МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»

Кафедра Автоматизації, метрології та енергоефективних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ БЛОКУ СЕПАРАЦІЇ УСТАНОВКИ ПІДГОТОВКИ ГАЗУ

(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 курсу, групи ДА-24мг
спеціальності: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(код і найменування спеціальності)

_____/__ Аліна ГЕРАСИМОВА_
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____/__Андрій МЕЗЕРЯ_
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____/_Павло БУДАНОВ_
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Геннадій КАНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль_____/_Євген КЛЮЧКА_ ____
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____/__Євген КЛЮЧКА__ ___
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025

Додаток ДП-2

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Кафедра ___АМтаЕТ_____
Спеціальність _174_____
Освітньо-професійна програма _магістр_____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____
(підпис)

д.т.н., професор Канюк Г.І.___
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

«___» _____20___р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
рівня вищої освіти Магістр
студенту (ці) __ **ГЕРАСИМОВА Аліна Русланівна** _____
(ім'я, прізвище)

1. Тема _____ **Удосконалення системи автоматизації блоку сепарації установки підготовки газу**

_____
затверджена наказом по академії №____від «___»_____ 20___р.

2. Термін здачі закінченої роботи «_28___»__11____2025___р.

3. Вихідні дані до роботи _____Існуючі схеми автоматичного керування блоку сепарації та їх конструкції, методи керування установками підготовки газу, математичні моделі _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які належить розробити):
___Аналіз сучасних елементів установок підготовки газу, аналіз недоліків та переваг існуючих систем керування установок підготовки газу. Дослідження режимів роботи установок, дослідження перспективних напрямків розвитку, висновки

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):
Актуальність теми, існуючі виконавчі механізми, типи механізмів, недоліки та переваги існуючих систем керування виконавчими механізмами, математичні моделі, порівняльний аналіз систем керування, висновки.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання«_14_»__10__2024___р.

Керівник _____ ___Андрій МЕЗЕРЯ___
(підпис) (ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання _____ ___ Аліна ГЕРАСИМОВА
(підпис) (ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК

виконання кваліфікаційної роботи

(дипломної роботи)

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз існуючих систем керування	14.10-28.10	виконано
2	Аналіз характеристик систем керування в різних режимах роботи	28.10-05.11	виконано
3	Порівняльний аналіз	05.11-14.11	виконано
4	Експериментальні дослідження	14.11-28.11	виконано
5	Висновки	28.11	виконано

Студент (ка) _____ _ Аліна ГЕРАСИМОВА
(підпис) (ім'я, прізвище)

Нормоконтроль _____ _Євген КЛЮЧКА____
(підпис) (ім'я, прізвище)

Зміст

Позначення та скорочення 6

ВСТУП 8

РОЗДІЛ 1. Аналіз вимог до систем керування 10

1.1. Аналіз наукової літератури 10

1.2. Основні завдання та цілі створення АСУ ТП 15

1.3. Призначення системи 16

1.4. Вимоги до системи 17

1.5. Вимоги до технічного забезпечення 17

1.6. Вимоги до метрологічного забезпечення 18

1.7. Вимоги до програмного забезпечення 19

1.8. Вимоги до математичного забезпечення 19

1.9. Вимоги до інформаційного забезпечення 20

1.10. Вимоги до надійності 20

РОЗДІЛ 2. Аналіз технологічного процесу та синтез системи керування 21

2.1. Опис технологічного процесу 21

2.2. Математична модель низькотемпературного сепаратору 22

2.3. Розробка спрощеної математичної моделі для Simulink 26

2.4. Розробка структурної схеми АС 27

2.5. Функціональна схема автоматизації 28

2.6. Розробка схеми інформаційних потоків 29

2.7. Вибір засобів реалізації 30

2.7.1. Вибір контролерного обладнання 30

2.7.2. Вибір пристроїв вимірювання 35

2.7.2.1. Датчики тиску 36
2.7.2.2. Датчик температури 39
2.7.2.3. Вибір витратоміра 42
2.7.2.4. Вибір рівнеміру 45
2.7.2.5. Вибір датчика-сигналізатора рівня 49
2.7.3. Вибір виконавчих механізмів 51
2.7.3.1. Вибір регулюючого клапана 51
2.8. Розробка схеми зовнішніх проводок 54
2.9. Вибір алгоритмів керування АС 54
2.9.1. Алгоритм збору даних вимірів 55
2.9.2. Алгоритм автоматичного регулювання технологічним параметром 55
Висновки 62
Список використаних джерел 64
Додаток А 67
Додаток Б 68
Додаток Г 69
Додаток Д 70
Додаток Е 71

Позначення та скорочення

Абревіатура	Коротка характеристика
OSI (Open Systems Interconnection)	Еталонна модель взаємодії відкритих інформаційних систем
PLC (Programmable Logic Controllers)	Програмовані логічні контролери (ПЛК).
HMI (Human Machine Interface)	Людсько-машинний інтерфейс
OSE/RM (Open System Environment/Reference Model)	Базова модель середовища відкритих систем
API (Application Program Interface)	Інтерфейс прикладних програм
EEI (External Environment Interface)	Інтерфейс зовнішнього оточення
OPC (Object Protocol Control)	OLE для керування процесами
OLE (Object Linking and Embedding)	Протокол, визначальний взаємини об'єктів різних прикладних програм при їх компонуванні в єдиний об'єкт/документ
SNMP (Simple Network Management Protocol)	Протокол управління мережами зв'язку на основі архітектури TCP/IP
ODBC (Open DataBase Connectivity)	Програмний інтерфейс доступу до баз даних (відкритий зв'язок з базами даних)
ANSI/ISA (American NationalStandards Institute/ Instrument Society of America)	Американський національний інститут стандартів/Американське суспільство приладобудівників
DIN (Deutsches Institut für Normung)	Німецький інститут стандартизації
IP (International Protection)	Ступінь захисту

LAD (Ladder Diagram)	Мова релейної (сходової) логіки
АСУ ТП	Автоматизована система керування технологічним процесом
АСУП	Автоматизована система керування підприємством
АРМ	Автоматизоване робоче місце
УНТС	Встановлення низькотемпературної сепарації
ДП	Диспетчерський пункт
ДБЖ	Джерело безперебійного живлення
КВП	Контрольно вимірювальний прилад
КП	Контрольний пункт
ГЖС	Газо-рідинна суміш
ФСА	Функціональна схема автоматизації
АЦП	Аналого-цифровий перетворювач
ЦАП	Цифро-аналоговий перетворювач
ВМР	Водометанольний розчин

ВСТУП

Актуальність дослідження

Сепарація є одним із ключових етапів технологічного процесу підготовки природного газу, що визначає надійність подальшого осушення, очищення та компримування. Недостатня ефективність розділення газорідинної суміші призводить до підвищених втрат вуглеводнів, погіршення роботи адсорберів та холодильних установок, збільшення енерговитрат і аварійних відмов. Більшість діючих систем автоматизації на УКПГ побудовані на застарілих алгоритмах, що не враховують динамічні зміни властивостей газу, нерівномірність надходження продукції свердловин та швидкі переходи у режимах роботи. Тому удосконалення системи автоматизації блоку сепарації є важливим завданням для підвищення ефективності та безпеки функціонування газопідготовчих комплексів, зменшення втрат вуглеводнів та забезпечення стабільності технологічних режимів.

Предмет дослідження

Процеси керування, алгоритми регулювання та технічні засоби автоматизації блоку сепарації установки підготовки газу.

Об’єкт дослідження

Блок сепарації установки підготовки природного газу та його система автоматизації, що забезпечує контроль і регулювання параметрів тиску, рівня та витрати газорідинної суміші.

Мета дослідження

Підвищення ефективності та надійності роботи блоку сепарації шляхом удосконалення структури та алгоритмів системи автоматизації, спрямованих на забезпечення оптимального рівня сепарації, мінімізацію втрат конденсату та стабілізацію технологічних режимів.

Методи дослідження

- аналіз технологічних схем установки підготовки газу та нормативно-технічної документації;
- математичне моделювання динамічних процесів у сепараторі та каналах регулювання;
- методи системного аналізу та теорії автоматичного керування;

- моделювання роботи регуляторів у середовищах MATLAB/Simulink або аналогічних;
- експериментальна перевірка параметрів на основі виробничих даних або натурних вимірювань;
- оптимізація параметрів ПІ/ПІД-регуляторів та логічних алгоритмів.

Завдання дослідження

1. Провести аналіз технологічного процесу сепарації та виявити основні фактори, що впливають на стабільність режиму.
2. Оцінити існуючу систему автоматизації блоку сепарації та визначити її недоліки.
3. Розробити математичну модель динаміки рівня, тиску та витрати у сепараторі.
4. Обґрунтувати вибір оптимальної структури системи автоматизації.
5. Удосконалити алгоритми регулювання рівня та тиску, включаючи адаптивні або коригувальні схеми.
6. Провести моделювання роботи оновленої системи та порівняти її з діючою.
7. Надати техніко-економічне обґрунтування впровадження запропонованих удосконалень.

