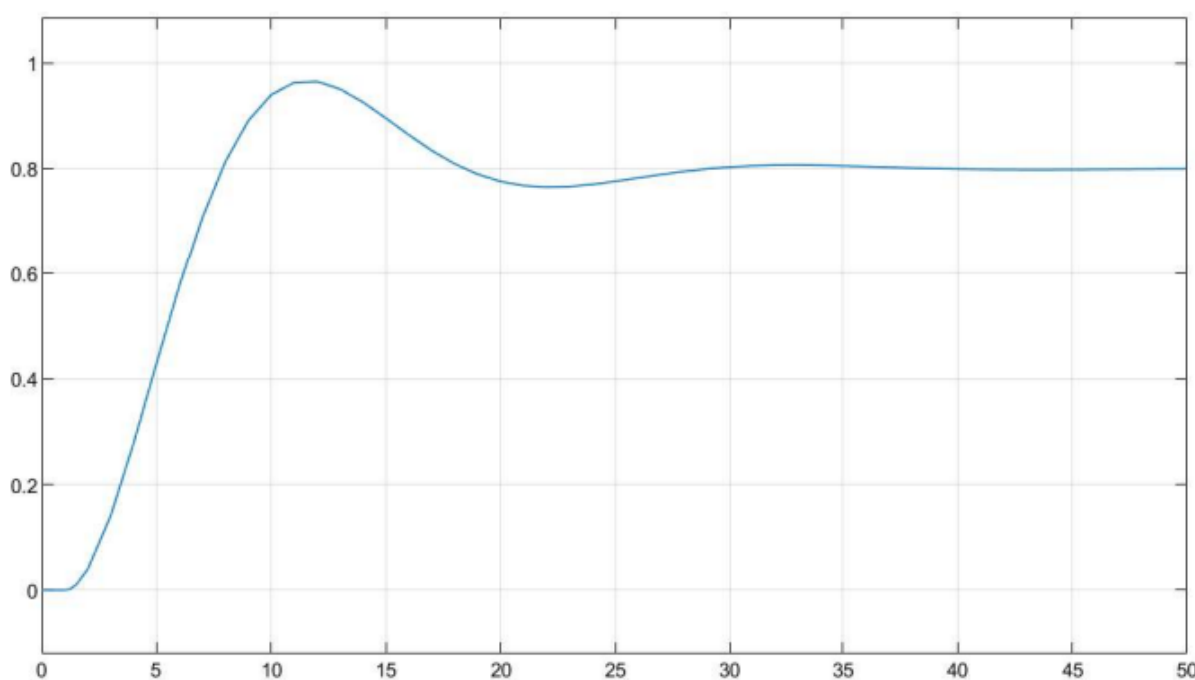


Рисунок 3.5 – Перехідна характеристика за каналом 1 з Р –регулятором

Наступним етапом було дослідження системи з інтегральним регулятором. Структурна схема такого варіанта системи наведена на рисунку 3.6.

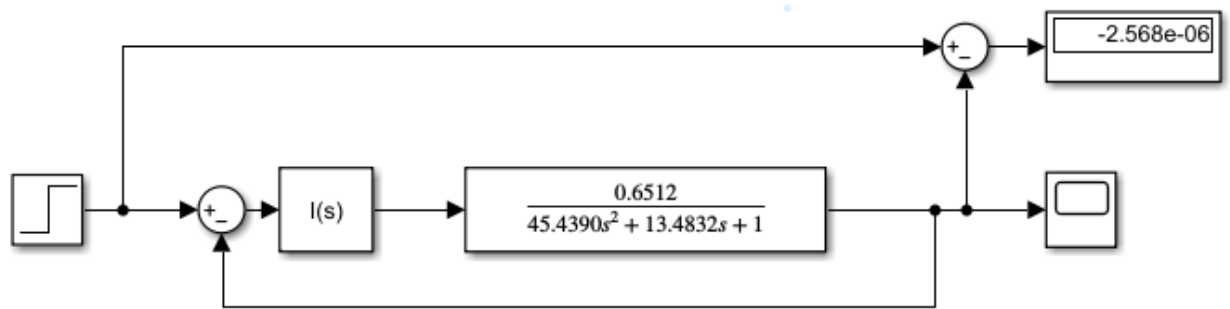


Рисунок 3.6 – Структурна схема системи керування з І-регулятором

Параметр інтегрального регулятора становить:

$$I = 0.064404$$

Інтегральна складова забезпечує усунення статичної похибки, однак може призводити до збільшення тривалості перехідного процесу. Результати моделювання наведено на рисунку 3.7.

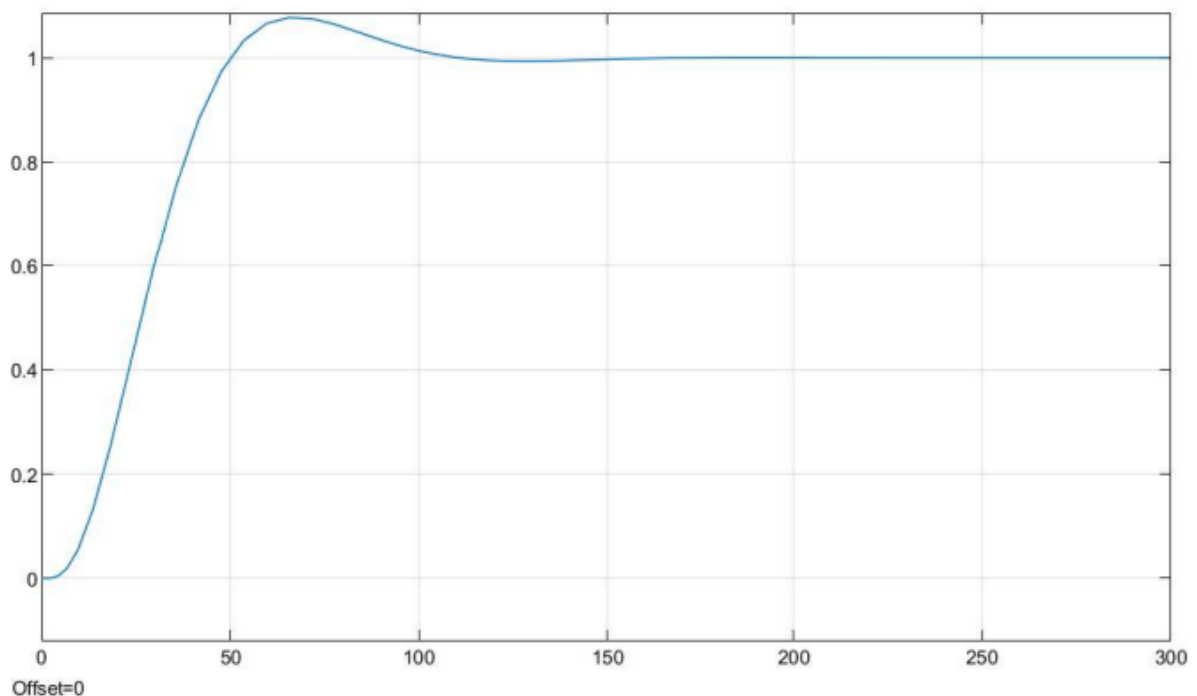


Рисунок 3.7 – Перехідна характеристика системи за каналом 1 з І-регулятором

Для покращення динамічних характеристик системи було виконано синтез пропорційно-диференціального регулятора. Відповідна структура системи наведена на рисунку 3.8.

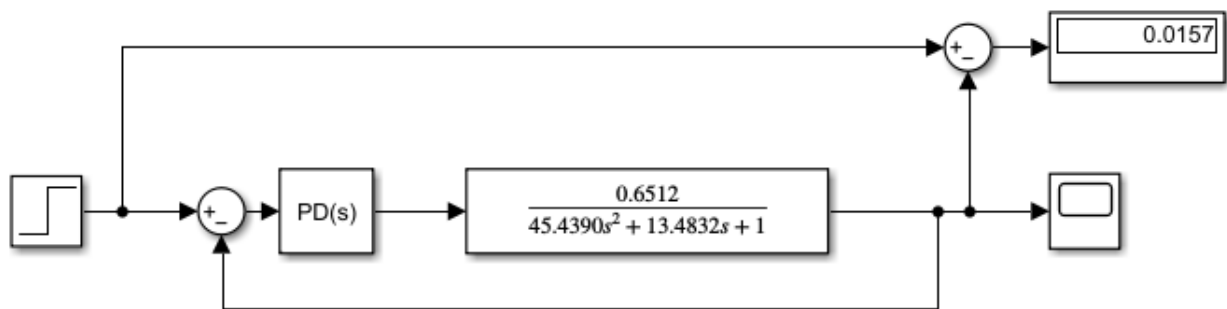


Рисунок 3.8 – Структурна схема системи керування з PD-регулятором

У результаті налаштування отримано такі параметри:

$$P = 96.25977$$

$$D = 90.59001$$

$$N = 33.86759$$

Використання диференціальної складової дозволяє підвищити швидкодію системи та зменшити коливальність перехідного процесу. Отриману характеристику наведено на рисунку 3.9.

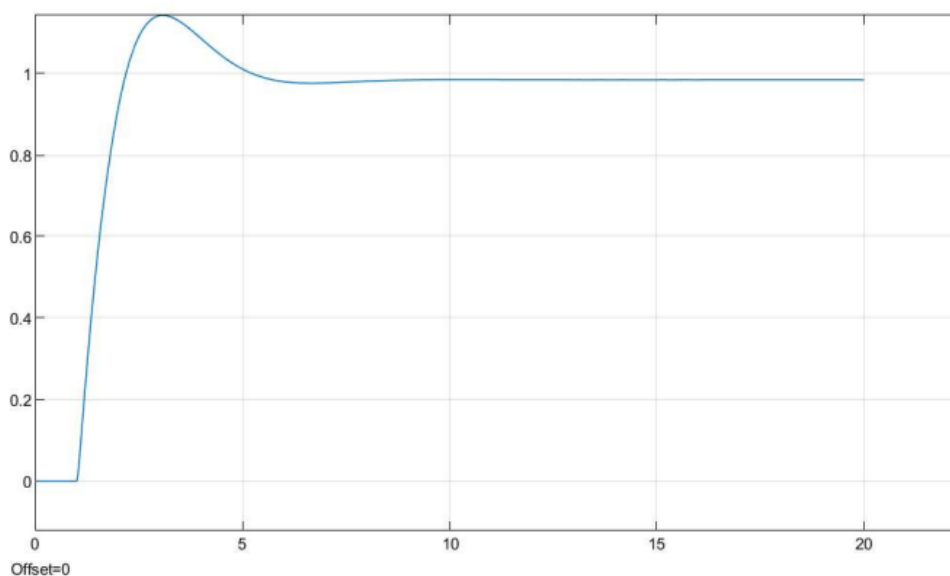


Рисунок 3.9 – Перехідна характеристика системи за каналом 1 з PD-регулятором

Одним із найбільш поширених регуляторів у промислових системах автоматизації є PI-регулятор, який поєднує переваги пропорційної та інтегральної складових. Структурну схему системи наведено на рисунку 3.10.

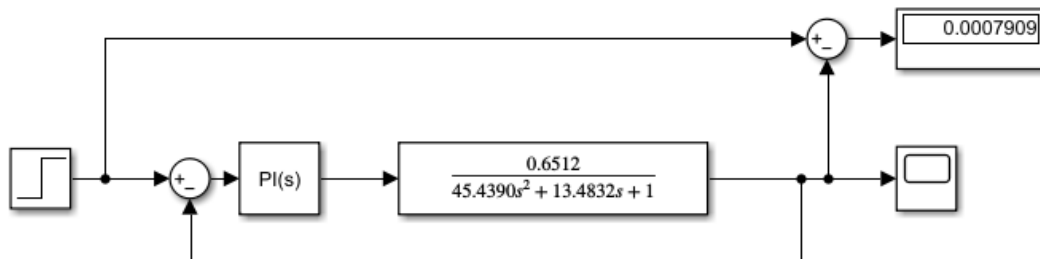


Рисунок 3.10 – Структурна схема системи керування з РІ-регулятором
За результатами налаштування отримано такі параметри:

$$P = 2.95346$$

$$I = 0.24012$$

Застосування інтегральної складової забезпечує усунення статичної похибки, а пропорційна частина дозволяє підтримувати прийнятну швидкодію системи. Перехідний процес для цього варіанта наведено на рисунку 3.11.

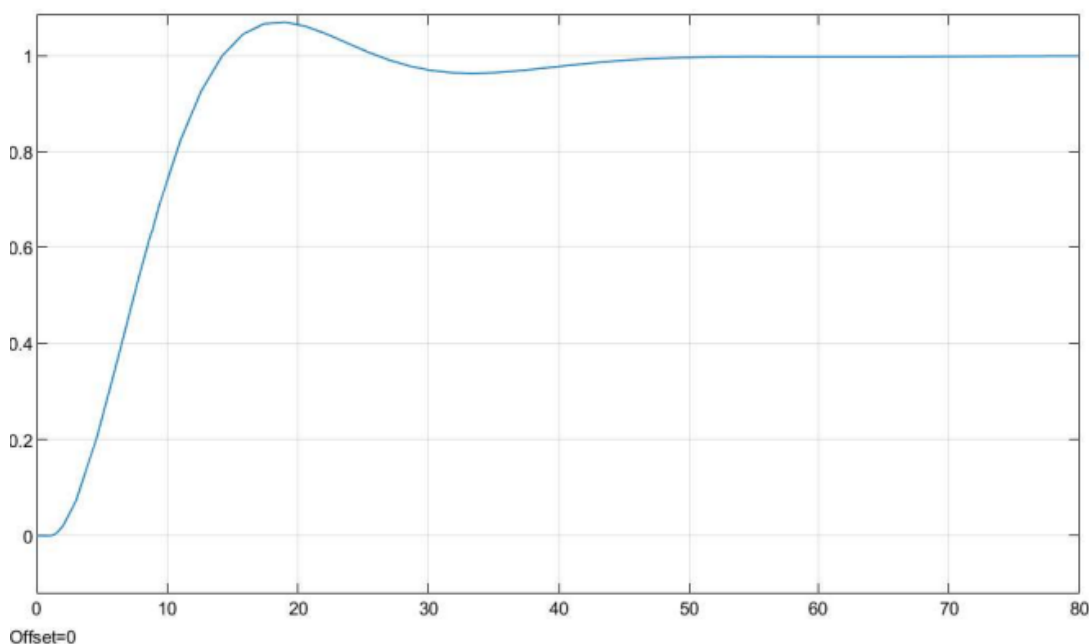


Рисунок 3.11 – Перехідна характеристика системи за каналом 1 з РІ-регулятором

На завершальному етапі було виконано налаштування PID-регулятора, який поєднує пропорційну, інтегральну та диференціальну складові. Структурну схему системи наведено на рисунку 3.12.

