

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ

Група АКПз-22-1

Валерій Пайда

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

Пайда Валерій Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.5: 665.6

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти

(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

(посада)

О.В. Кучмистенко

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

Л.Я. Чигур

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКПз-22-1

(шифр групи)

В.М. Пайда

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.І. Фешанич

(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 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**

Пайді Валерію Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи керування процесом
підготовки нафти

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 № 38/8

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 підготовки нафти.

2. Розроблення структури системи автоматизації.

3. Розроблення проектної складової системи автоматичного керування.

4. Синтез системи автоматичного регулювання рівня води в сепараторі.

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

Лист 1– Схема трифазного сепаратора – БР.АКПз-45.00.00.001;

Лист 2–Рівні АСУТП – БР.АКПз-45.00.00.002;

Лист 3– Функціональна схема автоматизації – БР.АКПз-45.00.00.003;

Лист 4 – Частотні характеристики – БР.АКПз-45.00.00.003;

Лист 5 – Результати моделювання – БР.АКПз-45.00.00.005.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 06.11.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічно процесу підготовки нафти.	30.04.2026	
2	Розроблення структури системи автоматизації	15.05.2026	
3	Розроблення проектної складової системи автоматичного керування.	20.05.2026	
4	Синтез системи автоматичного регулювання рівня води в сепараторі	12.06.2026	

Студент _____
(підпис)

В.М. Пайда _____
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Л.І. Фешанич _____
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 66 сторінок друкованого тексту, 28 рисунків, 16 таблиць, 11 джерел у переліку посилань.

Тема: «Розроблення автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти».

Об'єктом дослідження є технологічний процес підготовки нафти в трифазному сепараторі.

Предметом дослідження є автоматизована система керування процесом підготовки нафти, що забезпечує контроль та регулювання основних технологічних параметрів сепаратора.

Мета роботи: розроблення автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти на базі трифазного сепаратора.

Методи дослідження: методи теорії автоматичного керування, математичного моделювання динамічних систем, структурного та параметричного синтезу систем автоматичного регулювання, методи аналізу показників якості перехідних процесів, а також засоби комп'ютерного моделювання в середовищі MATLAB Simulink.

Результати кваліфікаційної роботи: розглянуто особливості процесу сепарації нафтової емульсії, визначено основні контрольовані та регульовані параметри технологічного процесу. Розроблено структуру автоматизованої системи керування та функціональну схему автоматизації процесу підготовки нафти. Виконано вибір сучасних технічних засобів автоматизації. Отримано математичну модель трифазного сепаратора за каналом регулювання рівня води, проведено дослідження динамічних характеристик системи автоматичного керування та оцінювання показників якості перехідного процесу. За результатами моделювання встановлено, що ПІД-регулятор забезпечує найкращі показники якості регулювання.

Ключові слова: автоматизація, підготовка нафти, трифазний сепаратор, система автоматичного керування, програмований логічний контролер.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 66 pages of printed text, 28 figures, 16 tables, and 11 references.

Topic: "Development of an Automated Control System for the Oil Treatment Process".

The object of research is the technological process of oil treatment in a three-phase separator.

The subject of research is an automated control system for the oil treatment process that provides monitoring and regulation of the main technological parameters of the separator.

The purpose of the work is the development of an automated control system for the oil treatment process based on a three-phase separator.

Research methods: methods of automatic control theory, mathematical modeling of dynamic systems, structural and parametric synthesis of automatic control systems, methods for analyzing transient response quality indicators, as well as computer simulation tools in the MATLAB Simulink environment.

Results of the qualification work: the features of the oil emulsion separation process were analyzed, and the main controlled and regulated parameters of the technological process were determined. The structure of the automated control system and the functional automation scheme for the oil treatment process were developed. Modern automation equipment was selected. A mathematical model of the three-phase separator was obtained for the water level control loop, and the dynamic characteristics of the automatic control system as well as the transient response quality indicators were investigated. Based on the simulation results, it was established that the PID controller provides the best control quality performance.

Keywords: automation, oil treatment, three-phase separator, automatic control system, programmable logic controller.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	9
1	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ НАФТИ.....	11
	1.1 Загальна характеристика процесу підготовки нафти	11
	1.3 Принцип роботи трифазного сепаратора	13
	Висновки до розділу.....	17
2	РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ...	19
	2.1 Визначення контрольних і керуючих параметрів процес	19
	Висновки до розділу.....	26
3	РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	27
	3.1 Побудова функціональної схеми автоматизації.....	27
	3.2 Вибір обладнання.....	29
	3.2.1 Вибір програмованого логічного контролера.....	29
	3.2.2 Вибір давача тиску	32
	3.2.3 Вибір сигналізатора рівня.....	34
	3.2.4 Вибір рівнеміра.....	36
	3.2.5 Вибір витратомірів.....	37
	3.2.6 Давач температури.....	40
	Висновки до розділу.....	42
4	СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ В СЕПАРАТОРІ.....	44
	4.1 Отримання ПФ трифазного сепаратора за каналом регулювання рівня води.....	44

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Пайда В.М.			Розроблення автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Фешанич Л.І.					6	5
Реценз.		Чигур Л.Я.				Група АКПз-22-1 ІФНТУНГ		
Н. Контр.		Кучмистенко О.В.						
Затверд.		Лагойда А.І.						

4.2 Аналіз САР регулювання рівня води в трифазному сепараторі....	47
4.3 Аналіз характеристик перехідного процесу в замкненій системі керування рівнем води.....	53
4.4 Синтез типового регулятора.....	55
Висновки до розділу.....	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	66

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Нафтогазова промисловість є однією з провідних галузей економіки, що забезпечує потреби промисловості, транспорту та населення енергетичними ресурсами. Нафта залишається основною сировиною для виробництва паливно-мастильних матеріалів, нафтохімічної продукції та великої кількості товарів промислового призначення. Ефективність видобутку, підготовки та транспортування нафти значною мірою впливає на економічні показники підприємств нафтогазового комплексу та енергетичну безпеку держави.

Після видобутку зі свердловин нафта являє собою складну багатокомпонентну суміш, яка містить пластову воду, попутний нафтовий газ, механічні домішки та розчинені солі. Наявність цих компонентів ускладнює транспортування та подальшу переробку нафти, тому перед подачею до магістральних трубопроводів вона повинна пройти процес підготовки. Основними операціями підготовки нафти є сепарація, зневоднення, знесолення та очищення від механічних домішок. Одним із найважливіших етапів є процес сепарації, під час якого відбувається розділення нафтової емульсії на нафту, воду та газ.

Сучасні установки підготовки нафти характеризуються складністю технологічних процесів та необхідністю підтримання великої кількості параметрів у заданих межах. Для забезпечення стабільної роботи обладнання необхідно здійснювати безперервний контроль тиску, температури, рівнів рідких фаз і витрат робочих середовищ. Відхилення цих параметрів від допустимих значень може призвести до погіршення якості підготовленої нафти, зниження продуктивності обладнання та виникнення аварійних ситуацій.

Ефективним способом підвищення надійності та безпеки технологічних процесів є впровадження автоматизованих систем керування технологічними процесами. Використання сучасних засобів автоматизації дозволяє забезпечити оперативний контроль параметрів, автоматичне регулювання режимів роботи обладнання, своєчасне виявлення аварійних ситуацій та зменшення впливу

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

людського фактора на процес керування. Завдяки цьому підвищується ефективність роботи установки, покращується якість продукції та знижуються експлуатаційні витрати.

Актуальність теми полягає в необхідності підвищення ефективності процесу підготовки нафти шляхом використання сучасних засобів автоматизації та впровадження ефективних алгоритмів керування технологічними параметрами трифазного сепаратора.

Метою роботи є розроблення автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти на базі трифазного сепаратора, яка забезпечує контроль і регулювання основних технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати технологічний процес підготовки нафти та принцип роботи трифазного сепаратора;
- визначити основні параметри контролю та регулювання технологічного процесу;
- розробити структуру автоматизованої системи керування технологічним процесом;
- розробити функціональну схему автоматизації процесу підготовки нафти;
- здійснити вибір технічних засобів автоматизації та програмованого логічного контролера;
- побудувати математичну модель об'єкта керування за каналом регулювання рівня води;
- провести аналіз показників якості системи автоматичного регулювання;
- виконати синтез регулятора та дослідити його вплив на якість керування технологічним процесом.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ НАФТИ

1.1 Загальна характеристика процесу підготовки нафти

Нафта є одним із найважливіших природних ресурсів сучасності та основною сировиною для паливно-енергетичного комплексу. Вона являє собою складну суміш вуглеводнів різної молекулярної маси, а також містить воду, розчинені гази, механічні домішки, мінеральні солі та інші компоненти. Завдяки своїм властивостям нафта широко використовується для виробництва бензину, дизельного палива, мастильних матеріалів, бітумів, пластмас, синтетичних волокон та багатьох інших продуктів, необхідних для функціонування сучасної промисловості та транспорту [1].

Після видобутку зі свердловин нафта не може бути безпосередньо передана на переробку або транспортування магістральними трубопроводами, оскільки містить значну кількість пластової води, попутного нафтового газу та механічних домішок. Наявність цих компонентів призводить до зниження якості продукції, підвищення корозійного зношування обладнання, збільшення гідравлічного опору трубопроводів та погіршення ефективності технологічних процесів. Тому перед транспортуванням нафта повинна пройти комплекс підготовчих операцій, спрямованих на приведення її параметрів до встановлених нормативних вимог.

Процес підготовки нафти включає збір продукції свердловин, сепарацію, зневоднення, знесолення та очищення від механічних домішок. На початковому етапі газорідинна суміш надходить до системи збору, звідки транспортується на установку підготовки нафти. Далі відбувається розділення суміші на окремі фази – нафту, воду та газ. Для підвищення ефективності розділення використовуються спеціальні хімічні реагенти – деемульгатори, які сприяють руйнуванню стійких водонафтових емульсій. У багатьох випадках процес підготовки реалізується в декілька послідовних ступенів, що дозволяє забезпечити необхідну якість кінцевого продукту.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним із найважливіших етапів підготовки нафти є сепарація. Її основним завданням є відокремлення попутного газу та пластової води від нафтової емульсії. Якість сепарації значною мірою залежить від технологічних параметрів процесу, серед яких основними є тиск, температура та рівень рідини в апараті. Підвищення температури сприяє зменшенню в'язкості нафти та прискорює процес осадження водяних крапель, тоді як правильний вибір тиску забезпечує ефективне виділення газової фази. Порушення режимів роботи сепаратора може призвести до погіршення якості підготовленої нафти, втрат вуглеводневої сировини та зниження продуктивності обладнання.

Розділення нафти здійснюється в трифазному сепараторі, який являє собою горизонтальну або вертикальну циліндричну ємність, обладнану внутрішніми пристроями для інтенсифікації процесу розділення фаз. У сепараторі відбувається послідовне відокремлення газу, нафти та води під дією гравітаційних сил і різниці густини компонентів. Конструкція трифазного сепаратора зазвичай передбачає наявність перегородок, відбійників, коалесцентних елементів та інших пристроїв, які покращують процес сепарації. Такі апарати широко використовуються на нафтових і газоконденсатних родовищах, а також на підприємствах нафтопереробної промисловості.

Сучасні установки підготовки нафти характеризуються високим рівнем автоматизації. Автоматизовані системи керування забезпечують безперервний контроль технологічних параметрів, таких як тиск, температура, рівень рідини та витрата продуктів. Використання сучасних засобів вимірювання та регулювання дозволяє підвищити ефективність роботи обладнання, зменшити вплив людського фактора, забезпечити безпечну експлуатацію технологічних установок і покращити якість підготовленої нафти. Саме тому розроблення автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти є актуальним завданням, спрямованим на підвищення надійності, економічності та ефективності функціонування нафтогазових підприємств.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Принцип роботи трифазного сепаратора

Трифазний сепаратор призначений для відокремлення вуглеводневої суміші на нафту, воду та газ. Потік продукції, що надходить із трубопроводу, спрямовується всередину сепараційного обладнання, де завдяки різниці фізичних властивостей компонентів забезпечується їх ефективний поділ на окремі фази. Під час руху потік сповільнюється, що дає можливість компонентам із різною густиною розділитися. Газ, який має найменшу густину, накопичується у верхній частині сепаратора та відводиться через газовий патрубок. Вода, що має найбільшу густину, осідає на дні сепаратора та відводиться через вихід для води. Нафта залишається в центральній частині сепаратора, після чого перетікає до другого відсіку та виводиться через нафтовий патрубок [2].

Нафтогазові сепаратори широко застосовуються в нафтогазовій промисловості для розділення сумішей нафти, газу та води на окремі компоненти. Вони використовуються під час видобутку нафти на родовищах, а також на транспортних і переробних установках. Сепаратори забезпечують видалення газу та води з нафти, а також контроль і вимірювання потоків нафти, газу та води. Їх використання дозволяє підвищити ефективність виробничих процесів та якість кінцевої продукції.

Сепаратори класифікуються за розташуванням:

- горизонтальні;
- вертикальні;
- гідроциклонні.

За кількістю фаз:

- двофазні;
- трифазні.

За робочим тиском:

- від 0,6 до 1 МПа;
- від 1 до 2,5 МПа;

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

– понад 2,5 МПа.

Для розділення видобутої продукції на три окремі фази — нафту, газ і воду — застосовують горизонтальні сепаратори. Конструктивною особливістю такого апарата є горизонтальне розташування циліндричного корпусу, що забезпечує ефективне відділення компонентів за рахунок різниці їхніх фізичних властивостей. Горизонтальна конструкція забезпечує зручний доступ до внутрішніх елементів сепаратора для технічного обслуговування та ремонту. Такий тип сепаратора може застосовуватися за різних умов експлуатації та забезпечує ефективне розділення нафти, газу та води. Крім того, горизонтальний сепаратор займає менше місця по висоті порівняно з вертикальним сепаратором.

На рисунку 1.1 наведено схему горизонтального сепаратора.