Отримані результати

У роботі сформовано вдосконалену систему автоматизації блоку сепарації, яка забезпечує підвищену точність підтримання рівня та тиску, зменшення коливань режимів, скорочення втрат конденсату та зниження ризику захоплення рідини в подальші технологічні блоки. Розроблені математичні моделі дозволили оптимізувати налаштування регуляторів і адаптивно врахувати зміни властивостей газорідинної суміші. Моделювання підтвердило зменшення перехідних процесів у 1.3–1.7 рази та підвищення стабільності роботи сепаратора. Запропоновані рішення можуть бути впроваджені на існуючих УКПГ без суттєвої модернізації обладнання.

РОЗДІЛ 1. Аналіз вимог до систем керування

1.1. Аналіз наукової літератури

Одним з базових джерел, що системно описує підходи до автоматизації газопереробних і газопідготовчих об’єктів, є розділ S. Mokhatab та співавторів, присвячений керуванню та автоматизації газопереробних заводів [1]. У роботі розглянуто типову структуру АСУ ТП газових установок, включно з блоками сепарації: польовий рівень (датчики тиску, температури, рівня, витрати, виконавчі механізми), рівень контролерів (PLC/DCS), а також рівень диспетчерського керування та оптимізації. Підкреслюється, що для блоку сепарації критичною є стабілізація тиску, температури та рівня рідини в сепараторах, оскільки це безпосередньо впливає на якість підготовки газу та безпеку роботи компресорного й трубопровідного обладнання. Автори показують, що інтеграція контурів регулювання з підсистемами оптимізації та інформаційної підтримки дозволяє працювати ближче до економічно оптимальних режимів, зменшуючи втрати енергії та сировини [1].

Останніми роками помітно зростає кількість робіт, присвячених поєднанню класичного ПІД-регулювання з функціями протиаварійного захисту та оптимізації. У дослідженні S.H. Nasser та співавторів запропоновано теоретичну рамку інтеграції контурів ПІД-керування з системами аварійного захисту в процесах підготовки природного газу [2]. Автори наголошують, що в умовах високих тисків і значної вмісту рідких вуглеводнів і конденсату саме блоки сепарації є найбільш чутливими до відхилень режиму. Моделювання показало, що правильне узгодження динаміки ПІД-контурів із логікою спрацювання ПАЗ забезпечує скорочення часу перехідних процесів, зменшення перерегулювання тиску і рівня та підвищення загальної надійності установки [2]. Такий підхід безпосередньо корелює з задачою удосконалення системи автоматизації блоку сепарації – від «простого» регулювання до інтегрованого керування «регулювання + захист».

Окрема група робіт зосереджена на удосконаленні ПІД-алгоритмів для

блоків осушення та сепарації газу. Стаття С.О. Wosu показує, що правильний вибір параметрів П, І та Д-ланок при керуванні процесом осушення газу дозволяє суттєво підвищити ефективність дегідратації та стабільність режимів при збуреннях витрати та складу газу [3]. Аналогічні висновки роблять автори досліджень з динамічного моделювання установки осушення із застосуванням Aspen HYSYS і впровадженням контурів ПІД-регулювання для тиску, температури та витрати в секції дегідратації [4; 5; 6]. Хоча ці роботи безпосередньо стосуються переважно блоків осушення (TEG, MEG), вони є методологічно релевантними для блоку сепарації УПГ, оскільки описують підходи до динамічного моделювання, налаштування регуляторів і оцінювання інтегральних показників якості (ISE, IAE, ITAE) для багатоконтурних систем.

Помітний внесок у розвиток математичного моделювання процесів низькотемпературної сепарації зроблено в роботах українських і закордонних авторів. У публікаціях М.І. Горбійчука та Н.Л. Кулініна розроблено математичну модель процесу низькотемпературної сепарації природного газу, що враховує взаємозв’язок тиску, температури та рівня рідини в апараті [10; 11]. Показано, що використання незалежних одноконтурних систем стабілізації цих параметрів не забезпечує належної якості регулювання через сильну взаємодію між каналами. У більш пізній роботі тих самих авторів [12] синтезовано удосконалену математичну модель НТС і обґрунтовано необхідність переходу до багатоконтурних та узгоджених систем регулювання, що є фундаментом для подальшого удосконалення АСУ блоку сепарації.

Суттєвий розвиток цієї лінії спостерігається у роботах Г.В. Кулінченка. У статті [9] сформульовано критерій керування процесом низькотемпературної сепарації та показано доцільність використання двоконтурної системи: внутрішній контур стабілізує «швидкі» параметри (наприклад, тиск або положення регулюючого органа), тоді як зовнішній екстремальний контур оптимізує цільову функцію, пов’язану з ефективністю відокремлення вологи [9]. У подальшій роботі [10] обґрунтовано підхід до побудови регулятора процесу НТС, який враховує часові затримки та різну динаміку окремих підпроцесів. Для

теми удосконалення системи автоматизації блоку сепарації це означає перехід від традиційного одноконтурного ПІД-керування рівнем чи тиском до більш складних структур із екстремальними та адаптивними регуляторами.

Ряд зарубіжних публікацій зосереджуються на моделюванні повної схеми підготовки газу з включенням блоку низькотемпературної сепарації. У роботі A.A. Bunaev та співавторів побудовано модель режимів установки підготовки газу і газоконденсату з використанням технології LTS, що дозволяє відстежувати зміну технологічних параметрів у реальному часі [6]. Автори підкреслюють, що така модель є основою для випробування різних варіантів регуляторів, логіки ПАЗ та стратегій оптимізації, не втручаючись у роботу реальної установки. L. Zhu і співавтори досліджують процес низькотемпературної сепарації як альтернативу чи доповнення до традиційної гліколевої дегідратації [5]. Показано, що точний контроль температури й тиску у вузлах дроселювання або холодильних агрегатах критично визначає глибину осушення й де-гідронафтування газу, а отже, систему автоматизації блоку сепарації слід розглядати як невід'ємну частину загального комплексу керування підготовкою газу.

У роботі V. Dmytrenko та співавторів [7] аналізується розподіл метанолу в різних схемах підготовки газу, що поєднують компримування, низькотемпературну сепарацію та різні типи холодильних агрегатів [7]. Застосування комп'ютерного імітатора дозволило показати, що зміна схем керування і настройок регуляторів у блоці сепарації суттєво впливає на втрати метанолу та рівень енергоспоживання. Хоча фокус роботи зроблено на питанні інгібіторів гідратоутворення, отримані висновки підтверджують важливість точного й швидкодіючого автоматичного регулювання в блоці НТС.

Серія праць присвячена апаратурному вдосконаленню самих низькотемпературних сепараторів та їх впливу на завдання автоматизації. О.А. Летюк показує необхідність модернізації апаратурного оформлення процесу НТС та пропонує комбінований апарат, який поєднує функції кількох ступенів сепарації та абсорбції [13]. Конструктивні зміни дозволяють зменшити габарити й металоємність, але одночасно ускладнюють динаміку об'єкта керування, що

потребує використання більш розвинених алгоритмів регулювання. У монографічній праці V.V. Sukhov і співавторів, присвяченій технологіям підготовки газу та конденсату, окремий розділ приділено низькотемпературній сепарації, де розглянуто питання розміщення блоків сепарації в загальній структурі УКПГ, вибору параметрів керування та узгодження роботи з іншими блоками (охолодження, осушення, компримування) [14].

Важливим напрямом є дослідження альтернативних технологій сепарації (зокрема, надзвукова сепарація) та відповідних систем керування. У роботі N.A. Othman [8] проаналізовано можливості надзвукової сепарації для вилучення CO_2 з природного газу й підкреслено, що реалізація таких процесів потребує надточного автоматичного контролю параметрів потоку (тиск, температура, витрата) та геометрії сопла/дифузора [8]. Хоча ці технології поки що мають дослідницький характер, підходи до побудови АСУ, зокрема використання швидкодіючих вимірювальних ліній і високочастотного керування виконавчими органами, є корисними для розуміння перспектив розвитку блоку сепарації.

Паралельно значна кількість робіт стосується архітектур SCADA/PLC для газотранспортних і газопереробних систем. У публікаціях, присвячених SCADA- та телеметрії в газотранспортних системах, розглядаються принципи побудови багаторівневих систем керування, де окремі станції (включно з УКПГ, установками зберігання та великими газопереробними об’єктами) розглядаються як віддалені вузли з власними локальними контролерами й системами автоматизації [15; 16]. Показано, що інтеграція даних блоку сепарації до єдиної диспетчерської SCADA дозволяє реалізувати централізовану діагностику, оптимізацію балансів тиску та витрати, а також узгодити режими роботи з вимогами магістрального газотранспортного коду (GTS Code).

Окремі роботи присвячені проектуванню SCADA-орієнтованих систем керування поверхневими об’єктами нафти й газу. Так, у статті [17] розроблено цифрову SCADA-модель поверхневої установки обробки нафти й газу, що включає блоки сепарації, осушення та компримування, з можливістю візуалізації й дистанційного керування [17]. Подібні рішення можуть бути безпосередньо

перенесені на блок сепарації УКПГ: використання модульних ПЛК, резервування каналів зв’язку, підключення польових приладів із уніфікованими виходами 4–20 мА/HART, а також реалізація розширених діагностичних функцій.