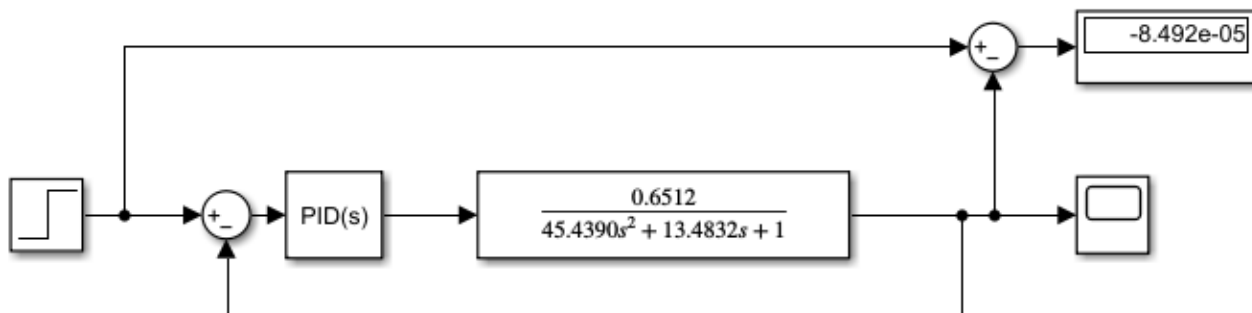


Рисунок 3.12 – Структурна схема системи керування з PID-регулятором

У результаті синтезу отримано такі параметри регулятора:

$$P = 3.12344,$$

$$I = 0.42471,$$

$$D = 6.74621,$$

$$N = 18.09214.$$

Комбіноване використання трьох складових дозволяє забезпечити високу швидкодію, мінімізувати статичну похибку та покращити якість перехідного процесу. Перехідна характеристика системи із PID-регулятором наведена на рисунку 3.13.

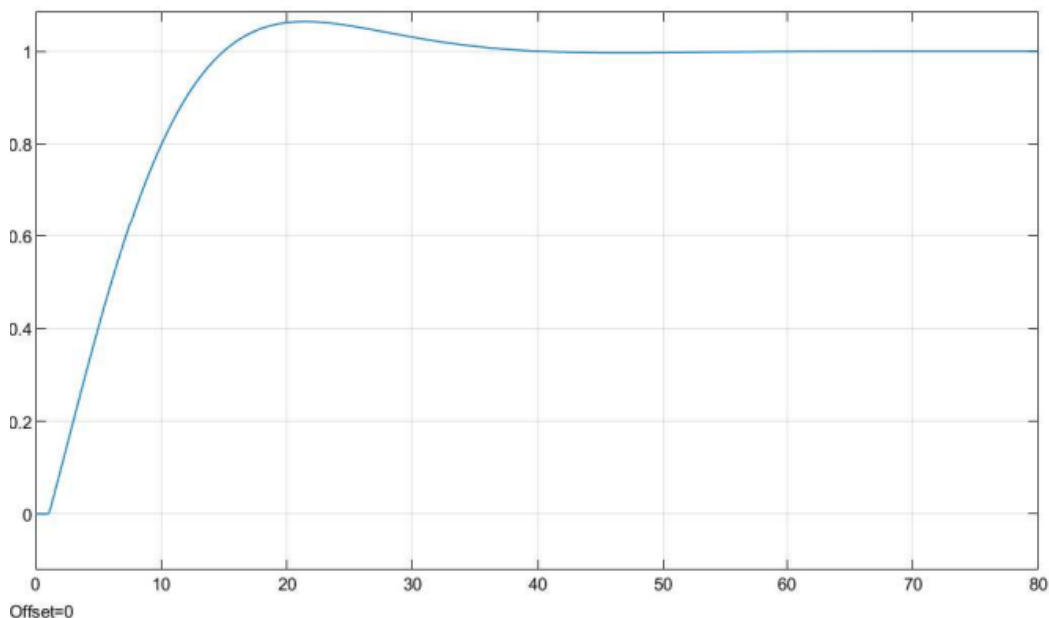


Рисунок 3.13 – Перехідна характеристика системи за каналом 1 з PID-регулятором

Для оцінювання ефективності роботи синтезованих регуляторів було проведено порівняльний аналіз основних показників якості регулювання. До критеріїв оцінювання належать час встановлення перехідного процесу, величина перерегулювання та значення статичної похибки.

Таблиця 3.1 – Порівняння показників якості регулювання для каналу 1

Регулятор	Час встановлення, с	Перерегулювання, %	Статична похибка
<i>P</i>	70	20	0,192
<i>I</i>	200	8	– 0,000003
<i>PI</i>	70	8	0,0008
<i>PD</i>	15	16	0,02
<i>PID</i>	60	6	– 0,00008

Результати дослідження свідчать, що найменший час встановлення забезпечує PD-регулятор. Однак його використання супроводжується наявністю статичної похибки та відносно значним перерегулюванням, що може негативно впливати на якість підтримання температурного режиму.

Найкращі інтегральні показники якості продемонстрував PID-регулятор. Незважаючи на дещо більший час встановлення порівняно з PD-регулятором, він забезпечує мінімальне перерегулювання та практично повне усунення статичної похибки. Високі результати також показав PI-регулятор, для якого характерні невелике перерегулювання та достатньо швидкий вихід на усталений режим.

З огляду на отримані результати для подальших досліджень доцільно використовувати PI- та PID-регулятори, оскільки саме вони забезпечують найкраще співвідношення між швидкодією та точністю регулювання.

Канал 2 – «витрата холодної нафти – температура сировини»

Для другого каналу керування було проведено аналогічну процедуру синтезу та аналізу класичних регуляторів.

На першому етапі виконано налаштування пропорційного регулятора для каналу керування витратою холодної нафти. Структурну схему системи наведено на рисунку 3.14.

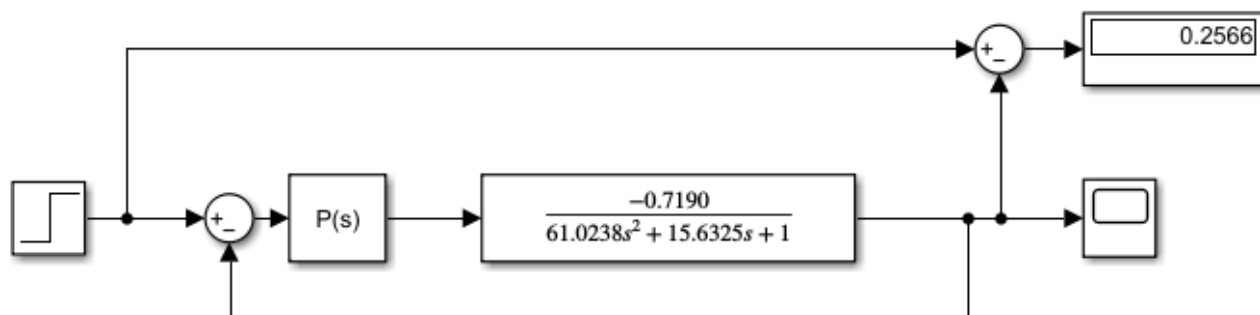


Рисунок 3.14 – Структурна схема системи керування з Р-регулятором

За результатами налаштування отримано такий коефіцієнт підсилення:

$$P = -5.53756$$

Від'ємне значення коефіцієнта пояснюється оберненим характером впливу холодної нафти на температуру суміші. Перехідна характеристика замкненої системи наведена на рисунку 3.15.

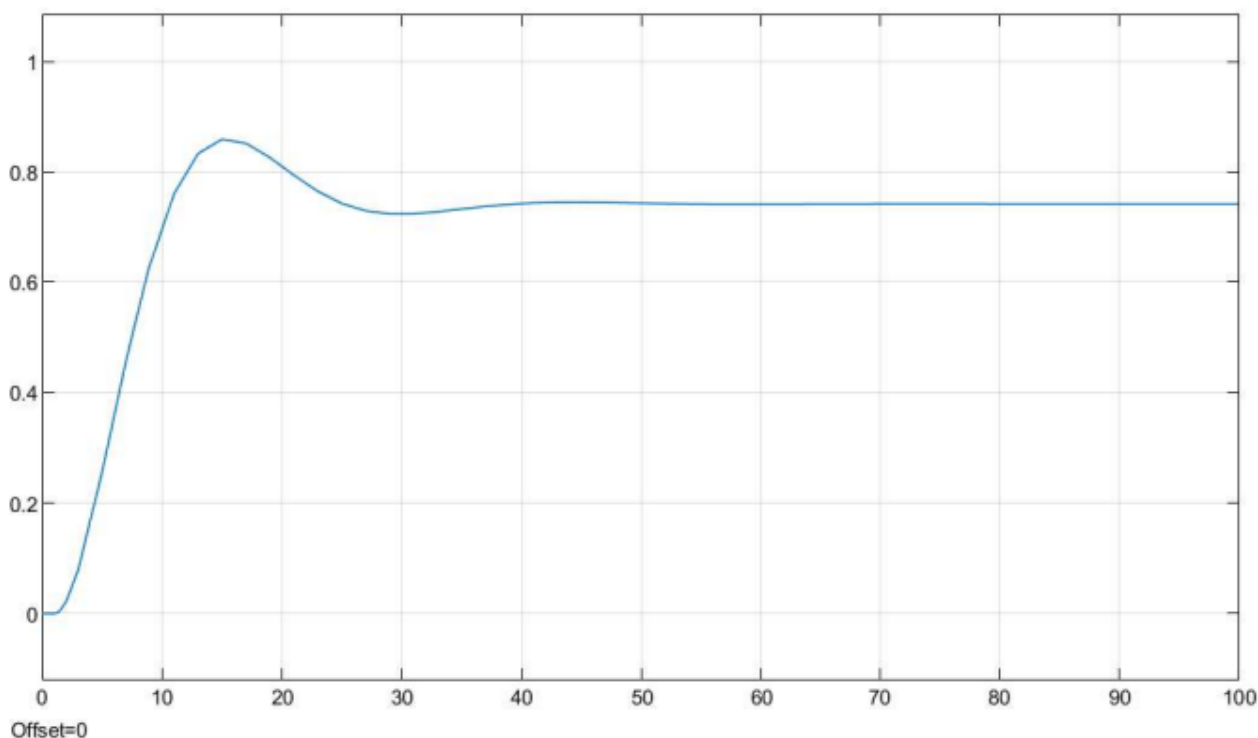


Рисунок 3.15 – Перехідна характеристика системи за каналом 2 з Р-регулятором

Для усунення статичної похибки було досліджено систему з інтегральним регулятором. Структурна схема такого варіанта наведена на рисунку 3.16.

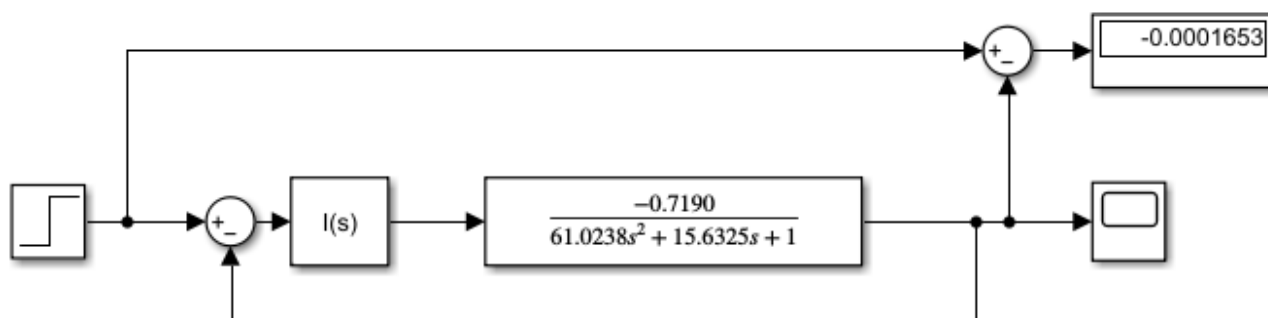


Рисунок 3.16 – Структурна схема системи керування з І-регулятором

Параметр інтегральної складової становить:

$$I = -0.05119$$

Перехідний процес для даного регулятора наведено на рисунку 3.17.

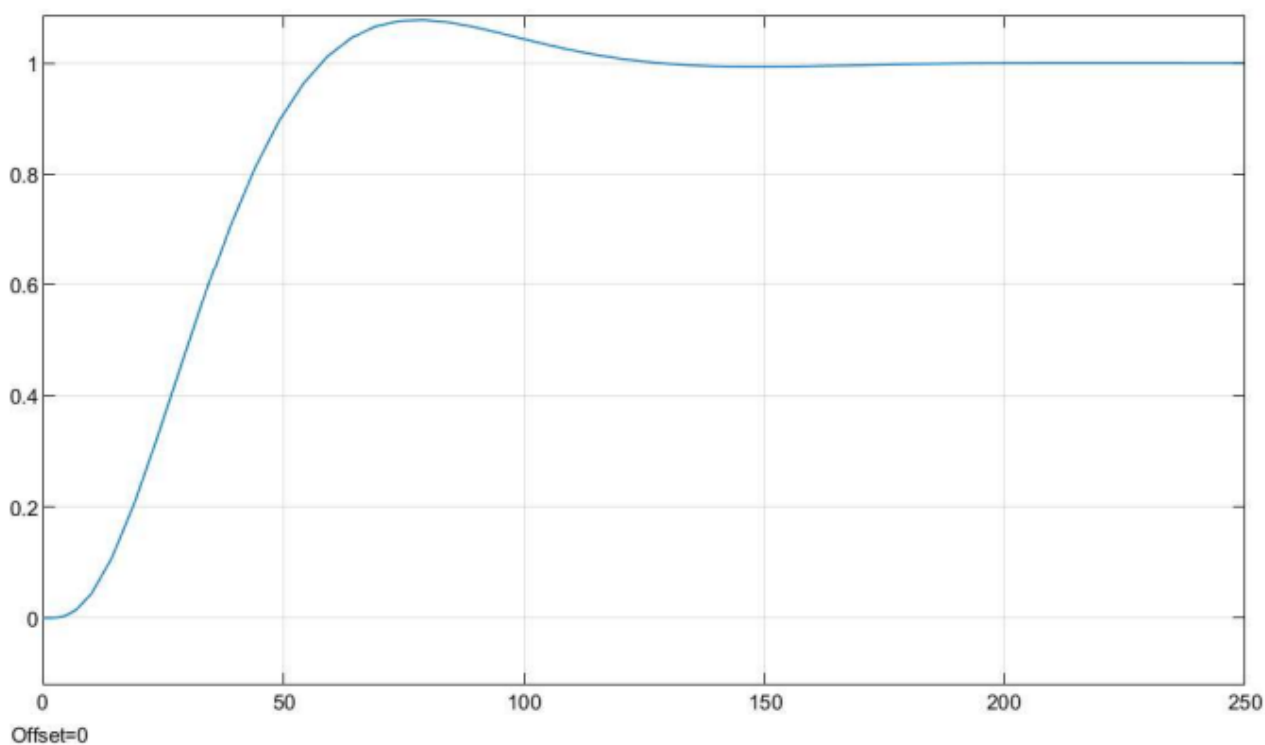


Рисунок 3.17 – Перехідна характеристика системи за каналом 2 з І-регулятором

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Наступним етапом стало налаштування пропорційно-диференціального регулятора. Структурну схему системи наведено на рисунку 3.18.

