

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКПзд -10.00.00.000 ПЗ

група АКП -23-2К

Володимир Роман

2025

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

Роман Володимир Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5: 536.2
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Автоматизація технологічного процесу гідроочистки нафтових

(назва роботи)

ОЛИВ

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

асистент Л.І. Лагойда
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент М.І. Когутяк
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКПзд-23-2К В.В. Роман
(шифр групи) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Науковий керівник

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

Допущено до захисту Завідуючий 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

А.І. Лагойда.

« » 20 року

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

Роману Володимиру Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація технологічного процесу гідроочистки нафтових олив

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

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 7 » травня 20 25 року № 53/8

2. Строк подання студентом роботи 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: Технологічна схема, технологічні параметри, технічна література, інтернет-ресурс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Аналіз технологічного процесу гідроочистки нафтових олив як з точки зору автоматизації. 2 Математичний опис об'єкту дослідження.

3 Розроблення проектної документації для САК технологічним процесом гідроочистки нафтових олив. Загальні висновки.

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

Лист 1 - Технологічна схема - БР.АКПзд-10.00.00.001

Лист 2 - Функціональна схема автоматизації - БР.АКПзд-10.00.00.002

Лист 3 - Результати експериментального дослідження - БР.АКПзд-10.00.00.003

Лист 4 - Синтез одноконтурної АСР - БР.АКПзд-10.00.00.004

Лист 5 - Синтез каскадної АСР- БР.АКПзд-10.00.00.005

Лист 6 – Дослідження стійкості АСР - БР.АКПзд-10.00.00.006

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота містить: 61 сторінки, 25 рисунків, 4 таблиця, 7 джерел.

Тема: «Автоматизація технологічного процесу гідроочистки нафтових олів».

Об'єкт дослідження: процес гідроочистки нафтових олів.

Метою роботи є удосконалення системи автоматизації процесу гідроочистки нафтових олів.

Методи дослідження. У даній роботі застосовано методологію системного аналізу, інструменти математичного моделювання та положення теорії автоматичного керування. Для оцінки динамічних характеристик автоматизованих систем регулювання використано аналітичні критерії стійкості.

Результати бакалаврської роботи.

Результати бакалаврської роботи полягають у комплексному дослідженні та розробці системи автоматизації технологічного процесу гідроочистки нафтових олів. Проведено аналіз технологічного процесу, описано фізико-хімічні основи та технічні характеристики обладнання. Розроблено математичну модель об'єкта керування з визначенням передавальних функцій та реалізовано моделювання автоматичних систем регулювання в Matlab Simulink. Обрано оптимальні конфігурації регуляторів на основі аналізу динамічних показників і підтверджено стійкість системи. Практична частина роботи включає обґрунтований вибір технічних засобів автоматизації та розробку функціональної схеми керування, що створює основу для подальшої реалізації ефективної системи автоматичного управління блоком гідроочистки.

Ключові слова: система керування, стійкість, технічні засоби, коксування.

ABSTRACT

The bachelor's thesis contains: 61 pages, 25 figures, 4 tables, and 7 references.

Title: "Automation of the Technological Process of Hydrofinishing of Petroleum Oils."

Research object: the process of hydrofinishing petroleum oils.

The aim of the work is to improve the automation system of the hydrofinishing process of petroleum oils.

Research methods: This work applies the methodology of system analysis, tools of mathematical modeling, and principles of automatic control theory. Analytical stability criteria were used to evaluate the dynamic characteristics of automated control systems.

Results of the bachelor's thesis:

The results consist of a comprehensive study and development of an automation system for the technological process of hydrofinishing petroleum oils. The technological process was analyzed; the physicochemical foundations and technical characteristics of the equipment were described. A mathematical model of the control object was developed, including the determination of transfer functions, and automatic control system modeling was implemented in Matlab Simulink. Optimal regulator configurations were selected based on the analysis of dynamic performance indicators, and system stability was confirmed. The practical part includes a justified selection of automation equipment and the development of a functional control scheme, which forms the basis for the further implementation of an effective automatic control system for the hydrofinishing unit.

Keywords: control system, stability, technical means, coking.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГІДРООЧИСТКИ НАФТОВИХ ОЛИВ З ТОЧКИ ЗОРУ АВТОМАТИЗАЦІЇ	11
1.1 Призначення і суть технологічного процесу.....	11
1.2 Характеристика реагентів, сировини та отриманої продукції.....	12
1.3 Аналіз технологічного процесу гідроочищення нафтових олив...	13
1.4 Опис технічної характеристики технологічного обладнання.....	17
Висновки до розділу.....	18
2 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ	19
2.1 Структурна схема об'єкта керування.....	19
2.2 Експериментальне моделювання об'єкта керування	20
2.3 Дослідження одноконтурної системи автоматичного регулювання	25
2.4 Дослідження каскадної системи регулювання.....	29
Висновки до розділу	31
3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ САК ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ГІДРООЧИСТКИ НАФТОВИХ ОЛИВ	35
3.1 Розроблення функціональної схеми процесу гідроочищення нафтових олив та підбір технічних засобів автоматизації	35
3.1.1 Давач вимірювання тиску.....	37
3.1.2 Давач вимірювання температури	41
3.1.3 Давач вимірювання витрати.....	44
3.1.4 Давач вимірювання рівня.....	46
3.1.5 Система контролю рівня загазованості приміщення.....	49
3.1.6 Операторська панель.....	51

					БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація технологічного процесу гідроочистки нафтових олив	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.	Роман В.В.							
Перевір.	Фешанич Л.І.						6	
Реценз.	Когутяк М.І.					АКПзд-23-2К ІФНТУНГ		
Н. Контр.	Лагойда Л.І.							
Затверд.	Лагойда А.І.							

3.2. Вибір програмованого логічного контролера.....	53
3.3 Використання ПЛК Siemens S7-1200 для технологічної сигналізації.....	57
Висновки до розділу.....	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	61

					БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Автоматизація виробництва та технологічних процесів є одним із ключових напрямів розвитку сучасної промисловості, спрямованим на впровадження енергетичних і технічних ресурсів неживої природи з метою здійснення, регулювання та контролю виробничих операцій без безпосереднього втручання людини. Такий підхід дозволяє досягти значного підвищення ефективності виробництва, зменшити обсяг ручної праці, забезпечити стабільність параметрів процесу та покращити якість кінцевої продукції. Автоматизація також відіграє вирішальну роль у створенні безпечніших і комфортніших умов праці для персоналу та у підвищенні загального рівня техногенної безпеки об'єкта.

У практиці промислової автоматизації реалізація керування технологічними процесами здійснюється за допомогою систем автоматичного управління і регулювання. Ці системи можуть включати як прості замкнені контури регулювання з одним датчиком і виконавчим механізмом, так і складні розподілені системи керування з інтеграцією у загальнозаводські інформаційно-керуючі комплекси. Вибір конфігурації та рівня автоматизації залежить від характеру технологічного процесу, масштабів виробництва, специфіки об'єкта, а також вимог до точності, оперативності та стабільності управління.

Залежно від поставлених цілей, на промислових об'єктах може впроваджуватись як часткова автоматизація, що охоплює окремі технологічні вузли або етапи, так і повна автоматизація, яка передбачає централізоване або дистанційне керування усім технологічним циклом. Сучасні автоматизовані системи управління (АСУТП) здатні інтегрувати функції вимірювання, обліку, регулювання, сигналізації, аварійного захисту та діагностики, формуючи єдиний інтелектуальний контур прийняття рішень.

Системна автоматизація промислових об'єктів і модернізація застарілих рішень істотно знижують вплив людського чинника, що є однією з головних

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		8

передумов зменшення кількості аварійних ситуацій та технологічних збоїв. Зниження залежності від операторських дій дає змогу підвищити точність регулювання параметрів, забезпечити повторюваність процесу, а також уникнути суб'єктивних помилок при прийнятті рішень у критичних ситуаціях.

Важливим аспектом впровадження сучасних систем автоматизації є реалізація комплексного моніторингу та обліку технологічних параметрів, що дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму, фіксувати перевищення гранично допустимих значень, а також оперативно інформувати диспетчерський персонал або запускати алгоритми аварійного захисту. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню рівня технологічної безпеки, надійності функціонування обладнання та відповідності екологічним стандартам.

Застосування автоматичних систем управління дозволяє значно оптимізувати виробничі процеси, покращити адміністрування технологічних об'єктів, забезпечити дистанційне керування та прийняття рішень на основі реальних даних, підвищити техніко-економічні показники підприємства, зокрема зменшити витрати на енергоносії, знизити втрати сировини та підвищити вихід цільового продукту.

Одним із найбільш актуальних напрямів автоматизації в нафтопереробній галузі є процес гідроочистки нафтових фракцій, що відіграє ключову роль у підвищенні якості паливно-мастильних матеріалів та зниженні їх шкідливого впливу на навколишнє середовище. Гідроочистка є складним каталітичним процесом, що відбувається в присутності водню за високих температур (300–450 °C) і тисків (до 10–20 МПа). У результаті цього процесу здійснюється глибока хімічна трансформація органічних сполук: знижується вміст сірчистих, азотистих та кисневих компонентів, усуваються смолисті речовини, граничні вуглеводні насичуються, а важкі фракції частково перетворюються на легші компоненти внаслідок гідрокрекінгу.

Автоматизація гідроочистки дозволяє з високою точністю підтримувати оптимальні технологічні умови, що забезпечує стабільність якості продукції,

					Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	9

зменшує споживання реагентів та енергії, а також подовжує ресурс роботи каталізатора. Водночас реалізація ефективної системи керування дає змогу оперативно реагувати на зміну вхідних параметрів сировини, здійснювати діагностику стану обладнання і запобігати нештатним ситуаціям, що є критично важливим у виробництвах з підвищеним рівнем пожежо- та вибухонебезпеки.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		10

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ГІДРООЧИСТКИ НАФТОВИХ ОЛИВ З ТОЧКИ ЗОРУ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Призначення і суть технологічного процесу

Технологічний процес гідроочистки являє собою хімічне перетворення речовин під дією водню в умовах високого тиску та температури. Цей процес застосовується для очищення нафтових фракцій з метою зменшення вмісту сірчистих сполук у товарних нафтопродуктах. У ході гідроочистки також відбуваються гідрокрекінг молекул вуглеводнів, зменшення насичення неграничних вуглеводнів, зниження вмісту смолистих речовин та кисневмісних сполук. Гідроочистка є одним з найпоширеніших процесів у нафтопереробній промисловості.

Процес гідродоочистки, як різновид гідроочистки, спрямований на зниження забарвлення та насиченості депарафінових рафінатів, а також на підвищення їхньої стійкості до окислення. У результаті цього процесу зменшуються коксованість і кислотність олив, знижується вміст сірки, температура застигання підвищується приблизно на 1–2 °С, а в'язкість олив змінюється незначно.

Вихід олив після завершення гідродоочистки становить 97–99 % маси від початкової сировини. Витрати водню, що бере участь безпосередньо в хімічній реакції, а також його кількість, розчинена в очищеному продукті або виведена разом з газами віддуву, становлять 0,2–0,4 % маси сировини. Витрати технічного водню, який надходить із установок каталітичного риформінгу, досягають 0,6–1,4 % маси сировини, з огляду на присутність у такому газі баластних домішок.

Установка для гідродоочистки складається з кількох основних секцій: нагрівальної, реакторної, сепараційно-стабілізуючої, а також секції очищення водневмісного газу від сірководню. Для процесу гідродоочистки депарафінових рафінатів характерним є одноразовий прохід сировини через реактор. Після видалення сірководню очищений водневмісний газ знову з'єднується з вихідною

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		11

сировиною й безперервно повертається в систему як свіжий водневмісний компонент.

Для збереження в'язкісних властивостей олив на необхідному рівні та недопущення підвищення температури спалаху масляного гідрогенізату, важливим є ефективне видалення розчинених газів і легких фракцій. Особливо широке застосування в нафтогазовій промисловості отримали установки гідродоочистки олив з високотемпературною сепарацією основної маси газів (при температурі 210–240 °С), що дає змогу здійснювати повторний нагрів гідрогенізату перед видаленням відгонів.

1.2 Характеристика реагентів, сировини та отриманої продукції

Гідрочищення є технологічним процесом, що використовується для видалення неграничних гетероатомних сполук у водневому середовищі за участю каталізаторів. У процесі гідрочистки алкани та циклоалкани залишаються хімічно інертними, тоді як алкадієни, поліциклічні ацени та алкени зазнають гідрування. Алкадієни гідруються до алканів за тиску 0,5–2 МПа та температури 300–350 °С. Для алкенів характерні умови гідрування при температурі 350–400 °С та тиску 2–3 МПа. Поліциклічні ацени гідруються за тиску 3–7 МПа при температурі 300–350 °С.

Стійкість хімічних зв'язків до гідрування залежить від природи зв'язку й упорядковується в такий спосіб: $S < C-O < C-N < \alpha-C-C$. Механізм розриву зв'язків типу $C-S$, $C-N$ і $C-O$ спрощується після ефективної хемосорбції молекул на поверхні каталізатора. Це зумовлено електронодонорними властивостями атомів сірки, кисню та азоту.