Нормативно-правові документи України задають рамкові вимоги до безпеки та автоматизації установок підготовки газу. Кодекс газотранспортної системи України визначає вимоги до параметрів підготовленого газу (температура точки роси, тиск, вміст домішок) і прямо передбачає застосування контрольно-вимірювальних приладів та систем автоматизації на виході з УПГ [21]. Правила безпечної експлуатації магістральних газопроводів (НПАОП 1.1.23-1.03-2004) та Правила безпеки у нафтогазовій промисловості (НПАОП 11.1-1.01-08) встановлюють вимоги до протиаварійної автоматики, вибухозахищеного виконання обладнання, резервування живлення та організації диспетчерського контролю на УПГ і в блоках сепарації [22; 23]. Наказ Міністерства економіки України № 2610 уточнює класифікацію об’єктів підвищеної небезпеки, до яких належать установки підготовки газу, і вказує на необхідність впровадження систем автоматизації технологічних процесів як одного з інструментів зниження ризику аварій [24].

Ці нормативи безпосередньо впливають на архітектуру АСУ блоку сепарації: передбачають обов’язковість систем ПАЗ, дублювання каналів вимірювання критичних параметрів (тиск, температура, рівень), застосування вибухозахищеного польового обладнання, а також взаємодію автоматизації з системами протипожежного захисту та локалізації аварійних викидів.

Нарешті, у низці українських наукових і науково-практичних публікацій розглядаються питання інтеграції блоку сепарації до модернізованих схем УПГ. У збірниках конференцій наведено приклади малогабаритних блочних установок підготовки газу, де блок сепарації, блок охолодження й блок холодильних установок (ФХУ) проектуються як єдиний комплекс з урахуванням вимог Кодексу ГТС, мінімізації енерговитрат і забезпечення гнучкості режимів [25]. Такі роботи підкреслюють, що подальше удосконалення системи автоматизації блоку сепарації повинно враховувати не лише внутрішні контури регулювання, але й

інтеграцію з сусідніми блоками, можливість роботи в широкому діапазоні продуктивності та глибини підготовки газу.

Узагальнюючи, можна відзначити кілька ключових тенденцій, що випливають з аналізу джерел:

Перехід від локального регулювання до інтегрованого оптимізаційного керування. Сучасні АСУ ТП блоку сепарації мають не лише стабілізувати параметри, але й забезпечувати мінімізацію енерговитрат, втрат інгібіторів та вуглеводневого конденсату [1; 2; 6; 7].

Використання адекватних математичних моделей НТС як основи для синтезу алгоритмів. Без урахування взаємозв'язку параметрів і нелінійності процесів неможливо досягти якісного покращення систем регулювання [10–12].

Розвиток екстремального та багатоконтурного керування. Роботи [8–10] показують перспективність двоконтурних і оптимізаційних структур регулювання порівняно з традиційним ПІД-підходом.

Інтеграція блоку сепарації в єдину SCADA/DCS-архітектуру підприємства. Це забезпечує централізований моніторинг, діагностику та узгодження режимів з вимогами надійності й безпеки газотранспортної системи [15–17; 21–23].

Жорсткі нормативні вимоги до безпеки та вибухозахисту. Вони задають обмеження на вибір засобів автоматизації, структур ПАЗ і режимів роботи, що має бути враховано при удосконаленні системи автоматизації блоку сепарації [21–24].

Таким чином, наявні публікації формують міцне наукове й нормативне підґрунтя для подальшого удосконалення системи автоматизації блоку сепарації установки підготовки газу, але залишають простір для розвитку саме комплексних рішень, що поєднують сучасний математичний апарат, оптимізаційні алгоритми й промислово орієнтовані SCADA/PLC-платформи.

1.2. Основні завдання та цілі створення АСУ ТП

АСУ ТП призначена для забезпечення автоматичного та автоматизованого керування технологічним обладнанням у режимі реального часу відповідно до

вимог безпечного та регламентованого ведення технологічного процесу.

До ключових цілей упровадження АСУ ТП належать:

– оперативне отримання достовірної інформації про стан і параметри технологічного процесу;

– збирання та первинна обробка сигналів від датчиків, а також даних про стан технологічного обладнання та виконавчих механізмів;

– підвищення техніко-економічних показників роботи виробництва;

– реалізація автоматичного керування відповідно до заданих алгоритмів, а також дистанційного керування з операторської панелі при одночасному забезпеченні контролю та підтримання необхідного рівня безпеки технологічного процесу.

1.3. Призначення системи

Призначення АСУ ТП полягає у забезпеченні оперативного контролю технологічних параметрів, формуванні попереджувальної та передаварійної сигналізації, візуалізації перебігу технологічного процесу, а також у реалізації автоматичного керування параметрами низькотемпературного сепаратора високого тиску.

Система призначена для:

– керування технологічним обладнанням низькотемпературного сепаратора високого тиску;

– виконання операцій безаварійного пуску та зупинки.

АСУ ТП повинна забезпечувати такі функції:

– збирання та первинну обробку сигналів від датчиків і виконавчих механізмів;

– перевірку отриманих даних на достовірність;

– відображення параметрів технологічного процесу оператору в реальному часі;

– автоматичний та дистанційний перевід технологічного процесу в безпечний стан у разі виникнення аварійних ситуацій;

– формування попереджувальної сигналізації при відхиленні параметрів від установлених норм;

– контроль рівня краплинної рідини, підтримання його в регламентованих межах та автоматичне переведення сепаратора в безпечний режим при виході параметра за допустимі значення;

– контроль технологічного стану компресора;

– виконання автоматичної діагностики вузлів системи.

1.4. Вимоги до системи

Система повинна мати трирівневу ієрархічну структуру:

нижній рівень, на якому розміщуються прилади КВП і виконавчі механізми, що включає:

- датчики температури;
- датчики тиску;
- витратомір;
- датчик рівня;
- датчик-сигналізатор рівня;
- кабельне та додаткове обладнання.
- середній рівень, на якому здійснюється збирання даних з нижнього рівня, а також видача керуючих впливів на виконавчі механізми, що складається з інтерфейсних ліній зв'язку;
- верхній рівень, на якому здійснюється збір та обробка (у тому числі масштабування) даних з локальних контролерів, синхронізація всіх підсистем, а також формування звітної документації та надання інтерфейсу безпосередньої взаємодії з оператором АСУ, включає автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора.

1.5. Вимоги до технічного забезпечення

Усе апаратно-технічне обладнання, яке працює під напругою, повинно бути захищене від випадкового доторкання та оснащене системою захисного заземлення. З огляду на підвищені вимоги до безпеки, технічні засоби мають

добиратися у вибухозахищеному або іскробезпечному виконанні.

Контролерне обладнання повинне мати модульну архітектуру з підтримкою «гарячої заміни» модулів, а також функції самодіагностики. Технічні засоби автоматизованої системи мають забезпечувати можливість подальшого розширення, що включає встановлення додаткових модулів введення/виведення; під час проєктування необхідно передбачити резерв масштабування не менше ніж 20%.

Польові пристрої повинні забезпечувати безперервне перетворення вимірюваних технологічних параметрів (тиску, температури, рівня, витрати тощо) та реалізовувати безпосереднє керування технологічним процесом. До складу польового обладнання входять первинні перетворювачі, регулюючі клапани та пристрої керування електроприводами, які розміщуються на відкритому технологічному майданчику.

Керування електрозасувками має здійснюватися уніфікованим аналоговим сигналом 4–20 мА з дублюванням по інтерфейсу RS-485 з використанням протоколу Modbus RTU у разі основної відмови. Електрозасувки повинні бути оснащені асинхронними електродвигунами, керованими через частотний перетворювач, який приймає сигнал керування 4–20 мА.

Польове обладнання повинне відповідати вимогам вибухозахищеного виконання, мати ступінь захисту не нижче IP65 та бути придатним для експлуатації в умовах агресивних середовищ.

Система має забезпечувати можливість обміну даними з польовими КВП за протоколом HART через робочу станцію оператора відповідно до встановленого програмного забезпечення. Усе польове обладнання повинне підтримувати уніфікований вихідний сигнал 4–20 мА.

1.6. Вимоги до метрологічного забезпечення

Основна відносна похибка витратоміра трохи більше 2%. Основна відносна похибка датчиків температури, рівня, тиску трохи більше 0,25%.

Період перевірки датчиків не менше 2 років.

Вимірювальні канали системи повинні відповідати вимогам метрологічної сумісності, тобто. мати єдиний склад нормованих метрологічних характеристик.

Інформація про технологічні параметри повинна подаватися в одиницях вимірювання, із зазначенням знаку параметра та позначенням одиниць вимірювань відповідно до вимог ДСТУ.

1.7. Вимоги до програмного забезпечення

ПЗ має бути достатнім для виконання всіх функцій АСУ ТП низькотемпературного сепаратора високого тиску, що реалізуються із застосуванням засобів обчислювальної техніки.

ПО має працювати серед MS Windows на стандартних ПЕОМ як АРМ.

ПЗ повинно включати:

базове програмне забезпечення технологічного контролера;

фірмовий пакет програмного забезпечення для програмування технологічних контролерів, що дозволяє реалізувати необхідні функції управління, захисту та контролю.

ПЗ програмування контролерів повинно забезпечувати розробку алгоритму однією з технологічних мов програмування (мова релейної логіки, мова послідовних функціональних блоків тощо).

Реалізація інтерфейсу АРМ повинна:

- дозволяти оператору працювати з АСУ ТП через систему "меню" або шляхом "натискання" функціональних екранних кнопок;

- запитувати підтвердження дій оператора виключення випадкового натискання клавіш;

- забезпечувати блокування неправильних дій оператора.

