

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет	<i>Навчально-науковий технологічний інститут</i>
Кафедра	<i>Електричної інженерії та автоматизації</i>
Спеціальність	<i>151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології</i>
Форма навчання	<i>денна</i>

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Біленко Захар Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему *«Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система блоку низькотемпературної сепарації установки комплексної підготовки газу»*

(повна назва теми)

за матеріалами

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

PhD

(наук. ступінь, вчене звання)

(підпис)

Соломенко А.Г.

(прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 20__ р. № _____

Завідувач кафедри

(підпис)

Є.О. Модло

Наук. ступень, вчене звання

Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Електричної інженерії і автоматизації

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Електричної інженерії і автоматизації

В.о. зав. каф.

Модло Є.О.

(підпис)

(посада, вчене звання,
прізвище ініціали)

« ____ »

2026__ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ(КИ)

Біленко Захар Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи бакалавра Автоматизована система блоку низькотемпературної сепарації установки комплексної підготовки газу

керівник кваліфікаційної роботи PhD, Соломенко А.Г.

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06»04.2026 р. № 239-ст

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 01.06.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи бакалавра: статті, патенти, промислові дослідження

Об'єкт розробки і дослідження – автоматизована система низькотемпературного сепаратора

Характер навантаження – робота в тривалому режимі

Тип системи автоматизації: трирівнева.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1 Аналітична частина;

4.2 Основна частина.

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

1 Загальний вигляд низькотемпературного сепаратору високого тиску

2 Функціональна схема

3 Структурна схема

4 Структурна схема САУ

5 Вибір засобів для реалізації проекту АС

6 Вибір засобів для реалізації проекту АС

7 Принципова електрична схема

8 Результати моделювання

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 Аналітична частина	PhD, Соломенко А.Г.		
2 Основна частина	PhD, Соломенко А.Г.		

7. Дата видачі завдання «__20__» ____04_____ 2026р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	29.04.2026	
2.	Основна частина	06.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	13.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	25.05.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	01.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	19.06.2026	

Студент

(підпис)

Біленко З.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Соломенко А.Г.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Біленко З.В. «Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система блоку низькотемпературної сепарації установки комплексної підготовки газу» – Бакалаврська робота. – Кривий Ріг, 2026. 69 с., 24 рис., 16 табл., 20 джерел.

Об'єкт досліджень – автоматизована система низькотемпературного сепаратора. Предмет дослідження – система регулювання роботи об'єкта.

Мета роботи полягає у розробці автоматизованої системи низькотемпературної сепарації, що включає вибір структури та архітектури системи, вибір конкретних засобів реалізації: датчиків, контролера та виконавчих механізмів, математичне моделювання та подання у вигляді екранних форм у SCADA-системі.

У цьому проекті було розроблено автоматизовану систему установки низькотемпературної сепарації, виконану з урахуванням промислового контролера Siemens Simatic S7-300. Моделювання частини системи здійснювалося у програмі MATLAB, а візуалізація процесів, що відбуваються, стала можливою завдяки SCADA системі WinCC. У ході виконання роботи було розроблено схеми, що включають функціональні схеми автоматизації, схему з'єднання зовнішніх проводок, моделювання САР у MATLAB, дерево екранних форм із SCADA-екранами конкретних об'єктів, схему трирівневої архітектури та схему інформаційних потоків. Проведено комп'ютерне моделювання електроприводу в різних режимах роботи. Використані такі методи дослідження: як математичні розрахунки, графічні побудови, математичні залежності.

НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИЙ СЕПАРАТОР ВИСОКОГО ТИСКУ,
АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ, ПРОГРАМУВАНИЙ
ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР, ЕЛЕКТРОННІ ДАТЧИКИ, SCADA, ЕКРАННІ
ФОРМИ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Опис технологічного процесу низькотемпературної сепарації	10
1.2 Характеристика об'єкта	13
1.3 Режим роботи низькотемпературного сепаратора	16
1.4 Постановка задачі регулювання	17
1.5 Загальна характеристика об'єкта управління та вимоги АСУ сепаратора	19
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА	24
2.1 Розробка структурної схеми АС	24
2.2 Функціональна схема автоматизації	26
2.3. Розробка схеми інформаційних потоків	27
2.4 Вибір засобів для реалізації проекту АС	29
2.4.1 Вибір контролерного обладнання	29
2.4.2 Вибір пристроїв вимірювання	34
2.4.2.1 Датчики тиску	34
2.4.2.2 Датчик температури	37
2.4.2.3 Вибір витратоміра	41
2.4.2.4 Вибір рівнеміра	43
2.4.2.5 Вибір датчика-сигналізатора рівня	46
2.5 Вибір виконавчих механізмів	49
2.5.1 Вибір регулювального клапана	49
2.6 Розробка схеми зовнішніх підключень	51
2.7 Вибір алгоритмів керування АС	52
2.7.1 Алгоритм збору даних вимірів	53
2.7.2 Алгоритм автоматичного регулювання технологічним параметром	54
2.8 Екранні форми АС	59

2.8.1 Розробка дерева екранних форм	59
2.8.2 Розробка екранних форм АС	59
2.8.3 Область відеокадру	60
2.8.4 Мнемознаки	60
2.9 Заходи із охорони праці та безпеки життєдіяльності	61
2.9.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників	61
2.9.2 Інженерно-технічні заходи захисту від ураження електрич. струмом	63
2.9.3 Екологічна безпека	63
2.9.4 Пожежна безпека	64
2.9.5 Вибухобезпека	64
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ	69

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

НТС - низькотемпературна сепарація газу.

УСК - установка стабілізації конденсату.

АС - автоматизована система - комплекс апаратних та програмних засобів, призначений для управління різними процесами в рамках технологічного процесу.

ТЗ - технічне завдання на АС - затверджений в установленому порядку документ, що визначає цілі, вимоги та основні вихідні дані, необхідні для розробки автоматизованої системи.

ТП - технологічний процес.

СУБД - система управління базами даних це – сукупність програмних та мовних засобів, призначених для управління даними в базі даних, ведення бази даних, забезпечення розрахованого на багато користувачів доступу до даних.

Архітектура АС - архітектура автоматизованої системи - це набір значних рішень щодо організації системи програмного забезпечення, набір структурних елементів та його інтерфейсів, з яких komponується АС.

SCADA - інструментальна програма для розробки програмного забезпечення систем управління технологічними процесами в реальному часі та збору даних.

АСУ ТП - автоматизована система керування технологічним процесом.

ВСТУП

Сучасні газові комплекси потребують точного контролю, щоб мінімізувати втрати та працювати на повну потужність. Саме тому оновлення автоматики на установках комплексної підготовки газу, особливо в блоках низькотемпературної сепарації, виходить на перший план. На сьогоднішній день стандартна схема встановлення комплексної підготовки газу має достатній ступінь автоматизації та забезпечує максимальний рівень контролю технологічних параметрів. Однак для підвищення економічної ефективності, підвищення продуктивності розглядається автоматизація низькотемпературного сепаратора високого тиску.

У випускній роботі надається добір комплексу апаратно-технічних засобів згідно з технічним завданням. Спроековано схеми, що відображають обсяг автоматизації та його функціональні властивості, розроблено схему зовнішніх підключень обладнання КВП. Розроблено алгоритми керування, збору даних.

Для запобігання таким ситуаціям створюється автоматизована система з високою надійністю роботи, можливістю резервування і роботи без відключення системи. Більш точний контроль та управління технологічними параметрами дозволяють досягти більшого ККД, що також призводить до вищих економічних показників.

У роботі проектується автоматизована система управління низькотемпературним сепаратором високого тиску на базі сучасного обладнання та програмного забезпечення.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис технологічного процесу низькотемпературної сепарації

Специфіка видобутку газу полягає у наявності високих тисків усередині пласта на перших етапах розробки родовища. Газ виходить із свердловини зі значним тиском, близько 100-150 атм. і вище. Тому логічно, що найлегший і найпоширеніший варіант обробки газу за таких умов - це низькотемпературна сепарація газу (НТС), де використовується мінімум капітальних вкладень за показників, що задовольняють на виході. Параметри, які необхідно отримати на виході з установки НТС, щоб газ відповідав галузевим стандартам (наприклад, для подачі до магістрального газопроводу), поділяються на дві категорії: технологічні (режимні) параметри самого процесу та критерії якості товарного газу.

Таблиця 1.1

Технологічні параметри роботи установки (режим НТС)

Параметр	Значення на вході (Свердловина)	Значення на виході / в сепараторі
Тиск	100 – 150 атм	45 – 60 атм
Температура	Додатна (пластова, ~ +20...+40 °C)	-15 °C ... -30 °C
Точка роси за водою	Насичений газ	-15 °C ... -25 °C
Точка роси за вуглеводнями	Висока	-5 °C ... -10 °C

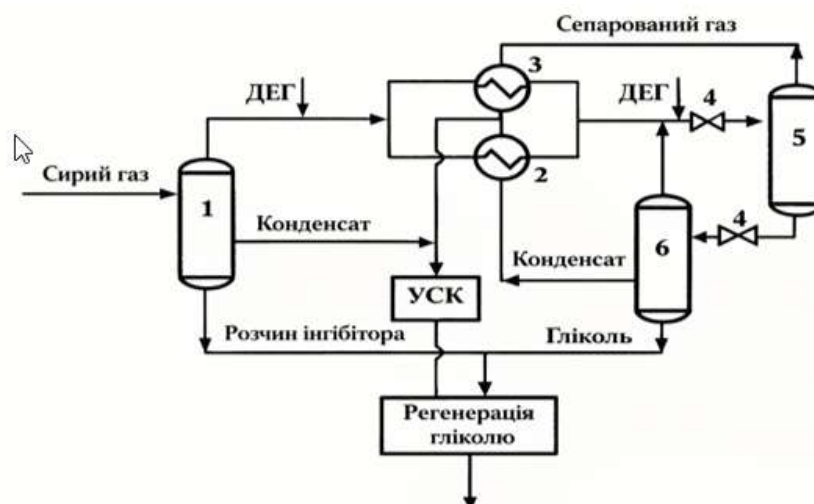
Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Головним завданням НТС є підготовка газу до транспортування, щоб у трубі не утворювалися гідратні пробки та не випадав конденсат. Також переважним плюсом цього методу є простота експлуатації та обслуговування обладнання. Як правило, основна технологія включає кілька судин під тиском (сепаратори), кілька теплообмінників і дросель (або турбодетандер). Природний газ виносить із свердловин газовий конденсат, воду та дрібні частки гірської породи. Газ являє собою дисперсну систему з дисперсною рідкою та твердою фазами. На початкових етапах експлуатації газоконденсатних родовищ P_{ex}

установки НТС значно перевищує P , необхідне для подачі в магістральні трубопроводи. Надлишковий тиск газу використовується для отримання низьких температур, необхідних для відділення конденсату методом низькотемпературної сепарації.

Низькотемпературна сепарація це спосіб очистити газ від зайвої рідини за допомогою сильного охолодження, зазвичай у межах від -10 до -25 °С. При такій температурі конденсація змушує газ і рідину розділитися. Ця технологія критично важлива, адже вона дозволяє чітко відстежувати об'єми вилученого конденсату та тримати баланс системи. Сам процес складається з п'яти простих кроків. Спочатку газ потрапляє у вхідний сепаратор, де з нього прибирають перші великі пробки рідини. Потім цей потік трохи охолоджується у теплообміннику завдяки вже очищеному холодному газу. На третьому етапі температуру скидають ще нижче через різке зниження тиску, для цього використовують звичайний дросель, трубку Ранка або турбодетандер. Після цього максимально охолоджена суміш ділиться на газ і рідину в спеціальному резервуарі. Наприкінці готовий чистий газ трохи підігрівають у теплообміннику і спокійно відправляють у магістральну трубу.

Опис типової схеми установки НТС (рис.1.1-1.2)



1, 5, 6 – сепаратори; 2,3 – рекуперативні теплообмінники; 4 – дросель.

Рис.1.1. Принципова технологічна схема низькотемпературної сепарації газу

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

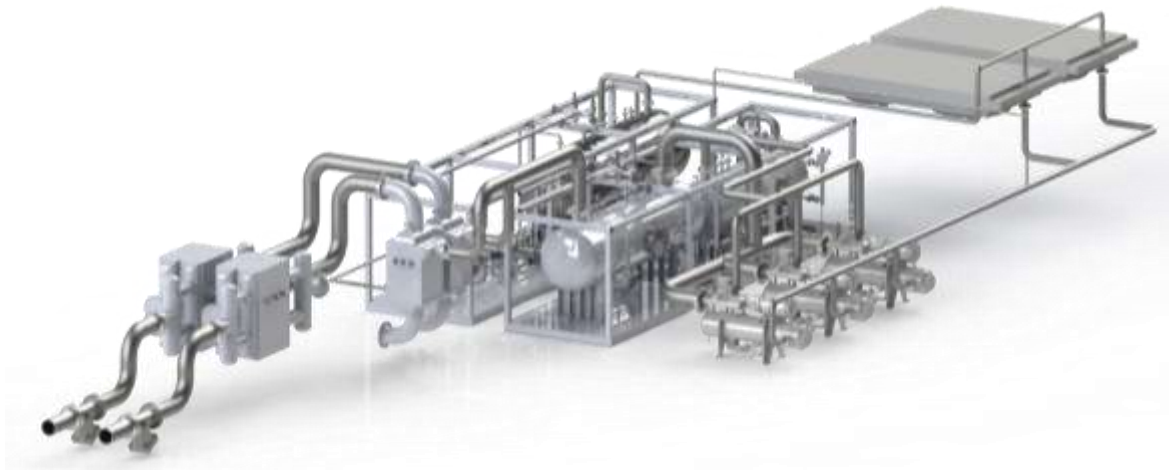


Рис.1.2. Установка низькотемпературної сепарації

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Наведена схема відображає процес осушення природного газу із застосуванням гліколю. Сирий газ надходить у сепаратор, де відокремлюється рідка фаза (конденсат). Очищений від першої вологи газ перенаправляють у рекуперативні теплообмінники, де він охолоджується за рахунок уже відпрацьованого холодного потоку. Щоб усередині обладнання не утворювалися крижані гідратні пробки, прямо перед теплообмінним апаратом у систему додають спеціальний інгібітор - зазвичай це метанол або гліколь. Далі підготовлений потік проходить через дросель або детандер. Через різке падіння тиску температура газу стрімко падає, і він потрапляє в головний низькотемпературний сепаратор. Тут суміш остаточно розділяється: сухий газ відокремлюється від конденсату важких вуглеводнів та насиченого водою інгібітора. Після цього осушений газ повертається в рекуперативні

теплообмінники. Там він спочатку трохи прогрівається сам, потім віддає залишки холоду рідкій фазі, що виходить із НТС, і лише після цього відправляється в магістральну мережу.

Таким чином, низькотемпературні сепаратори (НТС) служать для очищення крапельної рідини, яка скидається на факел. НТС входять до складу факельної системи при газових, нафтових, газоконденсатних родовищах.

1.2 Характеристика об'єкта

Об'єктом бакалаврської роботи є автоматична система регулювання низькотемпературним сепаратором. Схема сепаратора наведена на рис.1.3.