Для реалізації гідрочистки застосовують каталізатори, стійкі до дії отрут. Найбільш поширеними є сульфіди та оксиди металів змінної валентності (наприклад, нікелю, молібдену, вольфраму), які наносяться на оксид алюмінію, модифікований спеціальними добавками. У сучасній промисловості

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		12

використовують алюмокобальтмолібденові (АКМ) та алюмоникельмолібденові (АНМ) каталізатори. Окрім сірководню, у процесі можуть бути присутні інші сірковмісні сполуки, які гідруються з утворенням H_2S , який частково вводять у сировинний потік. Вміст сірки, пов'язаної з поверхнею каталізатора, зазвичай становить 4–6 %.

Промислові каталізатори характеризуються високою вибірковістю дії. АКМ-каталізатори ефективно сприяють розриву С–S-зв'язків, демонструють високу активність у гідруванні алкенів, а також у реакціях розриву зв'язків С–N і С–O, при цьому не відбувається руйнування С–С-зв'язків. Завдяки цьому такий тип каталізатора може бути застосований для гідроочистки всіх видів нафтових фракцій.

Сировина з високим вмістом тіофенів очищується з використанням зниженої об'ємної швидкості, порівняно із сировиною, яка містить сірку у формі меркаптанів чи сульфідів. При обробці важкої сировини або сировини вторинного походження також застосовують низькі об'ємні швидкості через високий вміст поліциклічних аренів, неграничних сполук та складність видалення високомолекулярних гетероатомних компонентів.

1.3 Аналіз технологічного процесу гідроочищення нафтових олів

Сировина з промислового парку, яка надходить із резервуарів Р–5, Р–6 та проміжних ємностей Е–3/3, Е–3/4, Е–3/5, проходить крізь фільтр А–16 і спрямовується до відцентрових підпірних насосів ВН–24 (ВН–25). Останні забезпечують подачу сировини під тиском 0,4–0,6 МПа на вхід насосів сировини ВН–1 (ВН–2, ВН–3). За допомогою цих насосів сировина транспортується під тиском 5,0–5,1 МПа в трубопровід, де здійснюється її змішування з циркулюючим газом гідроочищення та свіжим водневмісним газом, що надходить як надлишковий з процесу риформінгу.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		13

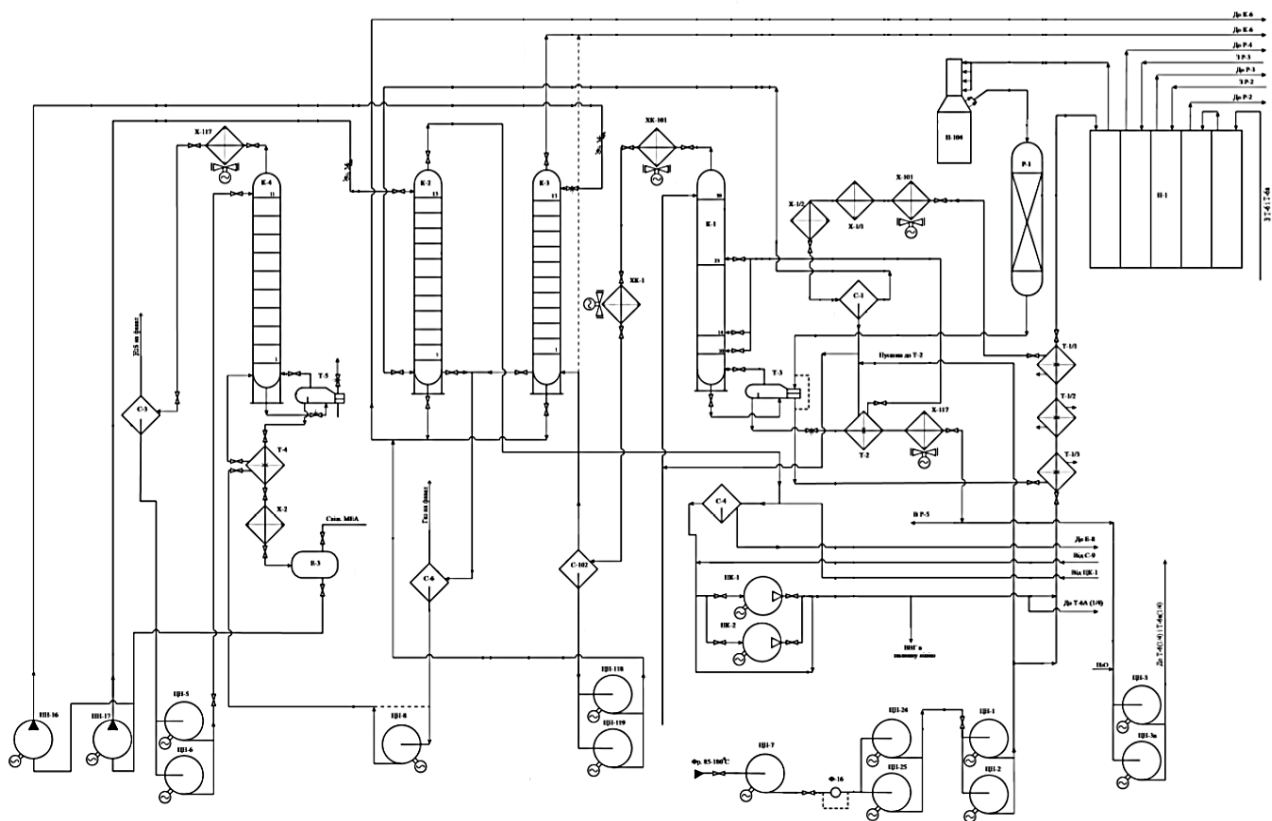


Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу гідроочищення нафтових олив

Отримана газосировинна суміш подається в міжтрубний простір теплообмінників Т-1/1 – Т-1/3, де за рахунок тепла нестабільного гідрогенізату здійснюється її попереднє нагрівання до температури 200–250 °С. Далі суміш надходить у конвекційну зону печі П-1, звідки подається двома потоками в конвекційну зону печі П-104, минаючи її радіантну зону. У результаті нагріву температура суміші досягає 310–360 °С, після чого вона спрямовується в реактор Р-1. У реакторі Р-1 за наявності нікель-молібденового каталізатора при температурі 310–360 °С та тиску 20–30 кгс/см² відбувається гідрування азотистих, сірковмісних і кисневмісних сполук.

Газопродуктова суміш із реактора Р-1 подається як теплоносій до ребойлера Т-3 відпарної колони К-1, де її температура знижується до 280–320 °С. Далі вона проходить через трубний простір теплообмінників, охолоджується до 120–140 °С, після чого надходить до холодильника повітряного охолодження Х-101 та водяного доохолоджувача Х-1/2, де її температура знижується до 45

°С. За цієї температури суміш спрямовується в сепаратор С-1, де при тиску 2,0–3,0 МПа відбувається розділення водневмісного газу та нестабільного гідрогенізату.

Водневмісний газ, що виділяється у верхній частині сепаратора С-1, надходить в абсорбер К-2 для очищення від сірководню. В якості абсорбенту застосовується 15% водний розчин моноетаноламіну (МЕА). Очищений газ після цього прямує до поршневих компресорів ПК-1 (ПК-2), проходить через сепаратор С-4, де виділяється легкий бензин, і після стиснення до 4,7–5,0 МПа знову повертається у систему гідроочищення. Конденсат із сепаратора С-4 надходить у факельну ємність Е-8.

Нестабільний гідрогенізат з нижньої частини сепаратора С-1, що містить розчинені гази, надходить до трубного простору теплообмінника Т-2, де підігрівається до 130–150 °С за рахунок стабільного гідрогенізату. Після цього гідрогенізат подається на 10, 14 та 23 тарілки відпарної колони К-1 (загалом у колоні 30 тарілок), де при тиску 0,6–1,2 МПа та температурі нижньої частини 270 °С відбувається відпарювання сірчистих, легких вуглеводнів, азотистих сполук та води. Температура у верхній частині колони становить 120–140 °С.

Контроль за вмістом домішок у стабільному гідрогенізаті забезпечує відповідність вимогам щодо масової частки сірки та азоту – не більше ніж 1 ppm. Щоб забезпечити вміст вологи у циркуляційному газі на рівні нижче 50 ppm, необхідно підтримувати ефективний режим відпарювання води в колоні К-1.

Парогазова суміш із верхньої частини колони К-1, після проходження через холодильник повітряного охолодження ХК-101 та водяний доохолоджувач ХК-1, надходить у сепаратор С-102. З нього легкий бензин насосами ВН-118 (ВН-119) спрямовується до блоку стабілізації (колони К-6), а відстояна вода видаляється у каналізацію.

Вуглеводневий газ із сепаратора С-102 направляється в абсорбер К-3 для очищення від сірководню за допомогою 15% розчину МЕА. Процес проходить при температурі 35–40 °С та тиску 1,2–1,3 МПа. Розчин МЕА у кількості 2–4

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		15

м³/год подається насосами ПН–16 (ПН–17) з ємності Е–3 у верхню частину колони. Після очищення вуглеводневий газ надходить у колону К–6 для подальшої стабілізації. Насичений сірководнем розчин МЕА з нижньої частини К–3 надходить у сепаратор С–6, де шляхом зниження тиску відокремлюються вуглеводневі гази та сірководень. Рідка фаза, що накопичується, направляється на стабілізацію в колону К–6.

Із нижньої частини колони К–1 гідрогенізат потрапляє в ребойлер Т–3, де підтримується температура 270 °С за рахунок теплоти, що міститься у газопродуктовій суміші з реактора Р–1. Парова фаза повертається в нижню частину колони К–1 для підвищення ефективності відпарювання. Стабільний гідрогенізат, очищений від сірководню та води, проходить через теплообмінник Т–2, де охолоджується до 130–150 °С, далі – через секції повітряного холодильника Х–117 (до 60–70 °С), після чого надходить до відцентрових насосів ВН–3 (ВН–3а). Частина стабільного гідрогенізату спрямовується до резервуарів Р–5 або Р–6 для накопичення.

Насичений розчин МЕА із сепаратора С–6 направляється у трубний простір теплообмінника Т–4, де нагрівається до 80–95 °С і подається у відгонну колону К–4 для регенерації. Вуглеводневий газ із сепаратора С–6 відводиться на спалювання.

У колоні К–4 при температурі 110–115 °С у верхній частині, 110–127 °С у нижній, та тиску до 0,15 МПа здійснюється відокремлення парів води, сірководню та вуглеводнів. Нагрівання нижньої частини колони здійснюється у підігрівачі Т–5. Пари із верхньої частини К–4 проходять повітряний холодильник Х–117, водяний холодильник ХК–2 і надходять у сепаратор С–3, де здійснюється відділення сірководню, води та рідких вуглеводнів. Газ із сірководнем під тиском 0,15 МПа направляється на факельне спалювання. Сірководнева вода насосами ВН–5 (ВН–6) повертається до колони К–4 на зрошення, а рідкі вуглеводні відводяться в каналізацію.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		16

Регенований розчин МЕА знизу колони К-4 проходить через теплообмінник Т-4 та холодильник Х-2, після чого потрапляє до ємності циркуляційного розчину Е-3. Звідти насосами ПН-16 (ПН-17) подається в абсорбери К-2 та К-3. Надлишковий об'єм повертається в ємність Е-3.

Для приготування 15% розчину МЕА під час первинного заповнення системи моноетаноламін із бочок подається ручними насосами Н-1 в ємність Е-3, де до нього додається водяний конденсат, що надходить через холодильник Х-3. Під час експлуатації установки дозакравлення ємності Е-3 проводиться за допомогою того ж насоса Н-1. У зимовий період, для уникнення кристалізації реагенту, бочки з МЕА попередньо підігріваються водяною парою. Ємність Е-3 обладнана дренажною системою для повного або часткового спорожнення в разі втрати властивостей розчином МЕА.

1.4 Опис технічної характеристики технологічного обладнання

Процес гідроочищення нафтових олив здійснюється на установці типу ЛГ-25-11/300, основним призначенням якої є глибоке очищення масляних фракцій з метою отримання компонентів для подальшого виробництва моторних та індустріальних олив. Технологічна структура установки включає три паралельних потоки гідроочищення, кожен з яких функціонує за ідентичною схемою, оснащений однаковими системами контролю та обладнанням, а також об'єднаний загальним вузлом для очищення водневмісного циркулюючого газу від сірководню. Така конфігурація забезпечує можливість одночасного, незалежного очищення трьох типів сировини.

Функціональне призначення установки полягає у реалізації комплексу операцій, що забезпечують ефективне керування та моніторинг технологічного процесу гідроочищення нафтових олив. Серед основних функцій установки виділяють:

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		17

– автоматизоване виконання протиаварійного захисту (ПАЗ), що включає аварійне вимкнення технологічного обладнання та блокування для забезпечення безпечної експлуатації установки;

– автоматичне управління, яке підтримує оптимальні значення основних технологічних параметрів упродовж процесу очищення;

– контроль за роботою технологічного обладнання та за ключовими технологічними параметрами;

– дистанційне керування технологічним обладнанням;

– відображення інформації про перебіг технологічного процесу у зручному для оператора форматі за допомогою динамічних мнемосхем, графіків (трендів) тощо;

– накопичення даних про перебіг процесу та дії технологічного персоналу;

– реалізація аварійної та попереджувальної сигналізації у разі перевищення граничних значень технологічних параметрів;

– передача інформації для обробки у зовнішні системи;

– облік техніко-економічних показників, включно з розрахунком споживання енергоресурсів, обліком матеріальних потоків, формуванням підсумкових звітів про роботу установки та створенням звітної документації.