ПЗ має бути захищене від несанкціонованого внесення змін.

1.8. Вимоги до математичного забезпечення

Математичне забезпечення АС повинно бути сформоване як сукупність алгоритмів та математичних методів обробки інформації, які під час розроблення

та експлуатації системи забезпечують реалізацію всіх її функціональних компонентів на основі цілісного та узгодженого математичного апарату.

1.9. Вимоги до інформаційного забезпечення

Засоби інформаційного забезпечення повинні включати:

- уніфіковану систему електронних документів, яка може бути виражена у вигляді набору форм статистичної звітності;

- розподілену структуровану базу даних (БД), яка має здійснювати зберігання системи об'єктів;

- засоби ведення та управління базами даних.

1.10. Вимоги до надійності

Датчики тиску, витрати повинні мати середнє напрацювання на відмову не менше 120 000 годин.

Датчики температури, рівня, а також сигналізатори рівня повинні мати середнє напрацювання на відмову не менше 50 000 годин.

Контролерне обладнання повинно мати середнє напрацювання на відмову не менше 100 000 годин.

Контролерне обладнання повинне мати можливість заміни на гарячу, а також можливість самодіагностики.

Датчики повинні мати можливість самодіагностики.

РОЗДІЛ 2. Аналіз технологічного процесу та синтез системи керування

2.1. Опис технологічного процесу

Функціональна схема блоку сепарації наведена у додатку А.

Низькотемпературні сепаратори призначені для вилучення краплинної рідини з газорідинної суміші, після чого відокремлена рідина відводиться на факельну систему. НТС входять до складу факельних установок на газових, нафтових та газоконденсатних родовищах. Експлуатація таких апаратів здійснюється в умовах помірного або холодного клімату; за потреби сепаратори розміщують у проєктованих обігріваних зонах.

Конструктивно низькотемпературний сепаратор являє собою циліндричний апарат, оснащений кутовою та вертикальною сітчастими насадками. Для забезпечення номінальних режимів роботи та зручності технічного обслуговування апарат обладнаний технологічними штуцерами, а також штуцерами для встановлення контрольно-вимірювальних приладів.

Газорідинна суміш надходить до сепаратора через вхідний штуцер. Далі газ потрапляє на кутову насадку, яка забезпечує рівномірний розподіл потоку по перерізу апарата та сприяє первинному відокремленню краплинної рідини. Подальше очищення газу відбувається у вертикальній сітчастій насадці та зоні гравітаційного осадження. Відокремлена рідина відводиться через дренажний штуцер у відповідну ємність.

.

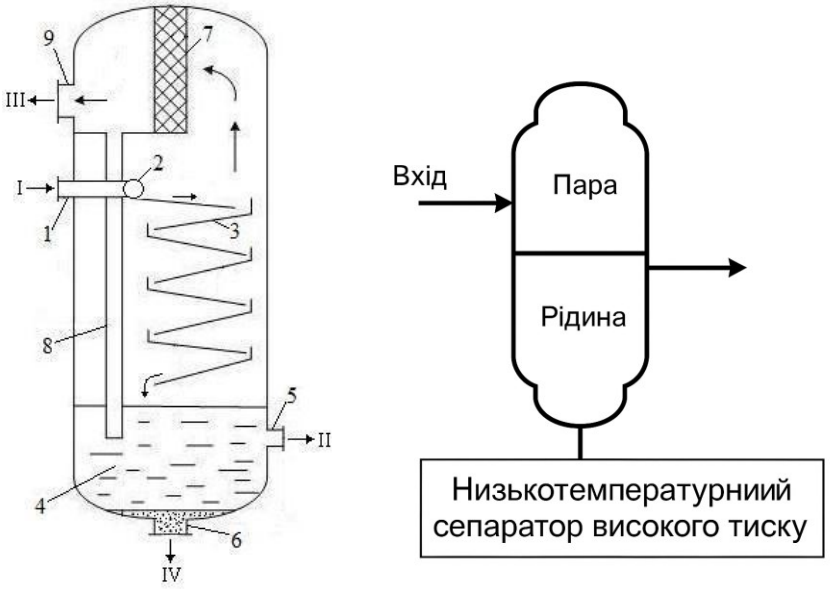


Рисунок 1 – Низькотемпературний сепаратор високого тиску. I – нафтогазова суміш; II – дегазована нафта; III – газ; IV – механічні домішки, 1 – штуцер введення сировини, 2 – розподільний колектор; 3 – похилі полиці; 4 – секція збору нафти; 5 – штуцер відведення нафти; 6 – штуцер відведення механічних домішок; 7 – жалюзійний краплевловлювач; 8 – дренажна труба; 9 – штуцер відведення газу

Характеристики низькотемпературного сепаратора наведено у таблиці 1.

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

2.2. Математична модель низькотемпературного сепаратору

1. Припущення

Вертикальний сепаратор з рідинною ванною внизу та газовим об’ємом зверху.

Двохфазна суміш «газ–конденсат», рідина несжима́на, газ – квазіідеальний.

Температура в апараті просторово однорідна (одна усереднена ТТТ).

Теплообмін із зовнішнім холодильним контуром описується узагальненим коефіцієнтом K_Q.

Витрати через клапани описуються квазістатичними залежностями виду $w=f(P,u)$.

2. Основні змінні та параметри

$H(t)$ – рівень рідини в сепараторі, м.

$P(t)$ – тиск газової фази, Па.

$T(t)$ – середня температура суміші, К.

$w_f(t)$ – масова витрата вхідної суміші, кг/с.

$w_g,(t)$ – масова витрата газу на виході, кг/с.

$w_l(t)$ – масова витрата рідини (конденсату) на виході, кг/с.

$Q_c(t)$ – тепловий потік, відведений холодильником, Вт (керуючий вплив).

Постійні:

A – площа поперечного перерізу апарата, м².

V – повний об’єм сепаратора, м³.

ρ_l – густина рідини (майже стала), кг/м³.

M_w – середня молярна маса газу, кг/кмоль.

c_{pl} – теплоємності газу та рідини, Дж/(кг·К).

R – універсальна газова стала.

Частка рідини у вхідній суміші – β (0…1). Тоді:

$$w_{l,f} = \beta w_f,\ w_{g,f} = (1-\beta)w_f.$$

Об’єми фаз:

$$V_l = AH, \qquad V_g = V - V_l.$$

Густина газу:

$$\rho_g = \frac{PM_w}{ZRT}, \quad Z \approx 1$$ (фактор стисливості)

3. Рівняння масового балансу

3.1. Баланс рідкої фази (динаміка рівня)

$$\frac{d}{dt}(\rho_l V_l) = w_{l,f} + w_{\text{cond}} - w_{l,\text{out}},$$

де w_{cond}– масова витрата конденсації (газ → рідина).

З урахуванням $V_l = AH_l$ та сталої ρ_l:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{\rho_l A}\left(w_{l,f} + w_{\text{cond}} - w_{l,\text{out}}\right)$$

У системі керування зазвичай $w_{l,\text{out}}$ задається через клапан рівня:

$$w_{l,\text{out}} = f_L(P, H, u_L).$$

3.2. Баланс газової фази (динаміка тиску)

$$\frac{d}{dt}(\rho_g V_g) = w_{g,f} - w_{g,\text{out}} - w_{\text{cond}}.$$

Підставляючи $\rho_g = \frac{PM_w}{RT}$ та $V_g = V - AH$:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{PM_w}{RT}(V - AH)\right) = w_{g,f} - w_{g,\text{out}} - w_{\text{cond}}.$$

Розкривши похідну й згрупувавши члени, отримуємо узагальнений вигляд

$$C_P\frac{dP}{dt} + C_T\frac{dT}{dt} + C_H\frac{dH}{dt} = w_{g,f} - w_{g,\text{out}} - w_{\text{cond}}$$

де коефіцієнти C_P, C_T, C_H залежать від робочої точки (P_0, T_0, H_0):

$$C_P = \frac{M_w}{RT_0}(V - AH_0), \qquad C_T = -\frac{P_0 M_w}{RT_0^2}(V - AH_0), \qquad C_H = -\frac{P_0 M_w}{RT_0}A.$$

У найпростішій моделі (малі зміни T, H, відсутність конденсації) беруть

$$\frac{dP}{dt} = \frac{RT_0}{(V - AH_0)M_w}\left(w_{g,f} - w_{g,\text{out}}\right)$$

4. Енергетичний баланс (динаміка температури)

Повна ентальпія в апараті:

$$E = M_g c_{pg} T + M_l c_{pl} T = \left(\rho_g V_g c_{pg} + \rho_l V_l c_{pl}\right)T = C_\Sigma(T, H, P)\,T.$$

Енергетичний баланс:

$$\frac{dE}{dt} = w_f c_{pf} T_f - w_{g,\text{out}} c_{pg} T - w_{l,\text{out}} c_{pl} T - Q_c,$$

де c_{pf}– ефективна теплоємність вхідної суміші.

Нехтуючи залежністю C_Σ від часу (лініаризація біля робочої точки), одержуємо

$$C_\Sigma \frac{dT}{dt} = w_f c_{pf}(T_f - T) - (w_{g,\text{out}} c_{pg} + w_{l,\text{out}} c_{pl})(T - T_{\text{ref}}) - Q_c$$

де T_{ref} – базова температура (наприклад, температура вихідних потоків).