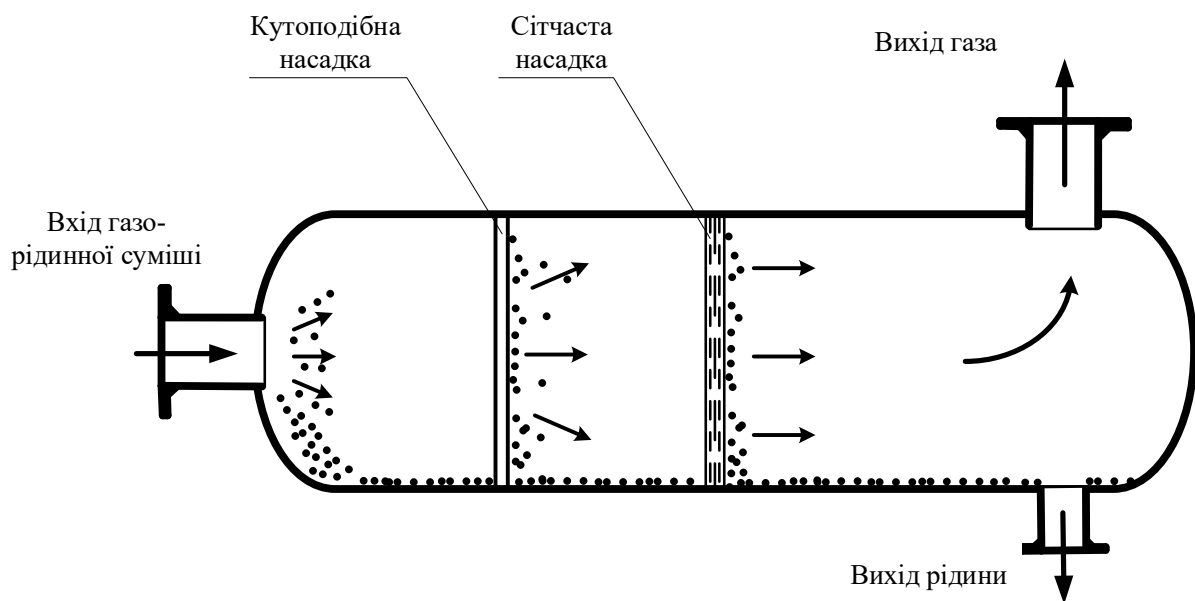


Рис.1.3. Низькотемпературний сепаратор високого тиску

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Функціональна схема блоку сепарації наведена рис. 1.4

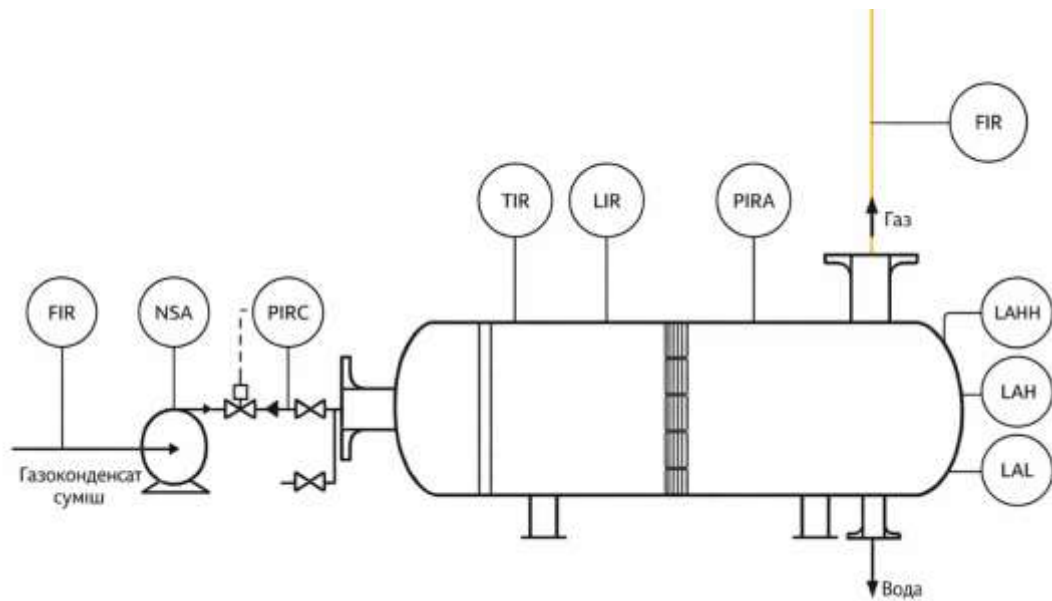


Рис.1.4. Функціональна схема блоку сепарації

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Головне завдання первинного сепаратора полягає в тому, щоб відсікти основний об'єм рідини від загального газового потоку. Процес очищення починається в середній зоні апарату, де газ натрапляє на спеціальне відбійне ребро. У цей момент швидкість і напрямок руху суміші різко змінюються, завдяки чому зважені краплі вологи втрачають інерцію та стікають по поверхні елементів донизу.

Для максимального уловлювання дрібнодисперсної вологи в конструкції передбачена жалюзійна насадка. Проходячи крізь її пластини, газ знову змушений постійно змінювати траєкторію. Це змушує найдрібніші краплинки злітатися, укрупнюватися і формувати суцільну плівку. Далі ця рідина через зливні трубки потрапляє в спеціальні кишені, які працюють за принципом гідрозатвору, і стікає в куб сепаратора. У нижній частині апарату суміш підігрівається, що дозволяє додатково виділити залишки розчиненого газу з відсепарованого конденсату. Низькотемпературний сепаратор це циліндричний апарат, в якому встановлюється кутова і вертикальна сітчасті насадки. Для

підтримки встановлених номінальних режимів роботи та зручності обслуговування НТС мають технологічні штуцери, а також штуцери для приладів КВП. Газорідинна суміш в низькотемпературний сепаратор надходить через штуцер входу. Після чого газ надходить на кутову насадку, щоб рівномірно розподілити потік по перерізу апарату, а також частково відокремити краплинну рідину. Після цього очищення газу здійснюється в вертикальній сітчастій насадці та в зоні гравітаційного осадження. Рідину, що відокремилася, скидають через штуцер в дренажну ємність. У сепараторі відбувається:

- гравітаційне осадження рідини
- інерційне відділення крапель
- очищення газу від механічних домішок

Технічні характеристики низькотемпературного сепаратора наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Технічні характеристики низькотемпературного сепаратора

Продуктивність газу, млн. м ³ /добу	До 10
Робочий тиск, МПа	4
Діаметр, мм	3200
Довжина, мм	18000
Маса, кг	21100
Ефективність очищення газу рідини, %	Не менше 99

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

Склад (перелік) вхід/вихідних сигналів (вимірювальних, сигнальних, командних та керуючих) наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Склад (перелік) вхід/вихідних сигналів (вимірювальних, сигнальних, командних та керуючих) низькотемпературного сепаратора

Найменування сигналу	Ідентифікатор сигналу	Діапазон вимірювання	Одиниці виміру	Тип сигналу	Технологічні			
					Попередження		Аварійне	
					min	max	min	max
Витрата газорідинної суміші, що надходить	RAS_TRB_VHOD	0-480	м³/год	4-20 мА	+	-	-	-
Витрата газорідинної суміші, що виходить	RAS_TRB_VYHD	0-480	м³/год	4-20 мА	+	-	-	-
Тиск у нагнітальному колекторі	DAV_N11_NGNT	0.010-25	МПа	4-20 мА	-	-	-	+
Управління засувкою, точка	UPR_K1_VHOD_REG	0-100	%	4-20 мА	-	-	-	-
Рівень газорідинної суміші у факельному сепараторі	URV_FSP_GJSM	0-11920	мм	4-20 мА	-	-	-	-
Нижній рівень газорідинної суміші у факельному сепараторі	URV_FSP_GJSM_PREDL	-	-	DI	+	-	-	-
Верхній рівень газорідинної суміші у факельному сепараторі	URV_FSP_GJSM_PREDH	-	-	DI	-	+	-	-
Верхній аварійний рівень газорідинної суміші у факельному сепараторі	URV_FSP_GJSM_AVARH	-	-	DI	-	-	-	+
Температура газорідинної суміші у факельному сепараторі	TEM_FSP_GJSM	-30...+50	°C	4-20 мА	-	-	-	-
Тиск в газорідинної суміші у факельному сепараторі	DAV_FSP_GJSM	-30...+50	°C	4-20 мА	-	-	-	-
Управління електродвигуном насоса	UPR_N12_VYHD_REG	-	-	DI	-	-	-	-

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [2]

1.3 Режим роботи низькотемпературного сепаратора

Об'єкт дослідження - низькотемпературний сепаратор встановлення комплексної підготовки газу.

Режим роботи - безперервний. Вид сировини - пластовий газ.

Низькотемпературний сепаратор (НТС) працює в умовах понижених температур і підвищеного тиску з метою ефективного відокремлення важких вуглеводнів із природного або нафтового газу.

АС має забезпечувати таке: місцевий візуальний контроль основних параметрів технологічного процесу; автоматичну підтримку заданого технологічного режиму роботи установки; планову автоматичну зупинку

встановлення; аварійну автоматичну зупинення та блокування програми пуску установки з подачею звукової та світлової сигналізації при відхиленні від встановлених значень основних технологічних параметрів.

Тиск: 4-12 МПа (інколи до 20 МПа) залежить від родовища та технології підготовки газу. Температура: від -10 °С до -70 °С формується за рахунок: дроселювання (ефект Джоуля-Томсона) або роботи детандера. Швидкість газу: 0,1-0,5 м/с (всередині апарата) забезпечує ефективне осадження крапель.

Регулювання режиму.

Тиск: регулюється дросельним клапаном (PCV)

Рівень рідини: підтримується автоматично (LV) важливо уникати: переповнення прориву газу в рідинну лінію

Температура: контролюється датчиками (ТТ) залежить від ефективності охолодження

1.4 Постановка задачі регулювання

Аналіз світового досвіду та наукових публікацій допомагає розібратися в сучасних технологіях і чітко сформулювати завдання для проектування нової системи автоматизації

1. Опис технологічного процесу
2. Вибір архітектури АС
3. Розробка структурної схеми АС
4. Функціональна схема автоматизації
5. Розробка схеми інформаційних потоків АС
6. Вибір коштів реалізації АС
7. Розробка схеми з'єднання зовнішніх проводок
8. Вибір (обґрунтування) алгоритмів керування АС
9. Розробка екранних форм АС

Низькотемпературний сепаратор високого тиску (НТС) є ключовим апаратом у технологічній схемі підготовки природного або нафтового газу.

Основне призначення НТС - відділення важких вуглеводнів і води від газу шляхом конденсації при низьких температурах.

Для стабільної та ефективної роботи апарата необхідно забезпечити автоматичне регулювання основних технологічних параметрів: тиску, температури і рівня рідини.

Метою системи автоматичного регулювання НТС є:

Підтримка заданого робочого тиску на вході і виході сепаратора.

Підтримка рівня конденсату у збірнику, щоб уникнути переповнення або виносу рідини в газову фазу. Контроль температури газу на вході та виході для забезпечення ефективної конденсації важких вуглеводнів.

Забезпечення безпечного та стабільного режиму роботи апарата (табл.1.4).

Таблиця 1.4

Основні регульовані параметри

Параметр	Позначення	Діапазон	Мета регулювання
Тиск газу на вході	P ₁	4–12 МПа	Підтримка робочого тиску
Тиск газу на виході	P ₂	3–10 МПа	Регулювання перепаду тиску
Рівень рідини	L	0,3–1,0 м	Уникнення переповнення сепаратора
Температура газу	T	–10...–70 °C	Забезпечення конденсації важких вуглеводнів

Примітка. Джерело: розроблено з використанням [5, 6]

Задача регулювання

Регулювання НТС полягає у підтримці заданих параметрів при зміні вхідного газу та зовнішніх умов:

При збільшенні витрати газу або зміні складу газової суміші система автоматично змінює:

- хід дросельного клапана (PCV) для підтримки тиску;
- хід клапана рівня (LV) для підтримки рівня рідини.

При зміні температури вхідного газу або ефективності теплообмінника система регулює:

- охолодження в теплообміннику та холодильнику;
- режим дроселювання для досягнення потрібної температури;

Забезпечується сигналізація про аварійні режими:

- високий / низький тиск;
- високий / низький рівень;
- перевищення температури.

1.5 Загальна характеристика об'єкта управління та вимоги АСУ сепаратора

Метою даної роботи є розробка системи автоматичного управління обладнанням низькотемпературним сепаратором.

Призначенням АСУ ТП є забезпечення оперативного контролю технологічних параметрів, попереджувальної та передаварійної сигналізації, відображення про хід технологічного процесу, автоматизація контролю основних технологічних параметрів у низькотемпературному сепараторі високого тиску.

У цій випускній бакалаврській роботі розглядається система автоматизації, головним завданням якої є повне керування технологічним обладнанням низькотемпературного сепаратора високого тиску. Оновлена АСУ ТП дозволяє не лише ефективно вести сам процес сепарації, а й повністю контролювати етапи безаварійного пуску та зупинки установки, що суттєво підвищує загальну безпеку виробництва.

АСУ ТП має забезпечувати:

- збір із попередньою обробкою даних від первинних джерел (датчиків, виконавчих механізмів);
- перевірка даних на достовірність;
- відображення технологічного процесу в реальному часі оператору;
- автоматичне та дистанційне переведення технологічного процесу у безпечний стан при виникненні аварійних ситуаціях;
- попередження та сигналізація при відхиленні від робочих технологічних параметрів;

Головна функція розробленої автоматики полягає в постійному моніторингу кількості рідкої фази, що дозволяє утримувати цей параметр у межах регламентних значень. У разі виникнення аварійного стрибка система без участі людини перемикає апарат низькотемпературної сепарації в режим захисту. Одночасно з цим автоматизований комплекс аналізує роботу компресорної установки та здійснює регулярне тестування справності власних блоків.

В основі побудови системи лежить класичний трирівневий принцип керування. Перший (польовий) рівень об'єднує датчики вимірювання витрати, тиску, температурних показників і кількості речовини в резервуарі, а також аварійні сповіщувачі, комунікаційні кабелі та допоміжні пристрої КВПіА.

Проміжний або середній ступінь призначений для акумуляції сигналів від периферійних приладів та надсилання відповідних керуючих імпульсів на клапани й засувки за допомогою цифрових каналів зв'язку.

Найвищий рівень архітектури збирає та аналізує дані, що надходять від промислових контролерів. На цьому етапі відбувається приведення сигналів до потрібного масштабу, узгодження роботи всіх вузлів, фіксація подій в архівах, друк звітів та відображення поточної схеми на моніторі АРМ оператора для зручної взаємодії з персоналом.

З метою безпеки всі струмопровідні частини апаратури надійно ізольовані від випадкових дотиків та під'єднані до загального заземлювального контуру. Специфіка газового об'єкта вимагає суворого дотримання правил противибухового захисту, тому під час проектування обов'язково закладаються бар'єри іскрозахисту. Сама контролерна частина має блочну конфігурацію, яка дозволяє виконувати оперативне обслуговування компонентів без зупинки системи та підтримує алгоритми автоматичного виявлення внутрішніх помилок. Крім того, архітектура передбачає можливість подальшого розширення за рахунок підключення нових модулів вводу-виводу, для чого на етапі розробки враховано апаратний запас за потужністю щонайменше в одну п'яту частину від номіналу.

Прилади польового рівня розраховані на постійне вимірювання та перетворення поточних значень технологічних параметрів, таких як температурні показники, тиск, витрата та рівень речовини, а також на пряме регулювання ходу технологічного процесу. Цей апаратний комплекс, куди входять первинні датчики, виконавчі органи та блоки керування електроприводами, монтується безпосередньо на відкритому промисловому майданчику.