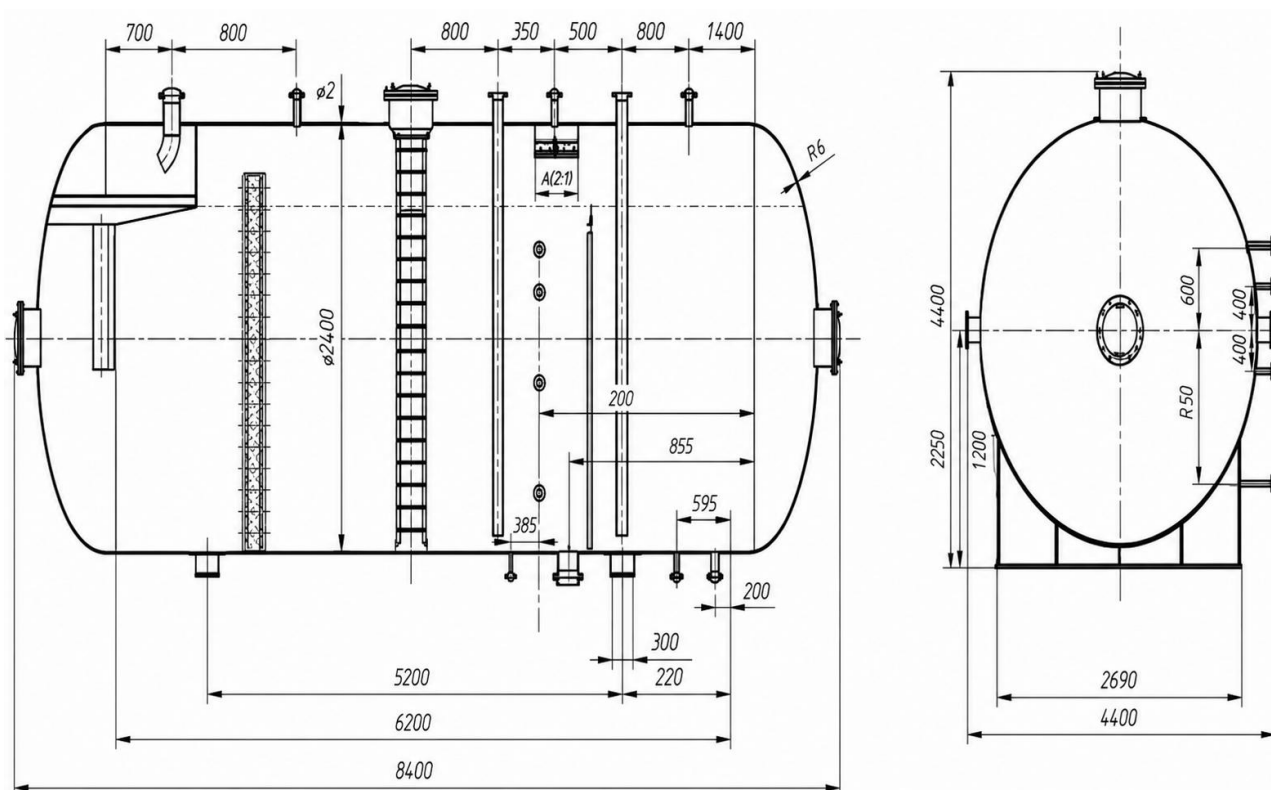


Рисунок 1.1 – Горизонтальний сепаратор

Вертикальний сепаратор належить до різновидів нафтогазосепараційного обладнання, конструкція якого передбачає вертикальне розміщення корпусу. Він

широко використовується в нафтогазовій, хімічній та інших галузях промисловості, де необхідне розділення рідких і газоподібних компонентів [2].

На рисунку 1.2 наведено схему вертикального сепаратора.

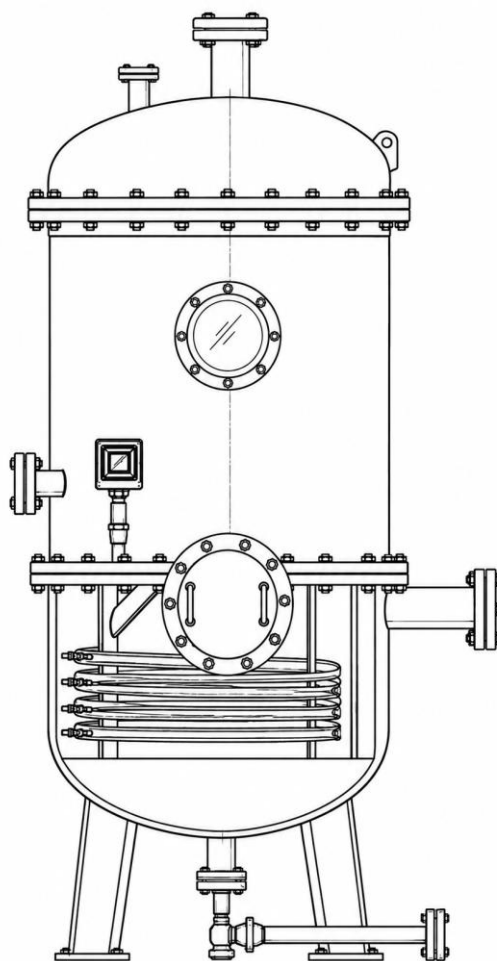


Рисунок 1.2 – Вертикальний сепаратор

Функціонування вертикального сепаратора базується на гравітаційному принципі розділення багатофазного потоку. Після надходження нафтоводогазової суміші у верхню частину апарата створюються умови для відокремлення газової фази від рідинної під дією різниці густини компонентів. У результаті газ підіймається догори, тоді як рідкі складові переміщуються до нижньої частини сепаратора. Газ відводиться через верхній газовий патрубок, а рідина стікає до нижньої частини сепаратора, де накопичується та відводиться через патрубок для рідкої фази.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Перевагами вертикальних сепараторів є висока продуктивність та ефективність розділення нафти, води і газу, компактні габаритні розміри, можливість роботи як у безперервному, так і в циклічному режимах. Проста конструкція та невелика кількість рухомих елементів забезпечують їх надійність і довговічність [2].

У даній бакалаврській роботі об'єктом керування є горизонтальний трифазний сепаратор. Трифазний сепаратор як об'єкт автоматизованого керування вимагає безперервного контролю та ефективного регулювання основних технологічних параметрів. Це необхідно для забезпечення стабільної роботи обладнання, підвищення продуктивності процесу та отримання продукції належної якості. Основними параметрами керування є тиск, температура, рівень рідини та показники якості продукції, що наведено на рисунку 1.3.

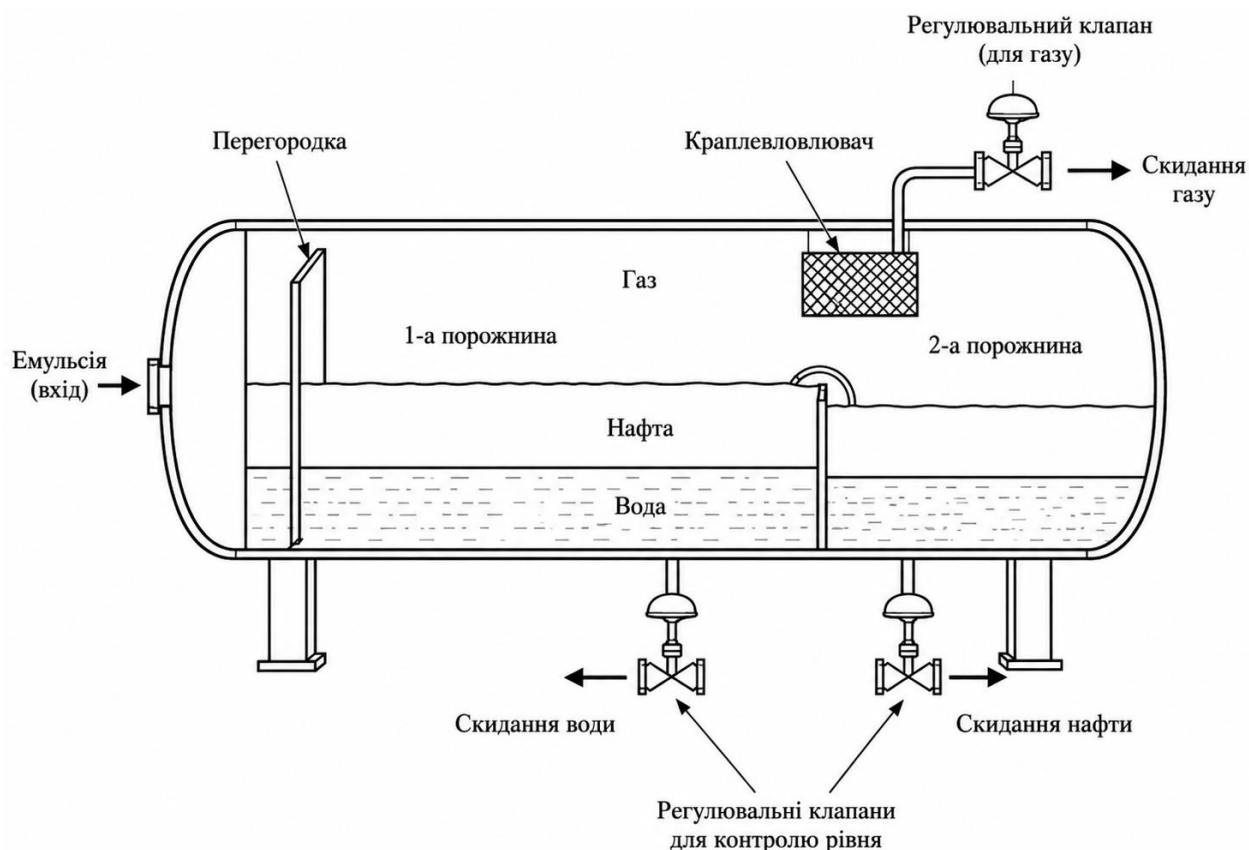


Рисунок 1.3 – Схематичне зображення трифазного сепаратора

Важливим аспектом під час аналізу роботи трифазного сепаратора є його технічні характеристики, які можуть відрізнятися залежно від конструктивного виконання, виробника та конкретної моделі обладнання. Основні технічні параметри досліджуваного сепаратора наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики трифазного сепаратора

№	Параметри	Одиниця
1	Об'єм	200 м ³
2	Робочий тиск	1 МПа
3	Максимальна температура робочого середовища	100 °С
4	Продуктивність за рідиною	1000–12000 м ³ /добу
5	Газовий фактор	200 нм ³ /т
6	Висота	4500 мм

Висновок до розділу

У даному розділі було розглянуто особливості процесу підготовки нафти до транспортування та переробки. Встановлено, що підготовка нафти є важливим етапом нафтовидобувного виробництва, оскільки видобута продукція містить воду, газ та механічні домішки, які необхідно видалити для забезпечення відповідності нафти технологічним і нормативним вимогам.

Проаналізовано основні стадії підготовки нафти, серед яких ключове значення має процес сепарації. Визначено, що ефективність розділення нафтової емульсії значною мірою залежить від таких технологічних параметрів, як тиск, температура та рівень рідини в сепараторі. Дотримання оптимальних режимів роботи дозволяє підвищити якість підготовленої нафти та забезпечити стабільність функціонування технологічного обладнання.

Розглянуто принцип роботи та класифікацію нафтових сепараторів, а також особливості горизонтальних і вертикальних конструкцій. Встановлено, що для даної

роботи найбільш доцільним є використання горизонтального трифазного сепаратора, який забезпечує ефективне розділення нафти, води та газу при заданих умовах експлуатації.

За результатами проведеного дослідження встановлено перелік основних технологічних параметрів, які потребують постійного контролю та регулювання під час експлуатації сепаратора. До них належать тиск, температура робочого середовища, рівень рідини в апараті та витрата вихідних продуктів. Це підтверджує необхідність розроблення автоматизованої системи керування, яка забезпечить безперервний моніторинг технологічного процесу, підвищення ефективності роботи установки, покращення якості підготовки нафти та безпечну експлуатацію обладнання.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Визначення контрольних і керуючих параметрів процес

Під час розроблення автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти необхідно забезпечити безперервний контроль технологічних параметрів, своєчасне виявлення відхилень від заданого режиму та автоматичне керування обладнанням. Впровадження системи автоматизації дозволяє підвищити ефективність процесу сепарації, зменшити втрати вуглеводневої сировини, забезпечити стабільну якість підготовленої нафти та підвищити безпеку експлуатації технологічного обладнання.

При розробленні системи автоматизації необхідно реалізувати такі функції:

- збір та обробка технологічної інформації від первинних засобів вимірювання;
- безперервний моніторинг основних параметрів технологічного процесу;
- автоматичне регулювання параметрів відповідно до заданих уставок;
- реєстрація, архівування та відображення параметрів на мнемосхемах операторської станції;
- формування попереджувальної та аварійної сигналізації;
- забезпечення роботи системи протиаварійного захисту;
- дистанційне керування технологічним обладнанням;
- ведення журналів подій та аварійних повідомлень.

Для забезпечення ефективної роботи трифазного сепаратора були визначені точки контролю, точки керування та точки сигналізації. Вибір цих параметрів обумовлений особливостями технологічного процесу сепарації та необхідністю підтримання оптимальних режимів роботи установки.

До основних контрольованих параметрів технологічного процесу належать показники, що характеризують режим роботи сепаратора та ефективність розділення фаз. Зокрема, контролю підлягають витрата вхідної суміші, положення

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

меж розділу між нафтовою та водною фазами, тиск і температура всередині апарата, а також витрати води, нафти та газу на вихідних потоках.

Контроль витрати суміші на вході до сепаратора необхідний для визначення поточного навантаження на апарат та забезпечення стабільного режиму його роботи. Зміна витрати безпосередньо впливає на ефективність процесу розділення фаз.

Контроль рівня нафти та рівня розділу фаз між нафтою і водою є одним із найважливіших завдань системи автоматизації. Недостатній або надмірний рівень може призвести до погіршення якості сепарації, потрапляння води до нафтового трубопроводу або нафти до системи відведення води.

Контроль тиску в сепараторі забезпечує підтримання необхідних умов для виділення газової фази. Перевищення допустимого тиску може призвести до аварійної ситуації, а його надмірне зниження — до погіршення технологічних показників процесу.

Контроль температури необхідний для забезпечення оптимальної в'язкості нафти та ефективного розділення емульсії. Підвищення температури сприяє прискоренню процесу сепарації, а її зниження може погіршувати умови відокремлення води від нафти.

Контроль витрати нафти, води та газу на виході із сепаратора дозволяє оцінювати ефективність роботи установки, вести облік продукції та контролювати баланс технологічного процесу.

Для забезпечення стабільності технологічного процесу та підтримання заданих режимів роботи визначено основні керуючі впливи. До них належать положення регулюючого клапана на вході до сепаратора, а також ступінь відкриття клапанів, призначених для відведення нафти, води та газу з апарата. Зміна цих параметрів дає змогу оперативно впливати на перебіг процесу сепарації та підтримувати необхідні технологічні показники.

Регулювання вхідного клапана дозволяє змінювати кількість суміші, що надходить до сепаратора, та підтримувати оптимальне завантаження обладнання.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Клапани на лініях відведення нафти, води та газу використовуються для стабілізації рівнів рідких фаз і підтримання необхідного тиску в апараті. Зміна ступеня відкриття цих клапанів здійснюється автоматично відповідно до команд контролера.

Для забезпечення безпечної експлуатації сепаратора передбачена система аварійної та попереджувальної сигналізації. Сигналізація активується у випадках відхилення технологічних параметрів від допустимих значень.

Для забезпечення безпечної та надійної експлуатації трифазного сепаратора система аварійної сигналізації здійснює контроль за відхиленням основних технологічних параметрів від установлених значень. Формування попереджувальних сигналів передбачено у випадках перевищення або зниження допустимих значень тиску та температури в апараті, а також при виході за встановлені межі рівня нафтової фази й рівня міжфазного розділу води. Це дає змогу своєчасно виявляти порушення технологічного режиму та запобігати виникненню аварійних ситуацій.

Своєчасне спрацювання сигналізації дозволяє оператору оперативно реагувати на відхилення технологічних параметрів та запобігати виникненню аварійних ситуацій. У разі досягнення критичних значень параметрів система може автоматично виконувати захисні дії, спрямовані на переведення технологічного обладнання у безпечний режим роботи.

Таким чином, визначення точок контролю, керування та сигналізації є важливим етапом проєктування автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти, оскільки саме вони забезпечують стабільність технологічного процесу, високу якість підготовленої продукції та безпечну експлуатацію обладнання.