Висновки до розділу

У цьому розділі бакалаврської роботи здійснено аналіз сутності технологічного процесу гідроочищення. Розглянуто, що основним призначенням процесу гідроочищення нафтових фракцій є зниження вмісту сірчистих сполук у готових товарних нафтопродуктах. Представлено характеристику вихідної сировини, застосовуваних реагентів та отримуваної продукції. Також наведено технічні характеристики основного технологічного обладнання, що використовується у процесі.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		18

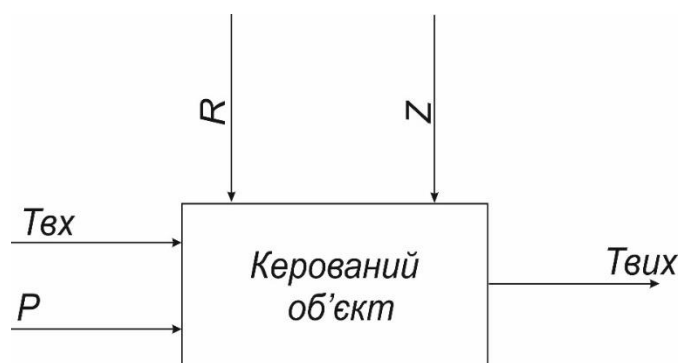
2 МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Структурна схема об'єкта керування

Теорія планування експерименту максимально точно ототожнює об'єкт дослідження (систему, явище, процес) із відповідною математичною моделлю. Побудова такої моделі дозволяє отримати необхідну інформацію про перебіг процесів у досліджуваному об'єкті, забезпечує можливість управління цим об'єктом, а також дає змогу виконати аналіз і проектування його характеристик.

Застосування моделей у дослідженнях сприяє розвитку науково-технічного прогресу в галузях науки і техніки, що мають справу зі складними, малоструктурованими системами, які важко піддаються точному математичному опису.

Процес математичного моделювання гідроочищення нафтових оливок відзначається значною складністю. У межах даної бакалаврської роботи для подальшого дослідження обрано відгінну колону К-4. Побудова структурної схеми об'єкта керування є ключовим етапом у процесі розробки системи управління, оскільки вона відображає структуру об'єкта та взаємозв'язки між його компонентами, включаючи вхідні, вихідні та збурюючі впливи (рис. 2.1).



$T_{вих}$ – температура суміші, що рухається з колони;

$T_{вх}$ – температура верхньої частини колони; P – тиск в колоні; R – описує регулюючу дію; Z – позначає сумарні збурення

Рисунок 2.1 – Структурна схема об'єкта керування

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		19

2.2 Експериментальне моделювання керованого об'єкта

Математичне моделювання передбачає побудову математичної моделі, що відображає взаємозв'язки між вхідними та вихідними параметрами об'єкта і описує його динамічні властивості. Отримати ці динамічні характеристики можна шляхом математичного моделювання досліджуваного технологічного процесу або експериментальним шляхом, зокрема шляхом зняття кривої розгону досліджуваного об'єкта.

Математичне описання об'єктів дослідження є складним завданням, яке зазвичай вирішується із залученням спрощень і наближень. Доцільним підходом є отримання математичного опису елементів у вигляді передавальної функції на основі експериментальних даних. Одним із методів визначення передавальної функції є експериментальне встановлення перехідної характеристики об'єкта, тобто кривої розгону. Слід зазначити, що уникнення похибок як під час отримання експериментальної характеристики, так і в процесі її апроксимації функцією передачі є складним завданням. Проте такі похибки зазвичай перебувають у допустимих межах для подальших інженерних розрахунків. У межах даної бакалаврської роботи для визначення динамічних властивостей об'єкта буде виконано дослідження кривої розгону за такими каналами: температура верху колони (основний канал) (рис. 2.2) та тиск (допоміжний канал) (рис. 2.3).

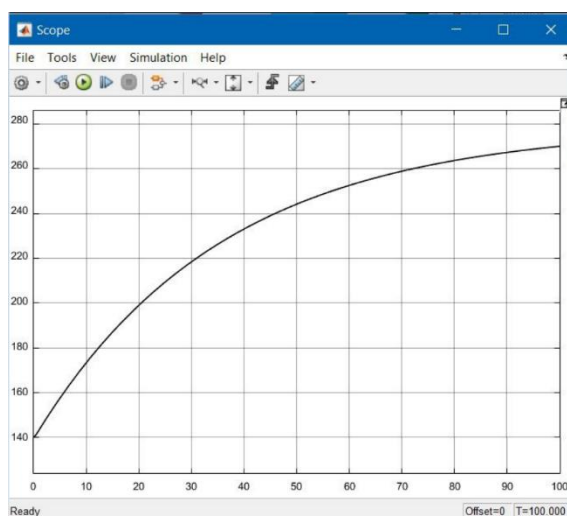


Рисунок 2.2 – Крива розгону по основному каналу

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		20

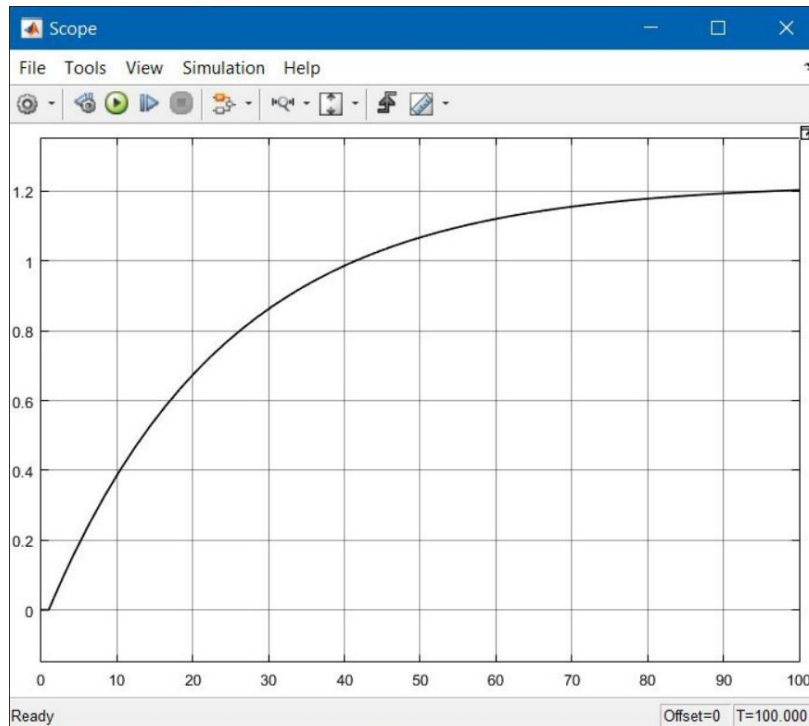


Рисунок 2.3 – Крива розгону по допоміжного каналу

Для перехідної характеристики, що одержана на основі проведеного експерименту для основного (табл. 2.1) та допоміжного каналів (табл. 2.3), з використанням формули нормування даних, зробимо перехід до безрозмірних величин.

Таблиця 2.1 – Отримані результати дослідження в основному каналі

Температура, °C	Час, с
140	0
172	10
197	20
216	30
231	40
243	50
252	60

Температура, °С	Час, с
257	70
261	80
267	90
270	100

Таблиця 2.3 – Отримані результати дослідження в основному каналі

Тиск, МПа	Час, с
0	0
0,37	10
0,65	20
0,83	30
0,96	40
1,04	50
1,1	60
1,16	70
1,17	80
1,19	90
1,2	100

Приведено формулу, що використовується для переходу від розмірних одиниць до безрозмірних:

$$y = \frac{x - x_0}{x_{max} - x_0}, \quad (2.1)$$

x – це поточне значення;

x_0 - це початкове значення;

x_{max} - це максимальне значення;

З графіка отриманої кривої розгону основного каналу бачимо, що значення $x_{max} = 270$ °С, а початкове значення дорівнює $x_0 = 140$ °С .

Таблиця 2.2 – Перехід до безрозмірних одиниць по каналу температура верху колони (основний канал)

Температура, °С	Безрозмірні одиниці, у
140	0
172	0,26
197	0,45
216	0,63
231	0,72
243	0,83
252	0,88
257	0,91
261	0,95
267	0,99
270	1

Апроксимацію отриманої перехідної характеристики для визначення передавальної функції об'єкта буде здійснено за допомогою програмного забезпечення Arrox. У відповідні поля програми буде введено вхідні дані: у поле t — значення часу з кроком дискретизації 10 с, а у поле y(t) — відповідні значення, наведені в таблиці 2.2.

Підбір поліномів чисельника та знаменника передавальної функції буде виконано з метою досягнення мінімального значення похибки апроксимації, яке не повинно перевищувати 2,5%.

Як результат опрацювання даних отримуємо передавальну функцію для основного каналу:

$$W(p) = \frac{15,255p+1}{587p^2+44,455p+1} \quad (2.2)$$

В такий спосіб робимо аналізування динамічної характеристики по допоміжному каналу (тиск) дослідження. На рисунку 2.3 подано експериментальну перехідну характеристику по допоміжному (тиск) каналу.

З використанням формули 2.1 виконаємо переведення результатів експерименту в безрозмірні одиниці (табл.2.4) задля наступного їх введення програму.

Таблиця 2.4 - Перевід до безрозмірних одиниць по допоміжному (тиск) каналу регулювання

Тиск, МПа	Безрозмірні одиниці, у
0	0
0,37	0,32
0,65	0,55
0,83	0,71
0,96	0,81
1,04	0,9
1,1	0,92
1,16	0,96
1,17	0,98
1,19	0,99
1,2	1

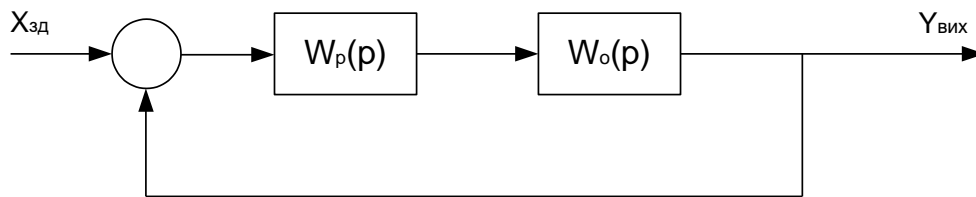
Апроксимацію даної перехідної характеристики задля визначення її функції передачі об'єкта проведемо з використанням програмного продукту Argox, де внесемо дані в такі поля t – час кроком дискретизації становить 10с, $y(t)$ взято з табл. 2.4. За допомогою підбору поліному чисельника і знаменника виконаємо апроксимацію з найменшою можливою похибкою, що має складати менше 2,5%.

Як результат опрацювання даних отримуємо передавальну функцію для основного каналу. Максимальна похибка складає 0,7 % в точці $T=60$ с.

$$W(p) = \frac{15,459p+1}{412,385p^2+38,325p+1} \quad (2.3)$$

2.3 Дослідження одноконтурної системи автоматичного регулювання

Загальний вигляд одноконтурної АСР наведено на рисунку 2.4.



$W_p(p)$ - передавальна функція регулятора, $W_o(p)$ – передавальна функція по основному каналу

Рисунок 2.4 – Структурна схема одноконтурної АСР

Виконуємо наступне моделювання процесу в середовищі MatLab Simulink, отримуємо графіки перехідних процесів з різними законами регулювання.

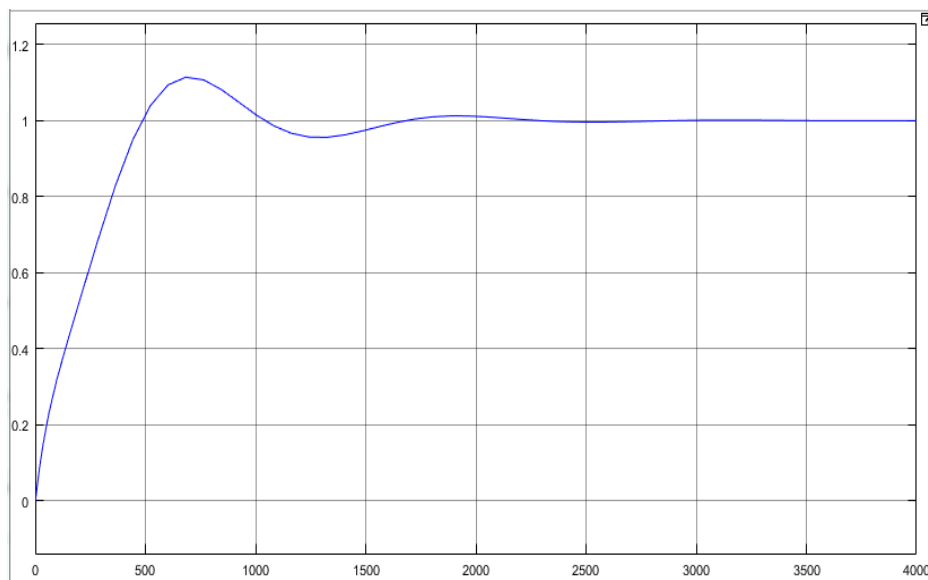


Рисунок 2.5 – Графік перехідного процесу з використанням ПІД - регулятора

- Час перехідного процесу 2500 с;
- Час розгону 500 с;
- Час досягнення максимуму 700 с;
- Перерегулювання складає $\Delta=11\%$.