Теплообмін із холодильником часто задають алгебраїчно, наприклад

$$Q_c = K_Q(T - T_{\text{cool}}),$$

або через витрату холодоагенту w_c:

$$Q_c = w_c c_{pc}(T - T_c).$$

5. Узагальнена модель у просторі станів

Вводимо вектор стану $x = \begin{bmatrix} H \\ P \\ T \end{bmatrix}, \quad u = \begin{bmatrix} u_L \\ w_c \end{bmatrix}$ (клапан рівня, витрата холодоагенту), $d = \begin{bmatrix} w_f \\ T_f \end{bmatrix}$ (збурення по витраті і температур сировини).

Тоді нелінійна модель:

$$\dot{x} = f(x,u,d) = \begin{bmatrix} \frac{1}{\rho_l A}\left(\beta w_f + w_{\text{cond}}(P,T) - w_{l,\text{out}}(P,H,u_L)\right) \\ \Phi_P(P,T,H,w_f,u_L) \\ \Phi_T(P,T,H,w_f,T_f,w_c,u_L) \end{bmatrix}$$

де Φ_P, Φ_T – відповідно права частина рівнянь для P та T, складені з балансу маси газу й балансу енергії.

Після лінеаризації біля робочої точки (x_0,u_0,d_0) отримуємо

$$\dot{\Delta x} = A\Delta x + B\Delta u + E\Delta d, \quad y = C\Delta x,$$

де $y = [\Delta H,\ \Delta P,\ \Delta T]^T$ – вихідні координати.

6. Стислий фізичний зміст

Рівняння для $H(t)$ описує, як змінюється рівень конденсату внаслідок різниці між надходженням рідини (прямо з потоку та через конденсацію) і відведенням через зливний клапан.

Рівняння для $P(t)$ – баланс газу в газовому об'ємі сепаратора: якщо газ надходить швидше, ніж відводиться (або інтенсивно конденсується), тиск зростає.

Рівняння для $T(t)$ – енергетичний баланс: температура всередині визначається тепловим вмістом вхідної суміші, тепловідведенням у холодильник і тепловтратами з вихідними потоками.

Ця модель якісно правильно описує динаміку низькотемпературного сепаратора і є зручною базою для:

- отримання лінеаризованих передавальних функцій
- синтезу ПІД-регуляторів рівня, тиску, температури;
- побудови Simulink-моделі (SFD) та аналізу перехідних процесів

2.3. Розробка спрощеної математичної моделі для Simulink

Для моделювання зазвичай розділяють контур рівня і контур температури.

1.1. Контур рівня

З попереднього рівняння:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{1}{\rho_l A}\left(w_{l,f} + w_{\text{cond}} - w_{l,\text{out}}\right)$$

лініаризуємо навколо робочої точки й припустимо:

$w_{l,f}$ змінюється мало (збурення). Витрата через клапан: $\Delta w_{l,\text{out}} = k_L\,\Delta u_L.$

Отримаємо динаміку рівня:

$$\Delta\dot{H} = -\frac{k_L}{\rho_l A}\,\Delta u_L + \frac{1}{\rho_l A}\,\Delta w_{l,f}.$$

Це інтегруюча ланка з коефіцієнтом

$$K_H = -\frac{k_L}{\rho_l A}.$$

Передавальна функція від сигналу керування клапаном до рівня:

$$G_H(s) = \frac{\Delta H(s)}{\Delta u_L(s)} = \frac{K_H}{s}.$$

1.2. Контур температури

Після лінеаризації енергетичного балансу, для зручності беремо модель першого порядку:

$$\Delta \dot{T} = -\frac{1}{T_T}\Delta T - K_Q^* \Delta u_Q + K_{Tf}\,\Delta T_f,$$

де

u_Q – керування холодильником (витрата холодоагенту, положення клапана тощо),

T_T – стала часу сепаратора за температурою,

$K_Q^* > 0$ – коефіцієнт впливу керування на температуру,

K_{Tf} – вплив температури сировини (збурення).

Передавальна функція від керування:

$$G_T(s) = \frac{\Delta T(s)}{\Delta u_Q(s)} = -\frac{K_Q^*}{T_T s + 1}.$$

Мінус враховується в сигнальній схемі (обернений вплив).

2.4. Розробка структурної схеми АС

Проводяться виміри: тиску, температури, рівня, так само необхідно проводити перемикання запірної арматури, а саме клапанів з електроприводом.

Трирівнева структура АС побудована за трирівневим ієрархічним принципом, відповідно до вимог ТЗ, наведена у додатку Б.

Нижній (польовий) рівень системи складається з розподілених первинних пристроїв автоматизації:

– датчики тиску;

– датчики температури;

– витратомір;

– датчик рівня;

-Давач-сигналізатор рівня;

– Виконавчі механізми.

На цьому рівні мають виконуватися такі функції АС:

– збір та передача сигналів аварійної сигналізації, стану та положення запірної арматури, а також насосних агрегатів;

– вимір параметрів технологічного процесу (температури, тиску, рівня рідини).

Середній рівень є локальним контролером. ПЛК призначений для:

– збирання, первинної обробки, а також зберігання інформації;

– формування керуючого на виконавчі пристрої, зв'язок з АРМ.

Верхній рівень зазвичай об'єднує автоматизовані робочі місця операторів, а також базу даних. Використовується Windows 8, SCADA WINCC.

Верхній рівень призначений для вирішення завдань:

– збір та обробка даних з контролера;

– формування звітів, журналів подій;

– формування технологічної бази даних;

– відображення, керування в реальному часі технологічними процесами.

2.5. Функціональна схема автоматизації

Функціональна схема автоматизації є технічний документ, у якому визначено функціонально-блочна структура окремих вузлів автоматичного регулювання технологічного процесу. На функціональній схемі у вигляді умовних зображень показані всі системи автоматичного контролю, регулювання, дистанційного керування, сигналізації системи, що розробляється. Також на ній за

допомогою ліній функціонального зв'язку відображені канали взаємодії між елементами систем управління.

Функціональна схема автоматизації виконана за ДСТУ «Система проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Позначення умовних приладів та засобів автоматизації у схемах», а також за ДСТУ «Система проектної документації для будівництва. Правила виконання робочої документації з автоматизації технологічних процесів (з поправками)».

На схемі використовуються такі позначення: FE – чутливий елемент витратоміра;

FT - дистанційна передача витрати 4-20 мА; H – ручне увімкнення/вимкнення компресора;

NSA – включення/відключення компресора дистанційно із сигналізацією;

PE – чутливий елемент датчика тиску; PT – дистанційна передача тиску;

PIRC – індикація, реєстрація, керування тиском;

PY - перетворення в керуючий вплив для керування тиском;

PV - керуючий орган тиску;

TE – чутливий елемент датчика температури; TT - дистанційна передача температури 4-20 мА; TIR – індикація, реєстрація температури;

LE – чутливий елемент рівнеміра; LT – дистанційна передача рівня;

LIR – індикація та реєстрація рівня; LA – сигналізація рівня.

ФСА наведено в додатку Г.

2.6. Розробка схеми інформаційних потоків

Схема інформаційних потоків наведена у додатку Д. Схема складається з трьох рівнів.

На нижньому рівні системи здійснюються збирання та первинна обробка інформації. До цього рівня належать датчики, виконавчі механізми та модулі введення/виведення даних. На цьому етапі формується потік технологічної інформації, що передається на середній рівень, тоді як у зворотному напрямку надходять керуючі сигнали.

Середній рівень виконує функції поточного зберігання та обробки даних. Програмований логічний контролер передає конвертовані потоки інформації на автоматизоване робоче місце оператора та сервер архівування. На АРМ оператора здійснюється візуалізація технологічних параметрів у реальному часі, а також формування команд і установок, що надсилаються назад на ПЛК. Усі операторські дії автоматично реєструються у журналі подій на сервері архівування.

До локальної обчислювальної мережі передаються такі параметри:

– об’єм газорідинної суміші на вході, м³/год;

– об’єм газу на виході, м³/год;

– рівень краплинної рідини в низькотемпературному сепараторі, мм;

– температура газорідинної суміші в апараті, °С;

– тиск у всмоктувальному колекторі, МПа;

– тиск у низькотемпературному сепараторі, МПа;

– стан компресора (параметричний контроль), м/с.

Такий виклад є більш формальним і відповідає стилю технічної документації.

2.7. Вибір засобів реалізації

Для реалізації проекту АС необхідно вибрати програмно-технічні засоби, а також проаналізувати їхню сумісність.

Комплекс апаратно-технічних засобів низькотемпературного сепаратора високого тиску включає: датчики, виконавчі механізми, контролерне обладнання, додаткові модулі, системи сигналізації.

При підборі обладнання враховувалося технічне завдання, вимогидо технічного, метрологічного, інформаційного забезпечення та вимог до надійності.

При цьому не маловажливим фактором є економічне обґрунтування, а саме вартість системи, що проектується, в тому числі комплексу апаратно-технічних засобів.

2.7.1. Вибір контролерного обладнання

Для вирішення поставленої задачі автоматизації було розглянуто контролери наступних видів: Siemens SIMATIC S7-1500, Siemens Simatic S7-300, Schneider Electric Modicon M238, Allen-Bradley SLC1750.