2.2 Визначення структури АСУ ТП

Автоматизована система керування технологічним процесом (АСУ ТП) призначена для забезпечення ефективного контролю та керування виробничими

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

процесами за допомогою сучасних технічних і програмних засобів. Впровадження АСУ ТП дозволяє підвищити продуктивність технологічного обладнання, покращити якість готової продукції, зменшити енергетичні та матеріальні витрати, а також підвищити рівень промислової безпеки. Особливо важливим є використання автоматизованих систем на об'єктах нафтової промисловості, де від стабільності технологічних параметрів залежить ефективність процесу підготовки нафти та безпечність експлуатації обладнання.

Для реалізації функцій автоматизованої системи керування технологічним процесом передбачено виконання комплексу завдань, спрямованих на забезпечення ефективної та безпечної роботи обладнання. До основних функцій АСУ ТП належать контроль і керування технологічними параметрами, автоматичне регулювання процесів, моніторинг технічного стану обладнання та виявлення можливих несправностей. Крім того, система забезпечує збір, реєстрацію та архівування технологічної інформації, її відображення на операторських робочих місцях, формування попереджувальних і аварійних повідомлень, а також підтримку прийняття рішень оперативним персоналом. Важливою функцією системи є забезпечення безпечної експлуатації технологічного обладнання в усіх режимах роботи.

Для автоматизації процесу підготовки нафти в даній роботі розробляється централізована система керування. Така структура передбачає надходження інформації від усіх первинних засобів вимірювання до центрального контролера, який здійснює обробку отриманих даних та формує керуючі впливи на виконавчі механізми. Централізована система забезпечує високу надійність функціонування, простоту обслуговування та можливість розширення в майбутньому.

Збір технологічної інформації здійснюється за допомогою первинних вимірювальних перетворювачів. Давачи контролюють основні параметри процесу підготовки нафти, а саме тиск, температуру, рівень рідини та витрату робочих середовищ. Отримані значення перетворюються в уніфікований аналоговий сигнал 4–20 мА, який передається до програмованого логічного контролера для подальшої

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробки. Використання стандартного струмового сигналу забезпечує високу завадостійкість та надійність передачі інформації на значні відстані.

Для контролю технологічного процесу застосовуються давачи тиску, температури, рівня та витрати. Давачи тиску забезпечують контроль робочого тиску всередині сепаратора, що дозволяє підтримувати оптимальні умови розділення фаз та запобігати виникненню аварійних ситуацій. Давачи температури використовуються для контролю температурного режиму, від якого залежить в'язкість нафти та ефективність сепарації. Рівнеміри забезпечують вимірювання рівня нафти та води в сепараторі, а витратоміри здійснюють контроль кількості продукції на вході та виході з установки.

Виконавчі механізми призначені для безпосереднього впливу на технологічний процес. У даній системі вони використовуються для керування регулюючими клапанами на лініях подачі суміші та відведення нафти, води й газу. Залежно від команд контролера виконавчі механізми змінюють ступінь відкриття клапанів, підтримуючи необхідні значення рівня, тиску та витрати. Таким чином забезпечується стабільна робота сепаратора та підтримання заданих технологічних режимів.

Центральним елементом системи автоматизації є програмований логічний контролер (ПЛК). Контролер виконує збір інформації від давачів, її обробку відповідно до закладених алгоритмів керування, формування керуючих сигналів для виконавчих механізмів та реалізацію функцій сигналізації й захисту. Крім того, контролер забезпечує зберігання поточних параметрів процесу та передачу інформації на верхній рівень системи.

Для даного об'єкта автоматизації обрано контролер Siemens S7-313C, який належить до сімейства SIMATIC S7-300. Даний контролер характеризується високою надійністю, достатньою швидкістю та широкими можливостями інтеграції із сучасними засобами автоматизації. Він підтримує роботу з аналоговими та дискретними сигналами, має вбудовані комунікаційні інтерфейси та може працювати в складі розподілених систем керування.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Обмін інформацією між окремими елементами системи може здійснюватися за допомогою промислових протоколів зв'язку, таких як Modbus, Profibus, Profinet, Foundation Fieldbus та HART. Використання цифрових протоколів дозволяє підвищити точність передачі даних, спростити діагностику обладнання та забезпечити швидкий обмін інформацією між пристроями різних виробників.

Моніторинг і диспетчерське керування технологічним процесом здійснюються оператором із автоматизованого робочого місця. На екрані оператора відображаються мнемосхеми технологічного процесу, поточні значення параметрів, стан обладнання, аварійні повідомлення та журнали подій. За необхідності оператор може змінювати уставки регуляторів, переводити обладнання в ручний або автоматичний режим роботи, а також здійснювати запуск чи зупинку окремих вузлів системи.

Структура розробленої АСУ ТП побудована за трирівневим принципом.

Нижній рівень автоматизованої системи керування представлений первинними вимірювальними приладами та виконавчими пристроями, які безпосередньо взаємодіють із технологічним об'єктом. До складу цього рівня входять давач тиску РТ 2-1, давач температури ТТ 4-1, рівнеміри водної та нафтової фаз LT (8-1, 9-1), сигналізатор рівня LS 3-1, а також витратоміри FT (1-1, 6-1, 7-1, 10-1), призначені для контролю параметрів технологічного процесу.

Середній рівень представлений програмованим логічним контролером Siemens S7-313C та модулями введення-виведення. На цьому рівні виконується збір інформації, реалізація алгоритмів автоматичного керування, формування команд виконавчим механізмам та виконання функцій аварійного захисту.

На рисунку 2.4 наведено ієрархічну структуру автоматизованої системи керування технологічним процесом підготовки нафти.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

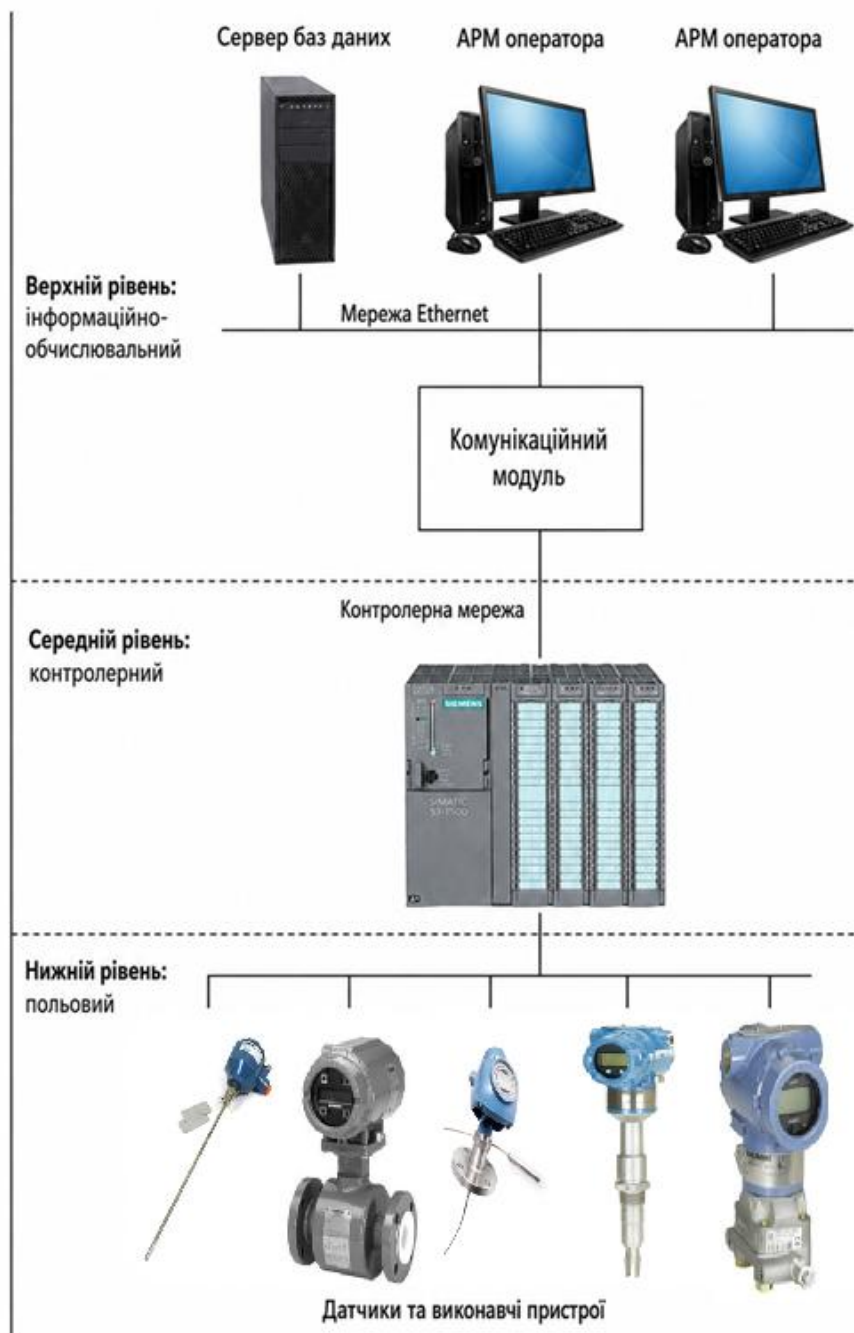


Рисунок 2.1 – Рівні АСУ ТП

Верхній рівень складається з автоматизованого робочого місця оператора, серверів архівування та програмного забезпечення диспетчерського контролю. Для візуалізації та налаштування системи можуть використовуватися програмні комплекси TIA Portal і SCADA-система. Верхній рівень забезпечує відображення технологічної інформації, ведення архівів, формування звітів та взаємодію оператора з технологічним процесом.

Висновки до розділу

У даному розділі було визначено основні точки контролю, керування та сигналізації автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти. Встановлено перелік технологічних параметрів, які підлягають безперервному контролю, зокрема тиск, температура, рівень нафти та води в сепараторі, а також витрата робочих середовищ на вході та виході з установки. Також визначено виконавчі органи, за допомогою яких здійснюється регулювання технологічного процесу.

На основі аналізу технологічного процесу сформовано вимоги до системи безпеки та визначено перелік аварійних і попереджувальних сигналів, що дозволяють своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи та запобігати виникненню аварійних ситуацій.

Розроблено структуру автоматизованої системи керування технологічним процесом, яка побудована за трирівневою ієрархічною схемою. Нижній рівень представлений первинними вимірювальними перетворювачами та виконавчими механізмами, середній рівень – програмованим логічним контролером Siemens S7-313C і модулями введення-виведення, а верхній рівень – автоматизованим робочим місцем оператора та програмними засобами диспетчерського керування.

Запропонована структура системи забезпечує централізований збір і обробку інформації, автоматичне регулювання технологічних параметрів, візуалізацію процесу, архівування даних та підвищення рівня безпеки експлуатації установки.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТНОЇ СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Побудова функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації є одним із основних документів проєкту автоматизованої системи керування технологічним процесом. Вона відображає склад технічних засобів автоматизації та їх взаємодію з технологічним обладнанням, а також встановлює функціональні зв'язки між окремими елементами системи. На схемі подаються засоби вимірювання технологічних параметрів, пристрої збору та обробки інформації, виконавчі механізми, а також засоби відображення даних для оперативного персоналу.

Основним призначенням функціональної схеми є відображення принципів побудови системи автоматизації, логіки її роботи та способів передавання інформації між окремими вузлами. За допомогою такої схеми визначаються алгоритми керування технологічним процесом, порядок взаємодії між засобами автоматизації та особливості реалізації функцій контролю, регулювання і сигналізації. Крім того, схема дає можливість наочно представити структуру системи та оцінити взаємозв'язки між її компонентами.

Схема автоматизації виконується у вигляді графічного документа, на якому зображаються технологічне обладнання, трубопроводи, засоби вимірювання, регулювання, керування та інформаційного забезпечення, а також лінії зв'язку між ними. Рівень деталізації схеми визначається складністю об'єкта автоматизації, проте вона повинна містити достатній обсяг інформації для прийняття технічних рішень і розроблення подальшої проєктної документації.

У складі функціональної схеми відображаються всі прилади та технічні засоби, що забезпечують виконання функцій контролю, автоматичного регулювання, дистанційного керування, захисту й сигналізації. Водночас допоміжні елементи, які не впливають безпосередньо на реалізацію функцій автоматизації, як

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

правило, не наносяться. До таких елементів належать джерела живлення, релейна апаратура, запобіжники, комутаційні пристрої, фільтри та інші монтажні компоненти.

Для великих і складних технологічних об'єктів функціональні схеми доцільно виконувати у вигляді декількох окремих креслень, що охоплюють окремі технологічні вузли або функціональні підсистеми. Такий підхід спрощує сприйняття інформації та підвищує зручність використання документації під час проектування, монтажу й експлуатації автоматизованої системи.

Подача продукції свердловини до трифазного сепаратора здійснюється через вхідний клапан 2. Після надходження всередину апарата суміш проходить процес фазового розділення, який базується на відмінностях фізичних характеристик її компонентів. Під дією гравітаційних сил вода концентрується в нижній зоні сепаратора, тоді як нафтова фаза розташовується вище. Газова складова відокремлюється від рідини та накопичується у верхній частині робочого об'єму.

Виведення газу із сепаратора відбувається через клапан 6, звідки він спрямовується до факельного господарства. Водна фаза після завершення процесу відстоювання відводиться через клапан 8. Керування його положенням виконується автоматично на основі показів рівнеміра LT 8-1, який відстежує висоту водного шару в апараті.

Після первинного розділення нафта надходить до наступної секції сепаратора. Відведення нафтової фази здійснюється через клапан 10, робота якого пов'язана з показами рівнеміра LT 9-1. Такий спосіб регулювання дозволяє підтримувати необхідний рівень нафти та забезпечувати стабільність технологічного процесу.