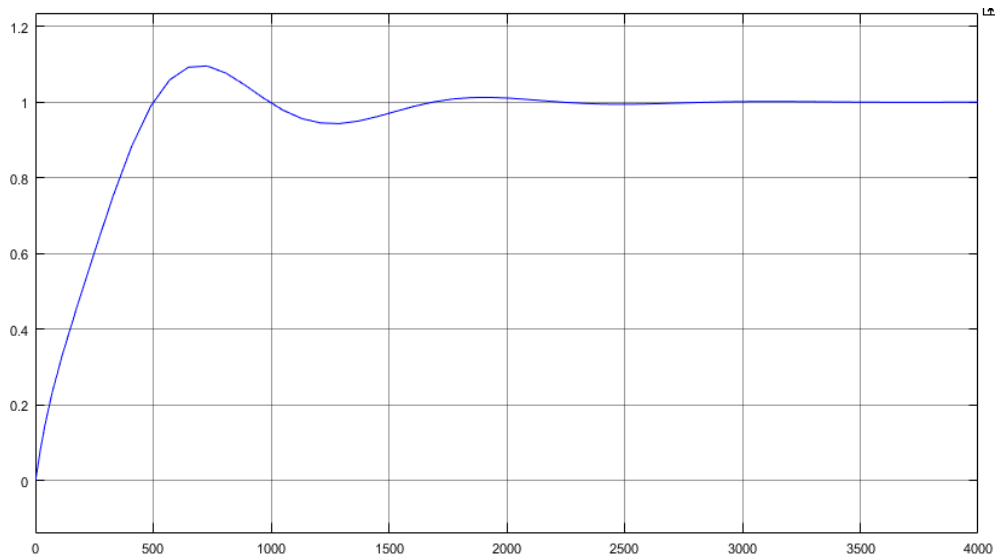


Рисунок 2.6 – Графік перехідного процесу з використанням ПІ - регулятора

- Час перехідного процесу 2400 с;
- Час розгону 500 с;
- Перерегулювання складає - $\Delta=9\%$
- Час досягнення максимуму 700 с.

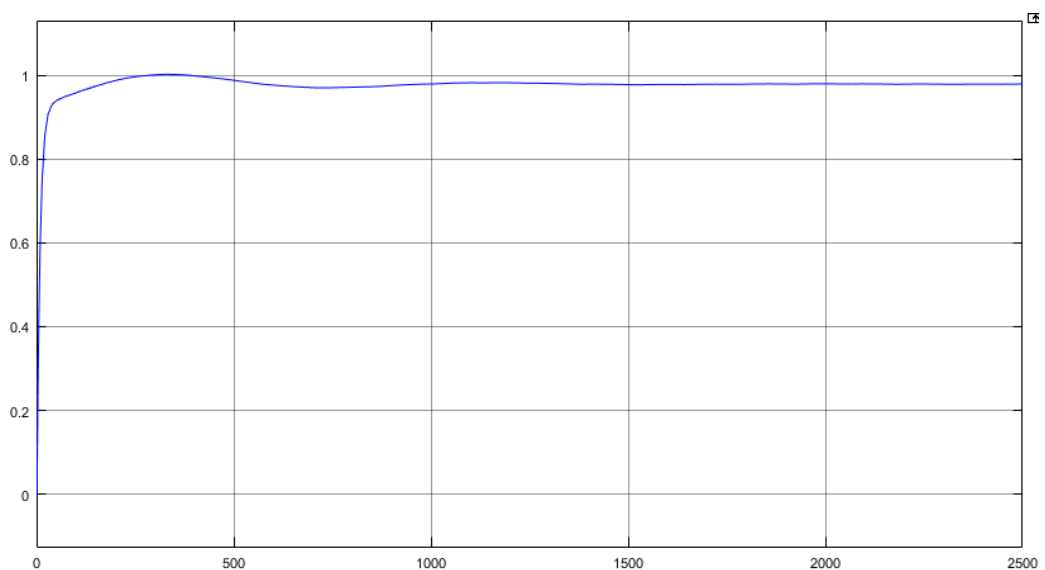


Рисунок 2.7 – Графік перехідного процесу з використанням ПД - регулятора

- Час перехідного процесу 1500 с;
- Час розгону 350 с;
- Перерегулювання складає $\Delta=0\%$
- Час досягнення максимуму 350 с.

П – регулятор

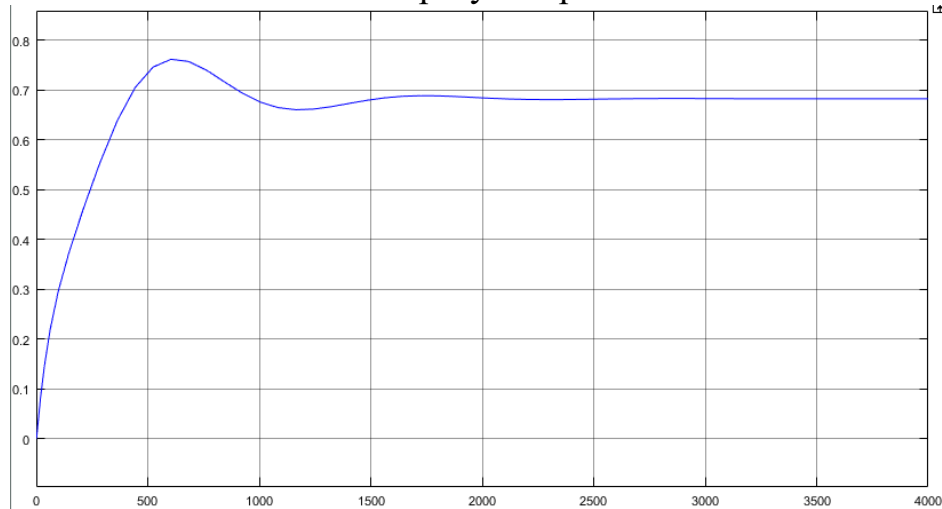


Рисунок 2.8 – Графік перехідного процесу з використанням П - регулятора

- Час перехідного процесу 2250 с;
- Час розгону 350 с;
- Час досягнення максимуму 350 с.

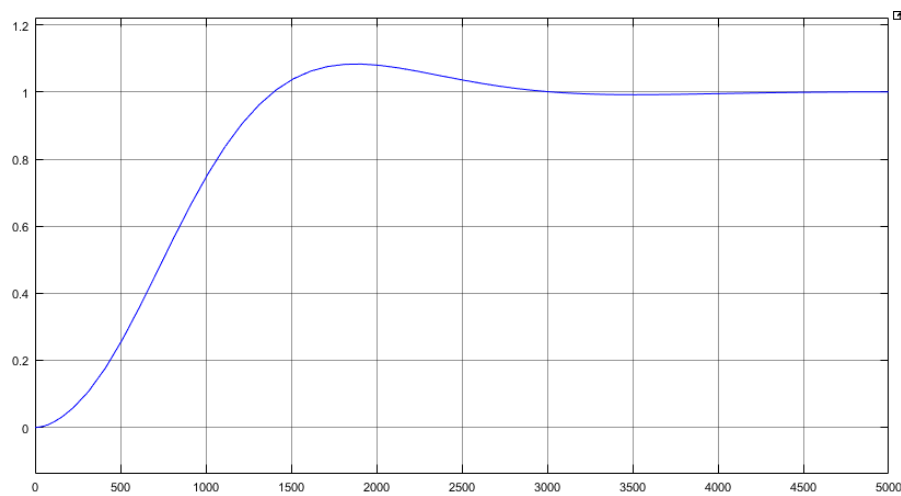


Рисунок 2.9 – Графік перехідного процесу з використанням І - регулятора

- Час перехідного процесу 4000 с;
- Час розгону 1400 с;
- Перерегулювання складає $\Delta=8\%$
- Час досягнення максимуму 1750 с.

Таким чином кращими показниками якості перехідного процесу володіє ІІІ - регулятор, а точніше такий регулятор підтримує регулюючий параметр на

необхідному значенні, має найменший час перехідного процесу (2400 с) і найменше відхилення регулюючої величини (9%)

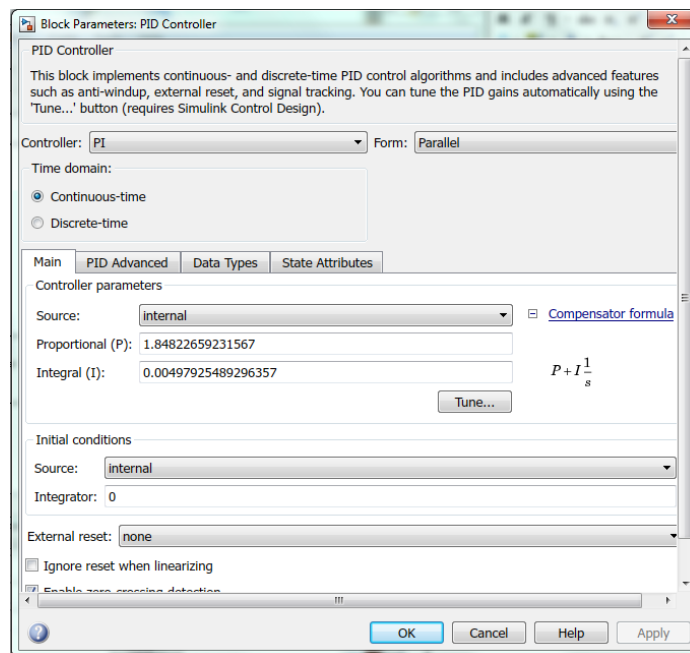


Рисунок 2.9 – Параметри налаштування ПІ-регулятора

Загальний вигляд передавальної функції ПІ – регулятора:

$$W_p(p) = P + I \frac{1}{p};$$

Для нашого випадку передавальної функції ПІ – регулятора матиме вигляд:

$$W_p(p) = 1.848 + 0.00497 \frac{1}{p};$$

Визначимо загальну передавальну функцію системи з метою проведення подальших досліджень.

Передавальна функція буде наступною:

$$W_{e1}(p) = \frac{W_p(p) \cdot W_o(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_o(p)}$$

$$W_{PO3}(p) = \frac{W_p(p) * W_o(p)}{1 + W_p(p) * W_o(p)}_p$$

$$= \frac{26847,744p^3 + 209,62p^2 + 1,849p + 0,005}{6073208,635p^4 + 109001,962p^3 + 664,98p^2 + 2,849p + 0,005}$$

Проведемо аналіз стійкості одноконтурної АСР на основі критерія Гурвіца.

Характеристичне рівняння матиме вигляд:

$$6073208,635p^4 + 109001,962p^3 + 664,98p^2 + 2,849p + 0,005 = 0.$$

Оскільки усі коефіцієнти одержаного характеристичного рівняння додатні виконується необхідна умова стійкості:

$$a_0 = 6073208,635;$$

$$a_1 = 109001,962;$$

$$a_2 = 664,98;$$

$$a_3 = 2,849;$$

$$a_4 = 0,005.$$

Далі побудуємо головний визначник Гурвіца та визначимо всі його діагональні мінори:

$$\Delta := \begin{pmatrix} 109001.962 & 6073208.635 & 0 & 0 \\ 2.849 & 664.98 & 109001.962 & 6073208.635 \\ 0 & 0.005 & 2.849 & 664.98 \\ 0 & 0 & 0 & 0.005 \end{pmatrix}$$

$$\Delta_1 = 109001,962 > 0;$$

$$\Delta_2 = 60337707,36 > 0;$$

$$\Delta_3 = 110115927,4 > 0;$$

$$\Delta_4 = 550579,637 > 0;$$

Згідно до визначення критерія досліджувана система є стійкою, так як головний визначник та всі його діагональні мінори додатні.

2.4 Аналіз каскадної системи регулювання

Для подальшого дослідження каскадної АСК необхідно привести загальний вигляд структурної схеми:

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		29

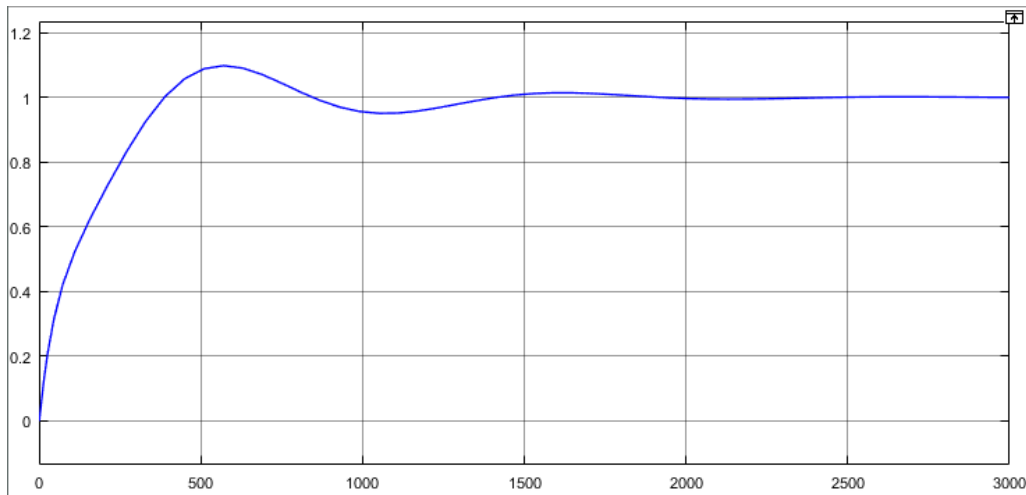


Рисунок 2.14 – Графік перехідного процесу з використанням ПІ – ПД законів регулювання

- Час перехідного процесу 2250 с;
- Час розгону 390 с;
- $\Delta = \frac{1,09-1}{1} * 100\% = 9\%$ - максимальне відхилення регулюючої величини;
- Час досягнення максимуму 600 с.