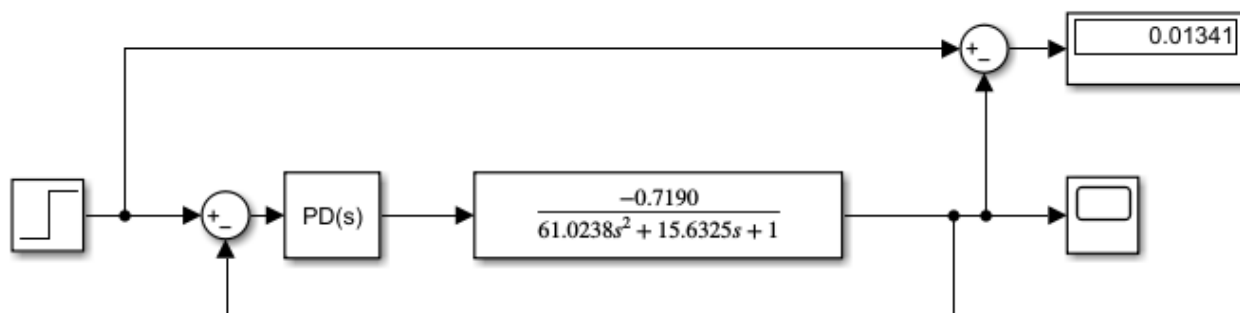


Рисунок 3.18 – Структурна схема системи керування з PD-регулятором

Параметри регулятора мають такі значення:

$$P = -102.33815,$$

$$D = -142.27490,$$

$$N = 205.74161.$$

Використання диференціальної складової дозволяє прискорити реакцію системи на зміну входніх впливів та покращити динамічні характеристики процесу. Отриману перехідну характеристику наведено на рисунку 3.19.

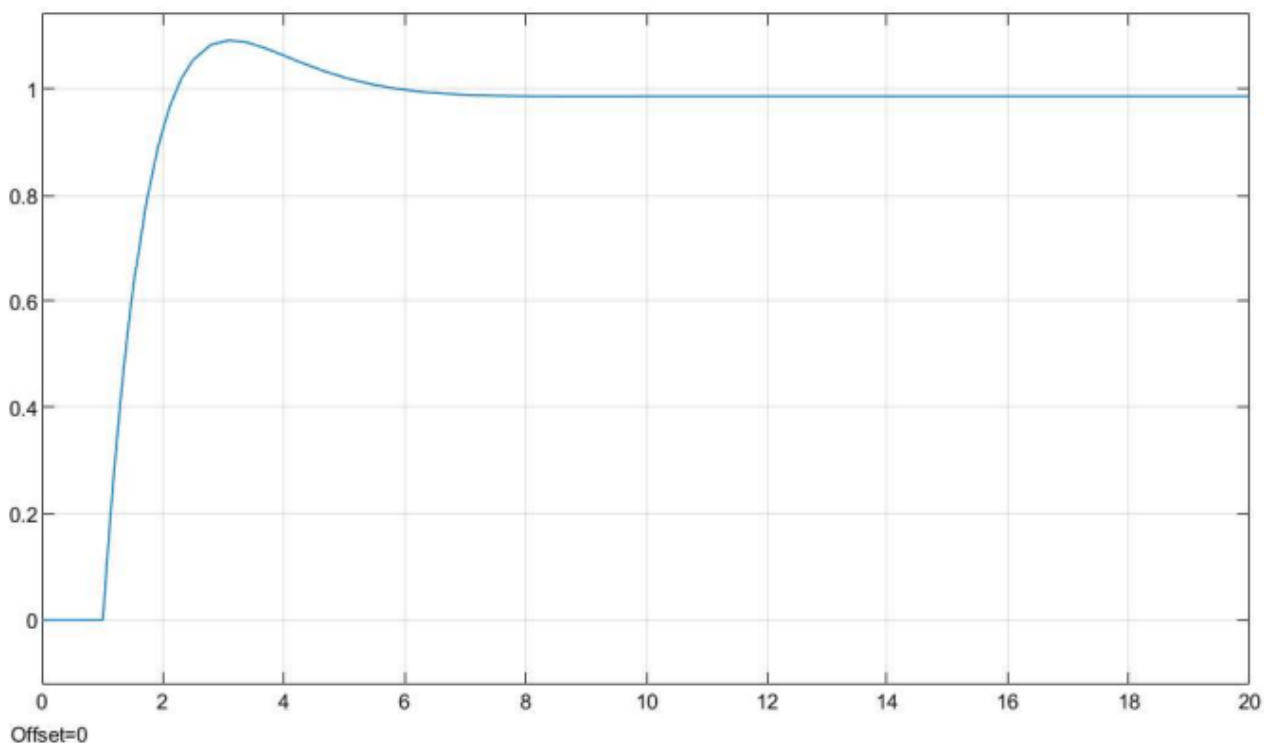


Рисунок 3.19 – Перехідна характеристика системи за каналом 2 з PD-регулятором

Для поєднання переваг пропорційної та інтегральної складових було виконано налаштування РІ-регулятора. Структурну схему системи наведено на рисунку 3.20.

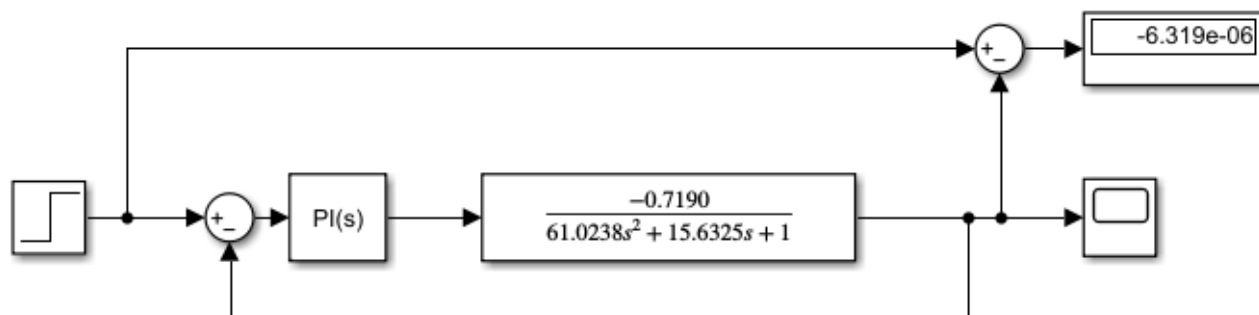


Рисунок 3.20 – Структурна схема системи керування з РІ-регулятором

Параметри регулятора становлять:

$$P = -1.98196,$$

$$I = -0.17925.$$

Перехідний процес для даного варіанта системи наведено на рисунку 3.21.

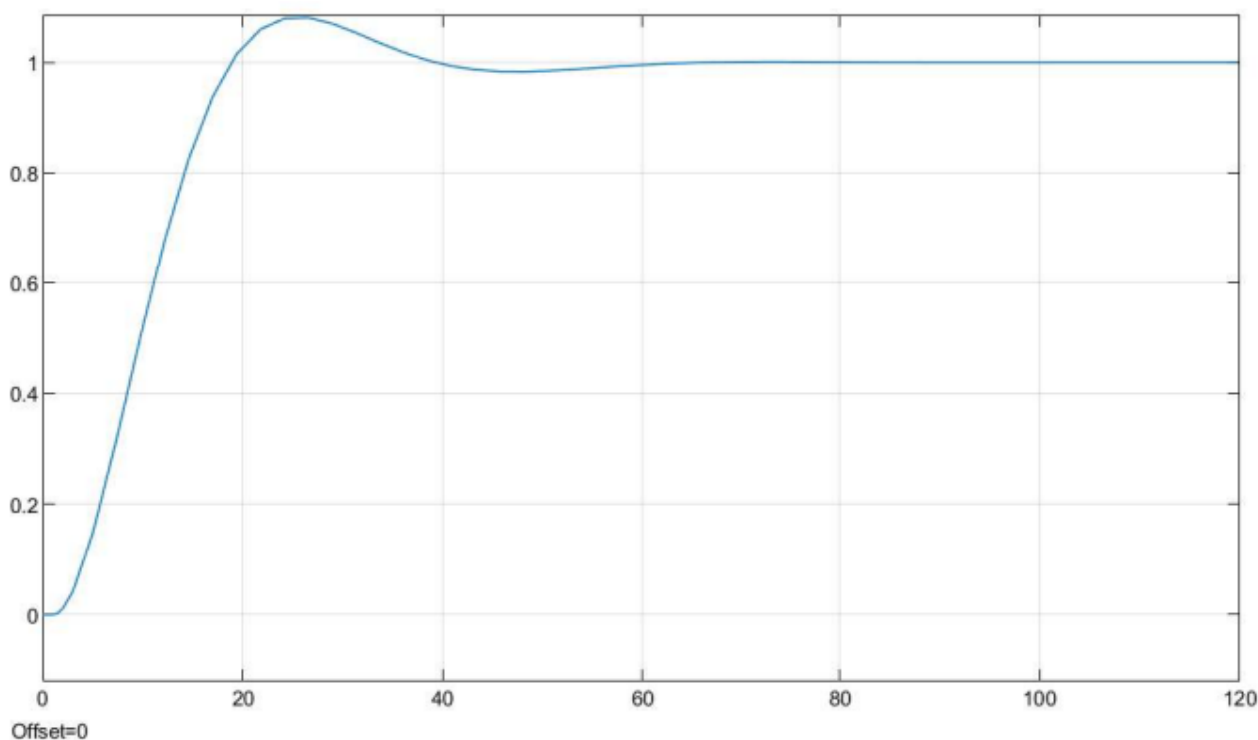


Рисунок 3.21 – Перехідна характеристика системи за каналом 2 з РІ-регулятором

На завершальному етапі проведено налаштування РІD-регулятора. Структурна схема системи наведена на рисунку 3.22.

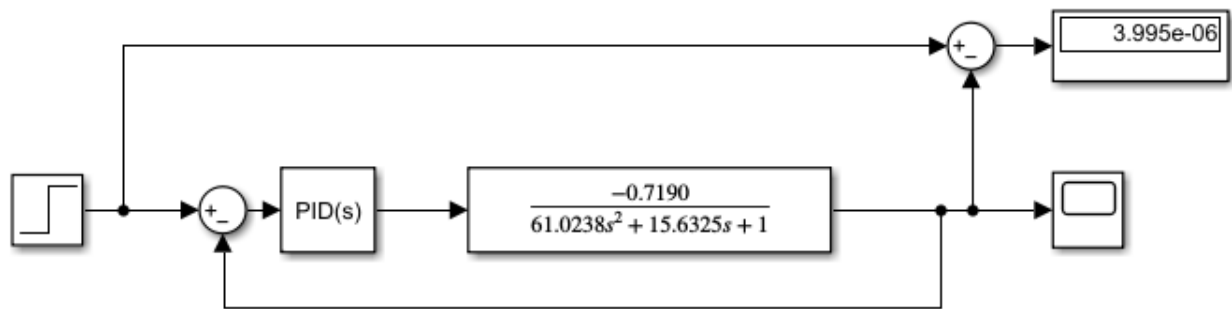


Рисунок 3.22 – Структурна схема системи керування з PID-регулятором

За результатами синтезу отримано такі параметри:

$$P = -2.82129,$$

$$I = -0.24313,$$

$$D = -7.09956,$$

$$N = 15.60917.$$

Отримана перехідна характеристика замкненої системи наведена на рисунку 3.23.

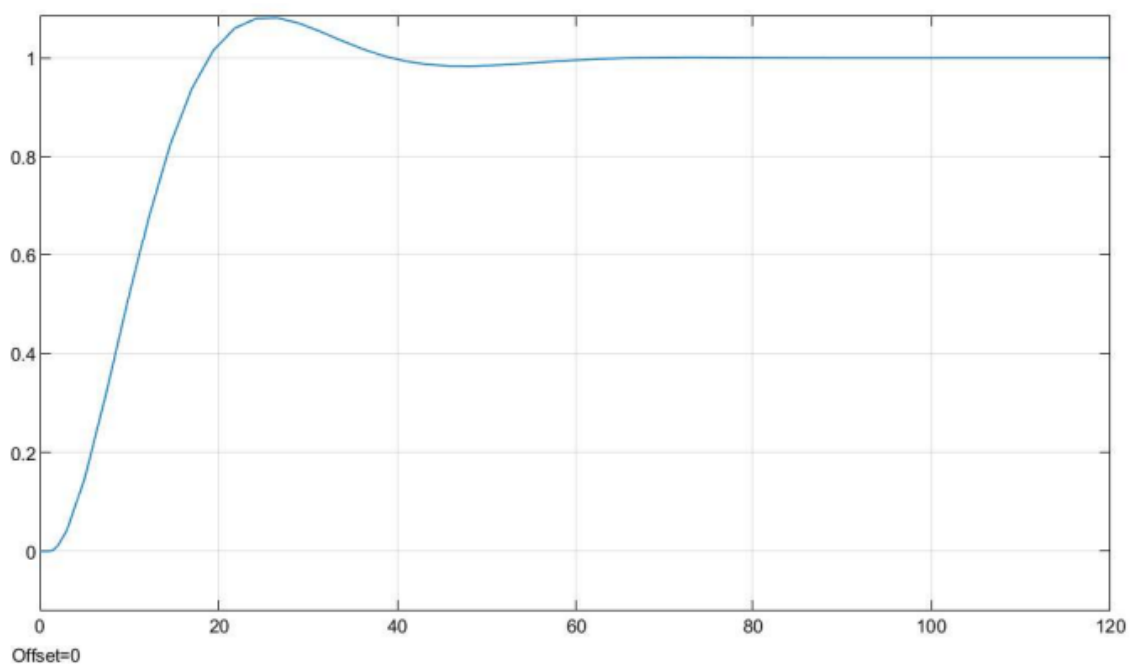


Рисунок 3.23 – Перехідна характеристика системи за каналом 2 з PID-регулятором

Таблиця 3.2 – Порівняння показників якості регулювання для каналу 2

Регулятор	Час встановлення, с	Перерегулювання, %	Статична похибка
<i>P</i>	60	15	0,25
<i>I</i>	200	7	– 0,0002
<i>PI</i>	80	8	– 0,000006
<i>PD</i>	10	10	0,01
<i>PID</i>	60	6	0,000004

Порівняльний аналіз результатів показав, що найменший час встановлення перехідного процесу забезпечує PD-регулятор. Проте наявність статичної похибки обмежує можливість його використання в задачах, де необхідно забезпечити високу точність підтримання температурного режиму.