Для роботи з електричними засувками передбачено основне керування через аналоговий сигнал 4-20 мА, який для надійності дублюється через інтерфейс RS-485 із використанням протоколу ModBus RTU на випадок збоїв у головному каналі. Самі електроприводи запірної арматури комплектуються двигунами змінного струму. Регулювання їхньої роботи здійснюється за допомогою частотних перетворювачів, які так само сприймають стандартний струмовий сигнал 4-20 мА. Усе польове обладнання підбирається у вибухозахищеному використанні, має стійкість до впливу агресивного технологічного середовища та рівень захисту від пилу й вологи щонайменше IP65. Крім того, архітектура комплексу підтримує обмін даними за HART-протоколом, що дозволяє взаємодіяти з периферійними приладами безпосередньо з робочої станції оператора за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

У межах метрологічного забезпечення проекту закладено чіткі критерії точності вимірювань. Зокрема, гранична відносна похибка для витратомірних пристроїв не повинна перевищувати 2 %, тоді як для засобів вимірювання тиску, температури та рівня цей показник обмежений значенням 0,25 %. Міжповірочний інтервал для встановлених датчиків становить не менше двох років. Усі вимірювальні канали комплексу відповідають правилам метрологічної сумісності завдяки уніфікації нормованих характеристик згідно з вимогами ДСТУ ISO/IEC Guide 98. Відображення поточної інформації про стан процесу на моніторах та у звітах реалізовано в загальноприйнятих фізичних одиницях із

обов'язковим зазначенням знаку величини та її номенклатурного позначення відповідно до положень ДСТУ ISO 80000-1:2016 «Величини та одиниці».

Функціональні можливості програмного комплексу мають повністю задовольняти потреби АСУ ТП високотискного низькотемпературного сепаратора в частині обробки даних обчислювальними засобами. Робоче місце оператора функціонує на базі стандартних персональних комп'ютерів під керуванням операційної системи MS Windows. До загального складу софту входить базове програмне забезпечення промислових контролерів, а також спеціалізований інженерний пакет для їхнього налаштування, що дозволяє створювати алгоритми захисту, моніторингу та керування. Середовище розробки контролерної бази має підтримувати програмування за допомогою стандартних технологічних мов, зокрема мови релейно-контактних схем або послідовних функціональних блоків.

Організація користувацького інтерфейсу на АРМ оператора побудована на взаємодії через систему екранних меню та функціональних графічних кнопок. Для запобігання помилковим операціям через випадковий дотик система обов'язково вимагає підтвердження важливих команд від персоналу, а також автоматично блокує некоректні дії користувача. Крім того, передбачено надійний захист програмного коду від стороннього або несанкціонованого втручання та внесення змін.

Вимоги до математичного та інформаційного забезпечення

В основі математичного забезпечення комплексу лежить сукупність взаємопов'язаних алгоритмів та обчислювальних методів, які дають змогу реалізувати всі функції автоматизованої системи в межах єдиного математичного апарату як на етапі розробки, так і під час безпосередньої експлуатації.

Інформаційне наповнення системи складається з уніфікованих електронних документів, представлених у вигляді форм періодичної та статистичної звітності. Для збереження даних про стан об'єктів автоматизації

використовується розподілена структурована база даних, яка функціонує разом із відповідними інструментами керування та адміністрування БД.

Вимоги до надійності та живучості елементів

Для забезпечення безперебійної роботи польового та контролерного рівнів закладено високі показники безвідмовності. Зокрема, середній час напрацювання на відмову для датчиків тиску та витратомірних пристроїв становить щонайменше 120000 годин. Для засобів вимірювання температури, рівня, а також аварійних сигналізаторів цей часовий поріг визначено на рівні не менше 50000 годин.

Промислові контролери розраховані на безвідмовну роботу протягом як мінімум 100000 годин. Конструкція контролерного вузла підтримує функцію швидкої «гарячої» заміни модулів в екстрених ситуаціях. Для оперативного пошуку несправностей як контролерна база, так і сучасні периферійні датчики оснащені внутрішніми алгоритмами безперервної самодіагностики.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структурної схеми АС

Автоматика контролює три основні показники, а саме тиск, температуру та рівень. Окрім вимірювань, система відповідає за керування запірною арматурою та вчасно перемикає клапани з електроприводами.

На рисунку 2.1 показано загальну структуру цього комплексу. Оскільки технічне завдання вимагає трирівневої моделі керування, ми побудували систему саме за цим принципом. Ознайомитися з такою схемою можна на рисунку 2.2.

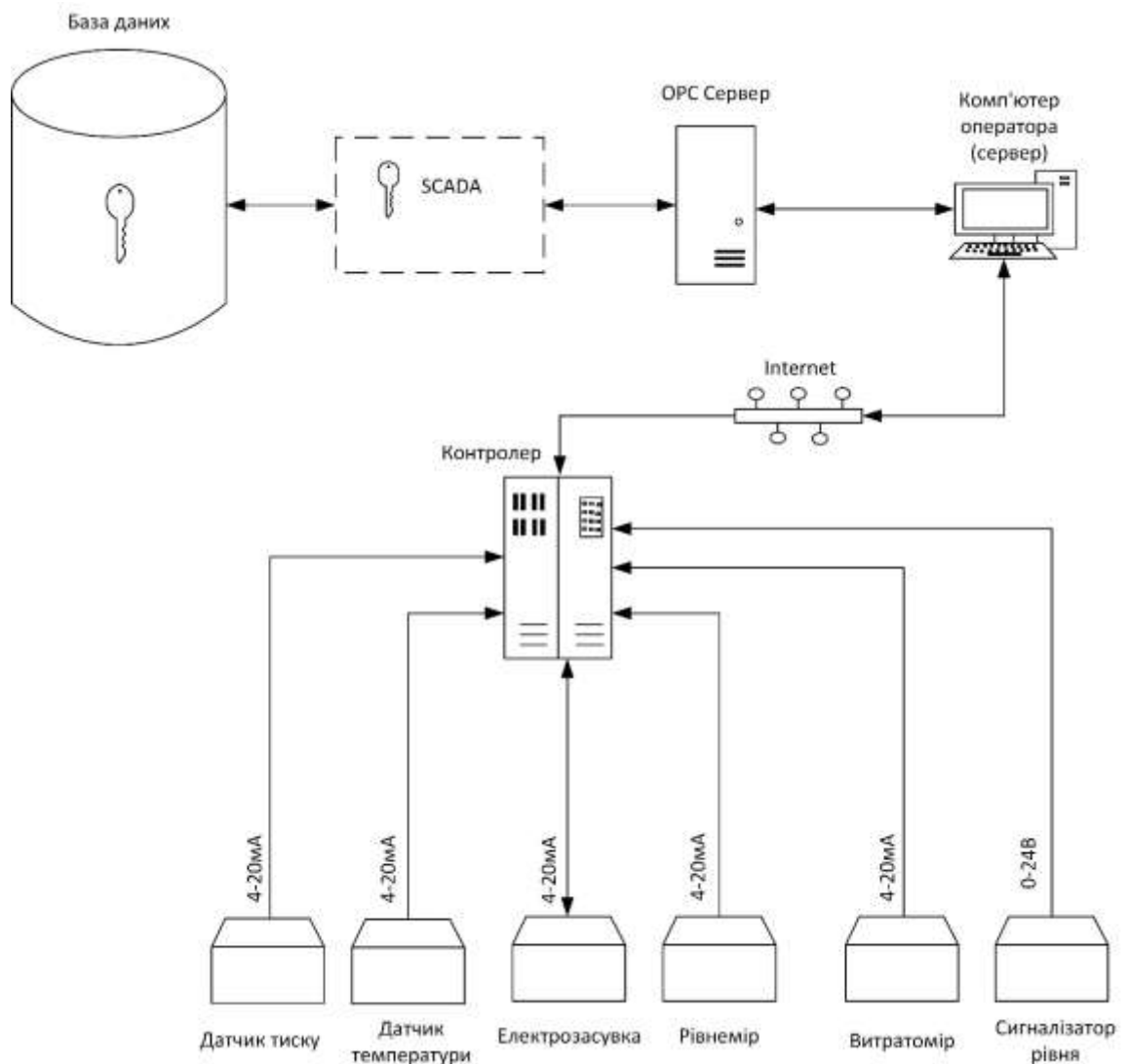


Рис. 2.1. Узагальнена структурна схема

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

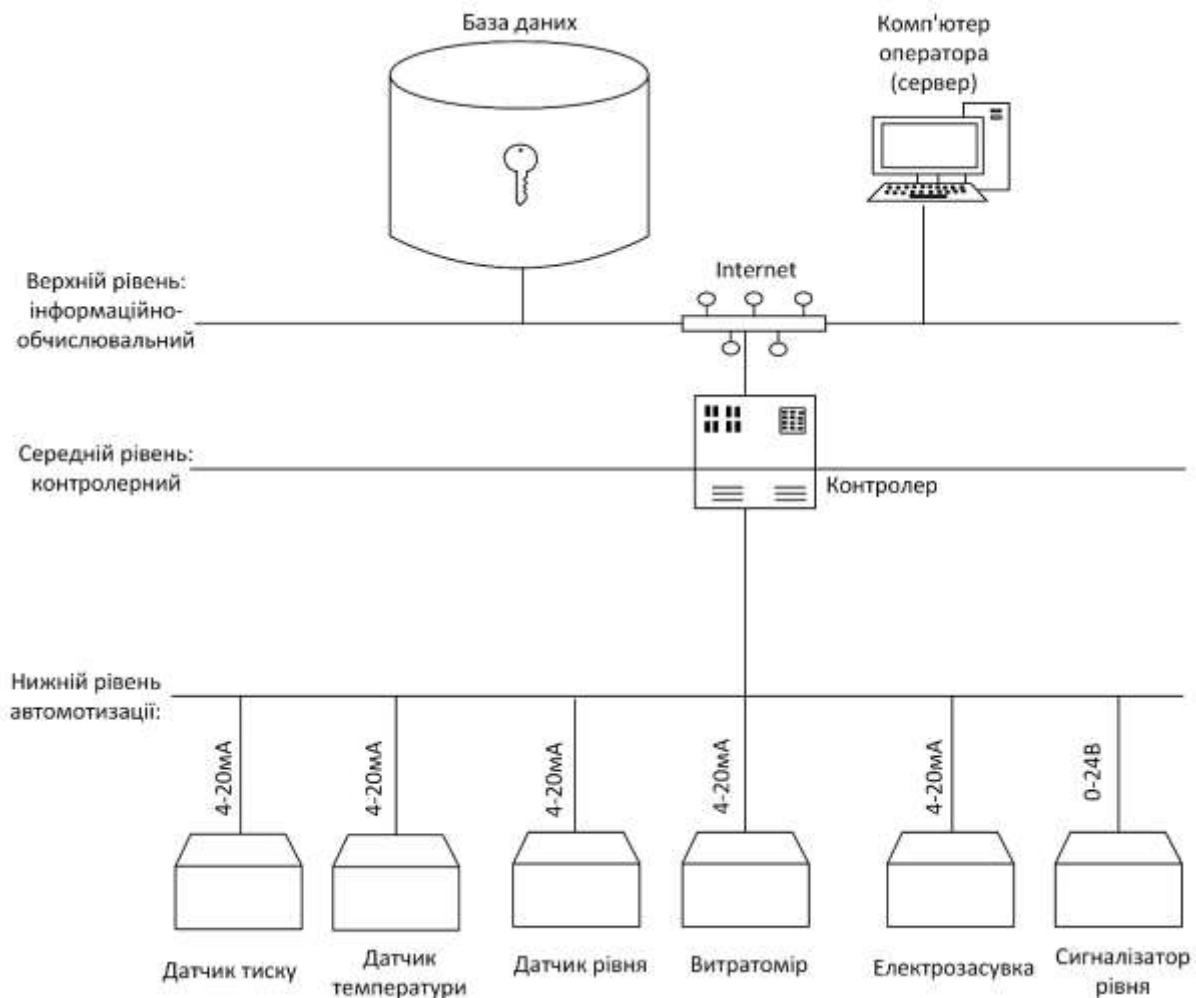


Рис. 2.2. Трирівнева структурна схема АС

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

На базовому нижньому рівні системи працюють окремі первинні пристрої автоматики. Сюди входять датчики для визначення тиску, температури, рівня та витрати речовини. Також тут знаходяться граничні сигналізатори рівня та різноманітні виконавчі механізми. Головне завдання цього рівня полягає в зборі та швидкій передачі сигналів про аварії, поточний стан і положення запірної арматури або насосів. Окрім цього, польові прилади безперервно вимірюють основні параметри самого технологічного процесу.

Проміжну ланку або середній рівень представляє програмований логічний контролер. Цей ПЛК потрібен для того, щоб збирати, оперативно обробляти та

тимчасово зберігати отриману інформацію. На основі цих даних контролер формує точні команди для виконавчих пристроїв, а також підтримує постійний зв'язок із диспетчерським пунктом.

Найвищий рівень структури об'єднує автоматизовані робочі місця операторів та центральну базу даних. Інтерфейс диспетчера реалізовано на базі операційної системи Windows 10 за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення SCADA WinCC. Ця частина комплексу вирішує завдання збору та фінальної обробки сигналів, які надходять від промислового контролера. Також верхній рівень дозволяє автоматично створювати звіти, вести журнали подій, наповнювати технологічну базу даних та керувати процесами в режимі реального часу.

2.2 Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації є важливим технічним документом. Вона визначає блочну структуру для окремих вузлів автоматичного регулювання всього технологічного процесу.