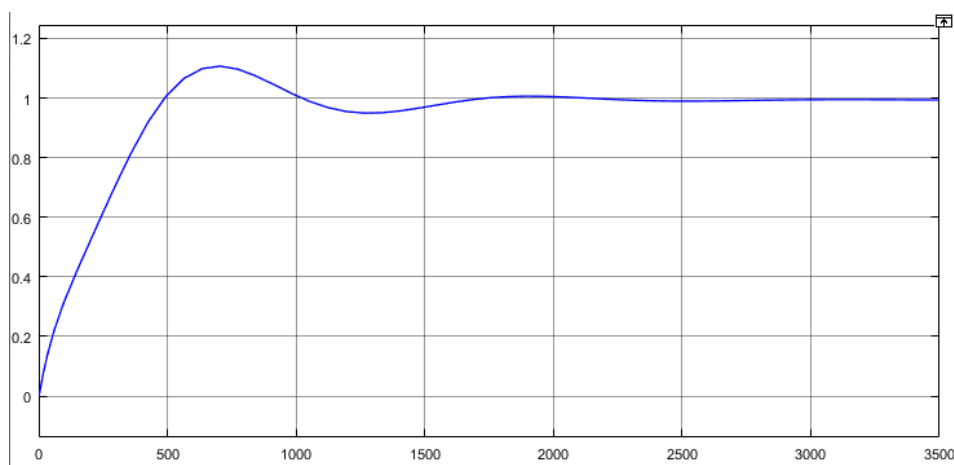


Рисунок 2.15 – Графік перехідного процесу з використанням ПД – ПІД законів регулювання

- Час перехідного процесу 2625 с;
- Час розгону 380 с;
- $\Delta = \frac{1,1-1}{1} * 100\% = 10\%$ - максимальне відхилення регулюючої величини;
- Час досягнення максимуму 705 с.

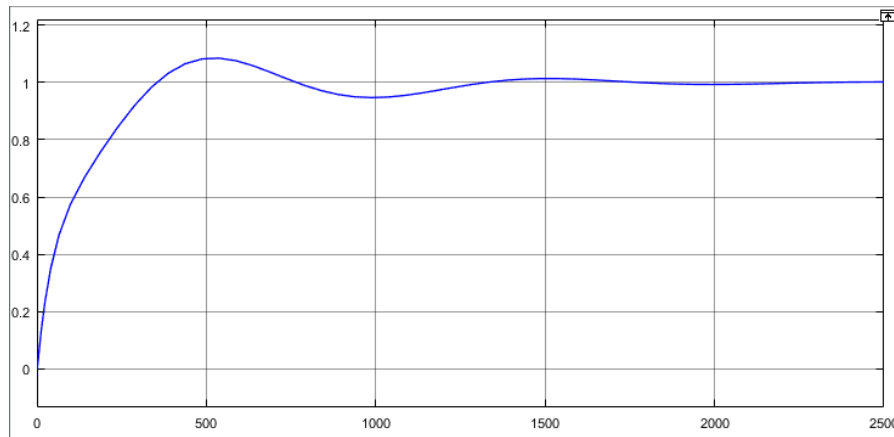


Рисунок 2.16 – Графік перехідного процесу з використанням ПД – ПД законів регулювання

- Час перехідного процесу 1875 с;
- Час розгону 261 с;
- $\Delta = \frac{1,09-1}{1} * 100\% = 9\%$ - максимальне відхилення регулюючої величини;
- Час досягнення максимуму 540 с.

Проаналізувавши графіки перехідних процесів з використанням різних законів регулювання найкращою є комбінація ПД – регулятора для основного і ПД – регулятор для допоміжного каналу, так як порівнюючи з іншими комбінаціями регуляторів вони підтримують регулюючий параметр на необхідному значенні, з найменшим часом перехідного процесу (1875 с) і перерегулюванням що складає 9%.

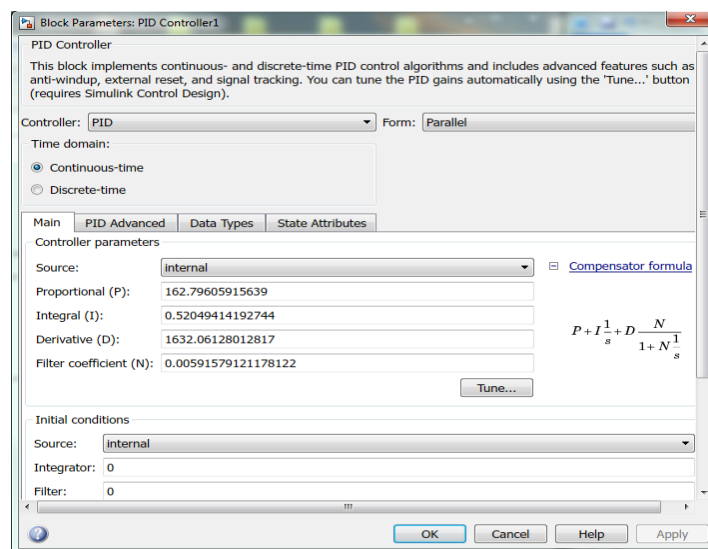


Рисунок 2.17 – Параметри налаштування регулятора

Загальний вигляд передавальної функції ПД – регулятора має вигляд:

$$W_P(p) = P + I \frac{1}{p} + D \frac{N}{1+N\frac{1}{p}}$$

Підставивши отримані складові (рис.2.17) матимемо:

$$W_P(p) = 162,8 + 0,52 \frac{1}{p} + 1632,06 \frac{0,006}{1+0,006\frac{1}{p}}$$

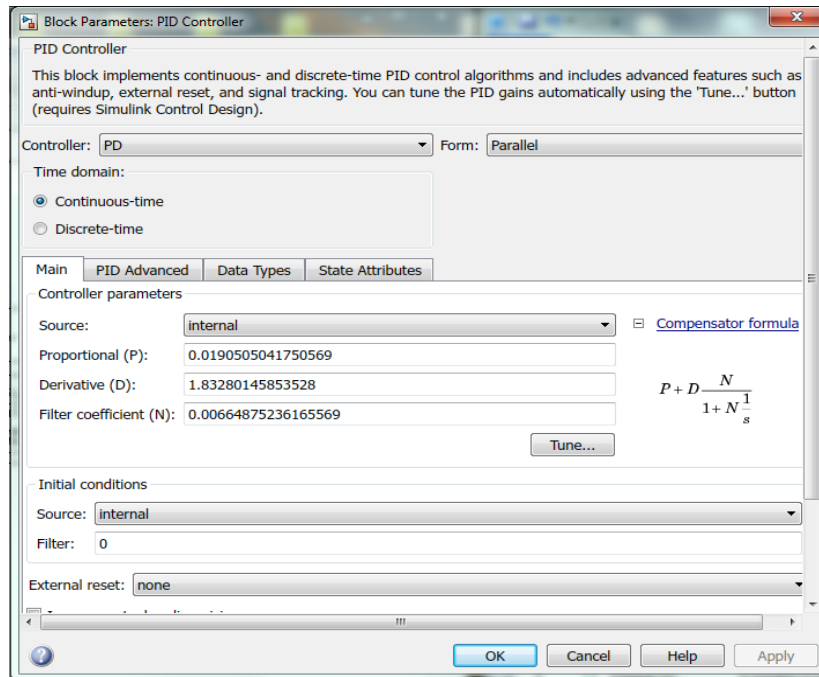


Рисунок 2.18 – Параметри налаштування ПД регулятора

Загальний вигляд передавальної функції ПД – регулятора:

$$W_P(p) = P + D \frac{N}{1+N\frac{1}{p}}$$

Підставивши отримані складові (рис.2.18) матимемо:

$$W_P(p) = 0,019 + 1,83 \frac{0,007}{1+0,007\frac{1}{p}}$$

Висновки до розділу

В даному розділі присвячений математичному опису об'єкта керування, представлено структурну схему об'єкта керування. Наведено експериментальне моделювання керованого об'єкта, в якості якого обрано відгонну колону.

Визначено передавальні функції по каналу «температура на виході» (основний) та каналу «тиск в колоні» (допоміжний). В середовищі MatLab Simulink здійснено моделювання одноконтурної та каскадної АСР. Отримано графіки перехідних процесів при використанні різних законів регулювання. Визначено якісні показники перехідних процесів, обрано ПІ-регулятор для одноконтурної АСК та при моделюванні каскадної АСР обрано комбінацію ПІД – регулятора для основного і ПІД – регулятор для допоміжного каналу. Проведено дослідження стійкості одноконтурної системи за критерієм Гурвіца, яке показало стійкість досліджуваної системи.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		34

3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ САК ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ГІДРООЧИСТКИ НАФТОВИХ ОЛИВ

3.1 Розроблення функціональної схеми процесу гідроочищення нафтових олив та підбір технічних засобів автоматизації

Розроблення функціональної схеми процесу є одним із ключових етапів проектування автоматизованої системи керування, що передує безпосередньому програмуванню та налаштуванню обладнання. Цей етап передбачає формалізоване подання логіки взаємодії між технологічними об'єктами, виконавчими механізмами, засобами вимірювання та контролю, а також пристроями збору, обробки та відображення інформації. Функціональна схема є графічною моделлю, яка відображає структуру та основні елементи автоматизованого процесу, їх взаємозв'язки і принципи роботи в умовах нормального та аварійного режиму.

На основі аналізу технологічного регламенту, вимог до безпеки, параметрів продуктивності й особливостей об'єкта управління, визначаються ключові технологічні параметри, що підлягають контролю (температура, тиск, витрата, рівень, концентрація тощо), а також вибираються відповідні первинні перетворювачі та виконавчі механізми. У функціональній схемі вказуються типи датчиків, регуляторів, блоків логіки, модулів зв'язку, а також алгоритми обробки сигналів.

Важливою складовою є побудова логіки взаємодії між елементами системи: зокрема, як дані від давачів надходять на програмований логічний контролер, як формується управляючий вплив на виконавчі пристрої, за яких умов активується сигналізація або аварійне відключення. Також на схемі зазначаються комунікаційні канали (наприклад, Ethernet, RS-485, Profibus), що використовуються для обміну інформацією між приладами та центральним контролером або АРМ оператора.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		35

Окрему увагу під час розроблення функціональної схеми приділяють аварійним та резервним режимам. Схема повинна передбачати умови переходу до безпечного стану у випадку втрати сигналу, перевищення допустимих параметрів або відмови обладнання. Це забезпечується за рахунок логічних блоків самодіагностики, блокування, аварійної зупинки тощо.

Процес гідроочищення нафтових олив є важливою ланкою в технологічному циклі виробництва високоякісних мастильних матеріалів. Його метою є видалення шкідливих домішок, таких як сірковмісні, азотовмісні, кисневі сполуки, а також стабілізація фізико-хімічних властивостей оливи. Для забезпечення ефективного та безпечного перебігу процесу необхідною є наявність чітко розробленої функціональної схеми, що відображає послідовність основних операцій, а також дозволяє впровадити засоби автоматизованого контролю і керування.

Функціональна схема передбачає умовний поділ процесу на кілька ключових етапів: підготовка сировини, змішування з воднем, гідрогенізація в реакторі, охолодження, сепарація, очищення та утилізація побічних продуктів. Для кожного з етапів підібрано відповідні технічні засоби автоматизації, що забезпечують точне вимірювання та стабільне регулювання основних параметрів — температури, тиску, витрати, рівня.

Зокрема, для контролю тиску в реакторі та в вузлах змішування водню використано перетворювач тиску SITRANS P серії ZD. Цей пристрій оснащено цифровим дисплеєм, має тонкоплівковий сенсор з керамічною мембраною, відзначається високою точністю вимірювання та підтримує конфігурування безпосередньо з корпусу.

Температурні параметри процесу вимірюються за допомогою термоперетворювача Siemens SITRANS TS500 Ex-d, що призначений для роботи в умовах вибухонебезпечного середовища. Його конструкція забезпечує надійність, точність та стійкість до термічного та механічного навантаження, що є особливо важливим при контролі температури в зоні реакції гідроочищення.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		36

Витрата сировини та водневмісного газу визначається за допомогою ультразвукового лічильника Q.Sonic2, який базується на методі вимірювання різниці часу проходження ультразвукових імпульсів. Даний прилад дозволяє отримувати дані з високою роздільністю та стабільністю, що сприяє точному розрахунку масових витрат і ефективному керуванню балансом речовин у технологічному контурі.