Серед розглянутих варіантів найкращі показники якості продемонстрував PID-регулятор. Він характеризується невеликим часом встановлення, мінімальним перерегулюванням та практично нульовою статичною похибкою. PI-регулятор також забезпечує задовільні результати, оскільки поєднує достатню швидкодію з високою точністю регулювання.

З урахуванням отриманих характеристик для подальшого синтезу багатоконтурної системи керування доцільно використовувати PI- та PID-регулятори, які забезпечують найкращу якість регулювання температури.

Для зменшення впливу зовнішніх збурень на якість регулювання температури було розроблено систему компенсації на основі диференціальної ланки. Використання компенсатора дозволяє формувати додатковий коригувальний сигнал, який частково нейтралізує вплив зміни витрати води на температурний режим процесу.

Структурну схему системи з компенсуючою диференціальною складовою наведено на рисунку 3.24.

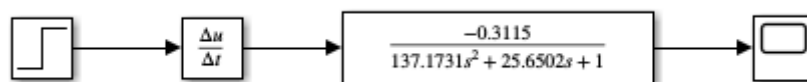


Рисунок 3.24 – Схема системи регулювання з використанням диференціальної компенсації

Для оцінювання ефективності компенсації було досліджено реакцію системи на збурюючий вплив. Відповідна перехідна характеристика наведена на рисунку 3.25.

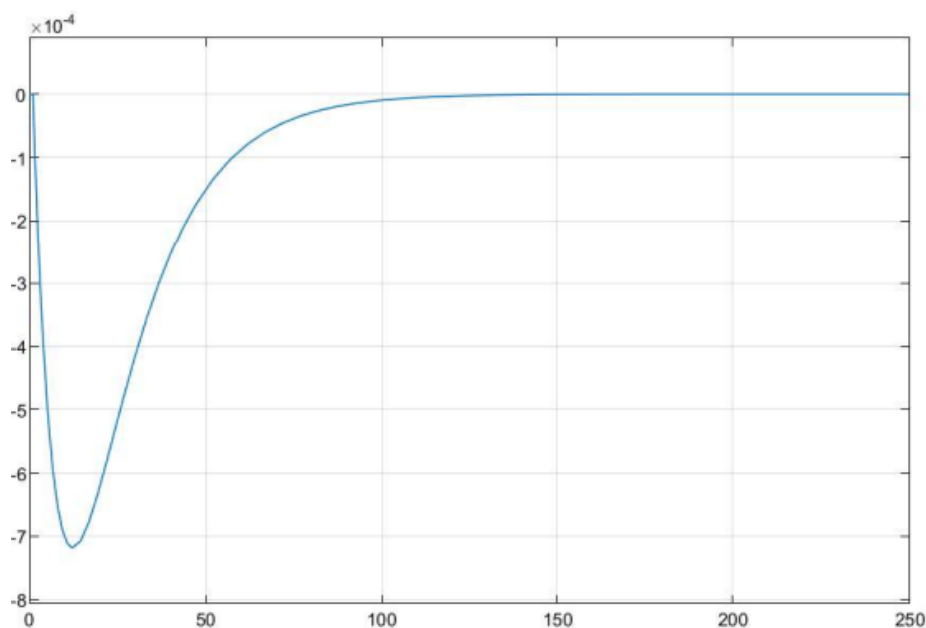


Рисунок 3.25 – Перехідна характеристика системи

Отримані результати свідчать про доцільність використання компенсатора для зменшення впливу зовнішніх збурень та покращення показників якості регулювання.

3.3 Синтез каскадної системи автоматичного керування

Оскільки канали регулювання температури через витрату гарячої та холодної нафти взаємодіють між собою, подальші дослідження виконано для каскадної

системи автоматичного керування. Такий підхід дозволяє підвищити швидкодію системи та покращити компенсацію зовнішніх збурень.

Синтез каскадної системи передбачає вибір структури керування та визначення параметрів основного і допоміжного регуляторів з урахуванням динамічних характеристик об'єкта за обома каналами керування.

На першому етапі досліджено структуру, у якій як основний, так і допоміжний контури реалізовано на базі PI-регуляторів. Для підвищення стійкості до збурень до структури введено компенсатор у вигляді диференціальної ланки.

Структурну схему системи наведено на рисунку 3.26.

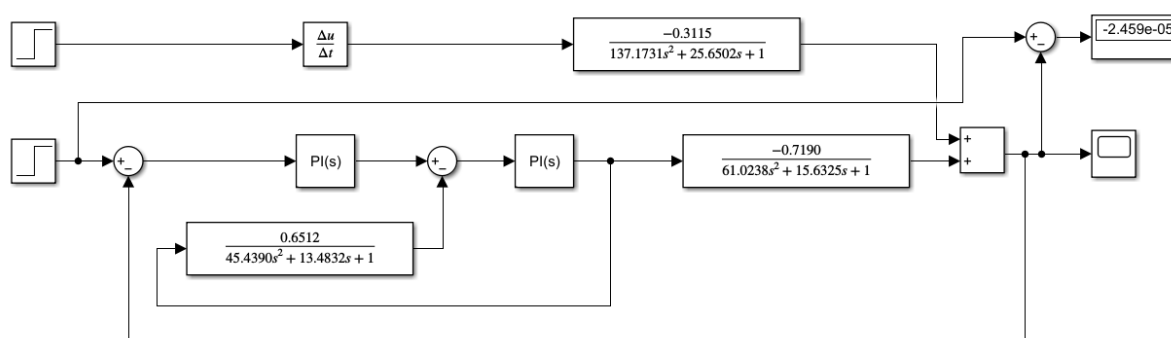


Рисунок 3.26 – Структурна схема каскадної системи PI-регуляторами та компенсатором

Результати моделювання наведено на рисунку 3.27.

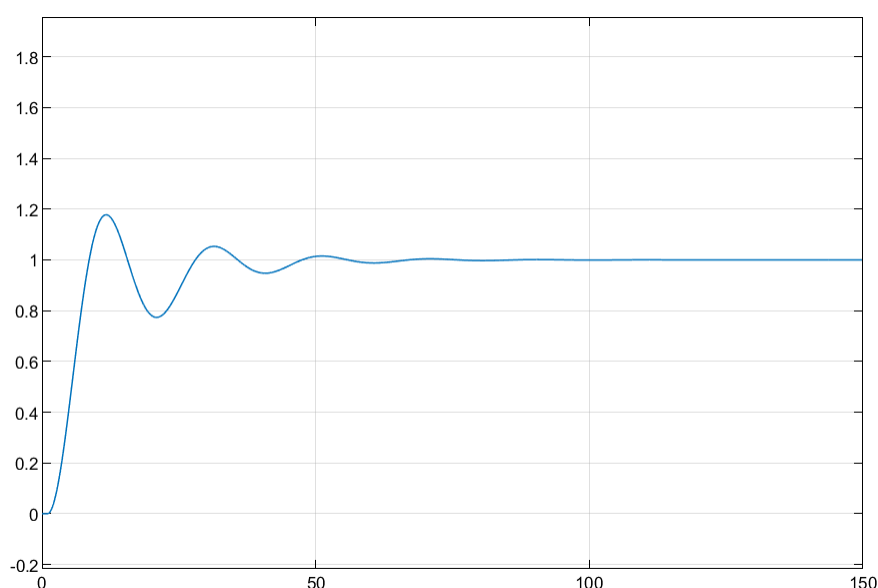


Рисунок 3.27 – Перехідна характеристика каскадної системи

Наступним етапом було дослідження каскадної структури, в якій основний контур реалізовано за допомогою PI-регулятора, а допоміжний — на основі PID-регулятора. Для компенсації збурень використано диференціальну ланку.

Структурну схему системи наведено на рисунку 3.28.

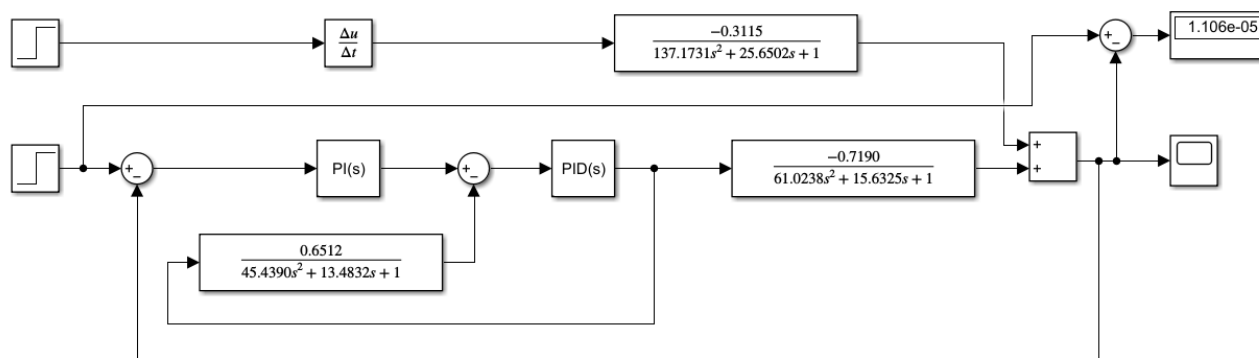


Рисунок 3.28 – Структурна схема каскадної системи з PI- та PID-регуляторами і компенсатором

Відповідна перехідна характеристика наведена на рисунку 3.29.

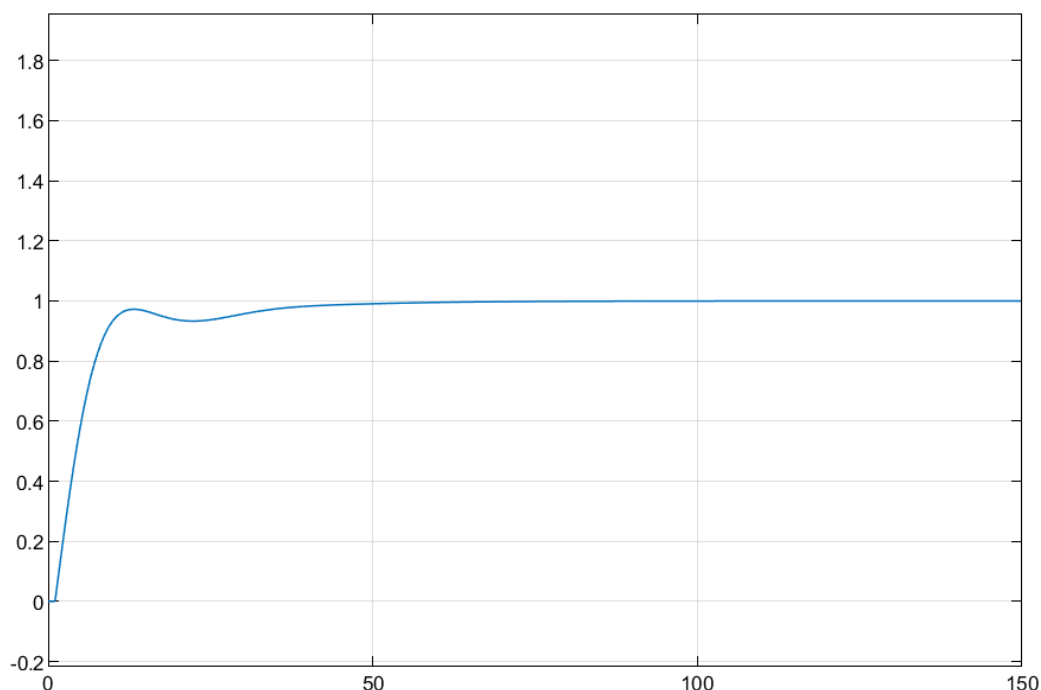


Рисунок 3.29 – Перехідна характеристика каскадної системи

Для порівняння було розглянуто варіант, у якому основний контур оснащено PID-регулятором, а допоміжний — PI-регулятором.

Структурну схему системи наведено на рисунку 3.30.

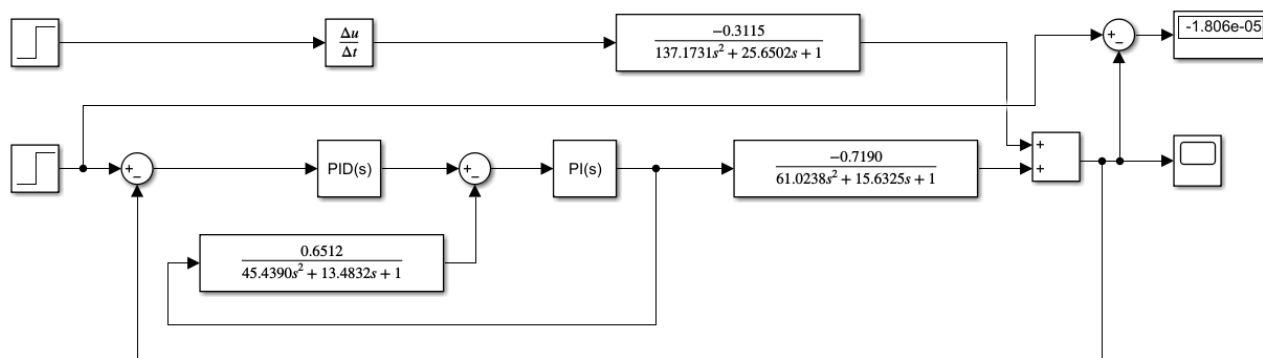


Рисунок 3.30 – Структурна схема каскадної системи з PID- та PI-регуляторами і компенсатором

Результати моделювання наведено на рисунку 3.31.