Порівняння характеристик наведено у таблиці 2.

Критерії вибору	Siemens SIMATIC S7-1500	Siemens S7-300	Schneider Electric M238	Allen-Bradley SLC 1750
Можливість нарощування модулів введення/виведення.	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; – DataHighway Plus; – Remot I/O; – SynchLink; Third-partyprocess and device networks
Час циклу, мс	0,25	0,1	0,1	0,2
Час напрацювання на відмова, год	10 000	172 000	150 000	70 000
Можливість заміни на гарячу	Ні	Так	Так	Ні
Ціна, грн	Від 65000	Від 240 000	Від 275 000	Від 180 000

Для вирішення поставлених завдань відповідно до технічного завдання вибираємо контролер Siemens S7-300. Так як цей контролер має

модульну архітектуру, що дозволяє розширювати кількість вводів/виводів, також відповідає вимогам до надійності згідно з технічним завданням не менше 100 000 год. Також має можливість заміни на гарячу, що також описано в технічному завданні п.1.4. Також нам потрібні інтерфейси Ethernet, Modbus RTU. При цьому вартість нижча, ніж у Schneider Electric.



Рис 2 – Siemens S7-300

Контролери серії S7-300 належать до модульних програмованих логічних контролерів і призначені для розв’язання задач низького та середнього рівня складності. Ця лінійка зарекомендувала себе завдяки широкому вибору центральних процесорних модулів, а також значному асортименту аналогових і дискретних модулів введення/виведення та додаткових модулів, серед яких блоки живлення, інтерфейсні, функціональні та комунікаційні модулі.

Для роботи контролера необхідним є встановлення блока живлення. З огляду на відносно невеликий обсяг автоматизації у даному проєкті, для локального рівня цілком достатнім є використання блока живлення PS 305-2A.



Рис. 3 – Блок живлення PS 305 2A Основні особливості блока живлення PS 305 (2 A).

Таблиця 3 - Особливості PS 305 (2 A)

Вихідний струм	2 А.
Вихідна напруга	24 В пост. струму, регульоване стійке при КЗ та ХХ.
Підключення до мережі	$U_{ном}$ 24/48/72/96/110 Ст.
Гальванічна розв'язка	Є відповідно до EN 60 950.
Використання як живлення навантаження	Так

Гальванічна розв'язка, а також вихідна напруга постійного струму 24 В, стійка при коротких замиканнях і холостому ході підтверджує правильність вибору згідно з технічним завданням.

Таблиця 4 - Технічні характеристики PS 305 - 2A.

Вхідна напруга	24/48/72/96/110 В пост. струму
Діапазон напруг	від 16,8 до 138 В пост. струму
Номінальний струм при 24/48/72/96/110 В	2,7/1,3/0,9/0,65/0,6 А
Вихідна напруга	24 ± 3 %, стійко без навантаження

Вихідний струм	2 А
Захист від короткого замикання	Електронна, без фіксації
Гальванічна розв'язка	Схема з безпечним наднизьким напругою

Необхідні модулі вводу/виводу для аналогових та дискретних сигналів з діагностуванням. Вибираємо з мінімальною кількістю вводів/висновків, тобто. по 8 аналогових та дискретних входів, по 8 аналогових та дискретних виходів. Для цього підійдуть модулі SM 321, SM 322.



Рисунок 4 – Модулі дискретного введення/виводу SM 321/SM 322 Властивості SM 321, DI 8 x AC 120/230 V:

– 8 входів, потенційно розв'язаних групами по 2;

– номінальна вхідна напруга 120/230 перем. струму;

– придатний для перемикачів та 2/3-провідних датчиків близькості змінного струму.

Властивості SM 322; DO 8 x DC 24 V/0.5 A:

– 8 виходів, потенційно розв'язаних групами по 8;

– Вихідний струм 0,5 А;

– Номінальна напруга на навантаженні 24 пост. Струму;

– Придатний для електромагнітних клапанів, контакторів постійного струму та сигнальних ламп;

– 2 клеми на кожен вихід – вихід без послідовного діода – вихід із послідовним діодом (для резервування управління навантаженням);

– Індикатор групової помилки (SF);

– Світлодіодні індикатори стану та помилок, що належать до каналів;

– Параметризована діагностика;

– Параметризоване діагностичне переривання;

– Параметризоване виведення замінного значення.

Для аналогових вводів/виводів використовуються модулі SM 331 AI 8/SM 332 AO 8.

Аналоговий модуль SM 331 AI8

– 8 входів у 4 групах каналів.

– Вигляд виміру налаштовується на групу каналів: напруга;

Струм.

– Роздільна здатність налаштовується на групу каналів (15 біт + знак).

– Довільний вибір діапазону вимірів на групу каналів.

– Параметризована діагностика та діагностичне переривання.

– Контроль граничних значень налаштовується для двох каналів.

– Параметризоване апаратне переривання при порушенні кордону.

– Швидкісне оновлення вимірюваних значень.

– Потенційна розв'язка щодо CPU.

2.7.2. Вибір пристроїв вимірювання

Вибір пристроїв виміру відбувався виходячи з аналізу кількох провідних фірм. Підбір проводився виходячи з вимог до технічного забезпечення, метрологічного, а також вимог до надійності та вартості.

2.7.2.1. Датчики тиску

Для вибору датчиків тиску було проведено порівняльний аналіз наступних датчиків:

– Yokogawa EJX-A;

– Emerson Rosemount 3051;

– Endress+Hauser Cerabar PMC51B;

– Emerson Rosemount 2051;

Результати наведено у таблиці 5

Таблиця 5 – Порівняння датчиків тиску

Критерії вибору	Yokogawa EJX-A	Emerson Rosemount 3051	Endress+Hauser Cerabar PMC51B	Emerson Rosemount 2051
Вимірюване середовище	Рідина, газ.	Рідина,газ, пара.	Газ, пара.	Газ, рідина, пар.
Діапазони меж вимірювань	0-15 МПа	0,12-6 МПа	0-10 МПа	0-10 МПа
Межа допустимої похибки	0,005%	0,075%	0,1%	0,15%
Середнє час напрацювання на відмову	300 000 год	270 000 год	80 000 год	50 000 год

Вихідний сигнал	4-20 мА + HART	4-20 мА + HART	4-20 мА + HART	4-20 мА; 20-4 мА; 5-0 мА; 0-20 мА;
Вибухозахисність	Ex0ExiaIICT4 / 1ExdIICT6	ExiaIICT6 X / 1ExdIICT6	ExiaIICT5X	-
Ступінь захисту від пилу та води	IP 67	IP 65/IP 67	IP 65	IP 65, IP 66

З обраних датчиків нам не підходить Emerson Rosemount 2051, тому що він не має вибухозахищеного виконання. З трьох найкращий варіант це Emerson Rosemount 3051 (Рис 5). Так як задовольняє технічним характеристикам – вибухобезпечне та іскробезпечне виконання, ступінь захисту від вологи та пилу IP 67, вихідний уніфікований сигнал 4-20 мА, згідно з п.1.4 ТЗ, метрологічних характеристик за наведеною похибкою до 0,2% відповідно до ТЗ п.1.5, за вимогами до надійності 1000 год.



Рис 5 – Датчик надлишкового тиску Emerson Rosemount 3051

Датчик тиску Emerson Rosemount 3051 служить для перетворення тиску робочих середовищ уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА з протоколом HART.

Також варто відзначити основні плюси використання цих датчиків тиску:

– компактна конструкція та ергономіка;
– висока перевантажувальна здатність;
– безперервна самодіагностика;
– захист від перехідних процесів.

Датчики з видом вибухозахисту "вибухонепроникна оболонка" відповідають вимогам ДСТУ і виконуються з рівнем вибухозахисту "вибухобезпечний" з маркуванням по вибухозахисту

Інтелектуальні датчики Emerson Rosemount 3051 мають внутрішню самодіагностику.

Датчики серії Emerson Rosemount 3051 складаються із двох основних компонентів: сенсора, електронного перетворювача. Сенсор є вимірювальний блок, а також плату АЦП. На камеру вимірювального блоку впливає тиск, що призводить до деформації чутливого елемента як наслідок зміна електричного сигналу. Електронний перетворювач перетворює цей сигнал у відповідну вихідну величину.

Комплект заставних представлений на рис. 6.