Рівень рідких продуктів у сепараційних та буферних ємностях контролюється за допомогою ультразвукового датчика рівня Siemens Sitrans Probe LU, який не вимагає контакту з продуктом та дозволяє проводити безперервний моніторинг навіть в агресивних або змінних умовах середовища.

Центральним елементом операторського інтерфейсу є панель Siemens KTP400 Basic, яка забезпечує взаємодію персоналу з технологічною системою. Через графічний інтерфейс панелі оператор може здійснювати візуалізацію параметрів процесу, задавати уставки, запускати алгоритми контролю, а також фіксувати сповіщення про відхилення чи аварійні стани.

У процесі розроблення функціональної схеми та підбору технічних засобів автоматизації враховано особливості гідроочищення нафтових олів, вимоги до вибухозахисту, точності вимірювань, надійності та зручності експлуатації. Застосування сучасного вимірювального і керуючого обладнання дозволяє забезпечити стабільність технологічного режиму, покращити якість кінцевого продукту та підвищити рівень безпеки виробництва.

3.1.1 Давач вимірювання тиску

У системі вимірювання тиску використано високоточний електронний перетворювач тиску SITRANS P серії ZD, який належить до лінійки інтелектуальних приладів виробництва Siemens. Цей перетворювач поєднує в собі функціональність, компактність, зручність налаштування та надійність, що робить його ефективним рішенням для широкого спектра застосувань у промислових автоматизованих системах контролю та регулювання

					Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	37

технологічних параметрів. Основною сферою застосування SITRANS P ZD є вимірювання надлишкового і абсолютного тиску, а також контроль рівня газоподібних та рідких середовищ у резервуарах і трубопроводах.

Прилад оснащено вбудованим цифровим індикатором, що забезпечує локальну індикацію вимірюваного значення без потреби у зовнішніх пристроях візуалізації. Наявність індикатора дозволяє не лише здійснювати оперативний контроль у точці встановлення, але й проводити діагностику стану пристрою завдяки повідомленням про несправності або відхилення від заданих параметрів.

Конструктивно перетворювач виконаний у форм-факторі з діаметром корпусу 80 мм, виготовленого з магнітопровідної високоякісної сталі, що забезпечує надійний захист електроніки від зовнішніх впливів. Лицьова частина приладу вміщує скляну кришку, під якою розміщено п'ятизначний цифровий дисплей, що забезпечує високу контрастність зображення. Нижче дисплея передбачено три функціональні кнопки для параметрування та калібрування, які дозволяють здійснювати налаштування без використання зовнішнього програмного забезпечення або комунікаційних інтерфейсів. Крім того, реалізовано індикацію робочого стану за допомогою двох світлодіодів: червоного — для виявлення помилок, та зеленого — для підтвердження нормального режиму роботи.

Принцип дії приладу базується на використанні тонкоплівкового тензометричного перетворювача, встановленого на керамічній мембрані. Такий тип чутливого елемента забезпечує високу стабільність вимірювання, низький рівень гістерезису, а також високу стійкість до механічного перевантаження. Крім того, конструкція передбачає температурну компенсацію, що дозволяє підтримувати точність вимірювання в умовах змін температурного поля. Типова похибка приладу становить менше 0,25 %, що є прийнятним показником для точного промислового вимірювання.

Інженерно-технічна реалізація перетворювача дозволяє обрати один із двох варіантів механічного виконання: радіальне (тип А) або осьове (тип В). У

					Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	38

радіальному виконанні дисплей розташований паралельно до осі технологічного під'єднання та може обертатися в межах $\pm 120^\circ$, що спрощує монтаж у важкодоступних місцях. В осьовому виконанні дисплей встановлено під кутом 90° відносно до з'єднувального штуцера і він має поворотне кріплення з можливістю обертання на 360° , що значно підвищує ергономіку приладу.

Електронна частина приладу реалізована у вигляді двопровідної системи живлення з інтерфейсом 4–20 мА, яка забезпечує не лише передачу аналогового сигналу, але й дозволяє здійснювати параметрування через струмову петлю. Така топологія відповідає загальноприйнятим стандартам промислової автоматизації та є сумісною з більшістю систем керування.

Крім високих метрологічних характеристик, SITRANS P серії ZD вирізняється високою адаптивністю до експлуатаційних умов, простотою технічного обслуговування, захистом від перенапруги, а також довговічністю у важких умовах промислового середовища. Сукупність зазначених властивостей робить цей давач придатним до застосування у хімічній, нафтохімічній, харчовій та фармацевтичній промисловості, де висока точність, надійність та функціональна гнучкість є критично важливими.



Рисунок 3.1 – Перетворювач тиску SITRANS P ZD

				БР.АКПЗД-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		39

Технічні характеристики пристроїв серії ZD виробництва SITRANS P (Siemens) визначають їхню високу надійність, точність та універсальність застосування в умовах промислової автоматизації. Ці прилади призначені переважно для вимірювання тиску у рідинних, газоподібних та парових середовищах, забезпечуючи стабільну роботу як у стандартних умовах, так і в екстремальних технологічних середовищах.

Основним функціональним параметром є тип вимірюваного фізичного параметра, який у випадку серії ZD обмежується вимірюванням надлишкового, абсолютного або диференціального тиску. Залежно від конкретної модифікації, прилади здатні працювати в широкому діапазоні тисків — від надзвичайно низьких (декілька мбар) до високих промислових значень (сотні бар). Це забезпечує їхню придатність як для лабораторних досліджень, так і для важких умов, наприклад у нафтогазовій, хімічній або енергетичній промисловості.

Важливою технічною перевагою є висока точність вимірювання, яка, як правило, не перевищує $\pm 0,1$ % від діапазону вимірювання. Це дозволяє використовувати ці датчики для задач, де критичне значення має навіть незначне відхилення тиску від норми, зокрема в процесах з автоматичним регулюванням.

Щодо вихідного сигналу, серія ZD підтримує як аналогові інтерфейси (типово 4–20 мА), так і цифрові протоколи промислового обміну даними, такі як HART, PROFIBUS PA або Modbus RTU. Завдяки цьому, пристрої легко інтегруються у складні системи автоматизації, забезпечуючи не лише передачу вимірювальних значень, а й доступ до діагностичної інформації, параметрів калібрування та самодіагностики.

Деякі моделі оснащені розширеними комунікаційними інтерфейсами, що дозволяє реалізовувати гнучке управління приладом через контролери або SCADA-системи, у тому числі з можливістю дистанційного налаштування і моніторингу.

Особливу увагу приділено матеріалам конструкції. Корпуси пристроїв виготовляються із нержавіючої сталі високої марки, іноді з додатковими

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		40

покриттями або вставками з хімічно стійких полімерів (наприклад, тефлону), що дозволяє експлуатувати прилади в агресивних або вибухонебезпечних середовищах.

З метою підвищення експлуатаційної надійності, пристрої мають високий ступінь захисту від зовнішніх впливів, зазвичай IP65 або IP67, що гарантує захист від пилу, вологи, конденсату, а також стійкість до вібрацій, гідродударів та коливань температур. Робочий температурний діапазон приладів розширено, що дозволяє використовувати їх у зовнішніх установках або на об'єктах із високою тепловіддачею.

Не менш важливим аспектом є те, що залежно від конкретної моделі та комплектації, можливе використання додаткових опцій, таких як вбудований дисплей для локального відображення тиску, функція автоматичного обнулення або температурна компенсація вимірювань, що суттєво підвищує гнучкість експлуатації пристрою.

Загалом, серія SITRANS P ZD демонструє поєднання точності, надійності та адаптивності, що робить ці прилади ефективними засобами контролю в системах автоматизованого керування технологічними процесами різного рівня складності.

3.1.2 Давач вимірювання температури

Температурний сенсор Siemens SITRANS TS500 Ex-d є високотехнологічним засобом вимірювання температури, розробленим для роботи у складних умовах експлуатації з підвищеними вимогами до безпеки. Прилад призначений для застосування в енергетиці, нафтохімії, хімічній промисловості, харчовому виробництві та інших галузях, де необхідне точне та надійне вимірювання температури у вибухонебезпечних середовищах. Конструкція сенсора модульна, що дозволяє адаптувати його до конкретних

					Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	41

вимог об'єкта, а застосування міжнародних стандартів у проектуванні робить прилад універсальним у використанні.

Основною вимірювальною частиною є термоперетворювач опору типу Pt100, виконаний відповідно до стандарту IEC 60751. Сенсор забезпечує високу точність вимірювання в широкому діапазоні температур — як у низькотемпературних (-50 °C), так і у високотемпературних (до +600 °C) режимах. Використання Pt100 дозволяє досягти стабільної лінійної характеристики, низької температурної похибки та тривалого терміну служби без потреби в частому калібруванні.

Корпус сенсора виготовлений із високоякісної нержавіючої сталі або інших антикорозійних матеріалів, залежно від конфігурації, що забезпечує його хімічну стійкість у агресивних середовищах. Вибухозахищене виконання відповідає вимогам стандартів ATEX і IECEx, зокрема Ex d (вибухонепроникна оболонка) або Ex i (іскробезпечне коло). Це дозволяє експлуатацію приладу у зонах з класифікацією 1 та 2, а також у нафтогазовому секторі, де контроль середовища є критично важливим для безпеки.

Інтелектуальні можливості SITRANS TS500 Ex-d доповнюються застосуванням вбудованого температурного перетворювача, який перетворює сигнал від термопари або термометра опору у стандартний аналоговий (4–20 мА) або цифровий сигнал з HART-протоколом. Це дає змогу не лише зчитувати дані, а й здійснювати дистанційне налаштування, калібрування та діагностику через системи керування типу DCS чи SCADA. Наявність цифрового протоколу спрощує інтеграцію з сучасними мережами автоматизації, особливо в контексті концепцій Smart Plant та ІоТ.

Механічна частина сенсора передбачає використання захисного кожуха (термозахисної гільзи), яка дозволяє проводити заміну вимірювального елемента без демонтажу з процесу. Це значно спрощує обслуговування та зменшує час простою обладнання. З'єднання з процесом може виконуватись за допомогою

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		42

різьбових, фланцевих або зварних вузлів, що відповідають стандартам ASME, DIN або ISO.

Особливістю конструкції SITRANS TS500 є її модульність, яка дозволяє користувачеві самостійно конфігурувати прилад відповідно до вимог виробництва — від типу чутливого елемента (Pt100, Pt1000, термопари типів K, J, N) до виду електронного перетворювача, типу з'єднання з трубопроводом і типу вибухозахисту. Завдяки цьому сенсор може бути ефективно використаний у найрізноманітніших технологічних умовах.

Таким чином, SITRANS TS500 Ex-d є високоточним, гнучким у налаштуванні та безпечним пристроєм вимірювання температури. Його конструкція враховує всі сучасні вимоги до метрологічної надійності, захисту від зовнішніх впливів та інтеграції в цифрові системи керування, що забезпечує його відповідність не лише сучасним, але й перспективним інженерним стандартам у галузі автоматизації.



Рисунок 3.2 – Давач температури Siemens SITRANS TS500 Ex-d

				БР.АКПзД-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики

Назва	Значення
Опір навантаження	До 600 Ом (залежно від напруги живлення): $R_{н} = (U_{живл} - 10,5 \text{ В}) / 0,023 \text{ А}$
Вихідний сигнал	4–20 мА (2-провідна схема), цифровий HART (опціонально), сигнал безпосередньо з Pt100 (опція)
Діапазон температур	Для Pt100: -50...+600 °C Для термопар (тип К, J, N): до +1000 °C і більше
Напруга живлення	12...36 В DC (рекомендовано 24 В DC для стабільної роботи) мінімум 10,5 В DC при максимальному навантаженні

3.1.3 Давач вимірювання витрати

Через необхідність достатньо високої точності, передачі даних мікроконтроле, безконтактності використано ультразвуковий часоімпульсний витратомір Q.Sonic-2.

Варто зазначити, що ультразвукові витратоміри отримують витрату, як функцію зміни швидкості руху акустичного сигналу в середовищі.

Важливими елементами перетворювачів ультразвукових витратомірів є випромінювачі та приймачі УЗК. Їх дія базується на п'єзоелектричному ефекті, що оснований на тому, що під час стиснення та розтягнення в певних напрямках деяких п'єзоелементів (кристалів) на їх поверхнях утворюються електричні заряди. Важливо відзначити, що при прикладанні різниці електричних

потенціалів до цих поверхонь, п'єзоелемент може деформуватись. Ця деформація може бути стиснутою або розтягнутою, залежно від різниці напруги, застосованої на поверхнях.

Відомішим природнім п'єзоелементом є кварц. Однак сьогодні в якості п'єзоелементів в ультразвукових витратомірах використано різні п'єзокерамічні матеріали, такі як титанат барія чи цирконат титаната свинцю.

Перетворювач ультразвукового витратоміра складається із частини труби, на якому монтовані два або ж чотири п'єзоелементи.

Для обліку газу часто використовують ультразвукові лічильники, які працюють на основі принципу вимірювання часу проходження ультразвукового сигналу у напрямку потоку та проти нього.

Задля покращення характеристик використовується не одна пара: випромінювач–приймач, а кілька пар перетворювачів (в лічильниках Q.Sonic5 використано п'ять пар перетворювачів).

На прикладі лічильника Q.Sonic2 (рис. 3.3) представлено будову ультразвукового лічильника. Давачі – це приймачі та випромінювачі ультразвукових імпульсів.