Для контролю режиму роботи сепаратора передбачено систему вимірювання основних технологічних параметрів. Моніторинг тиску здійснюється давачем РТ 2-1, контроль температури забезпечується давачем ТТ 4-1, а сигналізатор LS 3-1 використовується для виявлення досягнення граничного рівня рідини та своєчасного попередження про можливі порушення режиму експлуатації обладнання.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

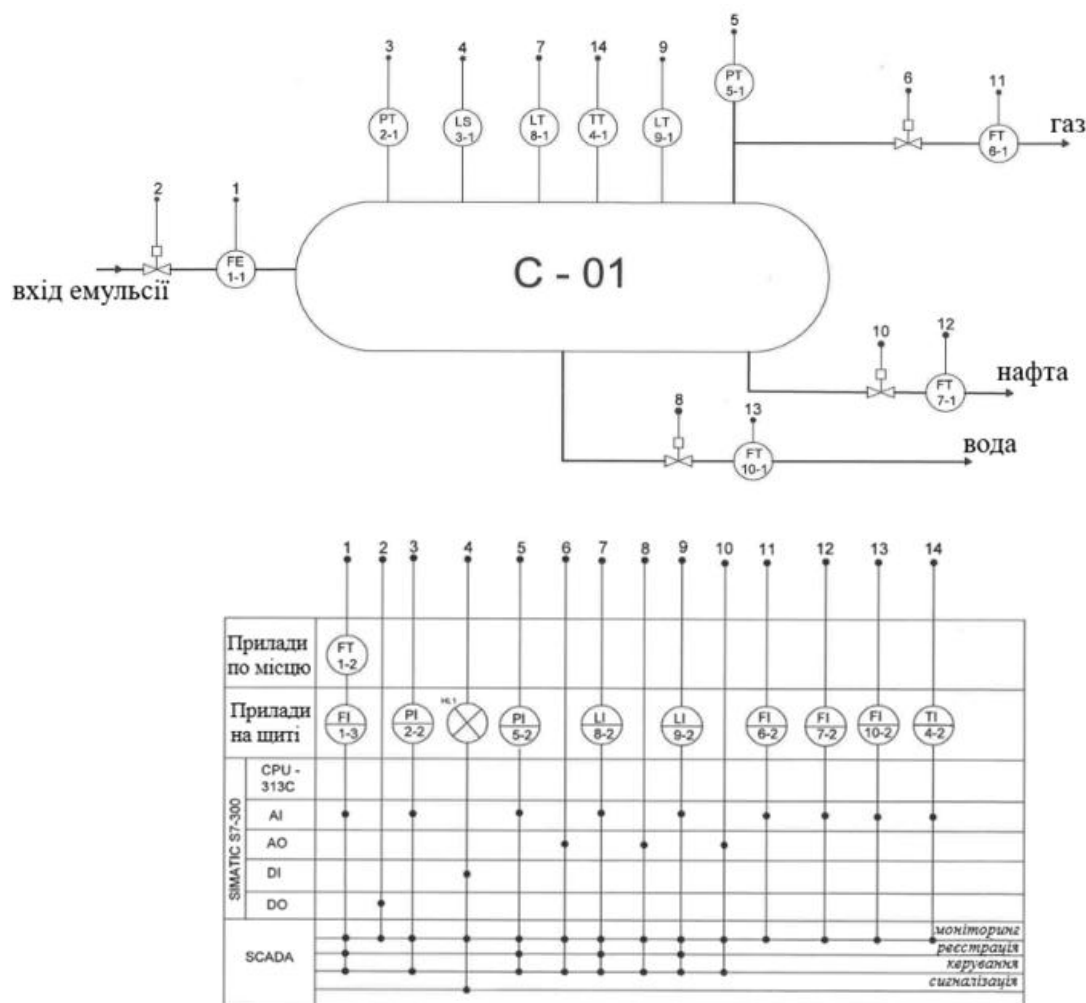


Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизації

3.2 Вибір обладнання

3.2.1 Вибір програмованого логічного контролера

Для реалізації системи автоматизованого керування установкою підготовки нафти необхідно вибрати програмований логічний контролер, який забезпечуватиме виконання функцій контролю, регулювання та керування технологічним обладнанням. У процесі вибору було розглянуто два варіанти промислових контролерів виробництва Siemens — серій S7-300 та S7-1200.

Порівняльний аналіз технічних можливостей, надійності експлуатації та сумісності з передбаченими засобами автоматизації показав доцільність

використання контролера Siemens S7-300. Обраний контролер характеризується достатньою продуктивністю, модульною архітектурою та широкими можливостями інтеграції в системи керування технологічними процесами. Зовнішній вигляд контролера Siemens S7-300 наведено на рисунку 3.2 [3].



Рисунок 3.2 – Контролер Siemens S7-313C

Програмований логічний контролер Siemens S7-300 належить до сімейства промислових контролерів, призначених для побудови автоматизованих систем керування технологічними процесами різного призначення. Завдяки своїй гнучкості та широким можливостям конфігурації він ефективно застосовується на об'єктах із невисоким та середнім рівнем складності.

Конструкція контролера базується на модульному принципі, що дає можливість адаптувати його склад відповідно до вимог конкретного технологічного процесу. До складу системи можуть входити модуль центрального процесора, блок живлення, сигнальні модулі введення та виведення інформації, функціональні модулі для реалізації спеціалізованих задач, інтерфейсні модулі для організації обміну даними між окремими компонентами системи, а також комунікаційні модулі,

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

призначені для інтеграції контролера з іншими пристроями та мережами промислової автоматизації.

Модульна архітектура Siemens S7-300 забезпечує простоту масштабування системи та дозволяє розширювати її функціональні можливості без необхідності суттєвої зміни структури керування.

Параметри контролерів для вибору наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. – Параметри контролерів керування

Характеристика	Siemens S7-300	Siemens S7-1200
Серія	Контролер середнього класу	Компактний контролер нового покоління
Статус виробництва	Застаріла серія, поступово виводиться з експлуатації	Актуальна серія, активно використовується
Середовище програмування	STEP 7 (SIMATIC Manager), TIA Portal	TIA Portal
Конструкція	Модульна	Компактна з інтегрованими входами/виходами
Вбудовані дискретні входи/виходи	Відсутні (потребує окремих модулів)	Вбудовані в CPU
Масштабованість	До 32 модулів на стійку	До 8 сигнальних та 3 комунікаційних модулів
Інтерфейси зв'язку	MPI, PROFIBUS, PROFINET (залежно від моделі)	PROFINET, Modbus TCP, RS-485 через модулі
Веб-сервер	Відсутній або потребує додаткових модулів	Вбудований
Підтримка OPC UA	Обмежена	Підтримується в нових моделях

Характеристика	Siemens S7-300	Siemens S7-1200
Швидкодія	Висока для свого покоління	Вища завдяки сучасній архітектурі
Діагностика	Базова	Розширена діагностика в TIA Portal
Зберігання програми	ММС-карта обов'язкова	SIMATIC Memory Card (опційно)
Налаштування через Ethernet	Обмежене	Повністю підтримується
Вартість впровадження	Вища через модульну структуру	Нижча завдяки інтегрованим функціям
Основні сфери застосування	Існуючі промислові об'єкти, модернізація старих систем	Нові автоматизовані системи, невеликі та середні установки

3.2.2 Вибір давача тиску

Одним із ключових параметрів, що визначає ефективність функціонування нафтового сепаратора, є тиск усередині апарата. Від його значення залежить інтенсивність виділення газової складової та якість розділення багатозфазного потоку. Відхилення тиску від розрахункового режиму може негативно впливати на процес сепарації, ускладнюючи відокремлення газу від рідких компонентів і знижуючи продуктивність обладнання. З цієї причини в системі автоматизації передбачається постійний моніторинг даного параметра та підтримання його в установленому діапазоні за допомогою засобів контролю й регулювання.

Вибір давача тиску здійснювався між Rosemount 3051 [4] та Endress+Hauser Cerabar PMP71B. Технічні характеристики обраних давачів тиску систематизовано та наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняння датчиків тиску

Датчики тиску	Rosemount 3051	Endress+Hauser Cerabar PMP71B
Вимірювані середовища	Рідини, газ, газові суміші, пара	Рідини, газ, газові суміші, пара
Діапазон вимірювань	від 0 до 13,8 МПа	від 0 до 40 МПа
Похибка вимірювань	$\pm 0,065$ %	$\pm 0,05$ %
Діапазон робочих температур	від -40 до +150 °C	від -40 до +125 °C
Діапазон температур навколишнього середовища	від -40 до +85 °C	від -40 до +85 °C
Вихідний сигнал	4–20 мА/HART, Foundation Fieldbus, WirelessHART	4–20 мА/HART, PROFIBUS PA
Ступінь захисту	IP67	IP66/IP68

За результатами порівняння для автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти було обрано Rosemount 3051. Даний датчик характеризується високою точністю вимірювання ($\pm 0,065$ %), широким діапазоном вимірювання тиску, високою надійністю та підтримкою сучасних промислових протоколів зв'язку. Крім того, використання датчика Rosemount 3051 забезпечує уніфікацію обладнання системи автоматизації, оскільки в проєкті також застосовуються прилади серії Rosemount для вимірювання рівня, температури та витрати. Це спрощує інтеграцію засобів вимірювання до системи керування та підвищує надійність її експлуатації.



Рисунок 3.3 – Давач тиску Rosemount 3051

3.2.3 Вибір сигналізатора рівня

Для забезпечення контролю за досягненням гранично допустимого рівня рідини в сепараторі передбачено використання сигналізатора рівня.

Вибір здійснювався між сигналізаторами рівня VEGA VEGASWING 66, Rosemount 2140 та Endress+Hauser Liquiphant FTL51B.

Таблиця 3.3 – Порівняння сигналізаторів рівня

Сигналізатори рівня	VEGA VEGASWING 66	Rosemount 2140	Endress+Hauser Liquiphant FTL51B
Винос чутливої зони	до 6 м	до 6 м	до 6 м
Температура контрольованого середовища	від -50 до +250 °C	від -70 до +260 °C	від -50 до +150 °C
Тиск	до 6,4 МПа	до 13,8 МПа	до 10 МПа

Сигналізатори рівня	VEGA VEGASWING 66	Rosemount 2140	Endress+Hauser Liquiphant FTL51B
Температура зовнішнього середовища	від -40 до +80 °C	від -40 до +80 °C	від -50 до +70 °C
Похибка спрацювання	±2 мм	±1 мм	±1 мм
Вихідний сигнал	4–20 мА/HART, релейний	4–20 мА/HART, релейний	4–20 мА/HART, PROFIBUS PA, Foundation Fieldbus

За результатами порівняння було обрано Rosemount 2140 [5], оскільки він характеризується найширшим діапазоном робочих температур, можливістю роботи при тиску до 13,8 МПа, високою точністю спрацювання та підтримкою протоколу HART. Це забезпечує надійний контроль граничного рівня в сепараторі та його інтеграцію в автоматизовану систему керування процесом підготовки нафти.



Рисунок 3.4 – Сигналізатор рівня Rosemount 2140

3.2.4 Вибір рівнеміра

Для визначення висоти водної та нафтової фаз у трифазному сепараторі передбачено використання спеціалізованих засобів вимірювання рівня. Під час проєктування системи автоматизації було розглянуто два варіанти обладнання — рівнеміри Rosemount 5300 та VEGA VEGAFLEX 81, технічні характеристики яких були проаналізовані з метою вибору найбільш придатного рішення для заданих умов експлуатації.

За результатами порівняння було обрано рівнемір Rosemount 5300, який показано на рисунку 3.4.

Параметри давачів рівня наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Порівняння рівнемірів

Рівнеміри	Rosemount 5300	VEGA VEGAFLEX 81
Винос чутливої зони	5 м	6 м
Температура середовища	від -60 до +75 °C	від -60 до +200 °C
Тиск середовища	5 МПа	4 МПа
Температура зовнішнього середовища	від -40 до +80 °C	від -40 до +80 °C
Похибка вимірювань	±2 мм	±2 мм
Вихідний сигнал	4–20 мА/HART, Foundation Fieldbus, Modbus	4–20 мА/HART, HART, Profibus PA
Ступінь захисту	IP67	IP68

За результатами аналізу технічних характеристик для автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти було обрано Rosemount 5300 [6].



Рисунок 3.5 – Rosemount 5300

Даний рівнемір забезпечує високу точність вимірювання рівня нафти та води, підтримує декілька сучасних протоколів промислового зв'язку (HART, Foundation Fieldbus, Modbus), має широкий діапазон робочих параметрів та здатний працювати під тиском до 5 МПа. Це робить його найбільш придатним для експлуатації в умовах нафтового сепаратора.

3.2.5 Вибір витратомірів

Під час вибору засобу вимірювання витрати було розглянуто декілька сучасних промислових приладів, зокрема Endress+Hauser Promag P 300, Siemens SITRANS FM MAG 5100W та Rosemount 8700. Порівняння їхніх технічних характеристик, функціональних можливостей та умов експлуатації дало змогу визначити найбільш придатне рішення для використання в системі автоматизації установки підготовки нафти.

За результатами проведеного аналізу перевагу було надано електромагнітному витратоміру Rosemount 8700, який забезпечує необхідну точність вимірювання, надійність роботи та сумісність із засобами автоматизованого керування технологічним процесом.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Основні технічні характеристики розглянутих витратомірів наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Порівняння витратомірів

Витратоміри	Endress+Hauser Promag P 300	Siemens SITRANS FM MAG 5100W	Rosemount 8700
Тиск вимірюваного середовища	до 40 МПа	до 40 МПа	до 40 МПа
Температура вимірюваного середовища	-40...+180 °C	-20...+150 °C	-29...+177 °C
Температура навколишнього середовища	-40...+60 °C	-20...+60 °C	-50...+74 °C
Вихідний сигнал	4-20 мА/HART, Modbus, Profibus	4-20 мА/HART, Modbus RTU	4-20 мА/HART, Foundation Fieldbus
Похибка вимірювань	±0,2 %	±0,4 %	±0,25 %
Ступінь захисту	IP66/IP67	IP67	IP68

Незважаючи на високу точність витратоміра Promag P 300, для системи було обрано Rosemount 8700 [7], оскільки він забезпечує достатню точність вимірювань ($\pm 0,25$ %), має найширший діапазон температур навколишнього середовища, ступінь захисту IP68 та добре зарекомендував себе в нафтогазовій промисловості для роботи в складних умовах експлуатації. Це забезпечує високу надійність та стабільність функціонування автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти.



Рисунок 3.6 – Витратомір Rosemount 8700

Електромагнітні витратоміри серії Rosemount 8700 застосовуються для визначення об'ємної витрати рідких середовищ, що мають електропровідні властивості. Такі прилади можуть використовуватися для контролю потоку води, технологічних розчинів, суспензій та інших рідин у промислових процесах.

Конструктивно витратомір складається з первинного перетворювача та електронного блока обробки сигналів. Первинний перетворювач монтується безпосередньо на трубопроводі та виконує функцію формування вимірювального сигналу. Його основу становить трубна секція з корозійностійкого металу, оснащена фланцевими з'єднаннями для інтеграції в технологічну лінію. Вимірювання витрати здійснюється за допомогою електромагнітного поля, яке створюється індукційними котушками. Для реєстрації сигналу використовуються електроди, розташовані на внутрішній поверхні вимірювальної ділянки. Усі елементи, що беруть участь у процесі вимірювання, надійно ізольовані від впливу зовнішнього середовища захисним корпусом.

Електронна частина пристрою забезпечує приймання та оброблення сигналів від сенсора, перетворення результатів вимірювання у стандартизовані вихідні сигнали, а також їх передачу до системи автоматизації.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

3.2.6 Давач температури

Одним із факторів, що впливають на ефективність процесу сепарації, є температура робочого середовища. Зміна температурного режиму призводить до зміни фізичних властивостей нафти, зокрема її в'язкості. Зі зростанням температури зменшується опір руху рідини, що створює більш сприятливі умови для відокремлення водної фази та твердих домішок. У результаті покращуються показники розділення багатофазної суміші та підвищується якість підготовки нафти.

Для забезпечення безперервного моніторингу температури в технологічному обладнанні було виконано аналіз двох технічних рішень — давачів Endress+Hauser iTHERM TM411 та Rosemount 0065. Порівняння їхніх технічних характеристик дозволило визначити найбільш придатний прилад для використання в проєктованій системі автоматизації. За результатами проведеної оцінки обрано давач температури Rosemount 0065, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 3.6.

Основні технічні характеристики розглянутих засобів вимірювання температури наведено в таблиці 3.6.