На рис. 2.3 за допомогою умовних графічних позначень представлено повний комплекс автоматики. Сюди входять контури контролю, регулювання, дистанційного керування та аварійної сигналізації проекту. Спеціальні лінії зв'язку на схемі показують канали взаємодії між різними елементами та блоками керування. Для правильного читання схеми використовується специфікація літерних кодів. Робота з витратою газу забезпечується за допомогою чутливого елемента FE та датчика дистанційної передачі сигналу струму FT. Дистанційне пускове налаштування або зупинка компресора з виведенням сповіщень кодується як NSA, а локальний тумблер для його ручного ввімкнення позначається літерою Н. Контур контролю тиску складається з первинного елемента PE та передавального пристрою PT. Процеси індикації, запису даних і безпосереднього керування цим параметром відображає код PIRC. Перетворення

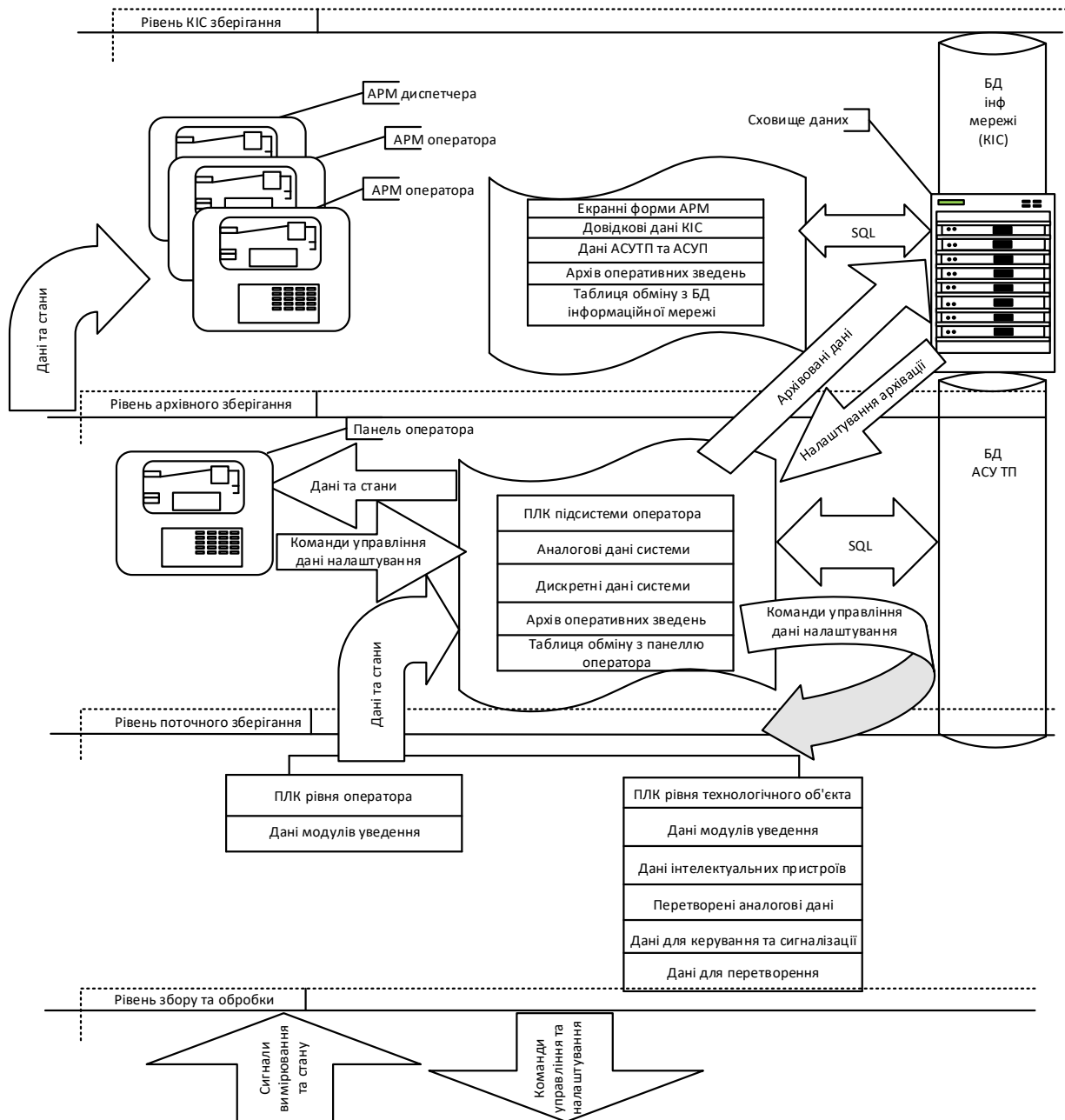


Рис.2.4. Схема інформаційних потоків

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

На нижньому рівні відбувається збір та обробка інформації датчиками, виконавчими механізмами, а також модулями введення-виведення. Тут відбувається передача інформації на середній рівень, а з середнього рівня надходять сигнали, що управляють.

На середньому рівні відбувається рівень поточного зберігання. ПЛК направляє потоки перетвореної інформації на АРМ оператора, і навіть на сервер архівування. На АРМ оператора відбувається відображення отриманої

інформації. Від АРМ оператора можуть передаватися установки, команди управління на ПЛК. Усі дії оператора передаються до журналу подій на сервер архівування. Для ефективного контролю та управління процесом автоматизована система НТС збирає дані з датчиків і відправляє в локальну мережу такі ключові показники: 1. Витрата сировини. Поточний об'єм газорідинної суміші, що заходить на установку (вимірюється в $\text{m}^3/\text{год}$). 2. Вихід чистого газу. Об'єм осушеного та очищеного газу на виході з блоку (вимірюється в $\text{m}^3/\text{год}$). 3. Рівень конденсату. 4. Висота капельної рідини, яка збирається всередині низькотемпературного сепаратора (в мм). 5. Температурний режим. Температура технологічної суміші безпосередньо в самому сепараторі ($^{\circ}\text{C}$). 6. Тиск на вході. Показники тиску у всмоктувальному колекторі (в МПа). 7. Робочий тиск сепаратора. 8. Поточний тиск усередині апарату НТС (в МПа). 9. Режим роботи компресора. Поточний стан або швидкісні характеристики компресорного обладнання (в $\text{m}/\text{с}$).

2.4 Вибір засобів для реалізації проекту АС

Створення ефективної автоматизованої системи (АС) вимагає ретельного підбору програмно-технічного комплексу та перевірки всіх його елементів на сумісність. Якщо говорити про апаратну частину низькотемпературного сепаратора високого тиску, то вона складається з кількох основних рівнів:

Первинні прилади:	Це різноманітні датчики, які знімають технологічні показники
Виконавчі пристрої:	Механізми, які безпосередньо впливають на процес.
Керуюча ланка:	Контролерне обладнання разом із додатковими модулями розширення.
Система безпеки:	Засоби аварійної та технологічної сигналізації.

2.4.1 Вибір контролерного обладнання

Щоб знайти оптимальне рішення для автоматизації технологічного процесу, ми проаналізували кілька популярних моделей промислових

контролерів від провідних виробників. Зокрема, детально розглядалися такі варіанти: OVEN ПЛК 150 (доступне вітчизняне рішення для невеликих систем); Siemens Simatic S7-300 (класична модульна платформа з високою надійністю); Schneider Electric Modicon M238 (компактний та гнучкий контролер для локальних задач); Allen-Bradley SLC 1750 (надійна американська архітектура для промислових об'єктів).

Таблиця 2.1

Порівняння характеристик контролерів

Критерії вибору	ОВЕН ПЛК 150	Siemens S7-300	Schneider Electric M238	Allen-Bradley SLC 1750
Можливість нарощування модулів вводу/виводу.	так	так	так	так
Типи інтерфейсів	- RS485, - RS232, - ASCII, - ProfiBus, - Ethernet	MPI; PROFIBUS; Industrial Ethernet; PROFINet; AS-I; BAC-net; Modbus TCP; Modbus RTU	Ethernet TCP/IP; AS-I; Modbus Plus; INTERBUS; PROFIBUS DP	Ethernet/IP; ControlNet; DeviceNet; Data Highway Plus; Remote I/O; SynchLink; Third-party process and device networks
Час циклу, мс	0,25	0,1	0,1	0,2
Час напрацювання на відмову, год	10000	172000	150000	70000
Можливість заміни на гарячу	ні	так	так	ні

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [5]

Для реалізації всіх завдань автоматизації об'єкта ми зупинилися на промисловому контролері Siemens Simatic S7-300. Зовнішній вигляд цієї модульної платформи показано нижче. Дали обґрунтуємо наш вибір, визначимо переваги. Гнучка блочна структура. Модульна архітектура пристрою дозволяє вільно нарощувати кількість каналів для вводу та виводу сигналів за допомогою додаткових субмодулів. Висока відмовостійкість. Обладнання повністю відповідає суворим стандартам надійності, адже заявлений виробником час роботи на відказ перевищує необхідні за технічним завданням 100000 годин. Комунікаційні можливості. Контролер забезпечує повноцінну інтеграцію у промислові мережі завдяки вбудованій підтримці затребуваних інтерфейсів та

протоколів Ethernet і Modbus RTU. Фінансові витрати на закупівлю апаратних засобів від компанії Siemens у цьому класі виявилися значно нижчими, ніж при використанні аналогічних за функціоналом рішень від бренду Schneider Electric.



Рис.2.5. Siemens S7-300

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Контролери лінійки S7-300 є модульними програмованими контролерами, які призначені для вирішення задач низького та середнього ступеня складності. Дана лінійка контролерів зарекомендувала себе, оскільки має широку лінійку центральних процесорів, аналогових та дискретних модулів вводу-виводу, а також інших модулів серед яких модулі живлення, інтерфейсів, функціональні та комунікаційні. До цього контролера необхідний модуль блоку живлення, так як у нас малий обсяг автоматизації, локального рівня достатньо блоку живлення PS 305 - 2A (рис.2.6).



Рис.2.6. Блок живлення PS 305 2A

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Для забезпечення стабільної роботи та збору даних ми підібрали супутнє апаратне забезпечення, яке повністю задовольняє вимоги технічного завдання. Ми зупинилися на блоці живлення SITOP S7-305 із вихідним струмом 2 А. Його головні переваги полягають у наявності надійної гальванічної розв'язки та стабільній видачі постійної напруги 24 В. Крім того, цей блок захищений від аварійних режимів, оскільки стійкий до коротких замикань та режимів холостого ходу. Специфіка об'єкта вимагає підключення як аналогових, так і дискретних каналів із можливістю постійної діагностики їхнього стану. Оскільки велика кількість точок підключення на цьому етапі не потрібна, ми обрали модулі з мінімальною ємністю, а саме по 8 входів та виходів для кожного типу сигналів. Для реалізації цієї конфігурації оптимально підходять стандартні сигнальні плати розширення SM 321 (для введення сигналів) та SM 322 (для виведення сигналів).

Таблиця 2.2

Особливості PS 305 (2 А)

Вихідний струм	2 А
Вихідна напруга	24 У пост. струму, що регулюється стійке при КЗ та ХХ.
Підключення до мережі	$U_{ном}$ 24/48/72/96/110 В.
Гальванічна розв'язка	Є відповідно до EN 60 950.
Вхідна напруга	24/48/72/96/110 В пост. струму
Діапазон напруг	от 16,8 до 138 В пост. струму

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]



Рис. 2.7. Модулі дискретного введення/виведення SM 321/SM 322

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Технічні параметри сигнальних модулів розширення

Для безпосереднього зв'язку контролера з об'єктом автоматизації використовуються спеціалізовані плати вводу та виводу дискретних і аналогових сигналів. Модуль дискретного введення SM 321 (DI 8 x AC 120/230 V). Цей блок призначений для фіксації бінарних сигналів високої напруги і має такі характеристики:

Модуль дискретного введення SM 321 (DI 8 x AC 120/230 V)	Наявність 8 входів, які розділені на ізольовані групи по 2 канали в кожній. Робота зі стандартною змінною напругою номіналом 120 чи 230 В. Можливість підключення звичайних вимикачів, а також дво та трипровідних безконтактних датчиків змінного струму.
Модуль дискретного виведення SM 322 (DO 8 x DC 24 V/0.5 A)	Плата керує виконавчими пристроями низької напруги та має розширений функціонал: Наявність 8 виходів, об'єднаних в одну загальну ізольовану групу. Кожен канал розрахований на вихідний струм до 0,5 А при номінальній напрузі живлення 24 В постійного струму. Модуль оптимізований для комутації сигнальних ламп, соленоїдних клапанів та контакторів постійного струму. Наявність подвійних клем на кожен вихід (з послідовним діодом для побудови резервних схем керування та без нього). Вбудований загальний індикатор системної помилки (SF). Покавальна світлодіодна індикація поточного стану та виявлених збоїв. Можливість програмного налаштування діагностики та генерації відповідних переривань. Підтримка видачі наперед заданого безпечного значення у разі аварії чи втрати зв'язку.

Модулі аналогового введення та виведення SM 331 (AI 8) і SM 332 (AO 8)

Ці блоки відповідають за роботу з безперервними технологічними величинами і мають гнучкі параметри конфігурації: пристрої містять 8 каналів, які конструктивно розбиті на 4 окремі групи; рід вимірюваного сигналу (струм або напруга) задається індивідуально для кожної групи; розрядність перетворення налаштовується погрупно і може досягати 15 біт плюс знаковий розряд; доступний вільний вибір робочих діапазонів для кожної пари каналів; підтримка функцій параметризації діагностичних процедур та формування тривожних переривань; можливість контролю виходу параметрів за встановлені технологічні межі (налаштовується для двох каналів); апаратне переривання процесора у разі порушення заданих критичних меж; висока швидкість оновлення даних та надійна гальванічна ізоляція каналів від центрального процесора.

2.4.2 Вибір пристроїв вимірювання

Щоб укомплектувати систему надійними засобами вимірювання, було проаналізовано продукцію кількох провідних виробників автоматики. Головними критеріями підбору конкретних моделей приладів стали відповідність технічним та метрологічним параметрам, експлуатаційна надійність обладнання в умовах виробництва, а також оптимальне співвідношення ціни та якості.

2.4.2.1 Датчики тиску

Для комплектації блоку низькотемпературної сепарації надійними приладами контролю ми виконали порівняльний аналіз технічних характеристик кількох сучасних пристроїв. Зокрема, базовим варіантом для розгляду став інтелектуальний датчик тиску Yokogawa EJX-A. АКУТЕК ПД310; Wika DPT-10 / IPT-20. Результати наведено у таблиці 2.3

Таблиця 2.3

Порівняння датчиків тиску

Критерії вибору	Yokogawa EJX-A (Японія)	АКУТЕК ПД310 (Україна)	WIKA DPT-10 / IPT-20 (Німеччина)
Вимірюване середовище	рідина, газ, пар	рідина, газ, пар	рідина, газ, пар
Діапазони меж вимірювань	0–15 МПа	0–10 МПа	0–16 МПа
Межа допустимої похибки	0,04% (або 0,025% в спец. викон.)	0,075% / 0,1%	0,065% (або 0,075%)
Середній час напрацювання на відмову	300 000 год	150 000 год	250 000 год
Вихідний сигнал	4–20 мА + HART	4–20 мА + HART	4–20 мА + HART
Вибухозахисність	Ex0ExiaIICT4 / IExdIICT6	1Ex d IIC T6 Gb / 0Ex ia IIC T6 Ga	1Ex d IIC T6 / 0Ex ia IIC T6
Ступінь захисту від пилу та води	IP 66 / IP 67	IP 65 / IP 67	IP 66 / IP 67

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

На нашу думку, з метою забезпечення надійної роботи автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСУ ТП), ефективно застосовувати замість підсанкційних датчиків («Метран-150») інтелектуальні перетворювачі тиску АКУТЕК ПД310 та WIKA DPT-10 / IPT-20.

Далі обґрунтуємо наш вибір:

1. З точки зору метрологічних характеристик й точності вимірювання, підсумовую аналіз досвіду використання можна стверджувати, що датчики АКУТЕК ПД310 та WIKA мають межу допустимої основної похибки на рівні 0,065% - 0,075%, що повністю відповідає класу точності вихідних приладів. Це забезпечить високу якість регулювання параметрів у контурах керування. Також переналаштування діапазону вимірювань (до 100:1) дозволяє використовувати один базовий тип датчика для різних технологічних точок, оптимізуючи склад запасних частин (ЗП).

2. Механічна сумісність: датчики АКУТЕК ПД310 та WIKA для вимірювання диференціального тиску (перепаду) мають стандартну міжфланцеву відстань 54 мм. Це дозволяє проводити заміну за принципом «plug-and-play» без переробки існуючих імпульсних ліній, вентильних блоків та монтажних кронштейнів.

Інформаційна сумісність підтверджена наявністю аналогового сигналу 4-20 мА, суміщеного з цифровим протоколом HART. Це гарантує безперешкодну інтеграцію датчиків у діючу систему контролерного рівня АСУ ТП. А це в свою чергу забезпечує можливість дистанційного налаштування, калібрування та зчитування розширеної діагностики приладів.