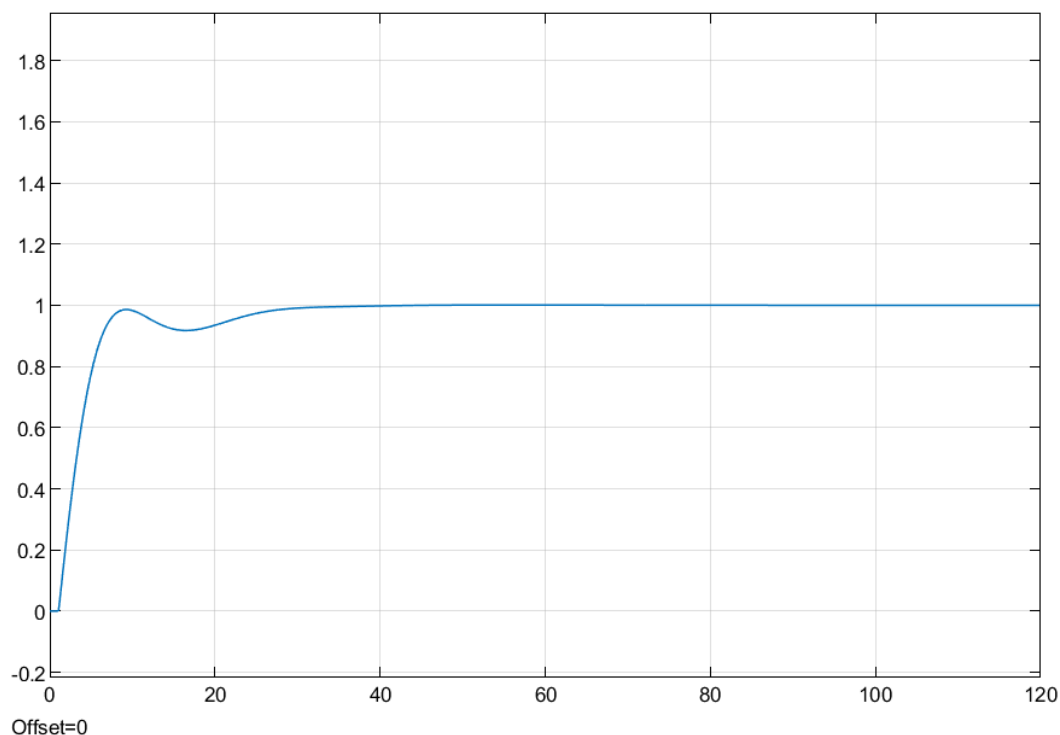


Рисунок 3.31 – Перехідна характеристика каскадної системи

Останнім досліджуваним варіантом стала каскадна система, у якій обидва контури керування реалізовано за допомогою PID-регуляторів.

Структурна схема системи наведена на рисунку 3.32

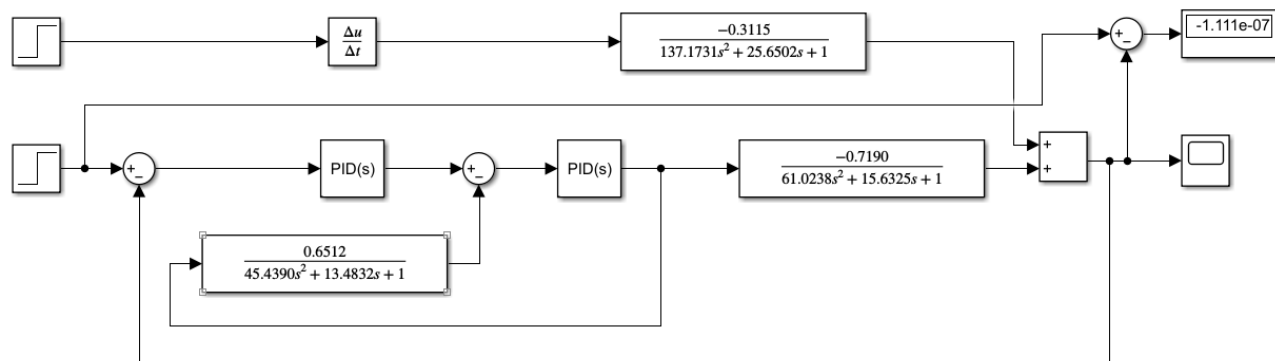


Рисунок 3.32 – Структурна схема каскадної системи з двома PID-регуляторами та компенсатором

Перехідна характеристика системи наведена на рисунку 3.33.

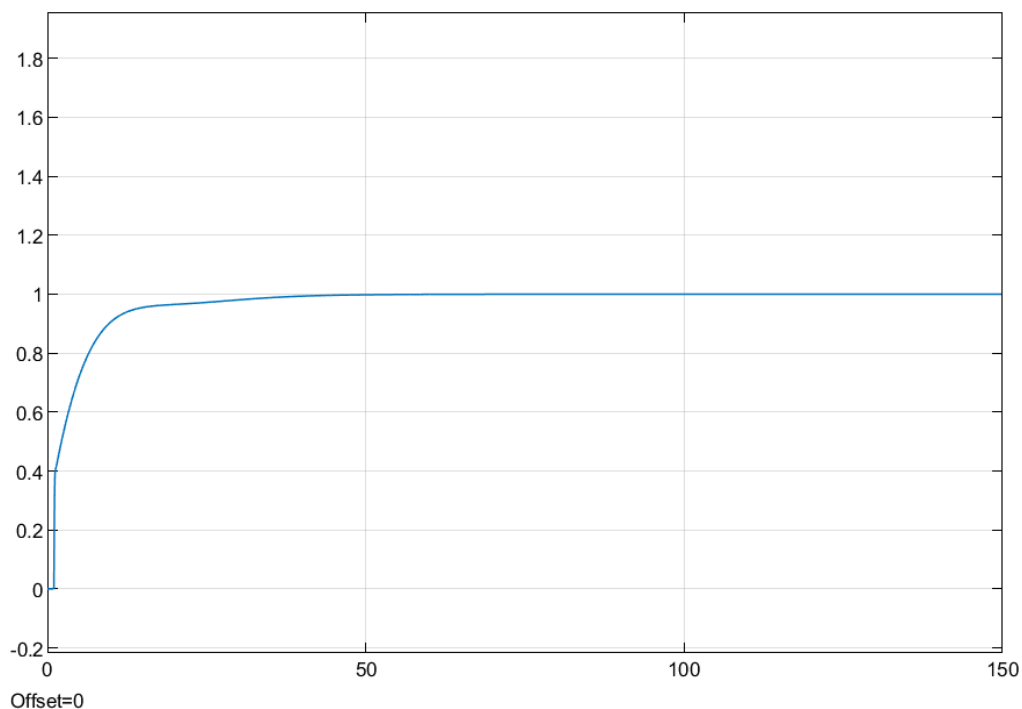


Рисунок 3.33 – Перехідна характеристика каскадної системи

Для оцінювання впливу компенсуючої ланки на якість регулювання додатково досліджено структуру каскадної системи без компенсатора. Першим розглянуто варіант із двома PI-регуляторами, структурна схема якого наведена на рисунку 3.34.

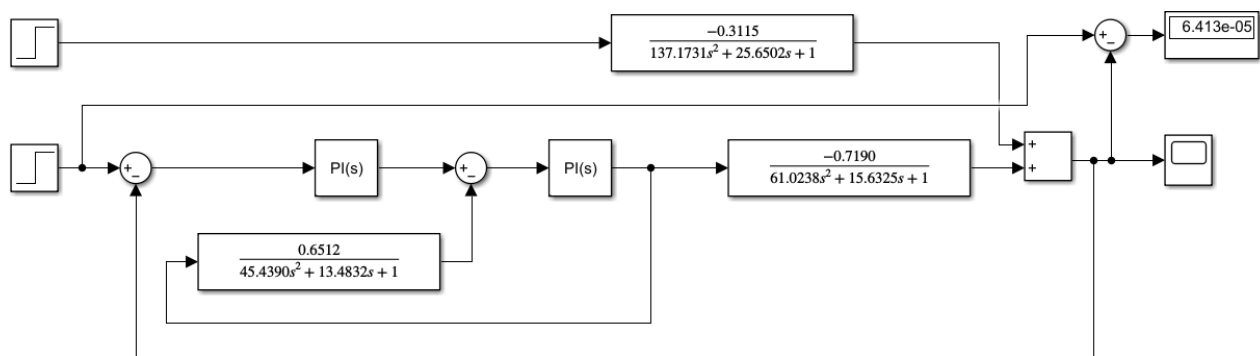


Рисунок 3.34 – Структурна схема каскадної системи PI-регуляторами без компенсатора

Після дослідження каскадних систем із компенсуючою ланкою було проведено аналіз аналогічних структур без використання компенсатора. Це дозволило оцінити вплив компенсації збурень на показники якості регулювання та визначити найбільш ефективну конфігурацію системи автоматичного керування.

Структурну схему каскадної системи, яка містить основний та допоміжний PI-регулятори без використання компенсуючої ланки, наведено на рисунку 3.34.

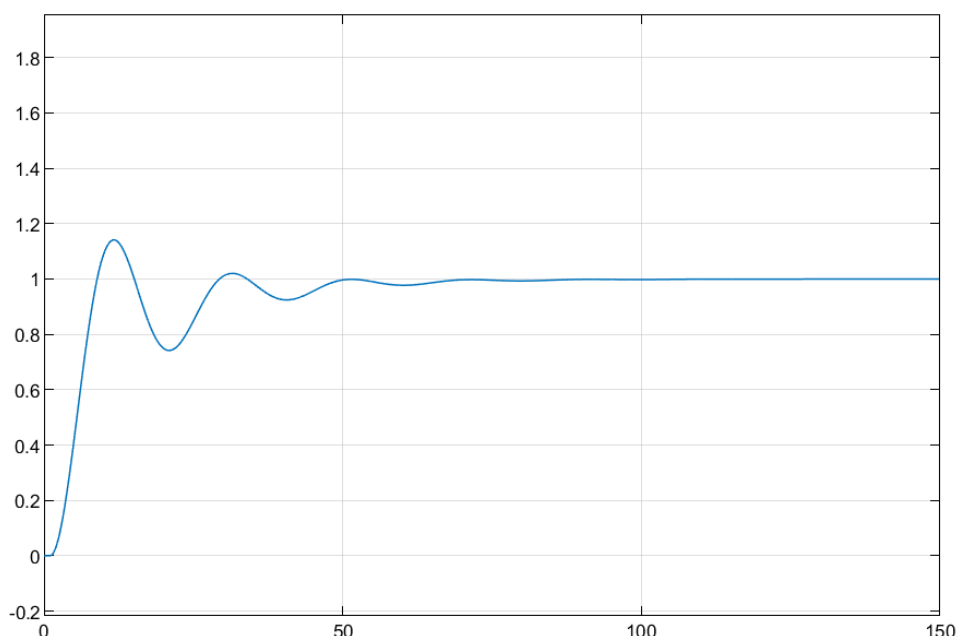


Рисунок 3.35 – Перехідна характеристика каскадної системи

Перехідна характеристика досліджуваної системи наведена на рисунку 3.36.

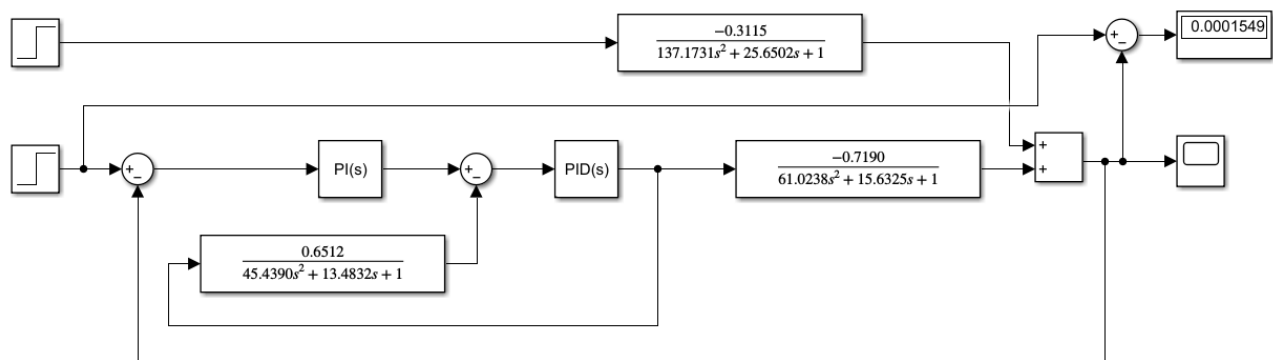


Рисунок 3.36 - Структурна схема каскадної системи

Структурну схему системи наведено на рисунку 3.37.

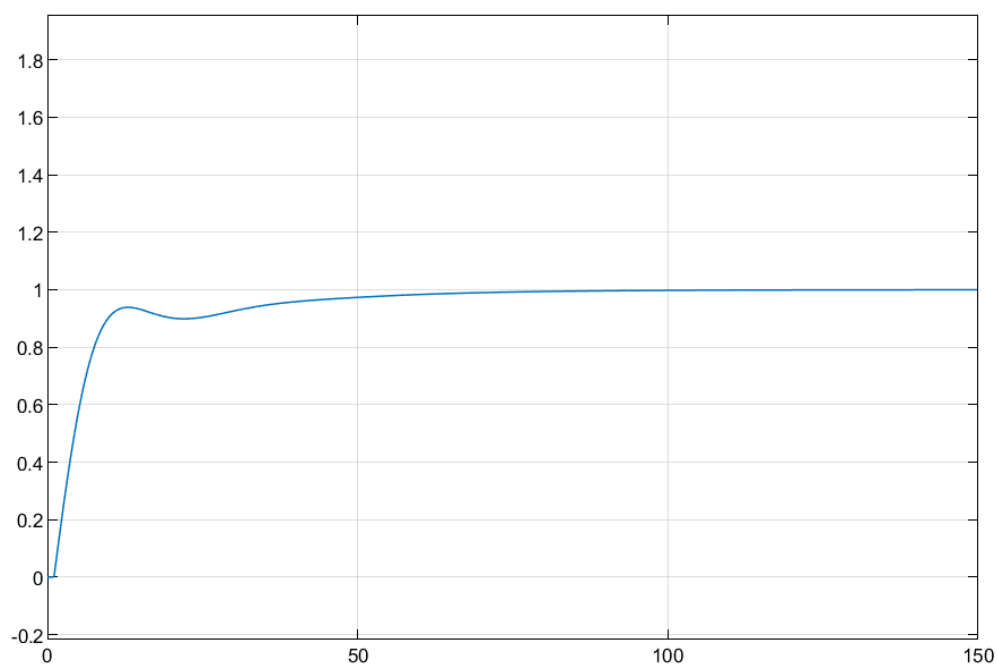


Рисунок 3.37 - Перехідна характеристика системи

Відповідна перехідна характеристика представлена на рисунку 3.38.

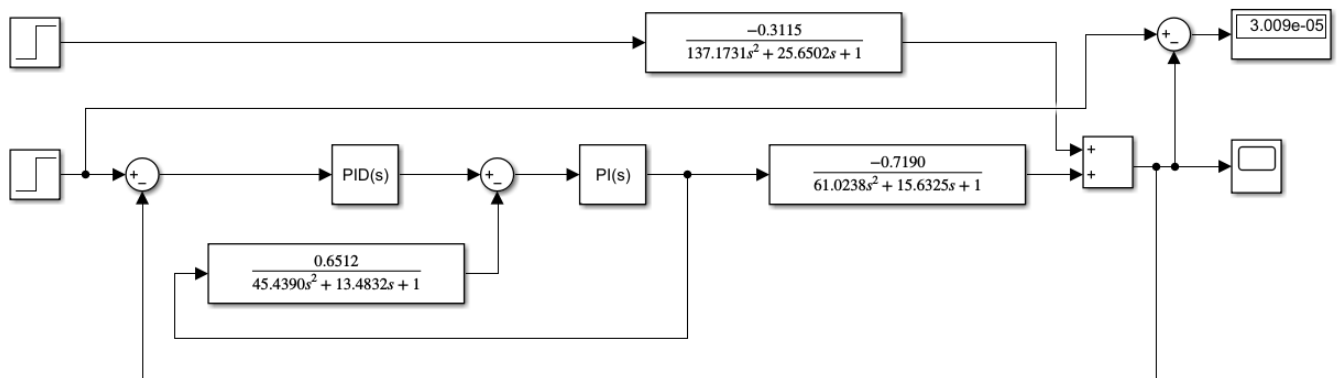


Рисунок 3.38 – Структурна схема каскадної системи

Структурну схему наведено на рисунку 3.39.