Рисунок 3.3 – Вигляд ультразвукового лічильника Q.Sonic2

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		45

Вторинний прилад застосовано для генерування електричних коливань, які в свою чергу збуджують ультразвукові коливання у випромінювачах, та задля прийому та перетворення коливань, що рухаються з приймачів. Особливою перевагою такого перетворювача є безконтактність, та наявність вбудованої системи перетворювачів, яка забезпечує цифровий вихідний сигнал приладу (мова йде про промисловий інтерфейс RS-485).

3.1.4 Давач вимірювання рівня

Ультразвукові давачі рівня фірми Siemens серії SITRANS Probe LU (модель 7ML5221) призначені для безконтактного вимірювання рівня, а також для контролю об'єму рідких або сипких середовищ у резервуарах, технологічних ємностях і відкритих каналах. Завдяки своїй високій точності, надійності та стійкості до агресивних умов експлуатації, ці прилади широко використовуються в таких галузях, як водопідготовка, хімічна промисловість, очищення стічних вод, енергетика та інші напрямки автоматизованого контролю процесів.

Принцип дії ультразвукових рівнемірів Siemens базується на використанні властивостей акустичних хвиль. У корпусі пристрою інтегрований випромінювач, який періодично генерує високочастотні ультразвукові імпульси. Ці імпульси поширюються в середовищі та, досягнувши поверхні контрольованої речовини, відбиваються назад до приймача, розміщеного в тому ж корпусі. Система фіксує час, що пройшов від моменту випромінювання сигналу до його повернення. Вбудований мікропроцесор виконує обчислення на основі швидкості поширення звуку в середовищі, перетворюючи затримку сигналу у відповідне значення відстані, а отже – у рівень заповнення ємності.

Однією з найважливіших переваг таких пристроїв є їх безконтактний характер дії, завдяки чому виключається прямий контакт із вимірюваним продуктом. Це забезпечує високу гігієнічність процесу, а також відсутність ризику налипання або корозії, що могло б вплинути на точність вимірювання.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		46

Крім того, ультразвукові рівнеміри не містять рухомих частин, що значно підвищує їх механічну надійність, знижує потребу в обслуговуванні та подовжує термін експлуатації.

SITRANS Probe LU може ефективно функціонувати в середовищах, що містять воду, стічні води, агресивні хімікати, суспензії та інші рідини, що змінюють свій рівень у режимі реального часу. Залежно від модифікації, рівнеміри цієї серії підтримують діапазон вимірювання до 6 або 12 метрів. Завдяки впровадженій технології Sonic Intelligence®, яка забезпечує ефективну обробку сигналу, прилади здатні точно розрізнити справжні відбиття сигналу від помилкових, що можуть виникати через вбудовані конструкційні елементи або турбулентність поверхні. Це значно покращує відношення сигнал/шум і дозволяє отримувати точні результати навіть у складних умовах експлуатації.

Заявлена точність приладу становить до 0,15% від повного діапазону вимірювання, що робить цей рівнемір конкурентоспроможним рішенням для задач, де необхідний високоточний контроль рівня або об'єму. Пристрій має вбудований температурний зонд, який автоматично компенсує похибки вимірювання, зумовлені зміною температури середовища, що особливо важливо для точності роботи в умовах нестабільного мікроклімату.

Ще однією важливою характеристикою є стійкість до агресивних середовищ: датчики можуть виготовлятися з хімічно інертних матеріалів, таких як ETFE (етилен-тетрафторетилен) або PVDF (полівініліденфторид), що дозволяє використовувати їх у контакті з кислотами, лугами, розчинниками та іншими хімічно активними речовинами.

Крім того, рівнеміри серії Sitrans Probe LU підтримують стандартизовані інтерфейси зв'язку для інтеграції в системи автоматизованого керування технологічними процесами. Зокрема, вони можуть використовувати аналоговий вихід 4–20 мА або цифрові протоколи, такі як HART, що дозволяє дистанційно налаштовувати параметри пристрою, зчитувати діагностичну інформацію та виконувати автоматичне калібрування.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		47



Рисунок 3.4 - Ультразвуковий датчик рівня Siemens Sitrans Probe LU

Наведемо у табл. 4.4 характеристики ультразвукового давача рівня.

Таблиця 4.4 - Технічні характеристики ультразвукового давача рівня фірми Siemens марка Sitrans Probe LU

Найменування технічної характеристики	Значення технічної характеристики
Принцип дії	Ультразвуковий
Вимірюване середовище	Рідина
Діапазон вимірів	0.25. 12 м
Дозвіл	3мм
Температура експлуатації	- 40. 80 °С
Тиск в системі	Атмосферний
Матеріал	Пластик
Налаштування діапазону вимірювання	Siemens SIMATIC PDM (PC) / інфрачервоний ручний програматор Siemens Milltronics / ручний комунікатор HART
Функція на виході	4. 20мА, PROFIBUS PA, HART

3.1.5 Система контролю рівня загазованості приміщення

Розглянемо автоматизовану систему контролю рівня загазованості приміщення. АВУС-СКЗ являє собою багатофункціональний промисловий програмно-апаратний комплекс, який застосовують для відображення інформації від датчиків-сигналізаторів параметрів середовища, сповіщення персоналу про перевищення контрольованих параметрів, автоматичного виключення/включення виконавчих пристроїв по заданих програмах, заданих порогових значень. Автоматизована система контролю рівня загазованості представлена на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 - Автоматизована система контролю рівня загазованості

Технічні можливості автоматизованої системи виявлення та управління загазованістю АВУС-СКЗ забезпечують її ефективне використання на об'єктах з розосередженою інфраструктурою, що характерно для галузей нафтогазової промисловості, хімічного виробництва, металургії, харчової та фармацевтичної промисловості, енергетичного сектору, транспорту та житлово-комунального господарства. Завдяки своїм функціональним характеристикам система здатна не лише підвищити рівень технологічної безпеки, але й забезпечити оперативне реагування у разі виникнення потенційно небезпечних ситуацій.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		49

Серед ключових функцій системи можна виокремити такі: раннє виявлення передумов до виникнення аварійних режимів у роботі технологічного обладнання, зокрема шляхом контролю концентрацій небезпечних газів у повітряному середовищі; автоматичне блокування джерел газовиділення у випадку перевищення критичних порогів концентрації; реалізація локальної та централізованої звукової і світлової сигналізації при виникненні аварійної ситуації; безперервний моніторинг рівня загазованості у контрольованих приміщеннях; а також виявлення місць потенційного витoku з метою їх оперативної локалізації.

У структурному відношенні система АБУС-СКЗ складається з центрального блоку контролю (СКЗ-БК), до якого може бути підключено до 30 газових давачів. На відміну від традиційних аналогових систем контролю загазованості, де кожен сенсор потребує окремого каналу підключення, у системі АБУС-СКЗ реалізовано цифрову архітектуру обміну даними на основі інтерфейсу RS-485. Це дозволяє організувати ефективний зв'язок між давачами і блоком контролю по спільній шині, зменшуючи кількість кабельних з'єднань і суттєво спрощуючи інсталяцію системи на складних або віддалених об'єктах.

Застосування інтерфейсу RS-485 забезпечує стійкий обмін інформацією на відстані до 1,5 км без втрати достовірності сигналу, що особливо важливо для протяжних або просторово рознесених інженерних мереж. Крім того, цифровий обмін даними по двох каналах дозволяє ефективно протидіяти впливу електромагнітних завад, які можуть виникати внаслідок роботи потужних електродвигунів, пускорегулювальної апаратури або іншого енергоємного обладнання, що забезпечує стабільність і надійність роботи системи в умовах підвищених електромагнітних навантажень.

Таким чином, гнучкість архітектури, висока помехостійкість, значна довжина зв'язку, а також широкі функціональні можливості з моніторингу, індикації та аварійного реагування роблять систему АБУС-СКЗ доцільним

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		50

вибором для реалізації ефективного контролю загазованості в умовах складних і технологічно насичених промислових середовищ.

3.1.6 Операторська панель

Операторська панель Siemens KTP400 Basic є представником серії базових панелей SIMATIC HMI, призначених для реалізації функціонально достатнього, але економічного інтерфейсу між людиною та автоматизованою системою керування. Вона призначена для застосування в малих та середніх проектах автоматизації і забезпечує візуалізацію даних, обробку подій, а також передачу команд до програмованого логічного контролера.

KTP400 оснащена кольоровим рідкокристалічним дисплеєм типу TFT із діагоналлю 4,3 дюйма та роздільною здатністю 480 на 272 пікселі. Висока якість відображення та підтримка до 65 536 кольорів дає змогу реалізовувати чітку та інтуїтивну графічну інтерфейсну взаємодію. Панель поєднує сенсорний інтерфейс з чотирма апаратними функціональними клавішами, що забезпечує зручність експлуатації в умовах виробництва, зокрема при використанні захисних рукавичок.

У межах комунікаційних можливостей пристрій підтримує промисловий Ethernet через інтерфейс PROFINET, що забезпечує інтеграцію з програмованими контролерами серії Siemens S7-1200 або іншими пристроями, що підтримують відповідні протоколи. Зв'язок із контролером здійснюється через мережу з використанням TIA Portal, що дає змогу організовувати прямий обмін даними з PLC-тегами без дублювання змінних.

Функціональність KTP400 включає можливість відображення мнемосхем, таблиць даних, графіків тренду, архівування повідомлень і значень змінних, а також підтримку багаторівневого доступу користувачів із захистом паролем. Панель забезпечує реалізацію сигналізації з розподілом повідомлень за пріоритетами та часовою міткою, що є необхідним для забезпечення діагностики та оперативного реагування на події технологічного процесу.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		51

Пристрій має компактні розміри, що сприяє його монтажу в обмежених умовах щитових шаф. Завдяки підтримці середовища TIA Portal, панель легко інтегрується в комплексну архітектуру автоматизованих систем керування та дозволяє уніфіковано налаштовувати HMI, PLC та периферійні пристрої в єдиному інженерному середовищі.



Рисунок 3.6 –Вигляд операторської панелі Siemens KTP400 Basic

Основні особливості операторської панелі Siemens KTP400 Basic полягають у її технічній доступності, функціональності та простоті інтеграції у системи автоматизації на базі контролерів Siemens. Панель призначена для реалізації базових задач візуалізації в малих і середніх проектах.

Операторська панель Siemens KTP400 вирізняється зручним сенсорним екраном діагоналю 4,3 дюйма з роздільною здатністю 480 × 272 пікселі, що забезпечує якісне графічне відображення даних. Завдяки TFT-дисплею з підтримкою 65 536 кольорів користувач отримує чітке та інформативне зображення мнемосхем, графіків і повідомлень.

Комбінування сенсорного керування з чотирма апаратними функціональними клавішами підвищує зручність експлуатації в умовах промислового середовища, зокрема при роботі в захисних рукавичках.

Комунікація здійснюється через інтерфейс PROFINET (Ethernet), що забезпечує швидкий обмін даними та безпосереднє підключення до контролерів Siemens серій S7-1200, S7-1500, S7-300 та інших.

Панель повністю інтегрується в інженерне середовище TIA Portal (починаючи з версії V11), що дає змогу налаштовувати HMI, контролери та мережу в єдиному середовищі. Функціональні можливості панелі охоплюють відображення мнемосхем, обробку текстових повідомлень та аварій, архівування даних, ведення рецептів, налаштування доступу користувачів із захистом паролем і підтримку мультимовного інтерфейсу.

Пристрій оснащений 6 МБ вбудованої Flash-пам'яті, що достатньо для реалізації типових проектів візуалізації невеликої або середньої складності. Завдяки компактним розмірам панель легко монтується в шафи керування, навіть в умовах обмеженого простору. Передня панель має ступінь захисту IP65, що гарантує стійкість до пилу та водяних струменів і дозволяє експлуатувати пристрій у жорстких промислових умовах. Робота здійснюється від джерела постійного струму 24 В, що сприяє зниженню енергоспоживання системи в цілому.

Завдяки цим особливостям, КТР400 Basic є оптимальним рішенням для базових задач візуалізації, де не потрібна надмірна функціональність, але необхідна надійність, простота інтеграції та відповідність промисловим стандартам.

3.2. Вибір програмованого логічного контролера

Контролери програмованої логіки (ПЛК) різних виробників, зокрема Siemens, Rockwell Automation, Mitsubishi Electric та Omron, мають власні технічні особливості, архітектурні рішення та програмне забезпечення, що обумовлює їх ефективність у різних сферах промислової автоматизації.

Контролер Siemens S7-1200 належить до новітнього покоління мікропрограмованих пристроїв і характеризується високим ступенем інтеграції

					Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	53

апаратних та програмних засобів. Його відмінною рисою є повна сумісність із середовищем TIA Portal, що забезпечує уніфіковане проектування, конфігурацію, програмування та візуалізацію. Siemens пропонує широкий набір вбудованих функцій: аналогові та цифрові входи/виходи, підтримку PID-регулювання, таймери, лічильники, а також наявність інтерфейсу Profinet у базовій конфігурації, що спрощує комунікацію з іншими пристроями.