3. Надійність та стійкість до важких умов експлуатації

Промислові об'єкти (зокрема, металургійне, косохімічне та агломераційне виробництво) характеризуються високим рівнем запиленості, вологості та вібрацій. Захист корпусу на рівні IP65/IP67 та високий середній час напрацювання на відмову (від 150 000 до 250 000 годин) гарантують стабільну роботу обладнання. Наявність сертифікатів вибухозахисту (виконання типу «іскробезпечний ланцюг» Ex ia або «вибухонепроникна оболонка» Ex d) дозволяє безпечно експлуатувати датчики в зонах із підвищеною концентрацією горючих газів чи пиловугільних сумішей.

4. АКУТЕК ПД310 є оптимальним рішенням з точки зору капітальних витрат (CapEx), оскільки виробляється в Україні, що мінімізує логістичні витрати, забезпечує швидкі терміни постачання та доступність сервісної підтримки і держпівірки.

WICA DPT-10 / IPT-20 виступає як високонадійне рішення для критично важливих ділянок виробництва, де відмова датчика може призвести до зупинки основного технологічного агрегату.

ПД310 це багатофункціональний високоточний перетворювач надлишкового, надлишково-вакуумметричного та диференціального (перепад) тиску в загальнопромисловому виконанні з вимірювальною мембраною з нержавіючої сталі AISI316L. Перетворювач тиску ПД310 призначений для постійного моніторингу параметрів рідких, газоподібних та пароподібних середовищ. Пристрій трансформує поточні показники вимірюваного тиску в класичний аналоговий сигнал струмової петлі 4-20 мА, а також передає дані у цифровому форматі за допомогою промислового протоколу HART.

Перетворювач тиску ПД310 має високу стійкість до статичного тиску та перевантаження.

Таким чином, заміна датчиків на запропоновані аналоги дозволяє повністю позбутися залежності від компонентів російського виробництва, підвищити загальний рівень відмовостійкості системи автоматизації, знизити витрати на обслуговування та забезпечити точний контроль технологічного регламенту.



Рис.2.8. Датчик надлишкового тиску АКУТЕК ПД310 (Україна)

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

2.4.2.2 Датчик температури

Для моніторингу температури технологічного середовища в блоці низькотемпературної сепарації ми розглянули кілька сучасних вимірювальних пристроїв від різних виробників. У поле зору потрапили такі моделі:

- високоточний промисловий перетворювач Rosemount 3144P;
- термопара АКУТЕК ДТПЛ (ХА) у комплекті з нормуючим перетворювачем НПТ-3.HART;
- гнучкий у налаштуванні термометр опору Wika TR10-C;

- компактний електронний датчик-реле KOBOLD TDA.

Детальний порівняльний аналіз технічних і експлуатаційних параметрів цих засобів вимірювання ми звели в таблицю 2.4. Найкраще підійдуть датчики від українського виробника **АКУТЕК** або німецького концерну **WIKA**.

Таблиця 2.4

Порівняльний аналіз датчиків температури

Критерії вибору	Rosemount 3144P (США)	АКУТЕК ДТПЛ/ХА з НПТ-3 (Україна)	WIKA TR10-C (Німеччина)	KOBOLD TDA (Німеччина)
Діапазон вимірюваних температур, °C	-30...+180	-30...+180	-30...+180	-30...+180
Межа допустимої похибки	0.1%	0.25%	0.15%	0.5%
Середній час напрацювання на відмову	100 000 год	50 000 год	80 000 год	40 000 год
Вихідний сигнал	4-20 мА + HART	4-20 мА + HART	4-20 мА + HART	4-20 мА; 20-4 мА; 0-5 мА; 5-0 мА; 0-20 мА
Вибухозахисність	ExiaIICT6 X, Exd (1ExdIICT6)	1Ex d IIC T6 Gb / 0Ex ia IIC T6 Ga	1Ex d IIC T6 / 0Ex ia IIC T6	Немає
Ступінь захисту від пилу та води	IP 67	IP 65 / IP 67	IP 65 / IP 67	IP 65 / IP 67

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

Український (АКУТЕК) (рис.2.9-2.10): використовується конструктивна зв'язка: надійний термоелектричний перетворювач (термопара ХА або при необхідності ТСП) разом із мікропроцесорним нормувальним перетворювачем НПТ-3.HART, який монтується безпосередньо в головку датчика. Це забезпечує вихідний сигнал 4-20 мА та повну HART-сумісність для передачі даних на контролер.

Європейський аналог (WIKA TR10-C): це промисловий термометр опору або термопара з інтегрованим інтелектуальним трансмітером. Він має дуже високу механічну міцність захисної гільзи, високий рівень вибухозахисту (Ex d, Ex ia) та ідеально підходить для важких умов експлуатації.



Рис.2.9. WIKA TR10-C

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]



Рис.2.10. АКУТЕК ДТНЛ/ХА з ННТ-З

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Ці пристрої належать до класу інтелектуальних датчиків температури і призначені для роботи з різними технологічними середовищами. Конструктивно прилад поєднує в собі чутливий елемент та вбудований безпосередньо в клемну головку вимірювальний модуль. Тобто первинний сигнал від термопари чи термометра опору відразу на місці трансформується в уніфікований вихідний

струмовий сигнал 4–20 мА, що мінімізує вплив завад при передачі даних на контролер. 1. Метрологічна стабільність і точність

Застосування датчиків WIKA TR10-C та АКУТЕК забезпечує високу точність контролю температурного режиму технологічного процесу (клас точності А - межа похибки від 0,15 %). Вбудовані в з'єднувальну головку мікропроцесорні трансмітери виконують лінеаризацію характеристики чутливого елемента, компенсують температуру вільних кінців термопари та мають високий рівень захисту від перешкод, що є критично важливим в умовах потужних електромагнітних полів від промислового електроприводу.

Обрані аналоги в якості основного вихідного сигналу використовують струмову петлю 4-20 мА, поєднану з цифровим протоколом HART. Це дозволяє: здійснювати глибоку інтеграцію датчиків у загальну цифрову структуру АСУ ТП. Проводити дистанційний моніторинг стану сенсора, його калібрування та діагностику без демонтажу приладу з технологічного трубопроводу або агрегату. Передавати дані на контролерний рівень без втрати точності на довгих кабельних лініях зв'язку. Корпуси датчиків мають високий ступінь пило- та вологозахисту (IP65/IP67), що виключає потрапляння дрібнодисперсного пилу та вологи на електронні компоненти. Завдяки використанню корозійностійких матеріалів для захисної гільзи, ці прилади можна встановлювати як у нейтральних, так і в агресивних технологічних середовищах. Конструктивно термоперетворювач складається з двох основних частин: Термозонд. У середині нього розміщено платиновий або мідний чутливий елемент. Під дією температури змінюється омичний опір цього елемента. Вимірювальний модуль. Цей блок фіксує зміну падіння напруги на чутливому елементі та лінійно трансформує її в уніфікований вихідний сигнал струму в діапазоні 0-5 мА або 4-20 мА.

Щодо монтажу, то конструкція пристрою дозволяє фіксувати його в будь-якому положенні, яке є зручним для подальшого обслуговування. Під час проектування та встановлення важливо враховувати лише габаритні параметри приладу та розміри його приєднувальних штуцерів.

2.4.2.3 Вибір витратоміра

Для точного обліку та контролю потоків у блоці низькотемпературної сепарації ми проаналізували кілька сучасних типів витратомірів від провідних світових брендів. Під час підбору розглядалися різні принципи вимірювання, які реалізовані в таких моделях: коріолісовий масовий витратомір KOBOLD TME-R; електромагнітний витратомір Yokogawa ADMAG; вихровий витратомір Endress+Hauser Proline Prowirl; універсальний вихровий прилад Siemens SITRANS FX330. Детальний аналіз та порівняння їхніх метрологічних, технічних та експлуатаційних параметрів наведено нижче в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5

Порівняння характеристик витратомірів

Критерії вибору	KOBOLD TME-R (Німеччина)	Yokogawa ADMAG (Японія)	Endress+Hauser Prowirl (Швейцарія)	Siemens SITRANS FX330 (Німеччина)
Основна відносна похибка вимірювань, не більше	±1,0 %	±0,35 %	±0,75 %	±0,75 %
Середній час напрацювання на відмову	50 000 год	150 000 год	150 000 год	150 000 год
Вихідний сигнал	4-20 мА / HART	4-20 мА / HART	4-20 мА / HART	4-20 мА / HART

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

Визначаємо, що для нашого об'єкта оптимально підходять вихрові витратоміри Endress+Hauser Prowirl та Siemens SITRANS FX330. Обидва прилади повністю відповідають вимогам технічного завдання. Крім того, вони гарантують стабільну та високоточну роботу в складних експлуатаційних умовах, які є характерними для технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу. З огляду на оптимальне співвідношення ціни, розвиненої сервісної підтримки в Україні та високої метрологічної стабільності, зупинимо вибір на витратомірі **Siemens SITRANS FX330** (рис.2.11).



Рис. 2.11. Витратомір Siemens SITRANS FX330

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Цей вимірювальний прилад розроблений для визначення поточного об'єму та загальної кількості різних енергоносіїв, таких як газ, вода чи пара. В основі його роботи лежить метод змінного перепаду тиску, де як первинні перетворювачі використовуються спеціальні осереднені напорні трубки (ОНТ).

Отримані з пристрою дані застосовуються для оперативного керування технологічним процесом, а також при проведенні комерційних та технологічних обліково-розрахункових операцій. Конструктивне виконання витратоміра дозволяє безпечно експлуатувати його на об'єктах із підвищеним рівнем вибухонебезпеки.

1. Siemens SITRANS FX330 не має рухомих частин і не схильний до зносу робочих кантів. Середній час напрацювання на відмову становить 150 000 годин. Як результат - безперебійна робота вузла автоматизації без необхідності частого демонтажу приладу для обслуговування.

2. Характеристика інтегрованої компенсації по тиску та температурі

Витратомір SITRANS FX330 опціонально оснащується вбудованими датчиками температури та тиску. Це дозволяє в реальному часі автоматично

обчислювати масову витрату пари або приводити об'ємну витрату газів до стандартних умов (корекція по щільності). Таке рішення виключає необхідність встановлення окремих додаткових обчислювачів витрати та датчиків на трубопроводі, зменшуючи капітальні витрати на монтаж.

3. Прилад має високу точність вимірювання (відносна похибка не перевищує $\pm 0,75\%$ для газів і пари та $\pm 0,5\%$ для рідин). Завдяки технології цифрової обробки сигналів (Advanced Signal Processing), витратомір стабільно працює в умовах різких коливань тиску та захищений від зовнішніх вібрацій трубопроводу, які часто присутні у промислових цехах.

4. Наявність стандартного вихідного сигналу 4-20 мА з підтримкою цифрового протоколу HART дозволяє легко підключити витратомір до наявних програмованих логічних контролерів (ПЛК). Це забезпечує можливість повної дистанційної діагностики, переналаштування параметрів та передачі розширених технологічних даних на верхній рівень диспетчеризації (SCADA).

Таким чином, витратомір Siemens SITRANS FX330 є високонадійним, енергоефективним та точним рішенням європейського виробництва. Його використання дозволяє повністю замінити підсанкційне обладнання, забезпечити точний облік енергоресурсів і підвищити загальну відмовостійкість системи автоматичного керування технологічним процесом.

2.4.2.4 Вибір рівнеміра

Щоб автоматизувати процес вимірювання рівня капельної рідини у сепараторі, ми вивчили технічні можливості кількох поширених моделей рівнемірів від різних брендів. До аналітичного огляду увійшли такі пристрої: ультразвуковий датчик Kobold NUS-R-4; хвилеводний радарний прилад Rosemount 3300; поплавковий гідростатичний сигналізатор ОВЕН ПДУ-І. Порівняння цих засобів вимірювання проводилося за комплексом ключових параметрів, серед яких основними стали межа допустимої похибки, середній час

напрацювання обладнання на відмову, типи підтримуваних вихідних сигналів, а також підсумкова ринкова вартість.

Таблиця 2.6

Порівняння характеристик рівнемірів

Характеристика/ датчик	Базова похибка	Середній час напрацювання на відмову	Вихідні сигнали
Kobold NUS-R-4	$\pm 0,1\%$	100 000 год	4-20 мА
Rosemount 3300	$\pm 0,1\%$	100 000 год	4-20 мА, HART
ОВЕН ПДУ-II	$\pm 0,2\%$	40 000 год	4-20 мА, HART

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Оптимальним рішенням для контролю рівня рідини став радарний хвилеводний прилад Rosemount 3300, зовнішній вигляд якого показано на рисунку 2.13. Цей вибір повністю підтверджується вимогами технічного завдання. Пристрій демонструє необхідну точність, відповідає всім експлуатаційним параметрам технологічного процесу та має високі показники надійності, що вкрай важливо для стабільної роботи блоку сепарації.



Рис. 2.13. Рівномір Rosemount 3300

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Пристрій Rosemount 3300 належить до класу інтелектуальних хвилеводних радарних рівнемірів із двопровідною схемою підключення і служить для безперервного моніторингу рівня заповнення ємності. В основі роботи цього приладу лежить технологія рефлектометрії з часовим розділенням (TDR). Процес вимірювання відбувається за таким алгоритмом: Генератор пристрою формує малопотужні радіоімпульси тривалістю в кілька наносекунд і спрямовує

їх донизу вздовж зонда, який занурений у технологічне середовище. Під час руху імпульс досягає межі розділу середовищ, і частина його енергії відбивається від поверхні назад. Електронний модуль фіксує часовий інтервал між моментом відправлення радіоімпульсу та прийомом ехосигналу. Цей час прямо пропорційний відстані до дзеркала рідини або до межі поділу двох різних рідких фаз. Ефективність і стабільність вимірювань тут безпосередньо залежать від здатності середовища відбивати сигнал. Висока діелектрична проникність матеріалу забезпечує потужніший відбитий імпульс, що значно розширює робочий діапазон датчика. Крім того, на якість сигналу впливає стан поверхні: спокійне дзеркало рідини повертає мікрохвилі набагато краще, ніж збурена чи турбулентна поверхня. Повні технічні та експлуатаційні параметри цього радарного датчика зібрані нижче в таблиці 2.7.

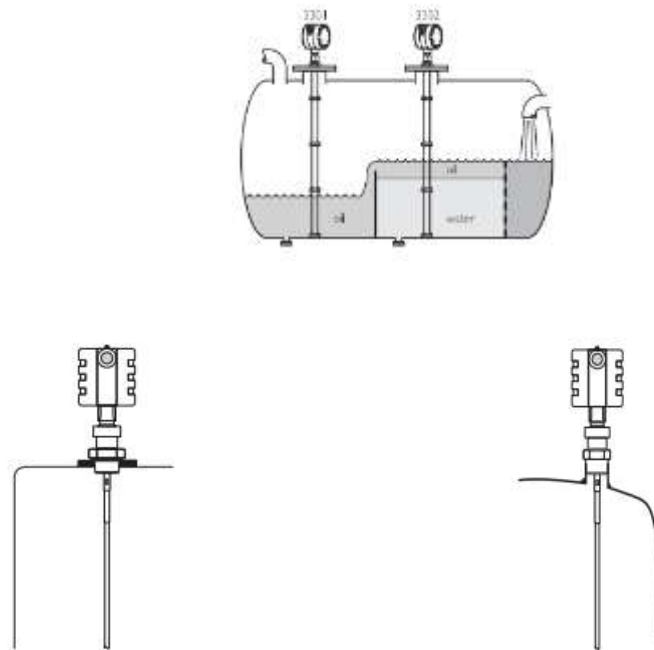
Таблиця 2.7

Технічні характеристики Rosemount 3300

Діапазон вимірювань рівня	0,1 – 23,5 м
Вихідний сигнал	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу, RS485 Modbus
Межа основної наведеної похибки вимірювань	±0,1 %
Температура навколишнього повітря	от –50 до +60 °С
Механічне з'єднання	різьбове з'єднання G1"/фланець з алюмінієвого сплаву
Ступінь захисту корпусу	IP67

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Варіанти монтажу наведено рисунку 2.14.