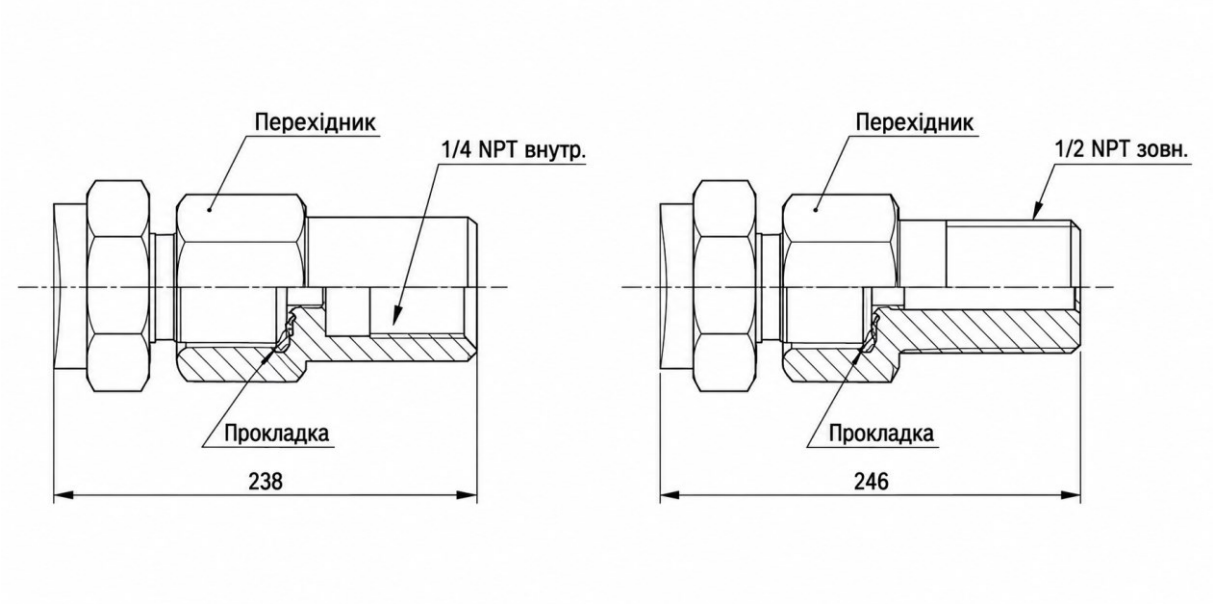


Рис 6 – Перехідники, прокладки для монтажу Emerson Rosemount 3051

2.7.2.2. Датчик температури

Як датчики температури були розглянуті наступні варіанти:

– Rosemount 3144P;

– Emerson Rosemount 3144P;

– Siemens SITRANS TS500 + TH320;

– KOBOLD TDA.

Порівняльний аналіз наведено у таблиці 6.

Таблиця 6 – Порівняльний аналіз датчиків температури

Критерії вибору	Rosemount 3144P	Emerson Rosemount 3144P	Siemens SITRANS TS500 + TH320	KOBOLD TDA
Діапазон вимірюваних температур	-30 ... +180	-50 +150	-30 +200 °C	-50 +250
Межа допустимої похибки	0,1%	0,25%	0,25%	0,1%

Вихідний сигнал	4-20мА +HART	4-20мА +HART	4-20мА	4-20мА
Вибухозахисність	Ex (ExiaCT6 X), (1ExdIICT6)	Exd, Exi	ExiaCT6	-
Середній час напрацювання на відмову	40 000 год	50 000 год	15 000 год	50 000 год
Ступінь захисту від пилу та води	IP67	IP68	IP54	-

Як датчик температури був обраний Emerson Rosemount 3144P (рис. 9), так як датчики фірм KOBOLD і Siemens не підходять за ступенем вибухозахищеності, відсутній протокол HART, не проходять за вимогами надійності.

Вибір зупинився між датчиками Rosemount та Emerson Rosemount 3144P, проте не дивлячись на вищий клас точності, вимоги до надійності та висока ціна датчиків Rosemount не задовольняють ТЗ.

Відповідно до вимог, до метрологічного, технічного забезпечення та вимог надійності згідно з ТЗ п.1.4, 1.5, 1.9 Emerson Rosemount 3144P повною мірою підходить для вирішення наших завдань.



Рис 9 – Emerson Rosemount 3144P

Термоперетворювачі серії Emerson Rosemount 3144P є інтелектуальними датчиками температури, призначеними для вимірювання температури різних середовищ. Вони здійснюють перетворення сигналу первинного перетворювача температури у стандартизований струмовий сигнал 4–20 мА за допомогою вимірювального перетворювача, інтегрованого в головку первинного датчика.

Ці термоперетворювачі можуть застосовуватися як у нейтральних, так і в агресивних середовищах завдяки використанню корозійностійких матеріалів захисної арматури. Модель Emerson Rosemount 3144Pвідповідає вимогам чинних стандартів ДСТУ.

Конструктивно термоперетворювачі складаються з термозондів та вимірювальних перетворювачів із вихідними сигналами 0–5 мА або 4–20 мА. Термозонди оснащуються чутливими елементами – мідними (ЕЧМ) або платиновими (ЕЧП) терморезисторами. Температура впливає на омічний опір терморезистора, розміщеного в зонді, а вимірювальний перетворювач перетворює відповідну напругу на стандартизований струмовий сигнал.

Монтаж термоперетворювачів допускається у будь-якому положенні, що забезпечує зручність обслуговування. Під час установлення рекомендується враховувати габаритні та приєднувальні розміри обладнання

Заставні для датчика температури Emerson Rosemount 3144P представлені на рис 10.

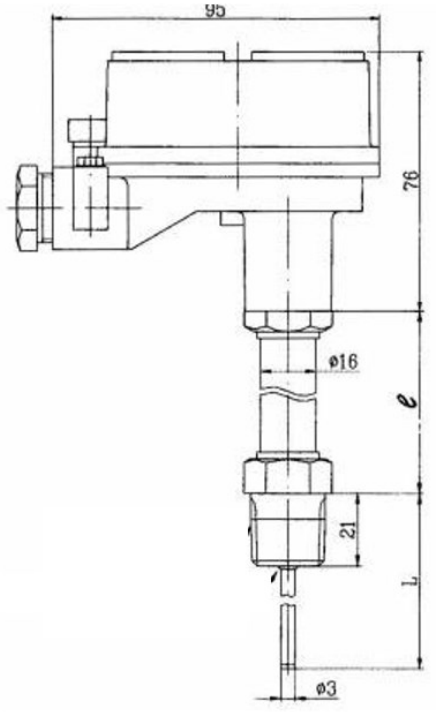


Рис 10 – Заставні для Emerson Rosemount 3144P

2.7.2.3. Вибір витратоміра

Для вирішення завдань автоматизації, пов'язаної з вимірюванням витрати, були розглянуті наступні витратоміри KOBOLD TME-R, Yokogawa ADMAG, Rosemount 3051SFA Annubar, TRICOR. Порівняльний аналіз витратомірів наведено у таблиці 7.

Таблиця 7 - Порівняння характеристик витратомірів

Технічна характеристика	KOBOLD TME-R	Yokogawa ADMAG	Rosemount 3051SFA Annubar	TRICOR
Основна відносна похибка вимірюваньви трати, не більше	±1%	±0,05%	±1%	±0,5%
Вихідний сигнал	4…20мА/ HART	4…20мА/HA RT	4…20мА/HA RT	4…20мА/HA RT

Середнє напрацювання на відмову	50 000 годин	150 000 годин	150 000 годин	80 000 годин
Міжповірочний інтервал	4 роки	4 роки	4 роки	4 роки

Як витратомір нам підходять Yokogawa ADMAG і Rosemount 3051SFA Annubar, так як вони повністю задовольняють технічне завдання згідно з п.1.4, 1.5, 1.9. Kobold TME-R та TRICOR не відповідають вимогам до надійності. Yokogawa за ціною дорожче, ніж Rosemount 3051SFA Annubar, тому зупинимо на Rosemount 3051SFA Annubar, що відповідає співвідношенню ціна/якість.



Рис 13 – Rosemount 3051SFA Annubar

Витратомір Rosemount 3051SFA Annubar призначений для вимірювання витрати та об’єму середовищ – води, пари, газів та інших енергоносіїв – методом перепаду тиску з використанням осереднювальних напірних трубок (ОНТ) як первинних вимірювальних перетворювачів. Він забезпечує передачу отриманої інформації для керування технологічними процесами, а також може застосовуватися у розрахунково-облікових операціях. Конструкція витратоміра дозволяє його експлуатацію як у вибухобезпечних, так і у вибухонебезпечних зонах.

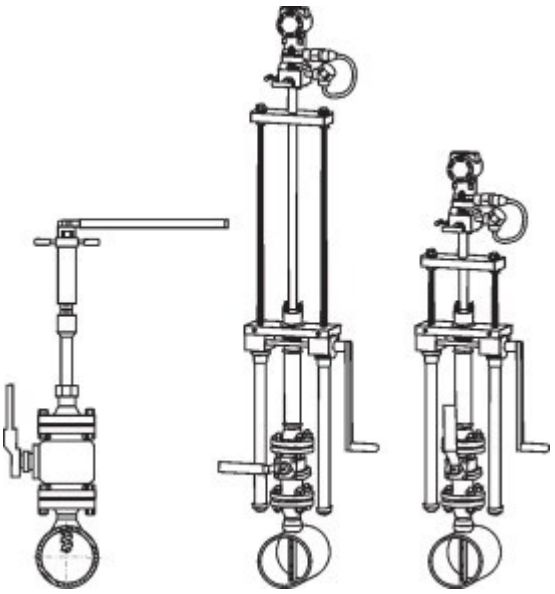


Рис 14 – Конструкція витратоміра Flo-Tap, монтаж/демонтаж без зупинки процесу

Рекомендації щодо встановлення витратомірів.

При монтажі витратоміра для вимірювання витрати рідини необхідно, щоб бічний дренажний/вентиляційний клапан був розташований отвором вгору для виходу газу; при вимірюванні витрати повітря або газу – отвором вниз для дренажу конденсату, що накопичується. При встановленні на горизонтальному трубопроводі монтаж слід проводити згідно з рис.15.