У свою чергу, контролери Allen-Bradley серії MicroLogix та CompactLogix орієнтовані переважно на північноамериканський ринок. Вони вирізняються високою надійністю та зручною інтеграцією з власними системами SCADA (FactoryTalk), проте їх програмне забезпечення (RSLogix 500/Studio 5000) є складнішим в освоєнні. Крім того, базові моделі мають обмежені комунікаційні можливості, що потребує додаткових витрат на модулі розширення.

Контролери Mitsubishi серії FX5U мають високу швидкодію та добре реалізовану підтримку високошвидкісних входів/виходів, що робить їх придатними для задач керування у реальному часі, зокрема в галузі мехатроніки. Програмне середовище GX Works надає потужні інструменти для налаштування, проте поступається TIA Portal за інтуїтивністю. Крім того, мережеві можливості FX5U поступаються Siemens за гнучкістю конфігурації промислових мереж.

Omron CP1N та CP2E демонструють хорошу продуктивність у компактному виконанні, а також забезпечують просту інтеграцію з сенсорикою, привідною технікою та НМІ-панелями Omron. Програмне забезпечення CX-Programmer є стабільним, але має обмежений функціонал в частині розширених діагностичних інструментів та візуалізації, що ускладнює роботу при реалізації складних проектів.

З огляду на наведене порівняння, можна зробити висновок, що контролер Siemens S7-1200 є найбільш доцільним вибором для реалізації сучасних задач автоматизації. Його універсальність, висока масштабованість, розвинені мережеві функції, підтримка стандартів промислової безпеки та централізоване програмне середовище забезпечують не лише ефективне впровадження, а й

					Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	54

зручність подальшої експлуатації та обслуговування систем керування. Особливо важливою є можливість інтеграції з іншими компонентами екосистеми Siemens, що підвищує цілісність інженерних рішень та знижує загальну вартість володіння системою.

Контролер Siemens S7-1200 є сучасним програмованим логічним контролером (ПЛК), який відзначається високою гнучкістю, масштабованістю та інтегрованими засобами зв'язку. Він належить до платформи TIA Portal (Totally Integrated Automation) і забезпечує ефективну інтеграцію із засобами автоматизації Siemens, зокрема з HMI-панелями серії KTP.

Архітектура S7-1200 базується на модульному принципі, що дозволяє адаптувати конфігурацію системи до конкретних вимог об'єкта. Центральні процесорні модулі (CPU) цієї серії мають вбудовані цифрові входи/виходи, а також підтримку аналогових сигналів та інтерфейсів зв'язку, таких як PROFINET, Modbus TCP, USS або серійні протоколи через додаткові комунікаційні модулі. Залежно від моделі, контролер також підтримує PID-регулювання, високошвидкісний лічильник, генерацію ШІМ-сигналів, а також механізми діагностики та захисту.

У межах даної автоматизованої системи контролер Siemens S7-1200 виконує роль центрального обчислювального блоку, до якого підключаються технологічні давачі та вимірювальні пристрої. Датчик тиску SITRANS P серії ZD має аналоговий вихід типу 4–20 мА, що дозволяє безпосереднє підключення до аналогових входів модуля SM1231 AI, який є сумісним із CPU контролера. Аналогічно, ультразвуковий рівнемір Siemens Sitrans Probe LU, який також працює на виході 4–20 мА, може бути підключений до аналогового модуля.

Температурний датчик SITRANS TS500 Ex-d, залежно від типу чутливого елемента (RTD або термопара), потребує відповідного входу. Для підключення RTD-датчика використовується модуль SM1231 AI RTD, який забезпечує точне вимірювання температури за допомогою сенсорів Pt100 або Pt1000. У разі

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		55

використання термопари доцільно застосовувати модуль SM1231 AI Thermocouple.

Ультразвуковий витратомір газу Q.Sonic2 підтримує декілька варіантів зв'язку, серед яких поширеним є Modbus RTU через RS485 або Modbus TCP через Ethernet. Контролер S7-1200 може бути оснащений комунікаційним модулем SM1241 для забезпечення RS485-зв'язку або може використовувати вбудований PROFINET-порт для підключення пристроїв, що працюють за протоколом Modbus TCP. Передача даних між контролером та витратоміром може бути реалізована через опитування регістрів пристрою з використанням стандартної бібліотеки Modbus Master, яка підтримується в середовищі TIA Portal.

Операторська панель Siemens серії KTP (наприклад, KTP700 Basic або KTP900 Comfort) інтегрується з контролером S7-1200 через PROFINET-з'єднання. Вона використовується для візуалізації технологічних процесів, введення параметрів, а також моніторингу системних повідомлень та аварій. Завдяки єдиній платформі розробки TIA Portal забезпечується безперешкодна інтеграція НМІ та ПЛК з уніфікованою адресацією тегів та діагностичних повідомлень.



Рисунок 3.7 –Вигляд контролера Siemens S7-1200

										Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата							56

Таким чином, використання контролера Siemens S7-1200 у складі даної системи дозволяє забезпечити надійне, масштабоване та високоточне керування технологічними процесами з інтеграцією всіх первинних вимірювальних приладів та засобів візуалізації в єдине середовище автоматизації.

3.3 Використання ПЛК Siemens S7-1200 для технологічної сигналізації

Застосування технологічної сигналізації з використанням контролера Siemens S7-1200 спрямоване на забезпечення своєчасного виявлення та індикації критичних відхилень у параметрах технологічного процесу, що дозволяє уникнути аварійних ситуацій і забезпечити безпечну роботу обладнання.

Контролер Siemens S7-1200 виконує функцію централізованого пристрою збору та обробки сигналів від первинних засобів вимірювання. До нього підключаються аналогові та дискретні сигнали з таких пристроїв, як датчики тиску (SITRANS P ZD), температури (SITRANS TS500 Ex-d), рівня (Sitrans Probe LU) та витрати (Q.Sonic2). Дані з них надходять безпосередньо або через модулі розширення, залежно від конфігурації системи.

У середовищі програмування TIA Portal для кожного вимірювального параметра задаються порогові значення, що визначають межі допустимої роботи обладнання. Коли поточне значення виходить за ці межі, в контролері формується логічний сигнал тривоги або попередження. Для запобігання помилковим спрацюванням можуть додаватися функції затримки, гістерезису або цифрової фільтрації.

Операторська панель Siemens KTP400 Basic слугує інтерфейсом для візуалізації стану сигналізації. У випадку перевищення граничних значень відповідні індикатори змінюють колір або починають блимати, супроводжуючись текстовими повідомленнями. Також передбачено можливість квітування (підтвердження) тривоги, що фіксується в системі.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		57

Крім графічного відображення, сигналізація може дублюватися за допомогою зовнішніх пристроїв: звукових сирен, світлових табло або сигнальних ламп. Вони активуються через вихідні сигнали контролера, коли параметр досягає аварійного рівня.

При необхідності реалізується функція архівації тривоги або передача їх до SCADA-системи для централізованого моніторингу й аналітики. Це дозволяє не лише оперативно реагувати на події, а й проводити ретроспективний аналіз причин відхилень.

Завдяки використанню Siemens S7-1200 у поєднанні з сучасними засобами вимірювання та НМІ-панеллю, система сигналізації є гнучкою, масштабованою та адаптованою до конкретних умов експлуатації, забезпечуючи високу надійність і зручність для обслуговуючого персоналу.

Висновки до розділу

У цьому розділі бакалаврської роботи здійснено комплексне дослідження технологічного об'єкта – блоку гідроочистки, який є ключовим елементом у процесі очищення нафтових фракцій від небажаних домішок, зокрема сірковмісних, азотистих, кисневих сполук, а також механічних забруднень. Особливу увагу приділено аналізу технологічного процесу з точки зору його автоматизованого керування, що включає дослідження параметрів, які підлягають контролю та регулюванню, а також виявлення потенційно небезпечних режимів роботи установки.

У ході дослідження проведено детальний аналіз структури об'єкта, визначено ключові контрольні точки, де необхідно здійснювати вимірювання тиску, температури, витрати, рівня та складу середовища. На основі цього обґрунтовано доцільність вибору відповідних технічних засобів автоматизації – вимірювальних перетворювачів, сигналізаторів, регулюючої арматури, програмованих логічних контролерів, комунікаційного обладнання та

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		58

допоміжних пристроїв. При виборі обладнання враховувалися фактори точності, надійності, сумісності з іншими компонентами системи, стійкості до агресивних середовищ та відповідності сучасним стандартам автоматизації.

Окрім технічного підбору, у межах цього розділу розроблено функціональну схему автоматизації блоку гідроочистки. У схемі відображено логічну структуру взаємодії між технологічними елементами, засобами контролю та регулювання, виконавчими механізмами, сигналізаційними пристроями та обчислювальними блоками. Вказано шляхи передачі інформації, передбачено обробку вхідних сигналів, генерацію управляючих дій, а також механізми аварійного захисту. Схема є базою для подальшої розробки алгоритмів програмного забезпечення системи керування, а також для побудови структурної та принципової електричної схеми автоматизації процесу.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		59

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена дослідженню та розробці засобів автоматизації технологічного процесу гідроочистки нафтових олив — одного з ключових етапів у виробництві якісних нафтопродуктів. Актуальність теми зумовлена підвищеними вимогами до екологічних показників паливно-мастильних матеріалів, необхідністю зниження вмісту сірковмісних сполук та забезпечення стабільності технологічного режиму.

У першому розділі роботи здійснено комплексний аналіз сутності технологічного процесу гідроочистки. Описано фізико-хімічні основи процесу, наведено схему його реалізації у промислових умовах та охарактеризовано основні цілі — зокрема зниження вмісту небажаних сірчистих, азотистих і кисневих домішок у готових продуктах. Детально розглянуто властивості сировини, каталізаторів, водневмісного середовища, а також параметри готової продукції, отриманої в результаті очищення. Наведено технічні характеристики основного технологічного обладнання, зокрема реакторів, відгонних колон, теплообмінників, компресорів і насосного обладнання, що забезпечує функціонування блоку гідроочистки.

Другий розділ роботи присвячено формалізованому опису об'єкта автоматизації — зокрема математичному моделюванню керованого процесу. Представлено структурну схему об'єкта керування, що відображає взаємозв'язок між основними параметрами. Як об'єкт дослідження обрано відгонну колону, що є важливою ланкою процесу гідроочистки. Визначено передавальні функції системи за основним керованим каналом – температурою на виході колони, та допоміжним каналом – тиском у середині колони. В середовищі Matlab Simulink реалізовано моделювання роботи автоматичних систем регулювання у форматі як одноконтурної, так і каскадної структур. Проведено порівняльний аналіз ефективності різних законів регулювання, таких як П, ІІ, ПІД та ПД. На основі аналізу перехідних процесів обрано оптимальні конфігурації регуляторів: для

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		60

одноконтурної системи — ПІ-регулятор, для каскадної — поєднання ПІД-регулятора на основному контурі з ПД-регулятором на допоміжному. Оцінено якісні показники динаміки: перерегулювання, час усталення, статичну похибку. Додатково перевірено стійкість одноконтурної системи за критерієм Гурвіца, що засвідчило її надійну роботу в заданому діапазоні параметрів.

У завершальному, третьому розділі роботи, основну увагу приділено практичним аспектам реалізації системи автоматизації блоку гідроочистки. На основі результатів математичного моделювання та аналізу технологічної схеми проведено обґрунтований вибір засобів автоматизації, включаючи вимірювальні прилади, виконавчі механізми, програмовані логічні контролери та комунікаційне обладнання. Враховано вимоги до точності, швидкодії, надійності та сумісності компонентів між собою. Розроблено функціональну схему автоматизації, в якій відображено структуру керування процесом, логіку взаємодії елементів системи, принципи передачі та обробки інформації, дії в умовах аварійних ситуацій. Функціональна схема є основою для подальшої розробки програмного забезпечення, а також забезпечує цілісне уявлення про логіку функціонування системи керування технологічним процесом гідроочистки.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		61

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Склабінський В. І. С 43 Технологічні лінії та комплекси нафто- і газопереробних виробництв : навчальний посібник / В. І. Склабінський, О. О. Ляпощенко. – Суми : Сумський державний університет, 2023. – 516 с. ISBN 978-966-657-960-0
2. Топільницький П. І. Якість і властивості товарних нафтопродуктів : навч. посібник / П. І. Топільницький, О. Б. Гринишин, В. В. Романчук. – Львів : Левада, 2019. – 203 с.
3. Шапоров В. П. Спеціальне обладнання та процеси органічної хімії : підручник / В. П. Шапоров та ін. – Харків, 2013. – 272 с.
4. Пуховський, Є. С. Проектування технологічних процесів в умовах гнучкого автоматизованого виробництва / Є. С. Пуховський / Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування : збірник наукових праць. – 2010. – № 59. – С. 267–270.
5. Пуховський Є.С., Малафеев Ю.М., Добрянський С.С. П27 Проектування гнучких виробничих систем машинобудування Навч. посібник. – К.: НТУУ «КПІ», 2015. – 204 с.
6. Лекції "Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології". Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_uploadlek1/lek3.html.
7. Технічні засоби автоматизації (Частина 1) / М.В. Лукінюк, В.П. Лисенко, В.Є. Лукін, А.М. Гладкий, С.А. Шворов, А.А. Руденський, А.А. Заверткін. Ніжин.: Видавець ПП Лисенко М.М., 2017. 569 с.

				БР.АКПзд-10.00.00.000 ПЗ	Арк
Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		62