Давачі температури	Endress+Hauser iTHERM TM411	Rosemount 0065
Діапазон вимірювань	від -200 до +600 °C	від -50 до +450 °C
Тип сенсора	Pt100	Pt100
Температура навколишнього середовища	від -40 до +85 °C	від -40 до +85 °C
Вихідний сигнал постійного струму	4–20 мА/HART, PROFIBUS PA	4–20 мА/HART, Foundation Fieldbus, Wireless HART
Похибка	±0,1 °C	±0,08 °C
Ступінь захисту	IP66/IP67	IP68

За результатами аналізу технічних характеристик для автоматизованої системи керування процесом підготовки нафти було обрано Rosemount 0065. Даний

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

давач характеризується високою точністю вимірювання, розширеними можливостями передачі даних завдяки підтримці протоколів HART, Foundation Fieldbus та Wireless HART, а також високим ступенем захисту IP68, що забезпечує його надійну роботу в складних умовах нафтогазового виробництва.



Рисунок 3.7 – Rosemount 0065

Rosemount 0065 [8] належить до промислових засобів вимірювання температури, які використовуються для контролю технологічних процесів у різних галузях промисловості. Завдяки високій надійності та точності вимірювань цей прилад широко застосовується на підприємствах нафтогазового комплексу, хімічної промисловості, енергетики, а також у харчовому та фармацевтичному виробництві.

Конструкція давача передбачає використання міцного металевого корпусу, який забезпечує захист внутрішніх елементів від впливу несприятливих факторів виробничого середовища. Передавання виміряного значення температури здійснюється за допомогою уніфікованого струмового сигналу 4–20 мА, що спрощує підключення пристрою до сучасних систем автоматизованого керування та моніторингу.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

До основних переваг Rosemount 0065 належать висока точність вимірювання, стабільність метрологічних характеристик протягом тривалого часу експлуатації та можливість роботи в широкому діапазоні температур. Прилад розрахований на використання в складних виробничих умовах і забезпечує надійне функціонування навіть за наявності значних механічних та температурних навантажень.

Висновки до розділу

У даному розділі було розроблено функціональну схему автоматизації процесу підготовки нафти на базі трифазного сепаратора. Визначено склад та взаємозв'язок засобів автоматизації, необхідних для контролю, регулювання та керування технологічним процесом. Розроблена схема забезпечує безперервний контроль основних технологічних параметрів, а саме тиску, температури, рівня нафти та води в сепараторі, а також витрати робочих середовищ на вході та виході установки.

У процесі проєктування було визначено основні контури контролю та регулювання, що забезпечують підтримання заданих режимів роботи сепаратора. Передбачено використання системи сигналізації для своєчасного виявлення відхилень технологічних параметрів від допустимих значень та запобігання виникненню аварійних ситуацій.

У процесі проєктування автоматизованої системи керування було виконано підбір технічних засобів, необхідних для реалізації функцій контролю та регулювання технологічного процесу. Основним елементом системи обрано програмований логічний контролер Siemens S7-313C, який відповідає вимогам щодо продуктивності, надійності та функціональних можливостей. Використання цього контролера дозволяє забезпечити ефективну обробку технологічної інформації, реалізацію алгоритмів керування та взаємодію із засобами польового рівня й операторськими станціями.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для вимірювання технологічних параметрів обрано датчик тиску Rosemount 3051, сигналізатор рівня Rosemount 2140, рівнемір Rosemount 5300, витратомір Rosemount 8700 та датчик температури Rosemount 0065. Обране обладнання характеризується високою точністю вимірювань, надійністю роботи та підтримкою сучасних промислових протоколів зв'язку.

Використання сучасних засобів автоматизації дозволяє забезпечити високу якість контролю технологічного процесу, підвищити ефективність сепарації нафти, знизити вплив людського фактора та підвищити рівень безпеки експлуатації установки. Розроблена функціональна схема автоматизації є основою для подальшого створення програмного забезпечення контролера, розроблення алгоритмів керування та побудови системи диспетчерського контролю технологічного процесу.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ В СЕПАРАТОРІ

4.1 Отримання ПФ трифазного сепаратора за каналом регулювання рівня води

Підтримання заданого рівня водної фази в трифазному сепараторі є однією з ключових умов стабільного перебігу процесу сепарації. Відхилення цього параметра від установлених значень негативно впливає на якість розділення фаз та загальну ефективність роботи обладнання. Надмірне накопичення води в апараті може погіршувати процес відокремлення нафти та сприяти збільшенню її обводненості. Водночас недостатній рівень водної фази здатний порушити нормальний режим експлуатації сепаратора, що може призвести до пошкодження технологічного обладнання та виникнення небажаних виробничих ситуацій.

Для побудови математичної моделі та дослідження системи автоматичного регулювання рівня води використовуються змінні та параметри, які характеризують геометричні особливості сепаратора, фізичні властивості робочого середовища та умови функціонування регулювального органу. Перелік прийнятих позначень і відповідних величин наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Змінні та параметри математичної моделі системи

Позначення	Характеристика параметра	Одиниця вимірювання
$h(t)$	Поточне значення рівня водної фази в сепараторі	м
L	Довжина ділянки, зайнятої водою	м
r	Радіус корпусу сепаратора	м
$Q_{in}(t)$	Об'ємна витрата води на вході	м ³ /год
$Q_{out}(t)$	Об'ємна витрата води на виході	м ³ /год
$P_g(t)$	Тиск газової фази в сепараторі	Па

Позначення	Характеристика параметра	Одиниця вимірювання
Cv	Коефіцієнт пропускної здатності регулювального клапана	—
h0(t)	Рівень нафтової фази	м
ρo	Густина нафти за робочих умов	кг/м³
ρw	Густина води за робочих умов	кг/м³
u(t)	Керуючий сигнал, що визначає ступінь відкриття клапана	—
Umax	Максимально допустима площа прохідного перерізу клапана	м²
ΔPout	Перепад тиску на регулювальному клапані	Па
Pw	Тиск середовища після клапана	Па

Кількість водної фази, що міститься в сепараторі, визначається поточним положенням межі розділу фаз і конструктивними параметрами апарата. Оскільки сепаратор має циліндричну форму, залежність між рівнем води та її об'ємом є нелінійною. Для визначення об'єму води використовується геометрична модель поперечного перерізу сепаратора, яка описується виразом:

$$V(h) = \left(r^2 \cos^{-1} \left(\frac{r-h}{r} \right) - (r-h) \sqrt{2rh - h^2} \right) L. \quad (4.1)$$

Надійна робота технологічного обладнання забезпечується лише за умови підтримання рівня водної фази в допустимому діапазоні. Вихід цього параметра за встановлені межі може негативно впливати на процес сепарації та призводити до порушення технологічного режиму. Тому значення рівня повинно знаходитися між нижньою та верхньою границями спрацювання системи сигналізації, які відповідають аварійно низькому та аварійно високому рівням рідини. Співвідношення спрощується як лінійна залежність у цьому інтервалі: $V(h) = ALh(t)$ де $A \approx \pi r^2$.

Зміна об'єму водної фази в сепараторі в часі:

$$\frac{dV(t)}{dt} \approx AL \left(\frac{dh(t)}{dt} \right) = Q_{in}(t) - (t). \quad (4.2)$$

Витрату води через клапан визначено як:

$$Q_{out} = C_v f(u) \sqrt{\frac{\Delta P_{out}}{p_w}}, \quad (4.3)$$

де $f(u)$ описує характеристику відкриття клапана, яка залежить від відсотка його відкриття u .

Перепад тиску на клапані ΔP_{out} можна оцінити як:

$$\Delta P_{out} = P_g(t) + \rho_0 g h_0(t) + \rho_w g h(t) - P_w(t). \quad (4.4)$$

Оцінювання коефіцієнта пропускної здатності регулювального клапана (C_v) виконується на основі експериментальних даних, отриманих під час спостереження за роботою сепараційної установки. Для розрахунку використовуються значення витрати водної фази, рівнів води та нафти, тиску газового середовища в сепараторі, а також тиску води після регулювального клапана. Визначення параметра здійснюється методом найменших квадратів, який забезпечує мінімізацію розбіжності між результатами математичної моделі та фактичними вимірюваннями. За припущенням про незмінність густини водної фази шукане значення коефіцієнта (C_v) знаходиться шляхом розв'язання відповідного рівняння:

$$\min_{C_v} \Sigma \left(Q_{out}(i) - C_v \cdot u(i) \cdot U_{max} \cdot \sqrt{\frac{\Delta P_{out}(i)}{p_w}} \right)^2. \quad (4.5)$$

Для спрощення подальшого аналізу системи приймається припущення, що тиск газової фази в сепараторі, тиск за водяним регулювальним клапаном та рівень нафтової фази залишаються практично незмінними або їх вплив на динаміку процесу є незначним. За таких умов відхилення зазначених параметрів від робочих значень можуть бути знехтувані, що дає змогу виконати лінеаризацію початкової нелінійної математичної моделі в околі номінального режиму функціонування установки. Підставляючи конкретні значення параметрів системи, лінеаризовану модель можна подати у вигляді:

$$47.55 \left(\frac{d\Delta h(t)}{dt} \right) = Q_{in}(t) - 1.82\Delta h(t) - 10.83\Delta u(t), \quad (4.6)$$

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

де $\Delta h(t)$ та $\Delta u(t)$ представляють відхилення рівня води та положення клапана від стану рівноваги.

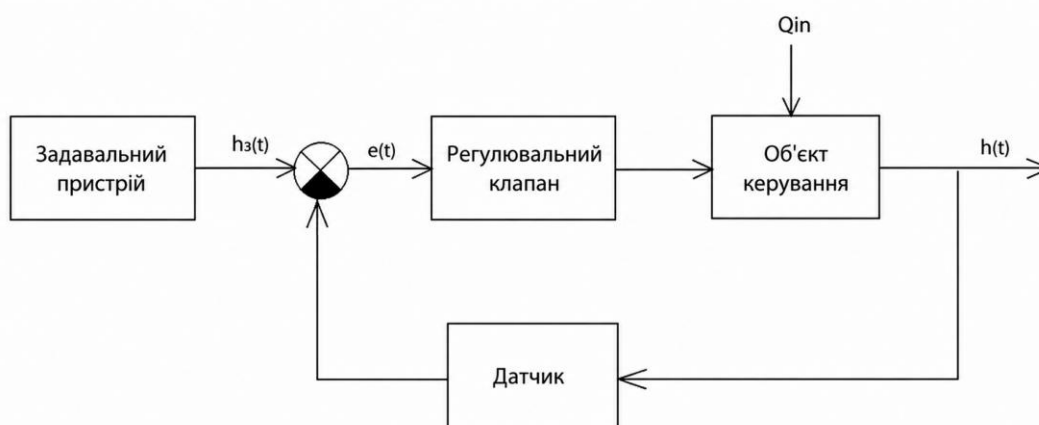
Після виконання необхідних математичних перетворень отримано передавальну функцію об'єкта, яка встановлює залежність вихідної величини $h(t)$ від керуючого впливу $u(t)$ та зовнішнього збурення $Q_{in}(t)$. Вона має такий вигляд:

$$G(s) = \frac{243.5s + 4382}{47.55s^2 + 245.3s + 4382}. \quad (4.7)$$

4.2 Аналіз САР регулювання рівня води в трифазному сепараторі

На основі розробленої математичної моделі системи автоматичного керування процесом підготовки нафти проведено дослідження її динамічних властивостей. Для оцінювання поведінки системи в часовій та частотній областях визначено перехідні характеристики, а також побудовано частотні та логарифмічні частотні характеристики [9].

З метою аналізу процесу регулювання рівня водної фази сформовано структурне представлення системи керування, яке відображає взаємодію основних елементів контуру автоматичного регулювання. Відповідна функціональна схема системи наведена на рисунку 4.1.



$h_3(t)$ – задане значення рівня водної фази; $h(t)$ – поточне значення регульованої величини; $Q_{in}(t)$ – зовнішній збурювальний вплив, що характеризує швидкість надходження води до сепаратора

Рисунок 4.1 – Структурна схема САК

Структурна схема математичної моделі в Simulink [10] наведена на рисунку 4.2.

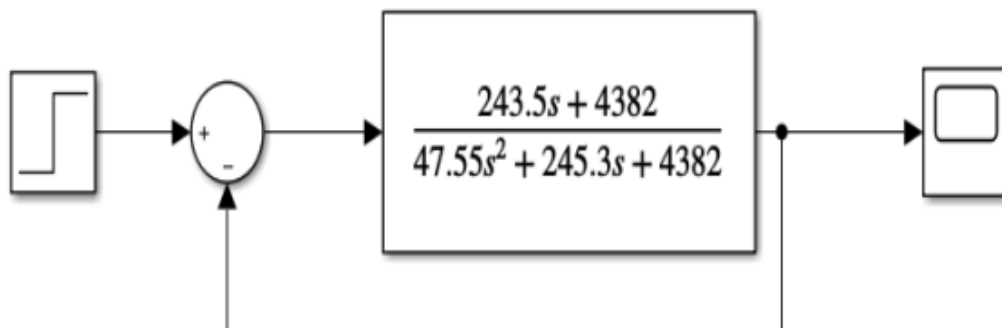


Рисунок 4.3 – Структурна схема в Matlab

На основі побудованої структурної схеми було проведено моделювання роботи замкненої системи та отримано її перехідну характеристику, яка наведена на рисунку 4.4.

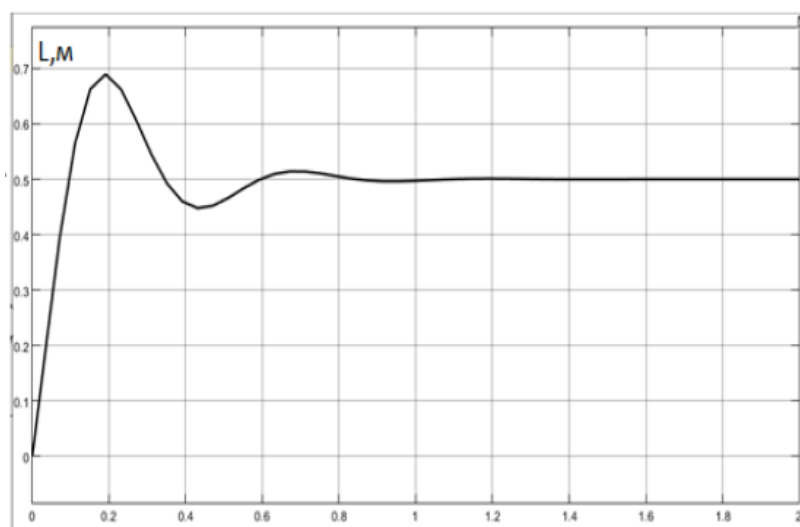


Рисунок 4.4 – Результат моделювання структурної схеми

Аналіз результатів показав, що система зберігає стійкість у процесі функціонування, проте значення вихідної величини не досягає заданого рівня. Крім того, у перехідному процесі спостерігається перевищення усталеного значення, що свідчить про наявність перерегулювання.

Для покращення показників якості регулювання, зменшення статичної похибки та оптимізації динамічних властивостей системи доцільно виконати синтез регулятора, параметри якого забезпечать досягнення необхідних характеристик перехідного процесу.