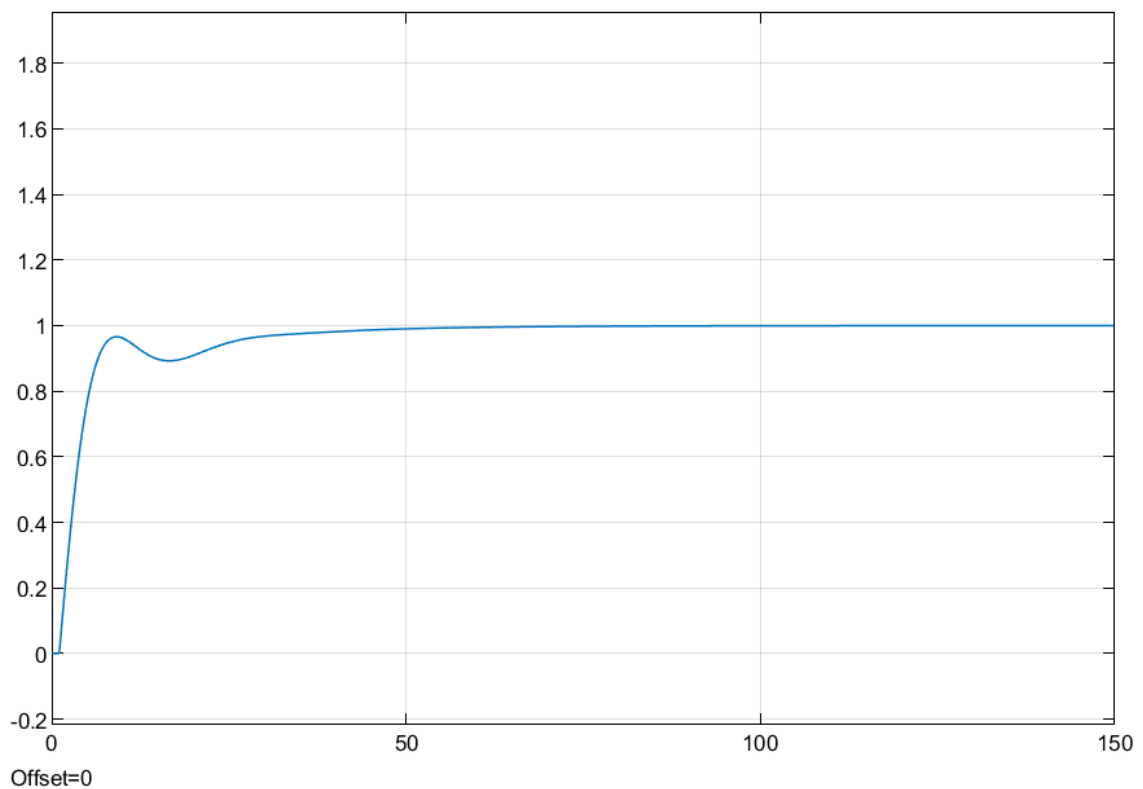


Рисунок 3.39 – Перехідна характеристика системи з PID та PI регуляторами

Останнім досліджуваним варіантом стала структура, в якій обидва контури керування реалізовані за допомогою PID-регуляторів.

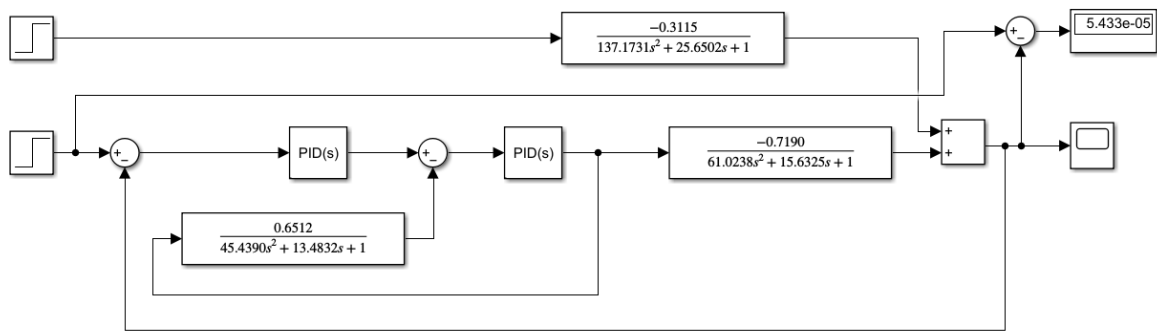


Рисунок 3.40 – Структурна схема каскадної системи без компенсатора з двома PID-регуляторами

Відповідна перехідна характеристика представлена на рисунку 3.41.

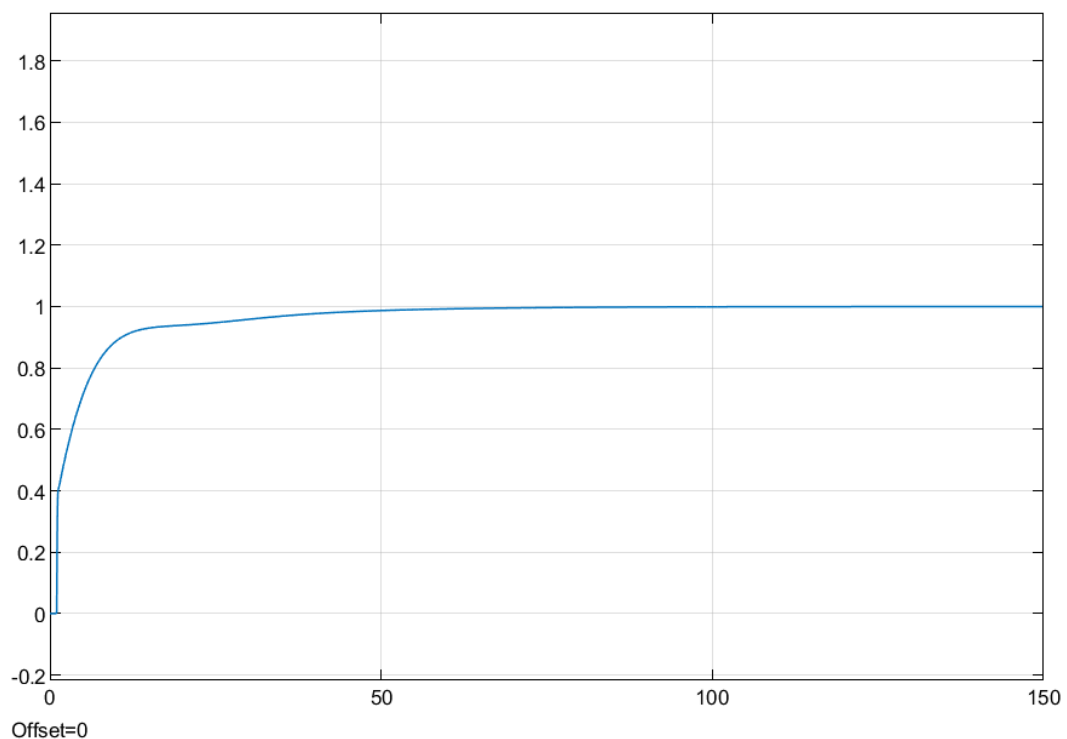


Рисунок 3.41 – Перехідна характеристика каскадної системи

Для визначення найбільш ефективної структури системи автоматичного керування виконано порівняння всіх досліджуваних конфігурацій за основними показниками якості регулювання.

Таблиця 3.3 – Порівняльна характеристика каскадних систем керування

Регулятор 1	Регулятор 2	Перерегулювання, %	Час встановлення, с	Статична похибка	Компенсатор
PI	PI	18	120	-0,00003	+
PI	PID	0	100	0,00001	+
PID	PI	0	80	-0,00002	+
PID	PID	0	80	-0,008	+
PI	PI	14	110	0,00006	-
PI	PID	0	140	0,0002	-
PID	PI	0	100	0,00003	-
PID	PID	0	100	0,00005	-

Аналіз результатів, наведених у таблиці 3.3, показав, що найкращі показники якості регулювання забезпечує каскадна система з основним PID-регулятором, допоміжним PI-регулятором та компенсатором у вигляді диференціальної ланки. Для даної конфігурації характерний мінімальний час встановлення перехідного процесу, відсутність перерегулювання та практично нульова статична похибка.

Порівняння систем із компенсатором та без нього підтвердило доцільність використання компенсуючої ланки. Наявність компенсації дозволяє покращити динамічні характеристики системи та підвищити точність підтримання температурного режиму при дії зовнішніх збурень.

Висновки до розділу

У третьому розділі виконано апроксимацію експериментальних кривих розгону, отриманих у процесі моделювання технологічного об'єкта. На основі результатів ідентифікації визначено математичні моделі за трьома основними

каналами та отримано відповідні передавальні функції, які характеризують динамічні властивості процесу.

Для кожного каналу керування проведено синтез класичних регуляторів типу P, I, PI, PD та PID. Порівняльний аналіз показників якості регулювання дозволив визначити найбільш ефективні структури регуляторів для подальшого використання в системі автоматичного керування. Також було розроблено компенсатор збурень, призначений для зменшення впливу змін витрати води на температурний режим процесу.

На завершальному етапі виконано синтез каскадної системи автоматичного керування та досліджено декілька варіантів її реалізації. Аналіз отриманих результатів показав, що найкращі показники якості забезпечує структура з основним PID-регулятором, допоміжним PI-регулятором та компенсатором у вигляді диференціальної ланки. Застосування такої конфігурації дозволяє підвищити швидкодію системи, зменшити вплив зовнішніх збурень та забезпечити високу точність підтримання заданого температурного режиму.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК

4.1 Функціональна схема автоматизації

Для реалізації системи автоматизації процесу знесолення та зневоднення нафти розроблено функціональну схему, яка включає сім контурів контролю та керування. Із них три контури забезпечують автоматичне регулювання основних технологічних параметрів, а чотири призначені для контролю та індикації поточних значень параметрів процесу.

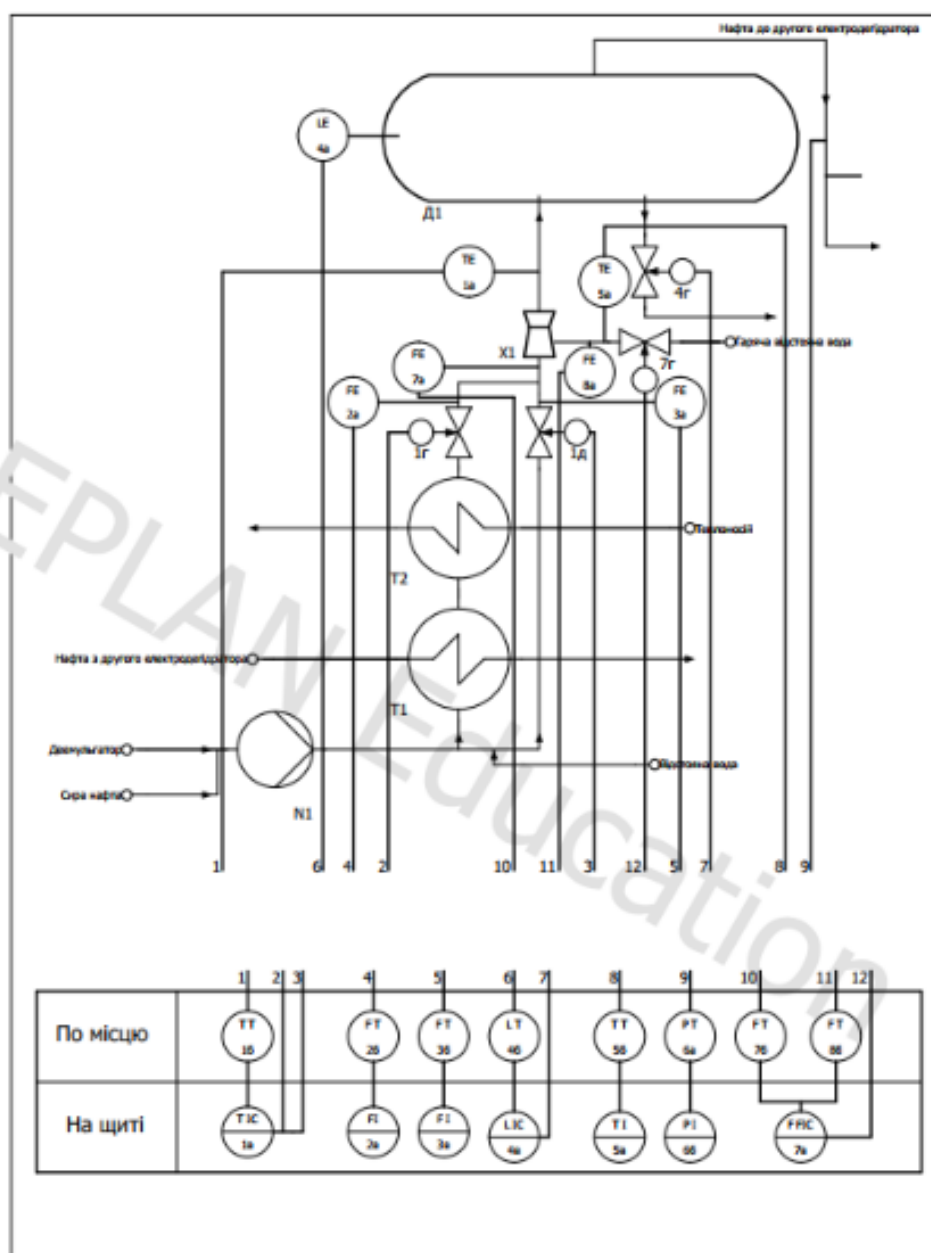


Рисунок 4.1 – Функціональна схема автоматизації

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ

Арк.

55

Контури автоматичного регулювання

1. Контур регулювання рівня в електродегідраторі.

Контроль рівня рідини в електродегідраторі здійснюється за допомогою перетворювача рівня WIKA FLR-SB (позиція 4а). Вимірювальний сигнал у стандартному діапазоні 4–20 мА надходить до мікропроцесорного регулятора МІК-122К7, де виконується його обробка та формування керуючого впливу.