монтаж на даху резервуару

монтаж на бобишку з різьбленням

Рис. 2.14. Монтаж датчика Rosemount 3300

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

2.4.2.5 Вибір датчика-сигналізатора рівня

Для сигналізації досягнення граничного рівня краплинної рідини проведемо підбір сигналізатора рівня. Розглянемо такі сигналізатори, як: РИЗУР-900, OPTISWITCH 5300, Rosemount 2120. Порівняльний аналіз сигналізаторів рівня представлений у таблиці 2.8.

Таблиця 2.7

Технічні характеристики Rosemount 3300

Діапазон вимірювань рівня	0,1 – 23,5 м
Вихідний сигнал	4-20 мА із цифровим сигналом на базі HART-протоколу, RS485 Modbus
Межа основної наведеної похибки вимірювань	$\pm 0,1 \%$
Температура навколишнього повітря	от -50 до $+60$ °C
Механічне з'єднання	різьбове з'єднання G1"/фланець з алюмінієвого сплаву
Ступінь захисту корпусу	IP67

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [8]

Роль аварійного сигналізатора рівня на нашому об'єкті виконуватиме пристрій Rosemount 2120, зовнішній вигляд та параметри якого відображені на рисунку 2.13 та в таблиці 2.9 відповідно. Дана модель повністю відповідає жорстким критеріям щодо нормованої похибки вимірювання. Головною ж перевагою цього приладу порівняно з іншими розглянутими аналогами є суттєво вищий рівень експлуатаційної надійності, що є критично важливим для систем протиаварійного захисту.



Рис. 2.13. Rosemount 2120

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

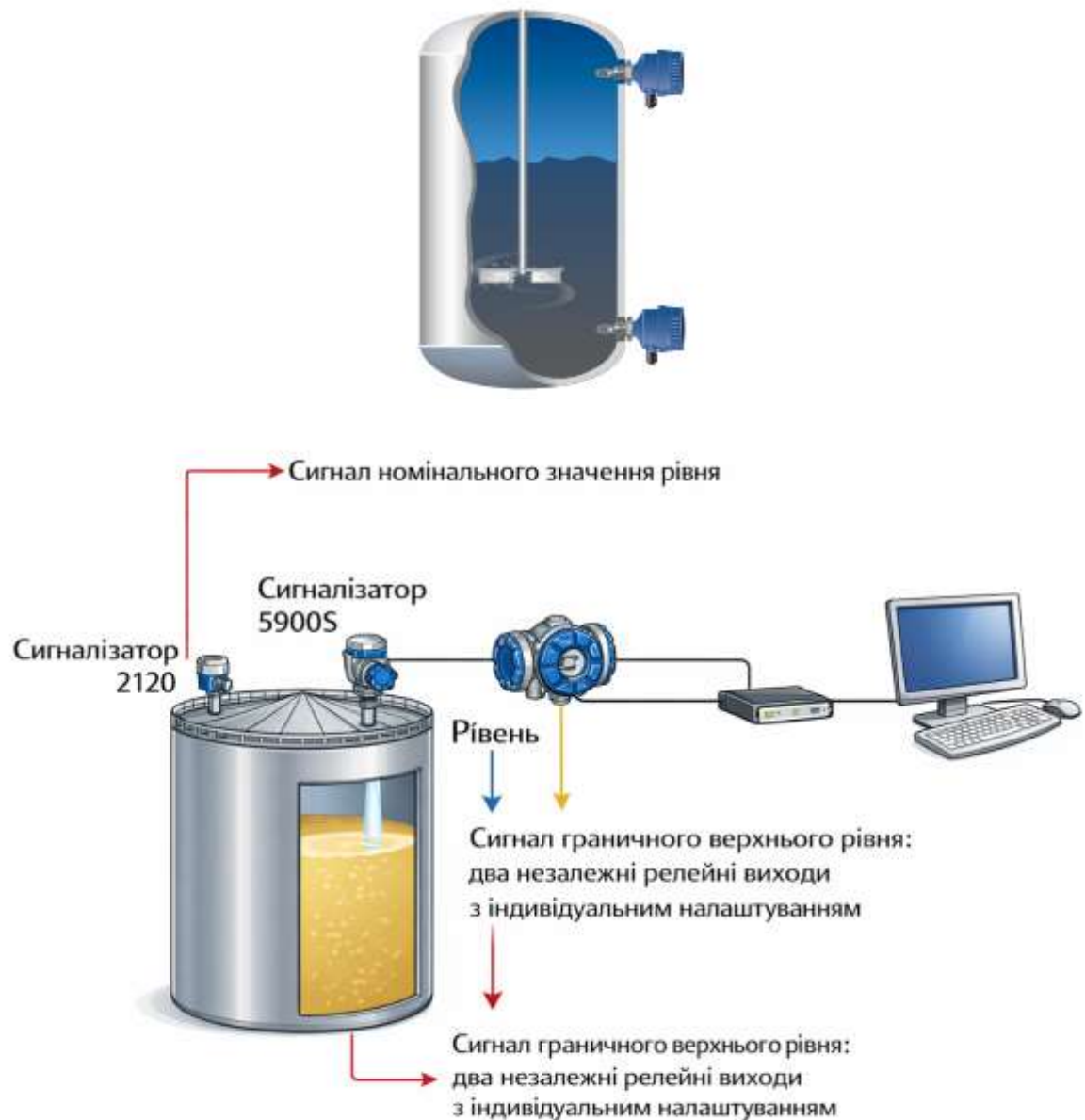


Рис. 2.14. Схема контролю рівня рідини в резервуарі з використанням сигналізаторів рівня

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Для моніторингу заповнення технологічної ємності використовується комплекс обладнання, який поєднує безперервне вимірювання та аварійний захист. До складу цієї схеми входять безконтактний радарний рівнемір Rosemount 5900S та окремий сигналізатор граничних значень. Працює цей комплекс за таким принципом: Поточний моніторинг. Радарний датчик здійснює постійне вимірювання висоти стовпа рідини в реальному часі й транслює отримані

значення поточного рівня на головний контролер системи керування. Аварійний захист. Спеціальний сигналізатор контролює досягнення верхньої критичної позначки. Якщо рідина піднімається до граничної межі, пристрій миттєво формує тривожний сигнал. Цей захист побудований на базі двох незалежних релейних виходів, кожен з яких можна налаштувати індивідуально під конкретні вимоги безпеки об'єкта.

Таблиця 2.9

Технічні характеристики рівнеміра типу Rosemount 2120

Температурний діапазон	-40 ... 150 °C
Світлодіодна індикація	Так
Захист від турбулентності та розбризкування	Так. Вбудована регульована затримка
Принцип виміру	Вібраційна вилка
Щільність робочої рідини	Мінімум 600 кг/м ³
В'язкість	0,2...10000 сП
Робочий тиск	Повний вакуум до 100 бар

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

2.5 Вибір виконавчих механізмів

2.5.1 Вибір регулювального клапана

Для безпосереднього керування технологічним процесом та точної зміни витрати середовища необхідний надійний пристрій, який буде механічно переміщувати запірно-регулюючий орган за командами від контролера. Під час проектування системи ми розглянули кілька варіантів регулюючих клапанів та приводів, серед яких: газовий клапан із вбудованим електроприводом ЕМІ 493725; електроприводи серії Auma Matic; регулююча арматура серії RV111.

За результатами аналізу оптимальним рішенням для нашого об'єкта став регулюючий газовий клапан ЕМІ 493725, зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 2.14.



Рис. 2.14. Регулюючий клапан ЕМІ 493725

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Повні технічні та експлуатаційні параметри цього запірно-регулюючого пристрою зведені нижче в таблиці 2.10. Під час проведення монтажних робіт арматура фіксується на трубопроводі в горизонтальному положенні. Конструкція виконавчого механізму є універсальною і передбачає кілька режимів роботи для гнучкого налаштування витрати газоподібного палива: Автоматичний або дистанційний режим. Зміна положення затвора клапана відбувається за командами від керуючого контролера або оператора з пульта диспетчера. Ручний режим. За потреби коригувати ступінь відкриття клапана можна безпосередньо на місці його встановлення за допомогою органів ручного дублювання на самому приводі.

Таблиця 2.10

Технічні характеристики регулюючого клапана ЕМІ 493725

Основне робоче середовище	природный газ
Тип приєднання	фланцеве
Тип конструкції	поворотно-золотниковий прямоточний
Нерегульований пропуск середовища, не більше 1%	1%
Електромеханізм	МЕОФ-100/25-0,25 99К
Зусилля на рукоятці ручного приводу, Н	100-250
Повний кут поворота, град.	90°
Споживана напруга	220/380 В, 50-60 Гц
Потужність що споживається, Вт,	не більше 250 Вт
Ступінь захисту	IP-54

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

2.6 Розробка схеми зовнішніх підключень

Принципова електрична схема з'єднань обладнання наведена на рисунку 2.15. Комплекс технічних засобів нижнього (польового) рівня побудований на базі промислових датчиків тиску, температури, витрати та рівня, які транслюють вимірювальні дані за допомогою уніфікованого аналогового сигналу струмової петлі 4-20 мА. Водночас дискретний сигналізатор рівня функціонує за релейним принципом із комутацією напруги 24 В постійного струму.

Для прокладання кіл керування та вимірювання обрано контрольний кабель марки КВВГЕнг. Вибір цього кабелю зумовлений його конструктивними та експлуатаційними особливостями:

Матеріал жил: у структурі кабелю застосовуються монолітні (однодротові) мідні струмопровідні жили в індивідуальній ізоляції з полівінілхлоридного (ПВХ) пластикату.

Екранування (літера «Е»): наявність загального захисного екрана дозволяє нівелювати вплив зовнішніх електромагнітних полів і наведень, забезпечуючи високу завадостійкість інформаційних ліній.

Пожежна безпека (індекс «нг»): оболонка кабелю виготовлена з ПВХ-композиції зниженої горючості, яка не підтримує горіння при пучковій або груповій прокладці.

Кабелі цієї марки розраховані на фіксоване приєднання до електричних приладів та апаратів. Вони стабільно працюють у колах із номінальною змінною напругою до 660 В (частотою до 100 Гц) або в колах постійного струму з напругою до 1000 В. Допустимий температурний діапазон експлуатації становить від мінус 50 до плюс 50 °С, що повністю відповідає кліматичним умовам промислового майданчика.

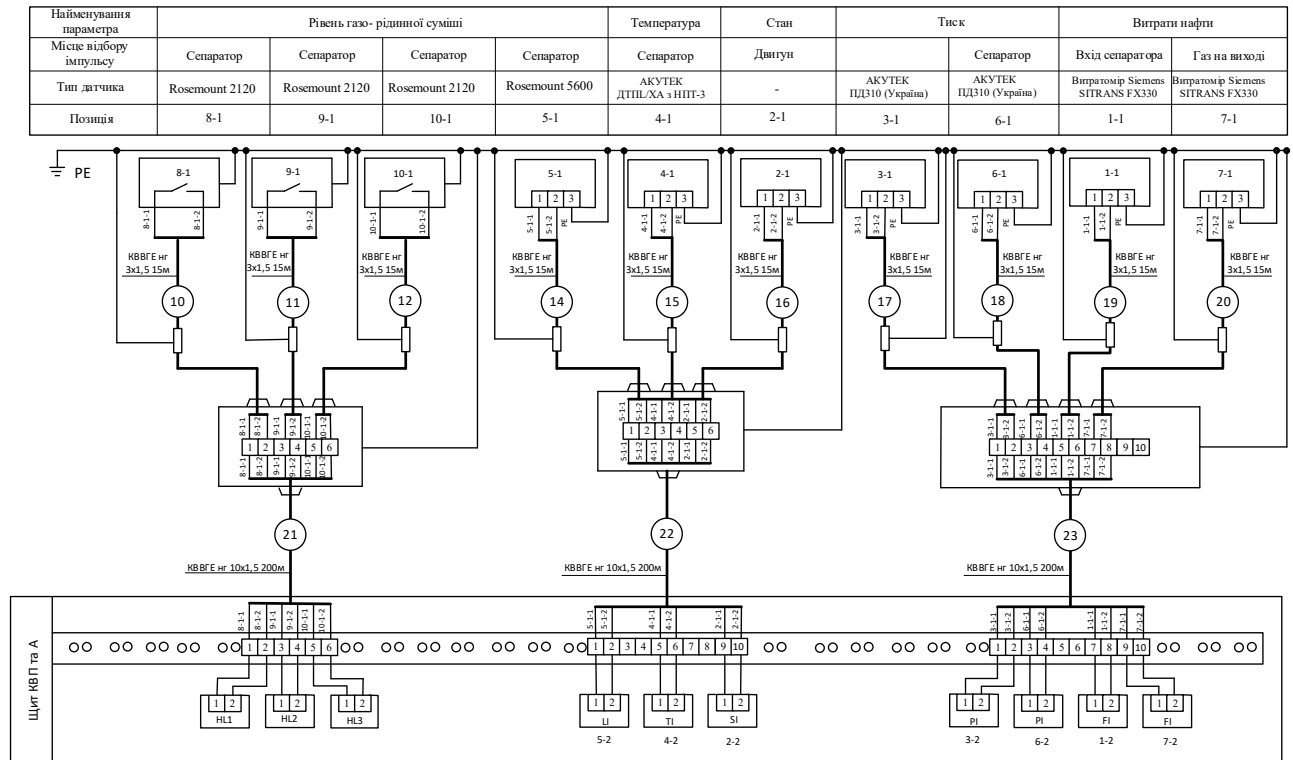


Рис. 2.15. Електрична схема

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

2.7 Вибір алгоритмів керування АС

В автоматизованих системах керування (АСК) на різних ієрархічних рівнях впроваджуються спеціалізовані алгоритми, що забезпечують чітке функціонування комплексу. До основних із них належать: Алгоритми пуску та зупинки обладнання. Реалізують логічні та релейно-контактні схеми послідовного введення агрегатів в експлуатацію або їх планового виведення з роботи. Вони координуються на рівні програмованих логічних контролерів (ПЛК) та відображаються на інтерактивних мнемосхемах SCADA-системи.

Алгоритми автоматичного регулювання. Побудовані на базі двопозиційних (релейних) або пропорційно-інтегрально-диференціальних (ПІД) законів керування. Вони забезпечують точну стабілізацію технологічних змінних, наприклад, підтримання заданого тиску середовища чи позиціонування виконавчих механізмів, і виконуються безпосередньо в ПЛК. Алгоритми збору та первинної обробки даних. Подані у вигляді універсальних, логічно

завершених функціональних блоків. Вони інтегровані в енергонезалежну пам'ять контролерів для опитування аналогових і дискретних датчиків. Алгоритми протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ). Виконуються на рівні ПЛК для миттєвого переведення об'єкта в безпечний стан у разі виникнення критичних або аварійних ситуацій. Алгоритми централізованого оперативно-диспетчерського керування. Забезпечують комплексну взаємодію між польовим обладнанням та верхнім рівнем АСК через людино-машинний інтерфейс (НМІ) SCADA. У межах цієї роботи детально розроблені та описані такі базові алгоритми:

Алгоритм збору, фільтрації та масштабування вимірювальних сигналів.