Для побудови АФЧХ розімкненої системи необхідно визначити уявну та дійсну частини характеристичного рівняння:

$$G(s) = \frac{243.5s+4382}{47.66s^2+490.5s+8764}, \quad (4.8)$$

Для переходу до аналізу системи в частотній області виконаємо заміну комплексної змінної Лапласа s на jw :

$$G(jw) = \frac{243.5jw+4382}{47.55(jw)^2+490.5jw+8764},$$

Помножимо чисельник і знаменник на комплексно-спряжене число:

$$G(jw) = \frac{-j11575.4w^3-88805w^2-j156752w+38404883}{76807695-592864.04w^2+2260.024w^4}.$$

Виділяємо дійсну та уявну частини за формулами:

$$Re(w) = \frac{-88805w^2+38404883}{76807695-592864.04w^2+2260.024w^4}. \quad (4.9)$$

$$Im(w) = \frac{-11578.4w^3+156752w}{76807695-592864.04w^2+2260.024w^4}. \quad (4.10)$$

Координати дійсної та уявної частин АФЧХ при зміні частоти $\omega = [\infty, 0]$ занесено до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Таблиця значень дійсної та уявної частин

ω	$Re(\omega)$	$Im(\omega)$
0	0,50	∞
5	0,56	-0,024
10	0,73	-0,29
15	0,32	-0,68
∞	0	0

Використовуючи дані таблиці 4.2, побудуємо графік АФЧХ розімкненої системи, який наведено на рисунку 4.5.

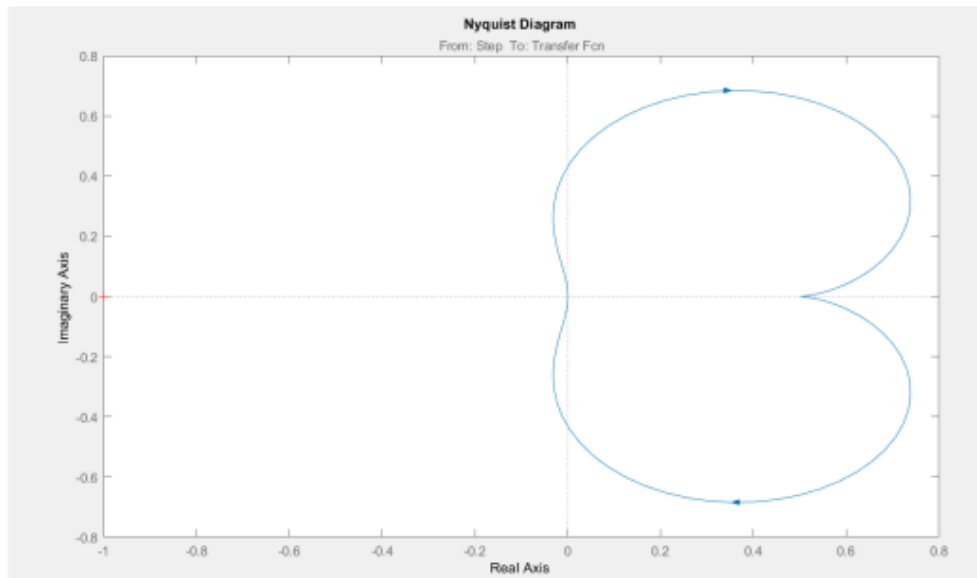


Рисунок 4.5 – Амплітудно-фазова частотна характеристика системи

Амплітудно-частотна характеристика системи визначається на основі модуля комплексної частотної функції. Для її розрахунку використовується вираз:

$$A(\omega) = \sqrt{Re^2(\omega) + Im^2(\omega)}. \quad (4.11)$$

Підставляємо рівняння (4.9) та (4.10) у формулу (4.11) і складаємо таблицю 4.3 значень АЧХ.

Таблиця 4.3 – Таблиця значень АЧХ

ω	0	10	100	∞
$A(\omega)$	∞	0,8	0,06	0

На основі числових значень, поданих у таблиці 4.3, побудовано амплітудно-частотну характеристику системи. Отриманий графік наведено на рисунку 4.6.

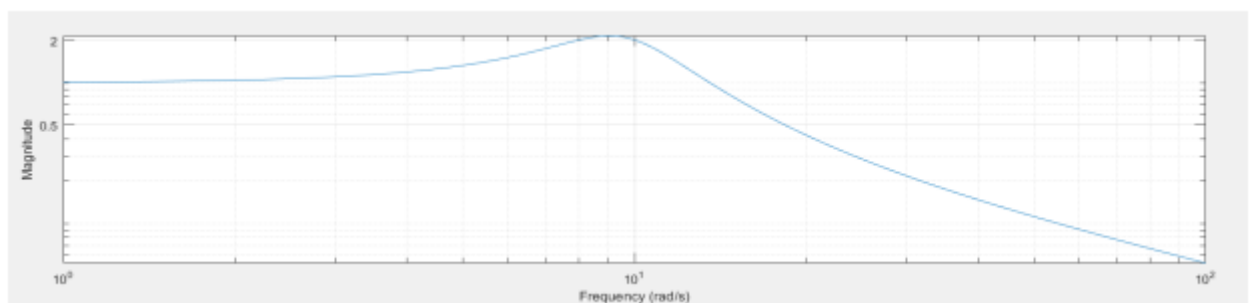


Рисунок 4.6 – Графік АЧХ

Для побудови ФЧХ використовується така формула:

$$\varphi(w) = \arctan \left(\frac{\text{Im}(w)}{\text{Re}(w)} \right). \quad (4.12)$$

Значення фазочастотної характеристики, отримані для діапазону кутових $\omega = [0; \infty)$, подано в полярній системі координат. Результати розрахунків зведено до таблиці 4.4, яка містить координати ФЧХ для досліджуваних значень частоти.

Таблиця 4.4 – Значення фазочастотної характеристики

Кутова частота, ω	Фазовий зсув, $\varphi(\omega)$, град
0	0
1	-0,05
10	-24,21
100	-94,44
1000	-90
∞	-90

На основі результатів розрахунків, наведених у таблиці 4.4, побудовано графік фазочастотної характеристики системи. Отриману залежність подано на рисунку 4.7.

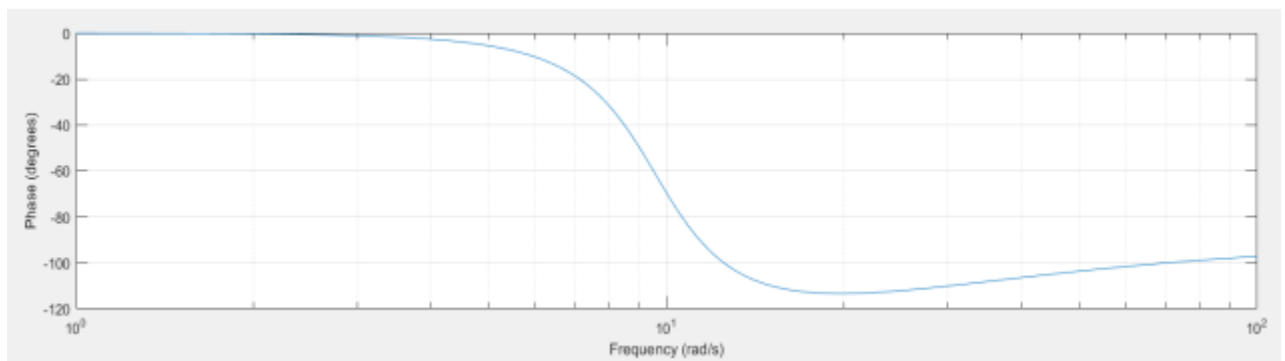


Рисунок 4.7 – Графік ФЧХ

Для дослідження частотних властивостей розімкненого контуру керування виконано побудову логарифмічної амплітудно-частотної та логарифмічної фазочастотної характеристик. Розрахунок значень, необхідних для побудови зазначених залежностей, здійснюється за таким виразом:

$$L(w) = 20 \lg(A(w)).$$

Після підстановки числових значень параметрів $\omega = (0; +\infty]$, заповнюється таблиця 4.5 значень ЛАЧХ.

Таблиця 4.5 – Значення логарифмічної амплітудної характеристики системи

ω	$L(\omega)$
0	0
1	-5,6
10	-2,01
100	-25,83
1000	-46

За даними таблиці побудуємо графік ЛАЧХ, який представлено на рисунку 4.8.

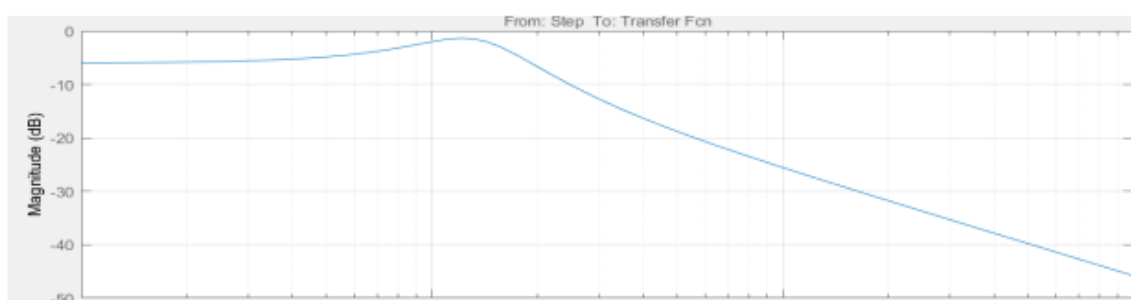


Рисунок 4.8 – Графік ЛАЧХ

Для побудови ЛФЧХ використовується така формула:

$$\varphi(\omega) = \arctan\left(\frac{\text{Im}(w)}{\text{Re}(w)}\right).$$

За даними таблиці 4.6 будується графік, як показано на рисунку 4.9.

Таблиця 4.6 –Результати побудови логарифмічної фазочастотної характеристики

Кутова частота ω , рад/с	Фазовий кут $\varphi(\omega)$, °
0	0
1	-0,045
10	-24,22
100	-94,41
1000	-90
∞	-90

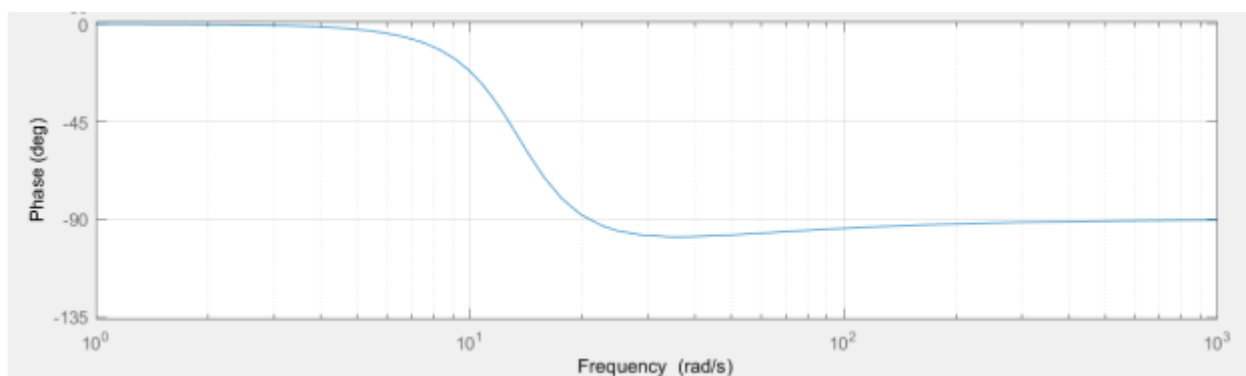


Рисунок 4.9 – Графік логарифмічної фазочастотної характеристики

4.3 Аналіз характеристик перехідного процесу в замкненій системі керування рівнем води

На основі отриманої перехідної характеристики замкненої системи виконано визначення прямих показників якості регулювання та перевірено їх відповідність встановленим вимогам до роботи системи. Оцінювання здійснюється за основними часовими характеристиками перехідного процесу, які дозволяють зробити висновок щодо швидкодії, точності та стійкості системи керування.

До основних показників якості належать максимальне значення вихідного сигналу (Peak Response), час наростання перехідної характеристики (Rise Time), час встановлення (Settling Time) та усталене значення вихідної величини (Steady State) [11]. Графічна інтерпретація зазначених параметрів наведена на рисунку 4.10.

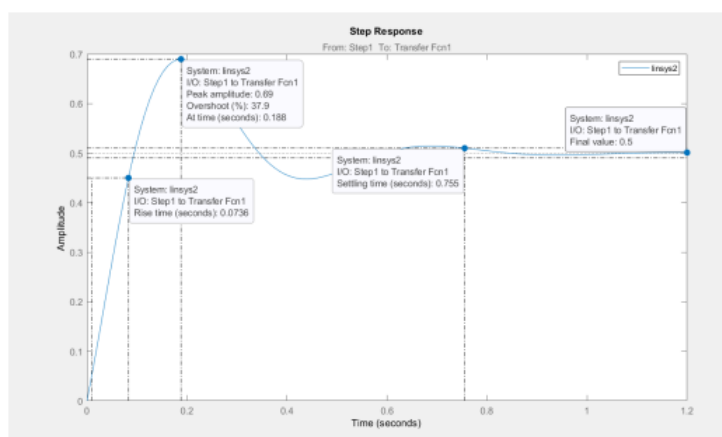


Рисунок 4.10 – Перехідний процес замкнутої системи

Із графіка отримуємо дані щодо прямих оцінок якості:

- перерегулювання $Pov = 37.9\%$.
- час досягнення першого максимуму $T1max = 0.2\text{ с}$.
- час регулювання $Tset = 0.7\text{ с}$.
- усталене значення $yss = 0.5$.
- час наростання $Tr = 0.07\text{ с}$.

Для додаткового аналізу динамічних властивостей системи визначено непрямі показники якості замкнутого контуру керування. Їх розрахунок дає змогу оцінити частотні характеристики системи, ступінь її коливальності та запас стійкості. Результати визначення непрямих оцінок якості наведено на рисунку 4.11.

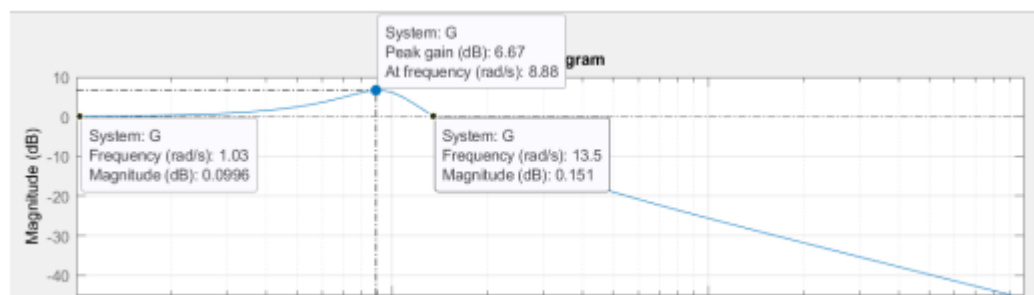


Рисунок 4.11 – Непрямі оцінки якості

Для більш повного оцінювання динамічних властивостей системи визначено непрямі показники якості регулювання. За результатами частотного аналізу розімкненого контуру встановлено, що частота зрізу становить $\omega_c = 13.5$, резонансна частота — $\omega_r = 8.88$, а смуга пропускання знаходиться в межах від 0 до 15,7 рад/с. Максимальне значення амплітудно-частотної характеристики дорівнює $A_{max} = 2.16$.