На основі заданого алгоритму регулятор генерує керуючий сигнал для регулюючого клапана Fisher D (позиція 4г), який змінює витрату солоної води, що відводиться до відстійника. Завдяки цьому забезпечується підтримання необхідного рівня рідини в апараті.

2. Контур регулювання температури нафти.

Вимірювання температури здійснюється датчиком WIKA TR10-B (позиція 1а). Сигнал від первинного перетворювача надходить до регулятора МІК-122К7 у вигляді стандартного струмового сигналу 4–20 мА.

Для підтримання заданого температурного режиму регулятор формує керуючі сигнали для двох регулюючих клапанів Fisher D (позиції 1г та 1д). Перший клапан змінює витрату нагрітої нафти, що надходить після теплообмінного обладнання, а другий керує подачею холодної нафти. Зміна співвідношення між цими потоками забезпечує підтримання температури сировини в межах 110–120 °С перед подачею до електродегідратора.

3. Контур регулювання співвідношення нафти та води.

Для контролю витрати компонентів використовуються витратоміри Rosemount 3051SFP. Датчик позиції 7а вимірює витрату нафти, а датчик позиції 8а — витрату води. Отримані сигнали надходять до регулятора МІК-122К7, де виконується розрахунок необхідного співвідношення потоків.

Залежно від отриманих значень регулятор формує керуючий вплив на клапан Fisher D (позиція 7г), який змінює витрату води. У результаті забезпечується підтримання необхідного співвідношення компонентів, при якому кількість води становить 5–10 % від витрати нафти.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контури контролю та індикації:

1. Індикація витрати гарячої нафти.

Контроль витрати нагрітої нафти здійснюється за допомогою витратоміра Rosemount 3051SFP (позиція 2а). Вимірний сигнал передається на мікропроцесорний індикатор ITM-110, де відображається поточне значення параметра.

2. Індикація витрати холодної нафти.

Витрата холодної нафти контролюється витратоміром Rosemount 3051SFP (позиція 3а). Інформація про поточне значення параметра передається на індикатор ITM-110 для відображення оператору.

3. Індикація температури води.

Контроль температури промивної води здійснюється датчиком температури WIKA TR10-B (позиція 5а). Отриманий сигнал надходить на індикатор ITM-110. Підтримання температури води на рівні близько 80 °C є важливою умовою ефективного перебігу процесу знесолення, тому даний параметр підлягає постійному контролю.

4. Індикація тиску нафти в трубопроводі.

Вимірювання тиску виконується датчиком WIKA PGS11 (позиція 6а). Сигнал від датчика надходить на індикатор ITM-110, що дозволяє оператору контролювати тиск у технологічному трубопроводі. Забезпечення необхідного тиску є важливою умовою стабільної подачі нафти до другого ступеня електрознесолювання.

4.2 Підбір технічних засобів автоматизації

Для реалізації розробленої системи автоматизації було виконано вибір технічних засобів, які забезпечують вимірювання, індикацію та регулювання основних параметрів технологічного процесу. Підбір обладнання здійснювався з урахуванням вимог до точності вимірювання, надійності роботи в промислових умовах та сумісності з прийнятою структурою системи керування.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зовнішній вигляд мікропроцесорного регулятора МІК-122К7 наведено на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Мікропроцесорний регулятор МІК-122К7

МІК-122К7 належить до сучасних цифрових регуляторів безперервної дії, які можуть працювати з аналоговими, імпульсними та двопозиційними виконавчими механізмами. Пристрій призначений для автоматичного керування технологічними процесами в різних галузях промисловості та забезпечує реалізацію широкого спектра алгоритмів регулювання.

Однією з особливостей регулятора є наявність багаторівневої гальванічної ізоляції між входами, виходами та колом живлення, що підвищує надійність його роботи та захищає обладнання від впливу електричних завад. Завдяки цьому регулятор може використовуватися як окремий пристрій керування або як складова автоматизованих систем керування технологічними процесами.

Основні функції МІК-122К7 [4]:

- вимірювання та обробка сигналів від первинних перетворювачів;
- реалізація алгоритмів автоматичного регулювання;
- формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів;
- забезпечення технологічної сигналізації та контролю стану процесу;

– передача даних до систем верхнього рівня.

Одноканальний мікропроцесорний індикатор ІТМ-110.

Зовнішній вигляд індикатора ІТМ-110 наведено на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 –Індикатор ІТМ-110

Індикатор ІТМ-110 призначений для приймання, обробки та відображення значення одного технологічного параметра [5]. Прилад виконує перетворення вхідного сигналу та відображає результат вимірювання на вбудованому цифровому дисплеї.

Функціональні можливості пристрою дозволяють не лише відображати поточні значення параметрів, а й виконувати математичну обробку отриманих сигналів. Крім того, індикатор підтримує обмін інформацією через цифрові інтерфейси, що забезпечує його інтеграцію до сучасних систем диспетчерського контролю та збору даних.

Завдяки підтримці мережевих протоколів ІТМ-110 може використовуватися як віддалений пункт збору інформації в автоматизованих системах керування.

Клапани серії Fisher D широко використовуються на підприємствах нафтогазової та хімічної промисловості для регулювання витрати робочих середовищ. Конструкція клапана забезпечує надійну роботу в умовах підвищеного тиску та при транспортуванні середовищ, які можуть містити механічні домішки, абразивні частинки або в'язкі компоненти.

Зовнішній вигляд регулюючого клапана Fisher D наведено на рисунку 4.4.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59



Рисунок 4.4 – Регулюючий клапан

Основні технічні характеристики [6]:

- клас герметичності згідно зі стандартами ANSI/FCI 70-2 та IEC 60534-4 — клас IV;
- за спеціального виконання можливе забезпечення класу герметичності V;
- максимальна температура робочого середовища — 232 °C;
- характеристика регулювання — рівновідсоткова;
- напрямок руху робочого середовища — знизу вгору через сідло клапана.

Вибір даного клапана обумовлений його високою надійністю, довговічністю та можливістю роботи в складних умовах нафтопереробного виробництва.

Зовнішній вигляд джерела живлення SIEMENS SITOP PSU100S наведено на рисунку 4.5.



Рисунок 4.5 –Джерело живлення SITOP

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Оскільки виконавчі механізми та окремі елементи системи автоматизації працюють від напруги 24 В постійного струму, виникає необхідність перетворення мережевої напруги 220 В змінного струму в необхідний рівень живлення.

Для цієї мети використовується джерело живлення SIEMENS SITOP PSU100S, яке забезпечує стабільне електроживлення обладнання автоматизації та захист від коливань напруги.

Основні технічні характеристики [7]:

- вхідна напруга: 120/230 В змінного струму;
- вихідна напруга: 24 В постійного струму;
- максимальний вихідний струм: 2,5 А.

Для вимірювання рівня рідини в електродегідраторі використовується датчик рівня WIKA FLR-SB, робота якого базується на поплавковому принципі з магнітною передачею сигналу [8].

Під час зміни рівня рідини поплавки переміщуються вздовж прямої трубки, впливаючи на герконовий вимірювальний елемент. У результаті формується електричний сигнал, величина якого пропорційна поточному рівню середовища.

Основні технічні характеристики:

- діапазон робочих температур: від -80 до $+200$ °C;
- робочий тиск: від вакууму до 80 бар;
- вихідний сигнал: 4–20 мА.

Зовнішній вигляд датчика рівня WIKA FLR-SB наведено на рисунку 4.6.



Рисунок 4.6 – Давач рівня

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Наявність стандартного аналогового виходу дозволяє легко інтегрувати датчик до складу автоматизованої системи керування та використовувати його спільно з мікропроцесорними регуляторами різних виробників.

Для вимірювання температури технологічних середовищ у системі автоматизації використовується датчик температури WIKA TR10-B [9]. Прилад призначений для роботи в промислових умовах та забезпечує високу точність вимірювання в широкому діапазоні температур.

Зовнішній вигляд датчика температури WIKA TR10-B наведено на рисунку 4.7.



Рисунок 4.7 – Давач температури

Конструкція датчика дозволяє встановлювати його в різні типи термогільз, що значно спрощує монтаж та подальше технічне обслуговування. Завдяки високій точності вимірювання та стійкості до впливу зовнішніх факторів датчик може застосовуватися в складних технологічних процесах нафтопереробної галузі.

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірювання температури від -200 до $+600$ °C;
- можливість встановлення в стандартні промислові термогільзи;
- клас точності A відповідно до вимог стандарту IEC 60751.

Використання датчика WIKA TR10-B дозволяє забезпечити достовірний контроль температури нафти та води, що є необхідною умовою ефективного функціонування системи автоматичного регулювання.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Для контролю тиску в технологічних трубопроводах обрано датчик WIKA PGS11. Даний прилад поєднує функції манометра та реле тиску, що дозволяє одночасно здійснювати локальний контроль параметра та формувати електричний сигнал для системи автоматизації.

Зовнішній вигляд датчика тиску WIKA PGS11 наведено на рисунку 4.8.

Вимірювання виконується за допомогою трубки Бурдона, яка забезпечує надійну роботу при значних коливаннях тиску. Конструкція приладу дозволяє отримувати показання безпосередньо на місці встановлення навіть у разі відсутності електроживлення [10].



Рисунок 4.8 – Давач тиску

Основні технічні характеристики:

- діапазон вимірювання тиску від 0–2,5 до 0–400 бар;
- клас точності 2,5.

Використання даного приладу забезпечує надійний контроль тиску нафти перед подачею до електродегідраторів та сприяє підвищенню безпеки експлуатації технологічного обладнання.

Для вимірювання витрати нафти та води в проєктованій системі автоматизації використовується витратомір Rosemount 3051SFP [11]. Прилад належить до багатопараметричних засобів вимірювання та забезпечує високу точність визначення витрати робочого середовища.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Зовнішній вигляд датчика витрати Rosemount 3051SFP наведено на рисунку 4.8.



Рисунок 4.8 – Витратомір

Конструкція пристрою базується на використанні вбудованого первинного перетворювача перепаду тиску, що дозволяє виконувати вимірювання без встановлення додаткових елементів у трубопроводі. Особливо ефективним є застосування даного витратоміра на трубопроводах малого діаметра.

Перевагами пристрою є висока точність вимірювання, надійність експлуатації та можливість автоматичної компенсації впливу температури й тиску на результати вимірювань.

Основні технічні характеристики:

- стандартний вихідний сигнал 4–20 мА;
- підтримка цифрових протоколів обміну даними;
- сертифікація SIL 2/SIL 3 відповідно до стандарту IEC 61508;
- можливість використання у вибухонебезпечних зонах;
- автоматична температурна компенсація вимірювань.

Застосування витратоміра Rosemount 3051SFP забезпечує точне визначення витрати технологічних потоків, що є необхідною умовою реалізації алгоритмів регулювання температури та підтримання заданого співвідношення між нафтою і водою.

Після завершення вибору технічних засобів автоматизації формується специфікація обладнання, яка містить перелік усіх засобів вимірювання, регулювання та допоміжних пристроїв, що використовуються в проєкті.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Специфікація дозволяє визначити кількість обладнання, місця його встановлення та основні технічні характеристики.

4.3 Електрична схема

Електрична схема з'єднань є складовою частиною проєктної документації та призначена для відображення взаємозв'язків між елементами системи автоматизації. На схемі показуються джерела живлення, засоби вимірювання, регулятори, виконавчі механізми, захисна апаратура та лінії зв'язку між ними [12].

Основним призначенням електричної схеми є забезпечення правильного монтажу обладнання, спрощення пусконаладжувальних робіт та створення умов для подальшого технічного обслуговування системи. Крім того, схема містить інформацію про типи електричних сигналів, способи підключення приладів та параметри живлення, необхідні для стабільного функціонування обладнання.

На рисунку 4.9 представлено схему підключення шафи автоматизації до однофазної мережі живлення.

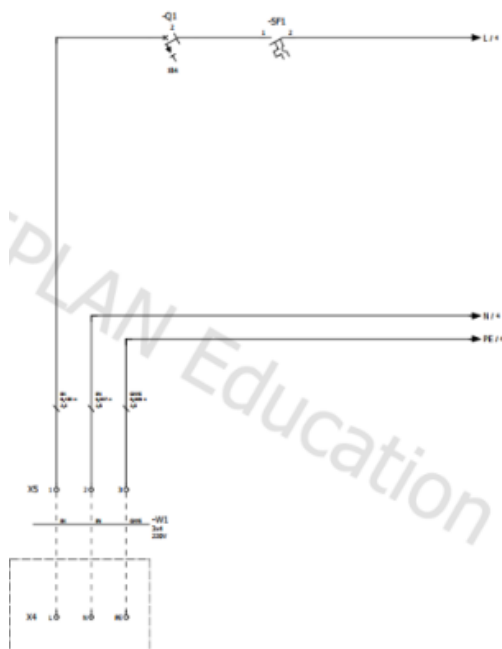


Рисунок 4.9 – Схема підключення шафи автоматизації до однофазної мережі живлення

До складу схеми входять клемний блок X5, через який здійснюється підведення живлення, а також апарати захисту Q1 та SF1.

Застосування автоматичних вимикачів забезпечує захист електричних кіл від перевантажень і струмів короткого замикання, підвищуючи надійність та безпеку експлуатації системи автоматизації.

4.3.1 Схема підключення контуру регулювання температури

У рисунку 4.10 наведено електричну схему контуру автоматичного регулювання температури нафти.

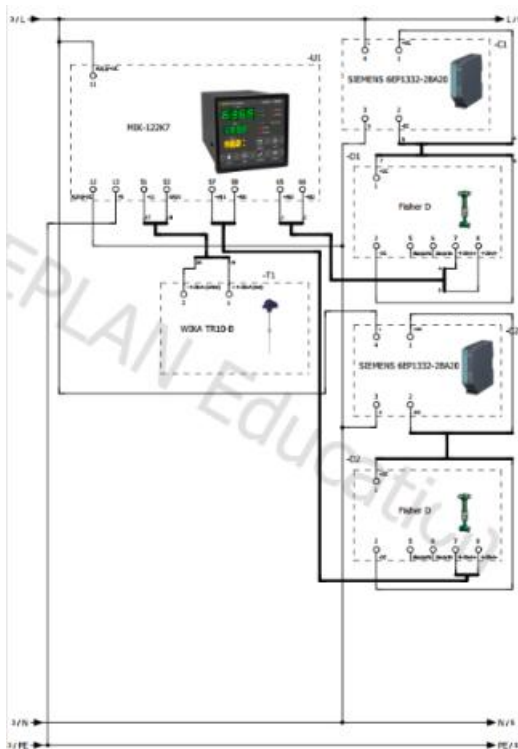


Рисунок 4.9 – Електрична схема контуру автоматичного регулювання температури нафти

Основним елементом контуру є мікропроцесорний регулятор МІК-122К7 (позиція U1), до якого підключено датчик температури WІKА TR10-В (позиція T2). Передача вимірювального сигналу здійснюється через аналоговий вхід регулятора, підключений до клем 51 та 53.