Алгоритм автоматичного ПД-регулювання ключового технологічного параметра.

2.7.1 Алгоритм збору даних вимірів

Для детального опису та програмної реалізації було обрано канал моніторингу температури всередині низькотемпературного сепаратора, оскільки цей параметр є одним із ключових для контролю чіткого розділення фаз.

Технологічний алгоритм циклічного опитування, обробки та реєстрації температурних показників виконується в такій послідовності. Після включення датчика відбувається його ініціалізація. Після вмикається режим самодіагностики. Йде перевірка на обрив лінії. Якщо є обрив, видається повідомлення на екран оператора. Якщо обриву немає, відбувається перевірка на коротке замикання. Якщо є КЗ, видається повідомлення на екран оператора. Якщо КЗ немає, йде ініціалізація уставок температури. Далі йде перевірка кожної уставки. При спрацюванні порогових значень видається повідомлення на екран оператора. При цьому в будь-якому випадку йде переведення його в градуси Цельсія, з наступним виведенням на екран.

Алгоритм збору даних з каналу вимірювання температури у сепараторі представлений на рисунку 2.16.

2.7.2 Алгоритм автоматичного регулювання технологічним параметром

Для забезпечення високоточного керування технологічним процесом було обрано пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закон регулювання. Цей алгоритм є найбільш поширеним та ефективним у промислових системах автоматизації завдяки комплексу його динамічних переваг. Впровадження ПІД-регулятора в контур керування дозволяє досягти таких показників: ліквідація статичної похибки вимірювання в усталеному режимі; мінімально можливий час виходу системи на задану уставку без виникнення критичних перерегулювань; низька чутливість контуру до раптових зовнішніх збурень та коливань навантаження, що гарантує загальну стабільність об'єкта управління. Головне завдання цього алгоритму полягає у безперервному розрахунку керуючого впливу на основі різниці між заданим значенням параметра (уставкою) та його поточним показником, що надходить від датчика.

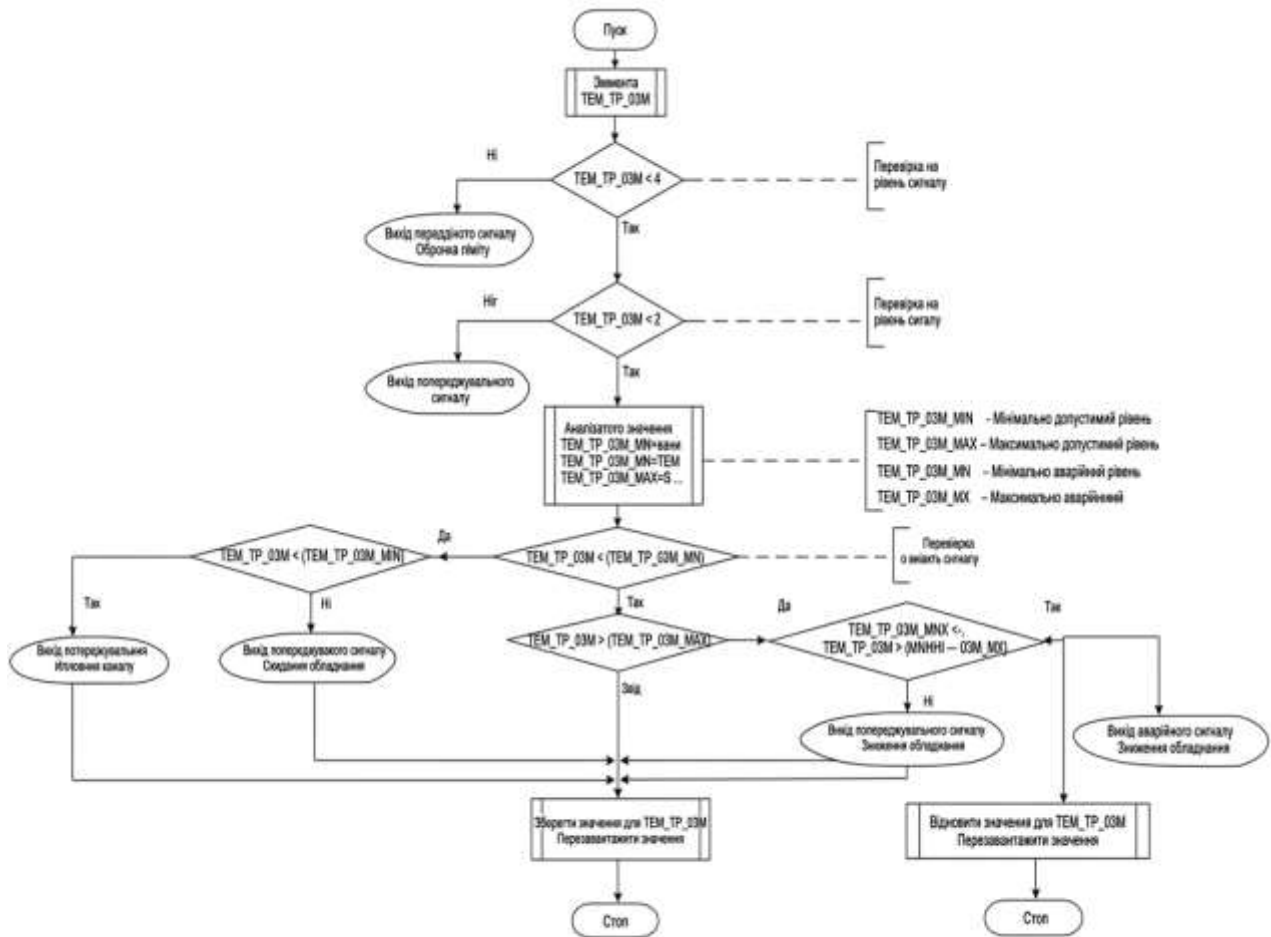


Рис. 2.16. Алгоритм збору даних з каналу вимірювання температури у сепараторі

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Щоб забезпечити та підтримувати заданий рівень тиску у вимірювальних лініях, у системі передбачено встановлення запірно-регулюючої арматури, а саме регулюючих засувок з електроприводом. У цьому контурі автоматизації об'єктом керування є локальна ділянка трубопроводу, що обмежена місцем встановлення датчика тиску та регулюючим органом.

$$W(p) = \frac{Q_k(p)}{Q(p)} = \frac{1}{T \cdot p + 1} \cdot e^{-\tau_0 \cdot p}, \quad (2.1)$$

$$T = \frac{2Lf\epsilon^2}{Q}, \tau_0 = \frac{Lf}{Q}, c = \frac{Q}{f} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{2\Delta p \cdot g}} \quad (2.2)$$

Таблиця 2.11

Значення параметрів передавальної функції

$f, м2$	0,031416
$d, м$	0,2
$L, м$	3
$Q, м^3/с$	3
$\Delta p, Мпа$	0,16
$g, м/с^2$	9,8
$\gamma, кг/с$	800

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Завдяки суттєвому вдосконаленню елементної бази сучасної контрольно-вимірювальної апаратури, новітні первинні перетворювачі та датчики мають високу швидкодію (малу інерційність) і забезпечують лінійну залежність між вимірюваною величиною та вихідним сигналом.

З огляду на те, що власна постійна часу таких приладів є нехтовно малою порівняно з інерційністю технологічного об'єкта керування, у динамічних розрахунках їх можна позиціонувати як безінерційні (пропорційні) підсилювальні ланки. Відповідно до цих експлуатаційних параметрів, передавальна функція датчика набуває такого вигляду:

$$W(p) = \frac{1}{0.23 \cdot p + 1} \cdot e^{-0.314 \cdot p} \quad (2.3)$$

Регулююча засувка описується інтегральною ланкою:

$$W_3(p) = \frac{1}{p}, \quad (2.4)$$

Виконавчий електропривод у спрощеному вигляді може бути представлений за допомогою аперіодичної ланки першого порядку:

$$W_{дв}(p) = \frac{K_{дв}}{T_{дв} \cdot p + 1}, \quad (2.5)$$

$$T_{дв} = \frac{J M_K}{\omega_H}, K_{дв} = \frac{\omega_H}{f_{max}} \quad (2.6)$$

Таблиця 2.12

Значення параметрів передавальної функції

$f, м2$	0,031416
$\rho, кг/м^3$	890
$L, м$	3
$\omega_H, рад/с$	1000
$M_K, Н\cdot м$	60
$J, кг\cdot м^2$	0,45
$I_{max}, мА$ (максимальний струм керуючого сигналу ЧП)	20

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

Значення параметрів взято із паспортів виробів [3]. Отримана передатна функція виглядає так:

$$W_{дв}(p) = \frac{K_{дв}}{T_{дв} \cdot p + 1} = \frac{3,14}{0,027 \cdot p + 1} \quad (2.7)$$

Як і електропривод, частотний перетворювач у спрощеному вигляді визначається аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W_{чп}(p) = \frac{K_{чп}}{T_{чп} \cdot p + 1}, \quad (2.8)$$

$$T_{чп} = \frac{T_{дв}}{2}, K_{чп} = \frac{f_{max}}{I_{max}} \quad (2.9)$$

Відповідно до даних таблиці 2.10, передатна функція виглядає наступним чином:

$$W_{чп}(p) = \frac{2,5}{0,135 \cdot p + 1} \quad (2.10)$$

ПІД-регулятор описується відомою передатною функцією:

$$W_{\text{пид}}(p) = K + \frac{1}{T_i \cdot p} + T_d \cdot p \quad (2.11)$$

На рисунку 2.16 надано структурну схему регулювання в середовищі Matlab.

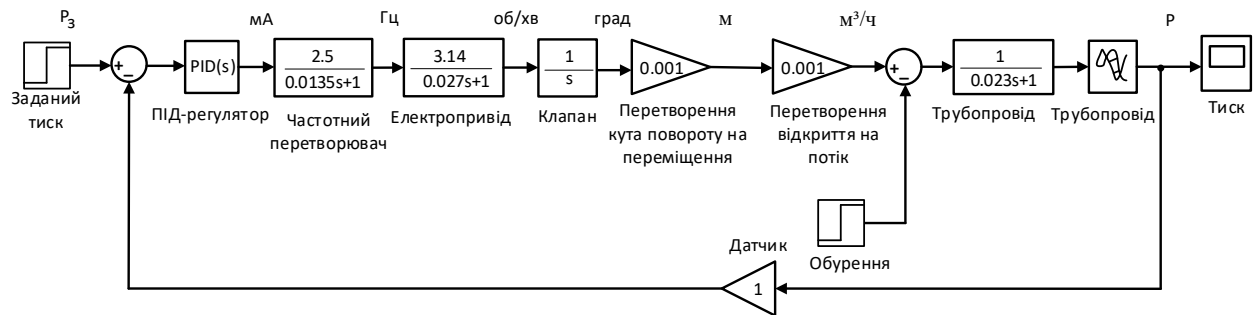


Рис. 2.16. Структурна схема регулювання в середовищі Matlab

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

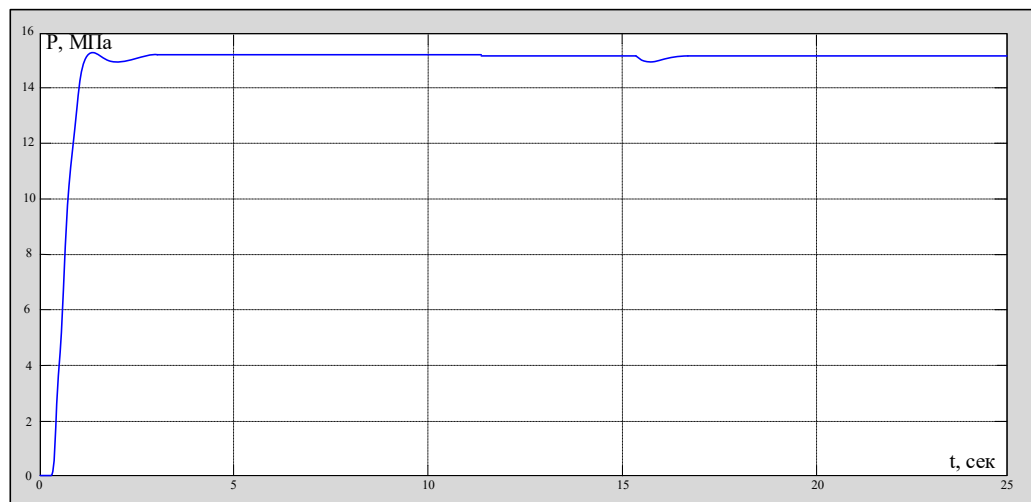


Рис. 2.17. Графік перехідного процесу

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

За підсумками моделювання системи встановлено, що тривалість перехідного процесу становить 3,2 с, тоді як величина перерегулювання не перевищує 1%. Завдяки відсутності статичної похибки забезпечується висока точність роботи. Крім того, побудована модель продемонструвала здатність стабільно утримувати цільовий рівень тиску в умовах зовнішніх збурень, зокрема під час підключення контрольної лінії для тестування метрологічних параметрів.

2.8 Екранні форми АС

Управління АС низькотемпературного сепаратора високого тиску реалізовано з використанням SCADA-системи WinCC. Як базу даних HMI-система використовує MS SQL Server, оскільки працює на ОС Windows.

2.8.1 Розробка дерева екранних форм

При розробці екранних форм передбачено, що користувач має можливість перемикання та навігації по екранних формах, використовуючи кнопки прямого виклику. Після запуску проекту йде авторизація користувача, де йде його ідентифікація за допомогою логіну та пароля. При успішній авторизації користувача з'являється мнемосхема низькотемпературного сепаратора високого тиску, вхідна лінія з насосом, а також канали регулювання.

2.8.2 Розробка екранних форм АС

АРМ оператора підтримує роботу різних груп користувачів з різними правами доступу до тих чи інших елементів автоматизованого робочого місця. Згідно з технічним завданням, для запобігання несанкціонованому втручанню розроблено систему авторизації. Доступ надається лише визначеному колу осіб із диференційованими правами (ролями), а безпечний вхід забезпечується за допомогою індивідуальних паролів.

У головному меню розташовані індикатори та кнопки, які виконують різні функції:

- кнопка «ДОВІДКА» - виклик меню «Довідка»;
- кнопки-індикатори «Н-1/1», «Н-1/2», - відображення стану насосних агрегатів та виклик мнемосхем насосних агрегатів;
- індикатори «Нижній/верхній допустимий/аварійний рівень» - індикатори рівня.

Вигляд головного меню представлений рисунку 2.18.



Рис. 2.18. Вигляд головного меню

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

2.8.3 Область відеокадру

В області відеокадру АРМ оператора доступні такі мнемосхеми:

- Низькотемпературний сепаратор;

На мнемосхемі «Низькотемпературний сепаратор» виводиться робота наступних об'єктів та параметрів: контрольовані сигнали та їх параметри; керовані параметри; стан та робота засувок; параметри, що сигналізуються

2.8.4 Мнемознаки

На рисунку 2.19 зображено мнемознак вимірювання тиску.

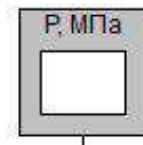


Рис. 2.19. Мнемознак вимірювання тиску

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

У вікні відображається змінна з плаваючою точкою.