Для замкненої системи також визначено основні непрямі показники якості. Аналіз показав, що резонансна частота становить $\omega_r = 8.8$, смуга пропускання зберігається в межах $[0; 15.7]$ рад/с, коефіцієнт коливальності системи дорівнює $\mu = 2.12$, а частота зрізу становить $\omega_c = 12.8$.

Отримані значення прямих і непрямих показників якості використовуються для оцінювання відповідності системи заданим вимогам та узагальнені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Оцінки якості замкнутої системи

№	Оцінка якості	Прямі	Непрямі	Відповідність вимогам
1	Час регулювання T_{set}	0,7	1,56	—
2	Перерегулювання P_{ov}	37,9 %	40 %	Не відповідає
3	Кількість коливань n	1	2	Відповідає
4	Коливальність μ	5 %	3,62 %	Не відповідає
5	Частота коливань ω	12,56	9,3	Відповідає
6	Усталена похибка e	0,5	0	Не відповідає
7	Час досягнення максимуму T_{1max}	0,188	0,32	—
8	Час наростання Tr	0,0736	—	—
9	Декремент затухання χ	0,61	—	—

Аналіз отриманих показників якості свідчить про те, що значення перерегулювання та коефіцієнта коливальності не задовольняють установленим вимогам до роботи системи автоматичного керування. Незважаючи на забезпечення стійкого режиму функціонування, динамічні характеристики системи потребують покращення.

Для підвищення якості регулювання та зменшення небажаних коливань доцільно виконати синтез типового регулятора. Введення регулятора в контур керування дозволить скоригувати динамічні властивості системи, знизити рівень перерегулювання та забезпечити більш плавний характер перехідного процесу. Значення усталеної похибки становить $e = 0.5$

4.4 Синтез типового регулятора

ПІД-регулятор належить до найбільш поширених засобів автоматичного керування, що застосовуються для забезпечення необхідної точності та стійкості технологічних процесів. Його принцип дії ґрунтується на формуванні керуючого

сигналу як суми трьох складових: пропорційної, інтегральної та диференціальної. Поєднання цих компонентів дозволяє ефективно компенсувати відхилення регульованої величини від заданого значення, зменшувати статичну похибку та покращувати динамічні характеристики системи.

Завдяки своїй універсальності ПД-регулятори широко використовуються в системах автоматизації різного призначення, де необхідно забезпечити стабільне функціонування об'єкта керування за наявності зовнішніх збурень і зміни режимів роботи. Розрахунок параметрів регулятора буде виконано методом Циглера–Ніколса №1 (ZN1).

Маємо перехідний процес розімкнутої системи, наведений на рисунку 4.12.

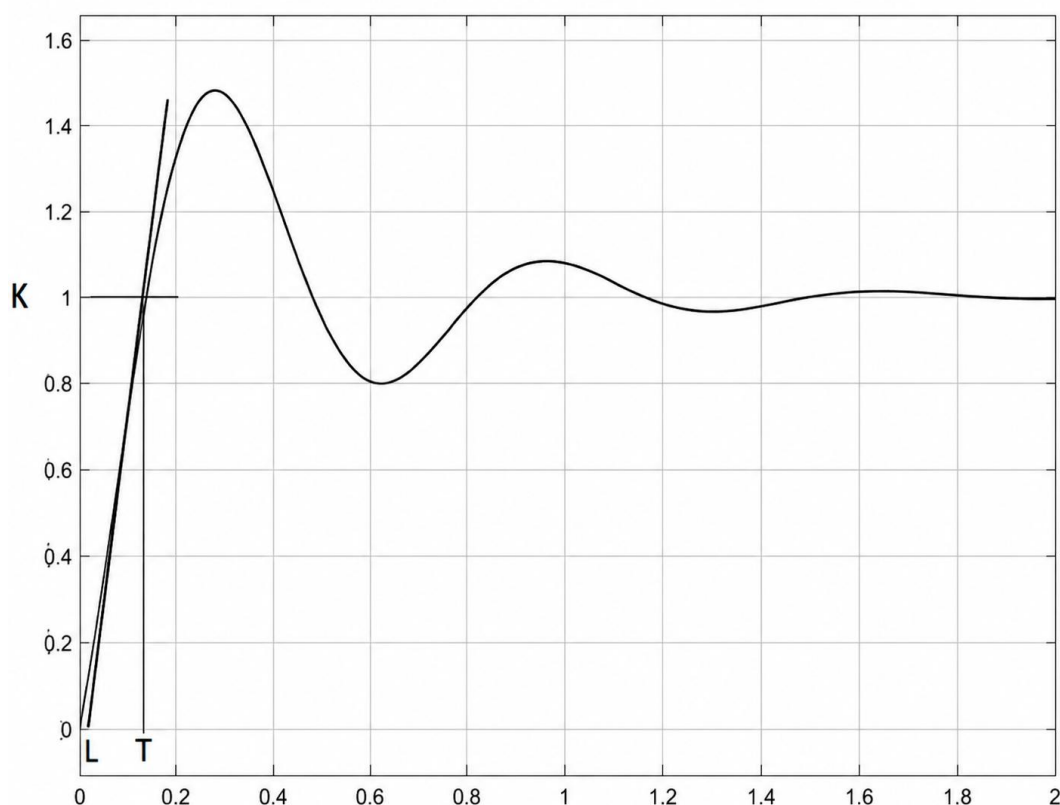


Рисунок 4.12 – Перехідний процес розімкнутої системи

На підставі отриманих результатів розрахунків визначено основні параметри налаштування ПД-регулятора. Розраховані значення коефіцієнтів використовуються для формування параметрів регулятора та наведені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Розраховані параметри налаштування регуляторів

Тип регулятора	Пропорційний коефіцієнт P	Інтегральна складова I/I	Диференціальна складова D
P	50	—	—
PI	45	15,1	—
PID	60	25	0,01

Для вибору найбільш ефективного закону регулювання виконаємо порівняльний аналіз П-, ІІ- та ІІД-регуляторів. Оцінювання проводиться з урахуванням основних показників якості перехідного процесу, зокрема швидкодії, величини перерегулювання, коливальності та усталеної похибки.

Порівняння різних типів регуляторів дає змогу визначити, який із них забезпечує найкраще поєднання точності, стійкості та динамічних властивостей для досліджуваної системи автоматичного керування рівнем води в сепараторі.

На рисунку 4.13 наведено графік перехідного процесу ІІ-регулятора.

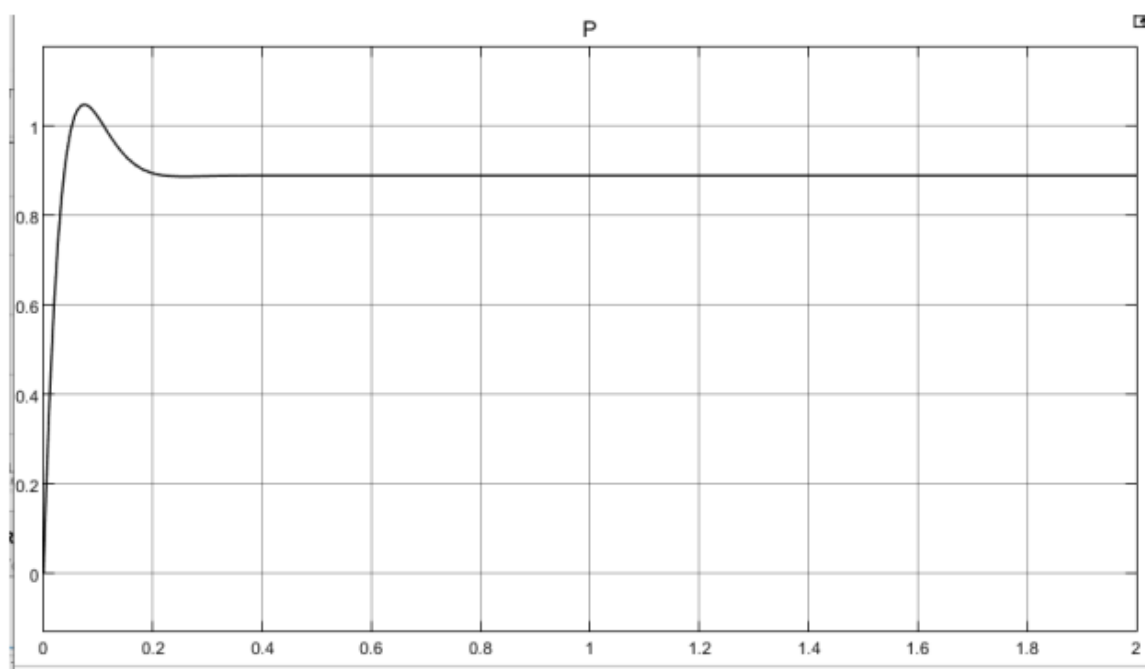


Рисунок 4.13 – Перехідний процес ІІ-регулятора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

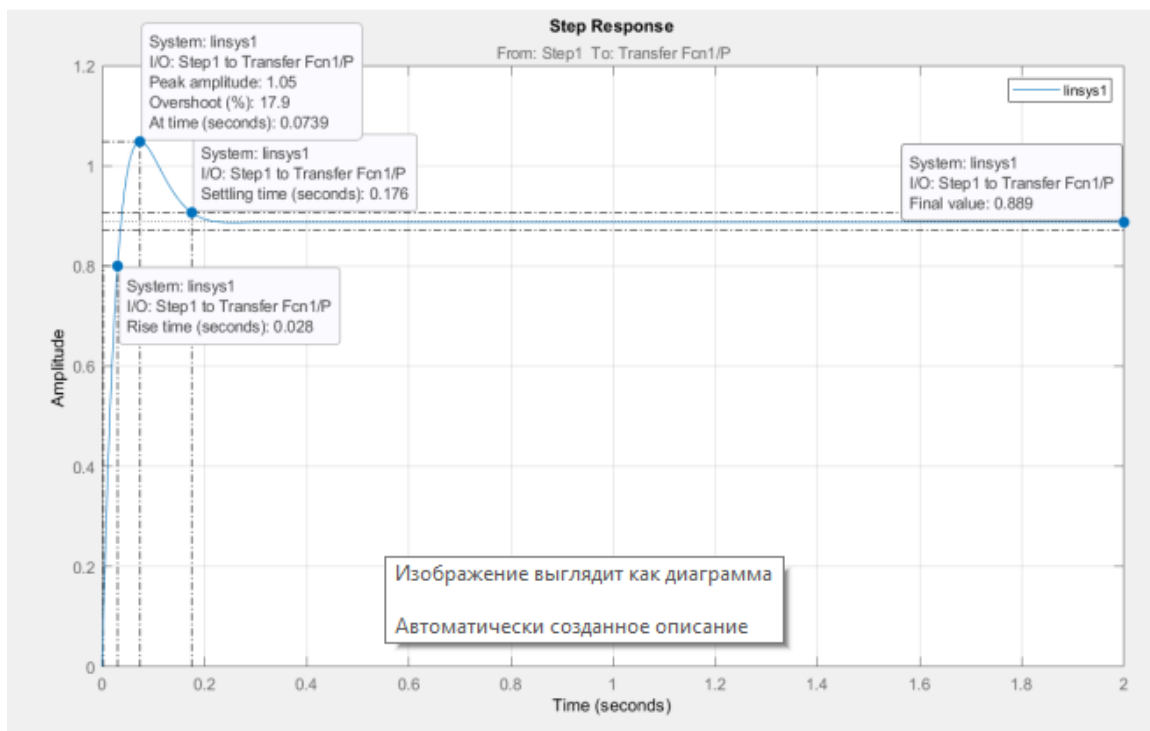


Рисунок 4.14 – Оцінки якості системи з П-регулятором

На рисунку 4.14 показано перехідний процес П-регулятора з оцінками якості.

У таблиці 4.9 наведено прямі оцінки перехідного процесу П-регулятора.

Таблиця 4.9 – Прямі оцінки якості П-регулятора

Параметр якості	Значення
Час регулювання, с	0,176
Перерегулювання, %	17,6
Кількість коливань	1
Коливальність	—
Період коливань, с	0,2
Час досягнення першого максимуму, с	0,074
Час наростання, с	0,028

Дослідимо вплив П-регулятора на стійкість замкнутої системи:

$$T(s) = \frac{Kp \cdot G(s)}{1 + Kp \cdot G(s)} = \frac{243.5s + 4382Kp}{47.55s^2 + 245.3s + 4382 + 243.5s + 4382Kp}$$

Характеристичне рівняння:

$$47.55s^2 + 245.3s + 4382 + 243.5s + 4382Kp = 0,$$

$$Kp > -1.$$

Визначення допустимого діапазону зміни коефіцієнта (P) виконується на основі критерію стійкості Гурвіца:

$$H = \begin{matrix} 488.8 & 0 \\ 47.55 & 4382 + 4382Kp \end{matrix} \Rightarrow \det(H) = 488.8 \cdot (4382 + 4382Kp) - 47.55 \cdot 0 > -1,$$

$$Kp > -1.$$

Аналіз результатів моделювання показав, що використання П-регулятора сприяє зменшенню часу встановлення та покращенню динамічних властивостей системи. Крім того, спостерігається зниження рівня коливань під час перехідного процесу. Однак вихідна величина не досягає заданого значення, що свідчить про наявність статичної похибки в усталеному режимі.

З огляду на це застосування П-регулятора не забезпечує виконання всіх вимог до якості регулювання для даної системи. Також слід зазначити, що для об'єкта другого порядку використання лише пропорційної складової не призводить до зміни стійкості системи, а впливає переважно на її швидкодію та характер перехідного процесу.

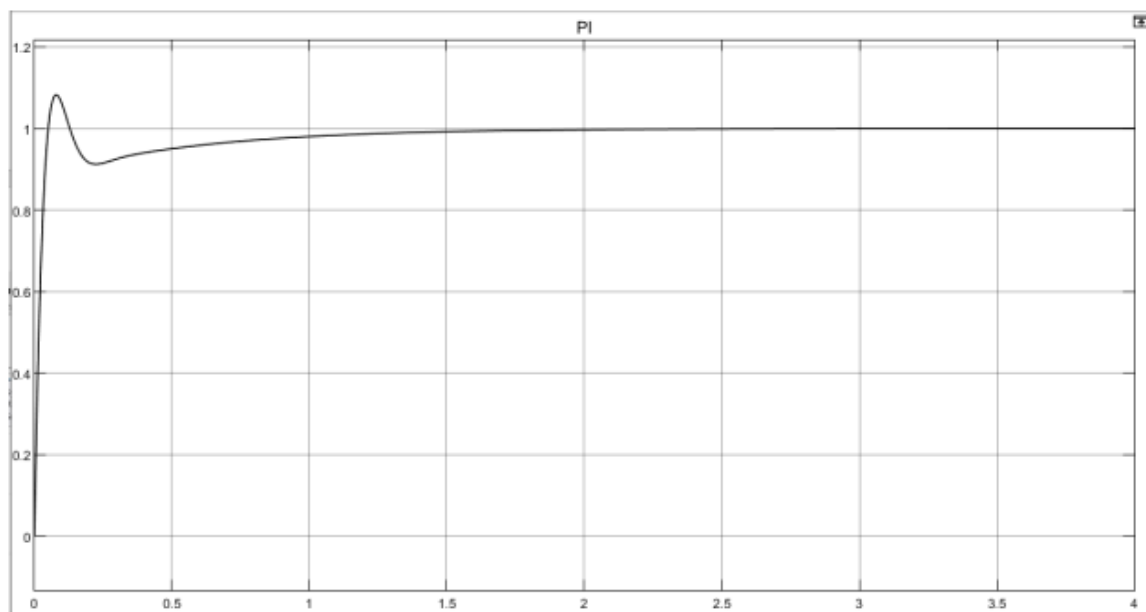


Рисунок 4.14 – Перехідний процес системи з П-регулятором

На рисунку 4.15 показано перехідний процес ПІ-регулятора з прямими оцінками якості.