На підставі отриманої інформації регулятор формує керуючі сигнали для регулюючих клапанів Fisher D (позиції D1 та D2). Передача керуючих впливів здійснюється через аналогові виходи регулятора, підключені до клем 57–58 та 65–66.

Живлення виконавчих механізмів забезпечується джерелами постійної напруги SIEMENS 6EP1332-2BA20 (позиції C1 та C2), які виконують перетворення мережевої напруги 220 В змінного струму в напругу 24 В постійного струму.

4.3.2 Схема підключення контурів індикації

На рисунку 4.10 наведено схему контурів контролю та індикації технологічних параметрів.

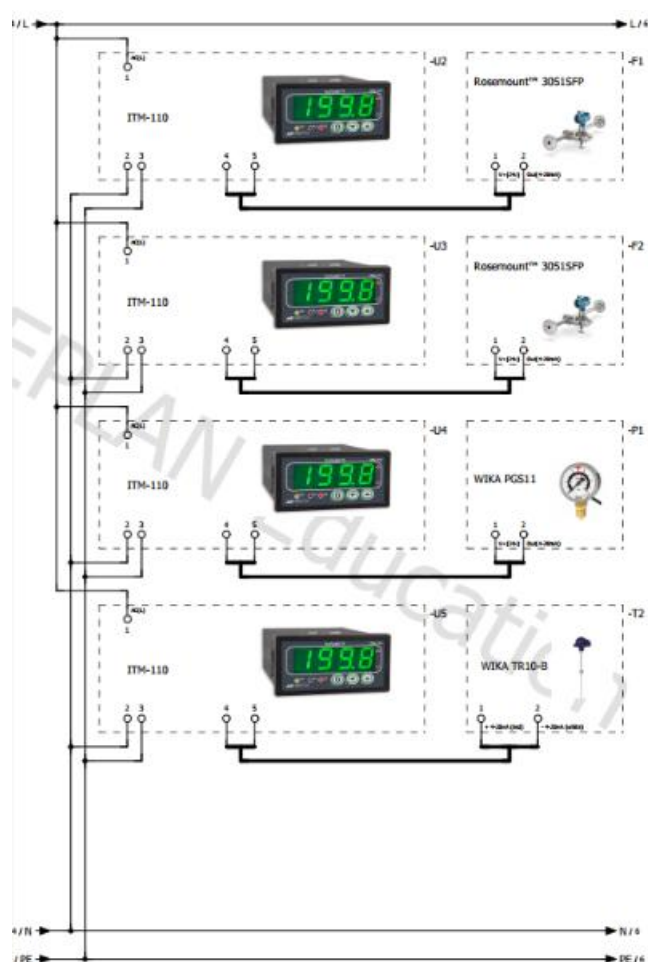


Рисунок 4.10 – Схема контурів контролю та індикації технологічних параметрів

Для відображення поточних значень параметрів використовуються одноканальні мікропроцесорні індикатори ITM-110 (позиції U2–U5). Підключення первинних перетворювачів здійснюється до клем 4 та 5 кожного індикатора.

До складу контурів індикації входять:

- датчики витрати Rosemount 3051SFP (позиції F1 та F2);
- датчик тиску WIKA PGS11 (позиція P1);
- датчик температури WIKA TR10-B (позиція T2).

Інформація від вимірювальних приладів надходить на індикатори, де відображається у зручному для оператора вигляді. Це дозволяє здійснювати постійний контроль технологічних параметрів під час роботи установки.

4.3.3 Схема підключення контурів регулювання рівня та співвідношення компонентів

На рисунку 4.11 наведено схеми двох контурів автоматичного регулювання.

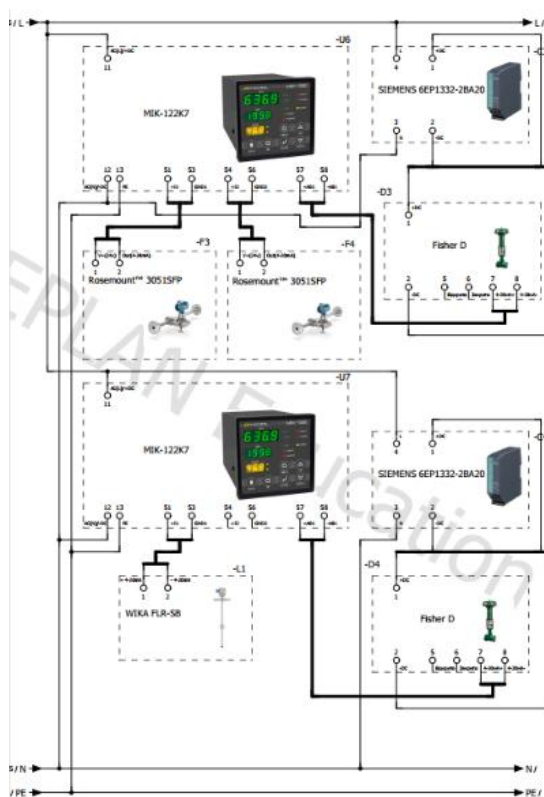


Рисунок 4.10 – Схема підключення контурів регулювання рівня та співвідношення компонентів

Перший контур призначений для підтримання заданого співвідношення між витратами нафти та води. Для цього використовуються два витратоміри Rosemount 3051SFP (позиції F3 та F4), сигнали від яких надходять до регулятора МІК-122К7 (позиція U6) через аналогові входи, підключені до клем 51–53 та 54–56.

Після обробки отриманої інформації регулятор формує керуючий сигнал, який через аналоговий вихід 57–58 надходить до регулюючого клапана Fisher D (позиція D3). Живлення клапана здійснюється від джерела постійного струму SIEMENS 6ES1332-2BA20 (позиція C3).

Другий контур реалізує автоматичне підтримання рівня рідини в електродегідраторі. Вимірювання рівня виконується датчиком WIKA FLR-SB (позиція L1), сигнал від якого надходить до регулятора МІК-122К7 (позиція U7) через аналоговий вхід, підключений до клем 51–53.

На основі виміряного значення регулятор формує керуючу дію на клапан Fisher D (позиція D4), який регулює відведення солоної води з апарата. Передача сигналу керування здійснюється через аналоговий вихід 57–58, а живлення виконавчого механізму забезпечується джерелом SIEMENS 6ES1332-2BA20 (позиція C4).

Таким чином, розроблені електричні схеми забезпечують взаємодію всіх елементів системи автоматизації та створюють умови для надійного контролю і регулювання основних параметрів процесу знесолення та зневоднення нафти.

4.4 Розроблення електричної шафи керування

Електрична шафа керування є важливим елементом системи автоматизації, оскільки забезпечує розміщення, захист та надійну роботу технічних засобів керування, контролю та електроживлення. Конструкція шафи повинна забезпечувати зручність монтажу, експлуатації та технічного обслуговування обладнання, а також відповідати вимогам електробезпеки.

Під час проектування шафи було виконано вибір її габаритних розмірів з урахуванням кількості встановлюваного обладнання та необхідного резерву для

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прокладання кабельних ліній. Для розміщення всіх технічних засобів обрано шафу розмірами 1000 × 760 × 210 мм.

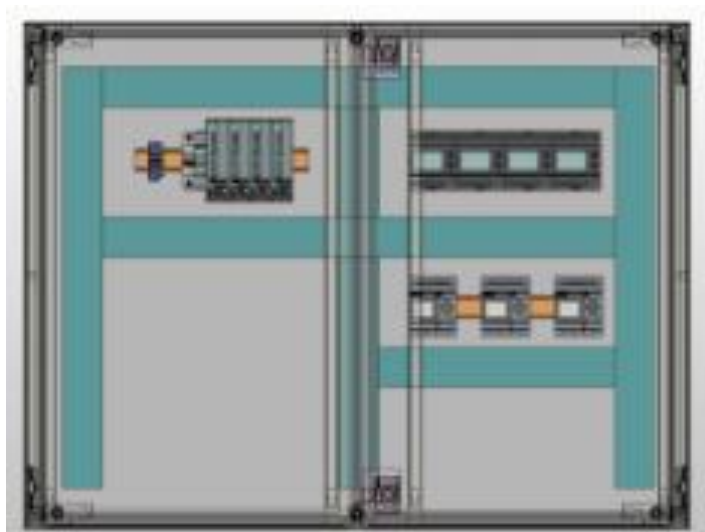


Рисунок 4.12 – Шафа керування

Для організації внутрішнього монтажу передбачено встановлення кабельних каналів шириною 60 мм, що забезпечують впорядковане прокладання сигнальних та силових ліній і спрощують виконання монтажних робіт.

Всередині шафи розміщено три монтажні DIN-рейки, на яких встановлюються основні елементи системи автоматизації.

На верхній лівій монтажній рейці розташовано апаратуру електроживлення та захисту, а саме:

- автоматичний вимикач захисту від струмів витоку Allen-Bradley Bulletin 140G;
- автоматичний вимикач Allen-Bradley 1489-M2C100 для захисту силових кіл;
- клемні блоки для підключення зовнішнього електроживлення;
- чотири джерела живлення SIEMENS 6ES1332-2BA20, призначені для живлення виконавчих механізмів напругою 24 В постійного струму.

На верхній правій монтажній рейці встановлено індикатори ITM-110, які використовуються для відображення значень технологічних параметрів та забезпечують оперативний контроль процесу оператором.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

На нижній правій рейці розташовано мікропроцесорні регулятори МІК-122К7, що реалізують алгоритми автоматичного керування технологічним процесом. Таке компонування обладнання забезпечує зручний доступ до органів налаштування та керування під час проведення пусконаладжувальних робіт і подальшої експлуатації системи.

Обране компонування приладів дозволяє раціонально використовувати внутрішній простір шафи, забезпечує необхідні умови охолодження обладнання та створює зручні умови для обслуговування й модернізації системи автоматизації.

Висновки до розділу

У четвертому розділі виконано проєктування системи автоматизації процесу знесолення та зневоднення нафти. Розроблено функціональну схему автоматизації, яка визначає структуру контролю та регулювання основних технологічних параметрів.

На основі аналізу вимог технологічного процесу здійснено вибір технічних засобів автоматизації, зокрема вимірювальних перетворювачів, регуляторів, виконавчих механізмів та допоміжного обладнання. Для реалізації системи керування розроблено електричні схеми підключення приладів і сформовано специфікацію обладнання.

Також виконано проєктування електричної шафи керування, у якій передбачено розміщення всіх необхідних технічних засобів відповідно до вимог електробезпеки та експлуатаційної надійності. Отримані результати створюють основу для практичної реалізації автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти до подальшої переробки.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі виконано дослідження процесу знесолення та зневоднення нафти, який є одним із ключових етапів підготовки нафтової сировини до подальшої переробки на нафтопереробних підприємствах.

У процесі виконання роботи проведено аналіз технологічного процесу та визначено основні фактори, що впливають на якість підготовки нафти. На основі результатів аналізу створено модель системи регулювання температури нафти в програмному середовищі Aspen HYSYS. За результатами моделювання отримано криві розгону об'єкта, які використано для подальшої ідентифікації його динамічних характеристик.

Виконано апроксимацію експериментальних даних та визначено передавальні функції за основними каналами керування і збурення. На базі отриманих математичних моделей проведено синтез одноконтурних та каскадних систем автоматичного керування, а також розраховано параметри регуляторів різних типів.

Порівняльний аналіз показників якості регулювання дозволив встановити, що найбільш ефективною є каскадна структура з основним PID-регулятором, допоміжним PI-регулятором та компенсатором у вигляді диференціальної ланки. Запропонована система забезпечує високу швидкодію, мінімальну статичну похибку та ефективну компенсацію зовнішніх збурень.

У роботі також розроблено функціональну схему автоматизації процесу знесолення та зневоднення нафти, виконано вибір технічних засобів автоматизації та складено специфікацію обладнання. Для реалізації проєктних рішень розроблено електричні схеми підключення приладів і спроектовано шафу керування з раціональним розміщенням обладнання.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання отриманих результатів під час модернізації існуючих або створення нових автоматизованих систем керування процесами підготовки нафти. Запропоновані технічні рішення сприяють підвищенню ефективності функціонування технологічного обладнання,

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покращенню якості підготовки нафтової сировини та зниженню впливу людського фактора на перебіг виробничого процесу.

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Лукінюк М. В. Л84 Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтегр. технології / М. В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с. : іл. – Біблігр.: с. 230-231. – 200.

2. HYSYS : An Introduction to Chemical Engineering Simulation. URL: <https://www.pdfdrive.com/hysys-an-introduction-to-chemical-engineering-simulationd2591237.html> (дата звернення: 01.05.2026).

3. Іванов А. О. Теорія автоматичного керування: Підручник. / А. О. Іванов. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2003. – 250 с.

4. МІК-122. Мікропроцесорні регулятори. Технічний опис та інструкція з експлуатації. – Київ: НВП «МІКРОЛ», 2024. – 96 с. – Режим доступу: [НВП «МІКРОЛ»](#) (дата звернення: 01.06.2026).

5. ІТМ-110. Одноканальний мікропроцесорний індикатор. Керівництво з експлуатації. – Київ: НВП «МІКРОЛ», 2024. – 54 с. – Режим доступу: [НВП «МІКРОЛ»](#) (дата звернення: 01.06.2026).

6. Fisher D Control Valve. Instruction Manual. – Marshalltown, IA, USA: Emerson Automation Solutions, 2024. – Режим доступу: [Emerson Automation Solutions](#) (дата звернення: 01.06.2026).

7. SITOP PSU100S. Power Supply Operating Instructions. – Munich: Siemens AG, 2024. – Режим доступу: [Siemens](#) (дата звернення: 01.06.2026).

8. WIKA FLR-SB Float Switch. Technical Data Sheet. – Klingenberg, Germany: WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, 2024. – Режим доступу [WIKA](#) (дата звернення: 01.06.2026).

9. WIKA TR10-B Resistance Thermometer. Technical Information. – Klingenberg, Germany: WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, 2024. – Режим доступу: [WIKA](#) (дата звернення: 01.06.2026).

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. WIKA PGS11 Pressure Gauge with Switching Contacts. Technical Data Sheet. – Klingenberg, Germany: WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG, 2024. – Режим доступу: [WIKA](#) (дата звернення: 01.06.2026).

11. Rosemount 3051SFP Annubar Flow Meter. Product Data Sheet. – Shakopee, MN, USA: Emerson Process Management, 2024. – Режим доступу: [Emerson Automation Solutions](#) (дата звернення: 01.06.2026).

12. EPLAN Software & Service LLC. EPLAN: офіційний вебсайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.eplan.com/us-en/ (дата звернення: 01.06.2026).

					БР.АКП-57.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		