Прийнято такі кольори основний для відображення аналогового параметра:

- сірий колір - параметр у робочому діапазоні;
- жовтий колір - параметр знаходиться у зоні допустимих мінімальних або максимальних значень;

- червоний - параметр знаходиться в зоні граничних мінімальних або максимальних значень.

Мнемознак Низькотемпературний сепаратор показаний малюнку 2.20:

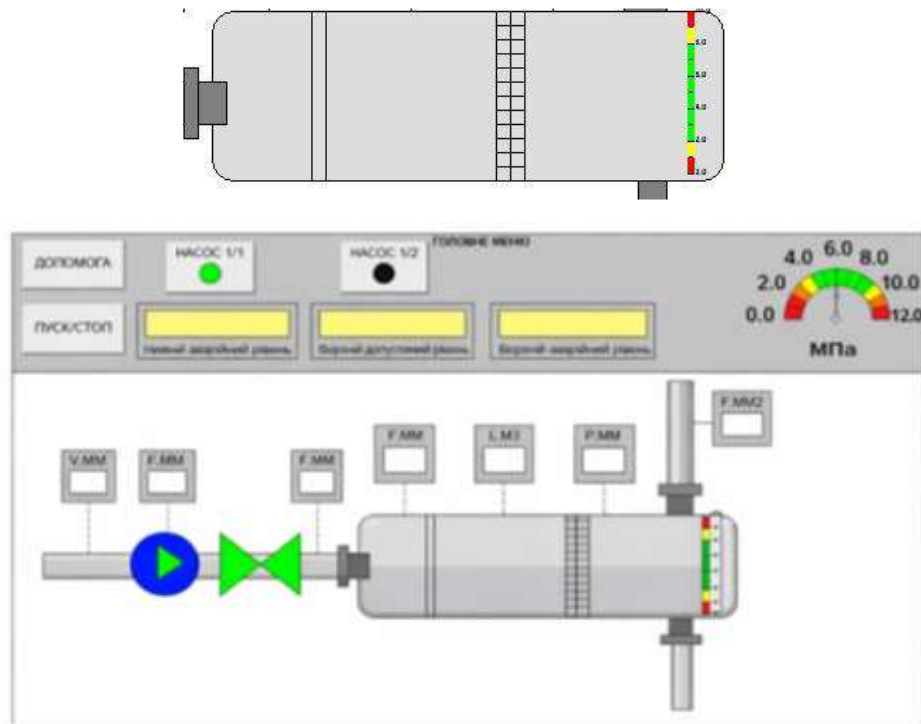


Рис. 2.20. Мнемознак низькотемпературний сепаратор

Примітка. Джерело: Розроблено із використанням [1]

2.9 Заходи із охорони праці та безпеки при експлуатації сепаратора

2.9.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників

При розробці автоматизації для блоку низькотемпературної сепарації на установці підготовки газу першочергово враховуються умови роботи диспетчера. Специфіка керування процесом НТС в операторній виключає контакт із радіацією чи токсичними хімікатами. Основними шкідливими виробничими факторами для оператора є: ненормативний мікроклімат (коливання температури та вологості); нераціональне освітлення (тьмяність, різкий контраст або бліки на моніторах); технологічний шум (гул від компресорів та сепараторів). Мікроклімат. Керування блоком НТС належить до

категорії 1а (легка сидяча праця). Температурний режим в операторній має бути постійним. Перегрів через спеку сповільнює реакцію диспетчера, що небезпечно при виникненні аварійних ситуацій. Переохолодження викликає застуди. Сухість повітря знижує імунітет працівника, а висока вологість здатна спровокувати коротке замикання в апаратурі керування. Проект вирішує це встановленням клімат-контролю та автоматичного опалення.

Освітленість. Зоровий моніторинг графіків сепарації газу належить до IV розряду точності. Оператор повинен бачити показники датчиків без напруження очей. Недостатнє світло створює різкий контраст між монітором і кімнатою, викликаючи мігрень. Надмірна яскравість створює відблиски та засліплює. Для оптимізації у проекті поєднано природні віконні прорізи та штучні розсіювальні світильники. Вони дають рівномірне світло без бліків на дисплеях.

Акустичне навантаження. Обладнання промислової установки підготовки газу генерує сильний фоновий гуркіт. Постійний шум понад 80 дБА руйнує органи слуху. Попадання звуку в операторну заважає зосередженню та викликає роздратування. Допустима норма для залів керування становить 75 дБА. Через тривалу роботу за комп'ютерами ми знизили цей ліміт до 60 дБА. Звуковий тиск нормується в частотному діапазоні від 31.5 до 4000 Гц. Для захисту від гулу будівлю операторної віддалено від агрегатів НТС, стіни покриті звукоізоляцією, а комп'ютери мають тихе охолодження.

Для нейтралізації виявлених факторів в операторній блоку НТС впроваджено комплекс інженерних рішень. Кліматичний баланс підтримується за допомогою автоматизованої системи кондиціювання та опалення, які усувають ризик перегріву чи переохолодження персоналу. Оптимальні умови зору забезпечені комбінацією природного світла та штучних люмінесцентних світильників із розсіювачами, що повністю виключає появу відблисків на дисплеях. Захист від акустичного навантаження реалізовано шляхом територіального винесення диспетчерського пункту за межі зони активного гулу технологічних агрегатів установки. Додатково стіни приміщення оздоблені спеціальними звукопоглинальними панелями, а обчислювальна техніка

укомплектована безшумними елементами охолодження. Такий підхід гарантує збереження високої концентрації уваги оператора протягом усієї робочої зміни.

2.9.2 Інженерно-технічні заходи захисту від ураження електричним струмом

Для захисту персоналу від ураження струмом на блоці НТС реалізовано комплекс інженерних та технічних рішень. Усі металеві корпуси запірно-регулюючих клапанів, датчиків та щитів автоматики підключені до магістрального контуру захисного заземлення. На силових лініях живлення встановлені пристрої захисного вимкнення та автоматичні вимикачі, які миттєво знеструмлюють обладнання в разі витoku струму чи короткого замикання. Доступ до внутрішніх плат ПЛК та клемних колодок обмежений закритими шафами з високим індексом пиловологозахисту (не нижче IP54). Струмopровідні жили кабелів КВВГЕнг захищені подвійною ізоляцією та прокладені всередині закритих металевих лотків і кабельних каналів. Додатково для живлення кіл сигналізації та локальних пультів застосовано безпечну знижену напругу 24 В постійного струму.

2.9.3 Екологічна безпека

Замкнутий технологічний цикл установки комплексної підготовки газу повністю виключає прямі викиди сировини чи технологічних конденсатів в атмосферу та ґрунт. Усі аварійні та технологічні скиди газу спрямовуються на факельну систему для екологічно безпечного спалювання продуктів. Попутно вилучена пластова вода та рідкі вуглеводні з сепараторів автоматично відводяться у герметичні дренажні ємності для подальшої утилізації та очищення. Контроль герметичності запірно-регулюючої арматури ЕМІ 493725 та з'єднань трубопроводів здійснюється безперервно за допомогою датчиків тиску, що запобігає витокam метану. Постійний екологічний моніторинг промислового

майданчика автоматизовано на базі ПЛК, який миттєво фіксує будь-які відхилення від екологічних нормативів.

2.9.4 Пожежна безпека

Для запобігання загорянням на блоці НТС, що працює з горючим газом, передбачено суворий комплекс інженерно-технічних протипожежних заходів. Усі прилади польового рівня, включно з клапаном ЕМІ 493725 та датчиками, обрані у вибухозахищеному виконанні, що виключає появу іскри в горючому середовищі. Операторна та технологічні майданчики обладнані автоматичною системою пожежної сигналізації та датчиками загазованості, які миттєво фіксують небезпечну концентрацію метану. Для прокладання ліній зв'язку та живлення використано вогнестійкий кабель марки КВВГЕнг, який не підтримує горіння і перешкоджає поширенню вогню. У разі виникнення аварійної ситуації програмований логічний контролер (ПЛК) автоматично перекриває подачу газу та активує систему протиаварійного захисту (ПАЗ). Приміщення операторної та блоки установки додатково укомплектовані первинними засобами пожежогасіння і модулями автоматичного водяного або газового гасіння.

2.9.5 Вибухобезпека

Для забезпечення надійної роботи об'єкта в умовах постійного контакту з горючими газами реалізовано суворий комплекс заходів із вибухозахисту. Усі технічні засоби автоматизації, датчики, мають сертифіковане вибухозахищене виконання з оболонками типу «вибухонепроникна капсула» або «іскробезпечний електричний ланцюг». Підключення вимірювальних приладів до ПЛК виконано через спеціальні бар'єри іскрозахисту, які обмежують енергію в лініях живлення до безпечного рівня. На відкритих майданчиках установки НТС та в приміщенні операторної встановлено безперервний моніторинг газового середовища за допомогою швидкодіючих сигналізаторів довибухових концентрацій (ДВК). У

разі фіксації критичного вмісту вуглеводнів у повітрі, система протиаварійного захисту (ПАЗ) автоматично відсікає подачу газу та запускає аварійну вентиляцію. Екрановані кабелі КВВГЕнг прокладені в герметичних металевих коробах, що повністю виключає появу випадкової іскри від статичної електрики або механічних пошкоджень.

Висновок

У даному розділі випускної кваліфікаційної роботи було розглянуто вплив небезпечних та шкідливих факторів при роботі в диспетчерській на оператора АСУ ТП. Розглянуто нормування показників мікроклімату, шуму, освітленості. Додаткові засоби індивідуального захисту не потрібні. Було розглянуто електробезпеку, вказано потенційні джерела ураження електричним струмом. Були описані ергономічні вимоги до робітника місцю оператора АСУ ТП.

Докладно розглянули надзвичайну ситуацію (НС): пожежну та вибухобезпечність. Описано потенційні джерела спалаху та вибуху, а також заходи безпеки.

ВИСНОВКИ

У ході випускної роботи було спроектовано автоматизовану систему низькотемпературного сепаратора високого тиску. Насамперед було складено технічне завдання. Далі був вивчений технологічний процес очищення від крапельної рідини низькотемпературним сепаратором високого тиску. На основі технічного завдання було розроблено структурну схему, функціональну схему автоматизації.

Було здійснено порівняльний аналіз при виборі засобів вимірювань та контролерного обладнання. Вибір відбувався на підставі технічного завдання з урахуванням вимог до метрологічного, технічного забезпечення, вимог до надійності, а також вартості введення.

Було обрано контролер Siemens S7-300 модульного типу. Було приділено особливу увагу показники надійності. Оскільки однією з цілей створення системи є економічний ефект зниження ймовірності простоїв виробництва. Можливість введення/заміни на гарячу та показники середнього напруцювання на відмову, а також можливість нарощування відіграли ключову роль у виборі обладнання.

Було розроблено алгоритми збору даних, детально вивчено алгоритм автоматичного керування тиском на виході газу. За результатами моделювання побудовано перехідні процеси, які підтвердили стійкість функціонування системи, мінімальну величину перерегулювання та високу якість відпрацювання зовнішніх збурюючих факторів.

Також було розроблено схему зовнішніх підключень. Розроблено екранні форми на базі WinCC.

Таким чином, спроектована АС низькотемпературним сепаратором високого тиску задовольняється всім параметрам технічного завдання. Гнучка та функціональна система дозволяє нарощувати, модернізувати систему.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білецький В. С., Орловський В. М., Вітрик В. Г. Технологія збору та підготовки нафти і газу до транспортування: навч. посіб. Полтава: ПолтНТУ: ФОП Вадимов, 2017. 192 с.
2. Леонтьєв П. В. Автоматизована система керування установкою комплексної підготовки газу до транспортування: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.07. Харків, 2021. 25 с.
3. Бойко М. В. Автоматизація технологічного процесу підготовки природних та попутних нафтових газів. Дніпро, 2022. 120 с.
4. Рубан А. Ю. Автоматизація технологічного процесу регулювання газофракційної установки нафтопереробного заводу : кваліфікаційна робота. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 97 с.
5. Майор В. Ю., Підтиченко О. В. Автоматизована система керування установкою підготовки природного газу. *Матеріали наук.-техн. конф.* Житомир, 2024. С. 13.
6. Белиба Б. Д., Расцветаєв В. О. Запобігання відкладенню та видалення газових гідратів. *Збірник наукових праць*. 2023. С. 45-52.
7. Коваленко В. І., Ткаченко О. М. Системи автоматичного керування технологічними процесами в нафтогазовій галузі. *Нафтогазова енергетика*. 2022. № 2. С. 60-68.
8. Іваненко П. С., Гриценко Д. В. SCADA-системи в управлінні газотранспортними об'єктами. *Вісник ХНТУ*. 2023. № 4. С. 112-120.
9. Петренко О. Л. Інтелектуальні системи моніторингу технологічних процесів у газовій промисловості. Автоматизація виробничих процесів. 2024. № 1. С. 25-33.
10. Шевченко І. В., Мельник Р. О. Датчики та вимірювальні системи в автоматизації газових процесів. *Прилади і системи*. 2023. № 3. С. 14-22.
11. Дорошенко С. М. Моделювання та оптимізація процесів сепарації газу в умовах автоматизованого керування. *Вісник НУ «Львівська політехніка»*. 2022. № 941. С. 55-63.

12. Ткачук А. В. Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка в промисловості: навч. посіб. Київ, 2023. 150 с.
13. Олійник Ю. В. Інтернет речей у системах автоматизації нафтогазових об'єктів. *Інформаційні технології та автоматизація*. 2024. № 2. С. 70-78.
14. Про затвердження Правил технічної експлуатації систем газопостачання : наказ Міністерства України від 21.10.2024 № 402. *Офіційний вісник України*. 2024. № 92. С. 45-78.
15. ДСТУ EN 61511-1:2022 Функціональна безпека. Системи безпеки для промислових процесів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 120 с. IEC 61131-3:2021
16. Programmable controllers. Part 3: Programming languages. Geneva : IEC, 2021. 410 p.
17. Wang S., Liu J., Zhang Y. Industrial automation systems in oil and gas processing: Trends and challenges. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2023. Vol. 220. P. 110-125.
18. García L., Fernández J. Advanced process control in gas processing plants. *Control Engineering Practice*. 2024. Vol. 135. P. 105-118.
19. Zhang H., Li X. Machine learning for fault detection in industrial processes. *Computers & Chemical Engineering*. 2024. Vol. 176. P. 108-121. Kim D., Park S.
20. Robotics applications in oil and gas industry: Inspection and maintenance. *Robotics and Autonomous Systems*. 2023. Vol. 162. P. 104-118.

ДОДАТКИ



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

151-1д-2026арб

Автор

151-1д-2026арб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є

ІД документу

334133447

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

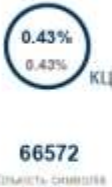
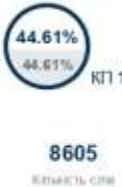
Дата звіту

6/2/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		2
Інтервали		0
Мікропробіли		1
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		240

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копію тексту сончас в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Копію тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИФІКОВАНИХ СЛІВ (FRAGMENT)
---	--	---

ЗГОДА здобувача освіти Державного університету економіки і технологій про
перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, Біленко Захар Вікторович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна бакалаврська робота «Автоматизація металургійного виробництва. Автоматизована система блоку низькотемпературної сепарації установки комплексної підготовки газу» виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований, що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений з умовами такого розміщення.

Дата

Підпис