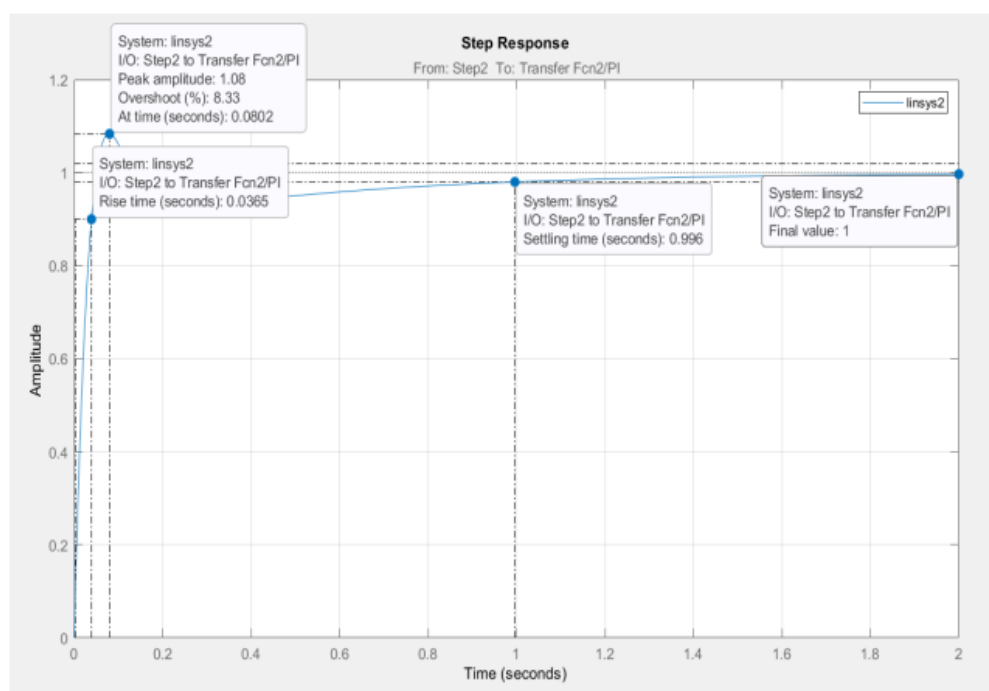


Рисунок 4.15 – Оцінки якості системи з ПІ-регулятором

У таблиці 4.10 наведено прямі оцінки перехідного процесу ПІ-регулятора.

Таблиця 4.10 – Прямі оцінки якості ПІ-регулятора

Оцінки якості	Система з ПІ-регулятором
Перерегулювання	8,33 %
Час регулювання	0,996 с
Кількість коливань	1
Період коливань	0,38 с
Колівальність	–
Час наростання	0,04 с
Час досягнення першого максимуму	0,08 с

Результати моделювання показали, що використання ПІ-регулятора призводить до збільшення часу регулювання та часу наростання порівняно з попереднім варіантом налаштування системи. Водночас спостерігається

покращення якості перехідного процесу за рахунок зменшення величини перерегулювання.

Важливою перевагою ПІ-регулятора є усунення статичної похибки, внаслідок чого вихідна величина досягає заданого значення в усталеному режимі. Отримані показники свідчать про відповідність характеристик системи поставленим вимогам, тому застосування ПІ-регулятора для даного об'єкта керування є доцільним.

На рисунку 4.16 показано перехідний процес ПІД-регулятора з прямими оцінками якості.

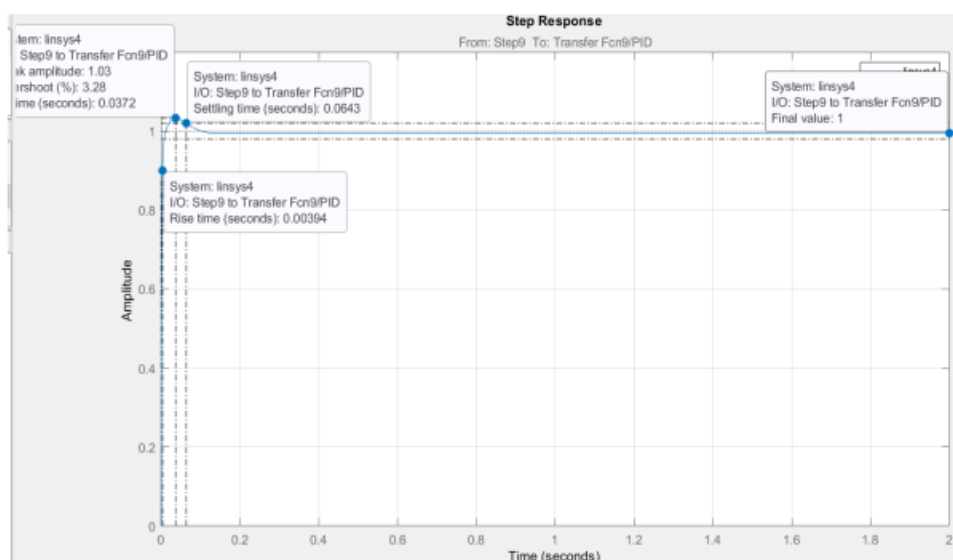


Рисунок 4.16 – Оцінки якості системи з ПІД-регулятором

У таблиці 4.11 наведено прямі оцінки перехідного процесу ПІД-регулятора.

Таблиця 4.11 – Прямі оцінки якості ПІД-регулятора

Оцінки якості	Система з ПІД-регулятором
Перерегулювання	3,28 %
Час регулювання	0,06 с
Кількість коливань	1
Період коливань	0,12 с
Коливальність	–
Час наростання	0,004 с
Час досягнення першого максимуму	0,04 с

Аналіз отриманих показників якості свідчить, що застосування ПІД-регулятора забезпечило найкращі результати серед розглянутих законів керування. У порівнянні з П- та ПІ-регуляторами спостерігається суттєве скорочення часу регулювання та часу наростання, а також значне зменшення величини перерегулювання. Крім того, система характеризується відсутністю усталеної похибки, що підтверджує досягнення заданого значення регульованої величини в усталеному режимі.

Проведене налаштування за першим методом Циглера–Ніколса дозволило отримати найбільш прийнятні параметри ПІД-регулятора для досліджуваної системи. Порівняльний аналіз показав, що використання П- та ПІ-регуляторів не забезпечує такого рівня якості регулювання, як ПІД-регулятор. Відповідні результати порівняння наведено на рисунку 4.17.

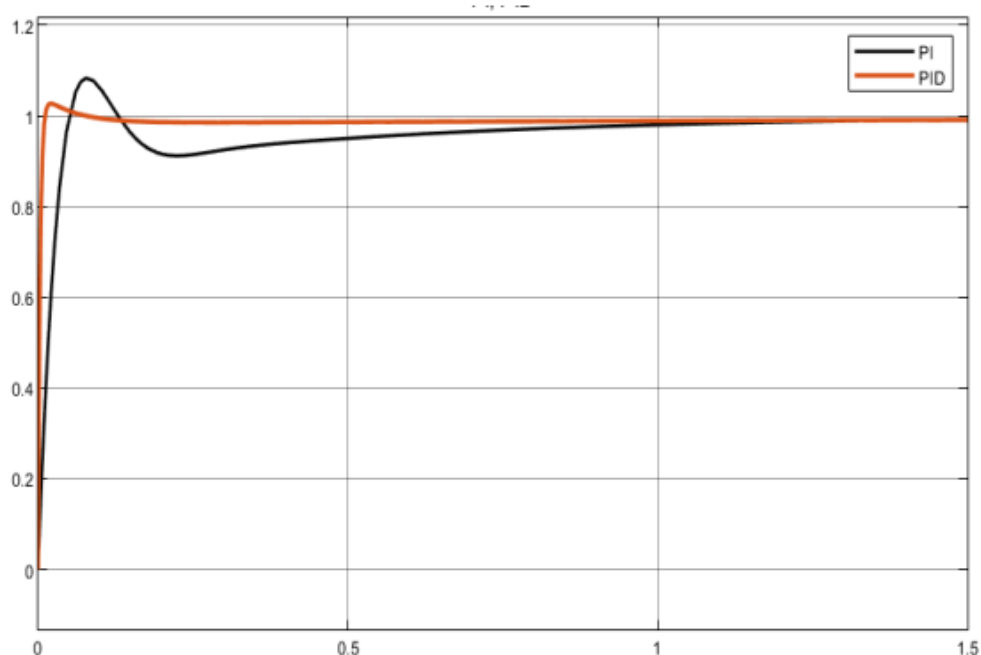


Рисунок 4.17 – Порівняння типових регуляторів

Висновки до розділу

У розділі виконано аналіз роботи системи автоматичного підтримання рівня водної фази в трифазному сепараторі та досліджено особливості її функціонування в різних режимах експлуатації.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

На основі матеріального балансу та конструктивних особливостей сепаратора отримано математичну модель об'єкта керування, яка після лінеаризації була представлена у вигляді передавальної функції. Отримана модель дозволяє досліджувати динамічні властивості системи та виконувати синтез регуляторів для забезпечення необхідних показників якості керування.

Для побудованої математичної моделі виконано аналіз системи автоматичного керування. Отримано перехідну характеристику, амплітудно-фазову, амплітудно-частотну, фазочастотну, логарифмічну амплітудно-частотну та логарифмічну фазочастотну характеристики. Аналіз результатів показав, що початкова система є стійкою, однак не забезпечує необхідної точності регулювання та характеризується значним перерегулюванням і ненульовою усталеною похибкою.

Проведено оцінювання якості роботи замкнутої системи за прямими та непрямыми показниками. Встановлено, що для початкової системи значення перерегулювання становить 37,9 %, а усталена похибка дорівнює 0,5, що не відповідає вимогам до якості регулювання. Отримані результати підтвердили необхідність синтезу регулятора для покращення динамічних характеристик системи.

Для дослідження було розглянуто П-, ПІ- та ПІД-регулятори. За результатами моделювання встановлено, що П-регулятор дозволяє зменшити час регулювання, проте не усуває усталену похибку. ПІ-регулятор забезпечує досягнення заданого значення та зменшує перерегулювання, однак характеризується більшим часом регулювання. Найкращі результати отримано при використанні ПІД-регулятора, який забезпечив мінімальний час регулювання, незначне перерегулювання та нульову усталену похибку.

Таким чином, за результатами проведених досліджень для системи автоматичного регулювання рівня води в трифазному сепараторі доцільно використовувати ПІД-регулятор із параметрами.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було розроблено автоматизовану систему керування процесом підготовки нафти на базі трифазного сепаратора. Проведено аналіз технологічного процесу підготовки нафти, розглянуто принцип роботи трифазного сепаратора та визначено основні параметри, які впливають на ефективність процесу сепарації. Встановлено, що найважливішими параметрами технологічного процесу є тиск, температура, рівень нафти, рівень води та витрата робочих середовищ.

У процесі виконання роботи було визначено точки контролю, керування та сигналізації, необхідні для забезпечення стабільної та безпечної роботи установки підготовки нафти. На основі проведеного аналізу розроблено структуру автоматизованої системи керування технологічним процесом, яка побудована за трирівневим принципом та включає нижній рівень засобів вимірювання і виконавчих механізмів, середній рівень програмованого логічного контролера та верхній рівень диспетчерського керування і візуалізації.

Розроблено функціональну схему автоматизації процесу підготовки нафти, яка забезпечує контроль, регулювання та моніторинг основних технологічних параметрів. Для реалізації системи автоматизації виконано вибір сучасних технічних засобів не російського виробництва. Як центральний пристрій керування обрано програмований логічний контролер Siemens S7-313C. Для вимірювання та контролю технологічних параметрів обрано датчик тиску Rosemount 3051, сигналізатор рівня Rosemount 2140, рівнемір Rosemount 5300, витратомір Rosemount 8700 та датчик температури Rosemount 0065. Обране обладнання характеризується високою точністю вимірювань, надійністю роботи та підтримкою сучасних промислових протоколів зв'язку.

У роботі було отримано математичну модель трифазного сепаратора за каналом регулювання рівня води. На основі розробленої моделі проведено дослідження системи автоматичного регулювання, побудовано перехідні та частотні характеристики, а також виконано аналіз показників якості перехідного процесу.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати дослідження показали, що початкова система є стійкою, однак не забезпечує необхідних показників якості регулювання через наявність значного перерегулювання та усталеної похибки.

Для покращення характеристик системи виконано синтез типових регуляторів методом Циглера–Ніколса та проведено порівняльний аналіз П-, ПІ- та ПІД-регуляторів. За результатами моделювання встановлено, що найкращі показники якості забезпечує ПІД-регулятор, який дозволяє суттєво зменшити час регулювання, час наростання перехідного процесу та величину перерегулювання, а також усунути усталену похибку.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленої системи автоматизації на установках підготовки нафти для підвищення ефективності процесу сепарації, покращення якості підготовленої нафти, зменшення втрат вуглеводневої сировини та підвищення рівня безпеки експлуатації технологічного обладнання. Використання сучасних засобів автоматизації та оптимальних алгоритмів керування дозволяє підвищити надійність функціонування установки та знизити вплив людського фактора на технологічний процес.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Бойко В. С. Технологія видобування нафти : підручник. – Івано-Франківськ : Нова Зоря, 2012. – 827 с.
2. Орловський В. М. Технологія видобування нафти : навчальний посібник. – Харків : НТУ «ХПІ», 2022. – 308 с.
3. Siemens AG. SIMATIC S7-300 Automation System. URL: <https://www.siemens.com> (дата звернення: 20.06.2026).
4. Emerson Automation Solutions. Rosemount 3051 Pressure Transmitter Product Data Sheet. URL: <https://www.emerson.com> (дата звернення: 20.06.2026).
5. Emerson Automation Solutions. Rosemount 2140 Level Detector Product Data Sheet. URL: <https://www.emerson.com> (дата звернення: 20.06.2026).
6. Emerson Automation Solutions. Rosemount 5300 Guided Wave Radar Level Transmitter. URL: <https://www.emerson.com> (дата звернення: 20.06.2026).
7. Emerson Automation Solutions. Rosemount 8700 Magnetic Flowmeter System. URL: <https://www.emerson.com> (дата звернення: 20.06.2026).
8. Emerson Automation Solutions. Rosemount 0065 Temperature Sensor Product Data Sheet. URL: <https://www.emerson.com> (дата звернення: 20.06.2026).
9. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування : підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Київ : Либідь, 2007. – 656 с.
10. MathWorks. MATLAB and Simulink Documentation. URL: <https://www.mathworks.com/help> (дата звернення: 20.06.2026).
11. Проць Я. І., Савків В. Б., Шкодзінський О. К., Ляшук О. Л. Автоматизація виробничих процесів : навчальний посібник. – Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 344 с.

					БР.АКПз-45.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		