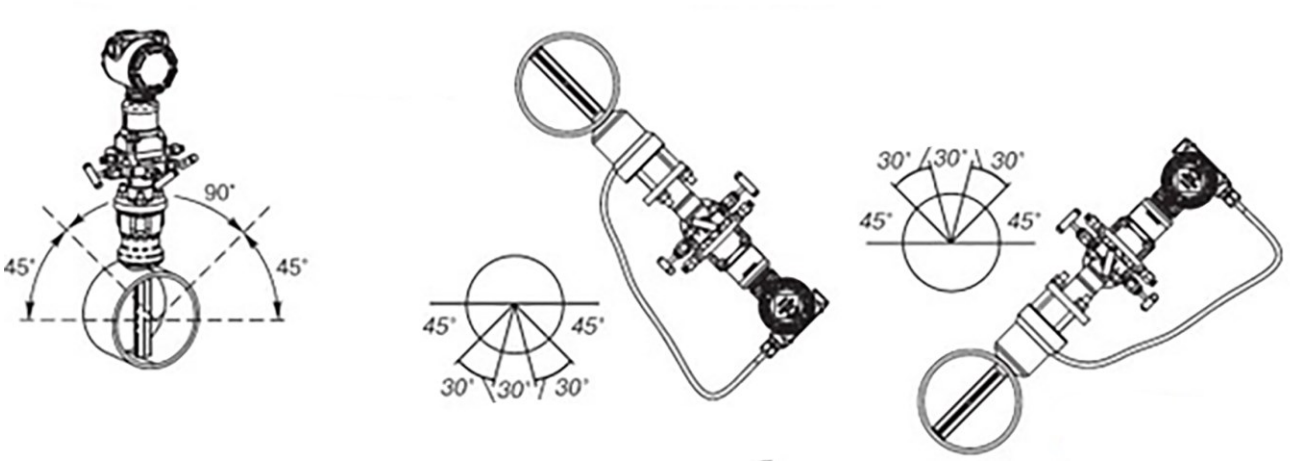


Рис 15 – Монтаж витратоміра Rosemount 3051SFA Annubar

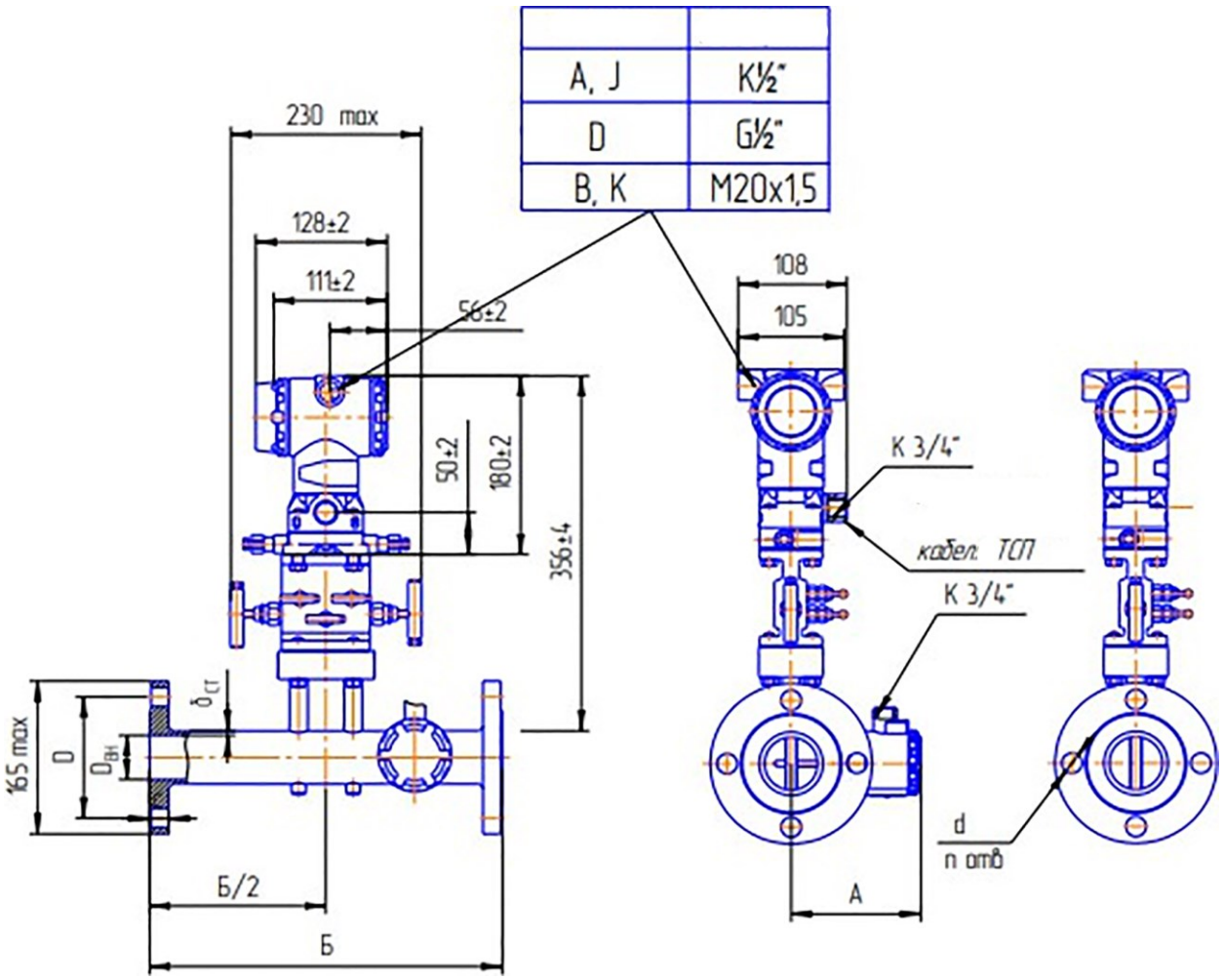


Рис 16 – Заставні для Rosemount 3051SFA Annubar

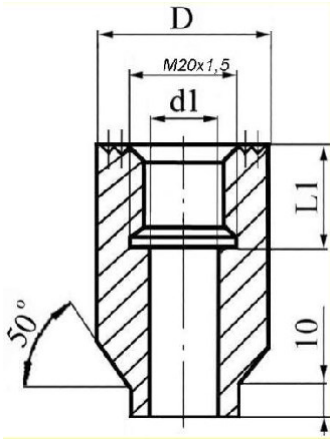


Рис 17 – Закладні для Rosemount 3051SFA Annubar

2.7.2.4. Вибір рівнеміру

Для вирішення завдань вимірювання рівня крапельної рідини було

розглянуто такі види рівнемірів:

Kobold NUS-R-4; Rosemount 3300; Endress+Hauser Levelflex FMP51.

Порівняльний аналіз відбувався за такими критеріями:

– межа похибки, що допускається;

– середній час напрацювання на відмову;

– вихідні сигнали;

– ціна.

Таблиця 8 – Порівняльний аналіз датчиків рівня

Характеристика/датчик	Базова похибка	Середній час напрацювання на відмову	Вихідні сигнали
Kobold NUS-R-4	±0,1%	100 000 год	4-20 мА
Rosemount 3300	±0,1%	100 000 год	4-20 мА, HART
Endress+Hauser Levelflex FMP51	±0,2%	40 000 год	4-20 мА, HART

Як датчик рівня був обраний Rosemount 3300, оскільки він підходить згідно з технічним завданням за метрологічними, технічними та вимогами до надійності.



Рис. 18 – Рівномір Rosemount 3300

Рівнемір 3300 (хвильоводи радарний рівнемір) – це інтелектуальний двопровідний прилад, призначений для безперервного вимірювання рівня. Принцип його дії ґрунтується на технології рефлектометрії з тимчасовою роздільною здатністю (TDR).

Радіоімпульси малої потужності тривалістю кілька наносекунд прямують вниз по зонду, зануреному в технологічне середовище. Коли імпульс досягає поверхні середовища, рівень якої необхідно виміряти, частина енергії відбивається у зворотному напрямку. Тимчасовий інтервал між моментом передачі імпульсу і моментом прийому ехосигналу пропорційний відстані до поверхні або межі розділу двох рідин. Можливість вимірів головним чином залежить від коефіцієнта відображення середовища. Чим вище діелектрична постійна, тим потужніший відбитий сигнал і тим ширший діапазон вимірювань. Спокійна поверхня відбиває мікрохвилі краще, ніж турбулентна.

Технічні характеристики рівнеміру Rosemount 3300 представлені в таблиці 9

Таблиця 9 – Технічні характеристики Rosemount 3300

Діапазон вимірювань рівня	0,1 - 23,5 м
Вихідний сигнал	4-20 мА з цифровим сигналом на базі HART-протоколу, RS485 Modbus
Межа основної наведеної похибки вимірів	±0,1%
Температура навколишнього повітря	від –50 до +60 °С
Механічне з'єднання	Різьбове з'єднання G1"/фланець з алюмінієвого сплаву
Міжповірочний інтервал	4 роки року
Ступінь захисту корпусу	IP67
Маркування вибухозахисту	0ExiaIIC(T5/T6)X, 1ExibIIC(T5/T6)X, 1ExdIIC(T5/T6)X

Варіанти монтажу наведено на рис. 19.

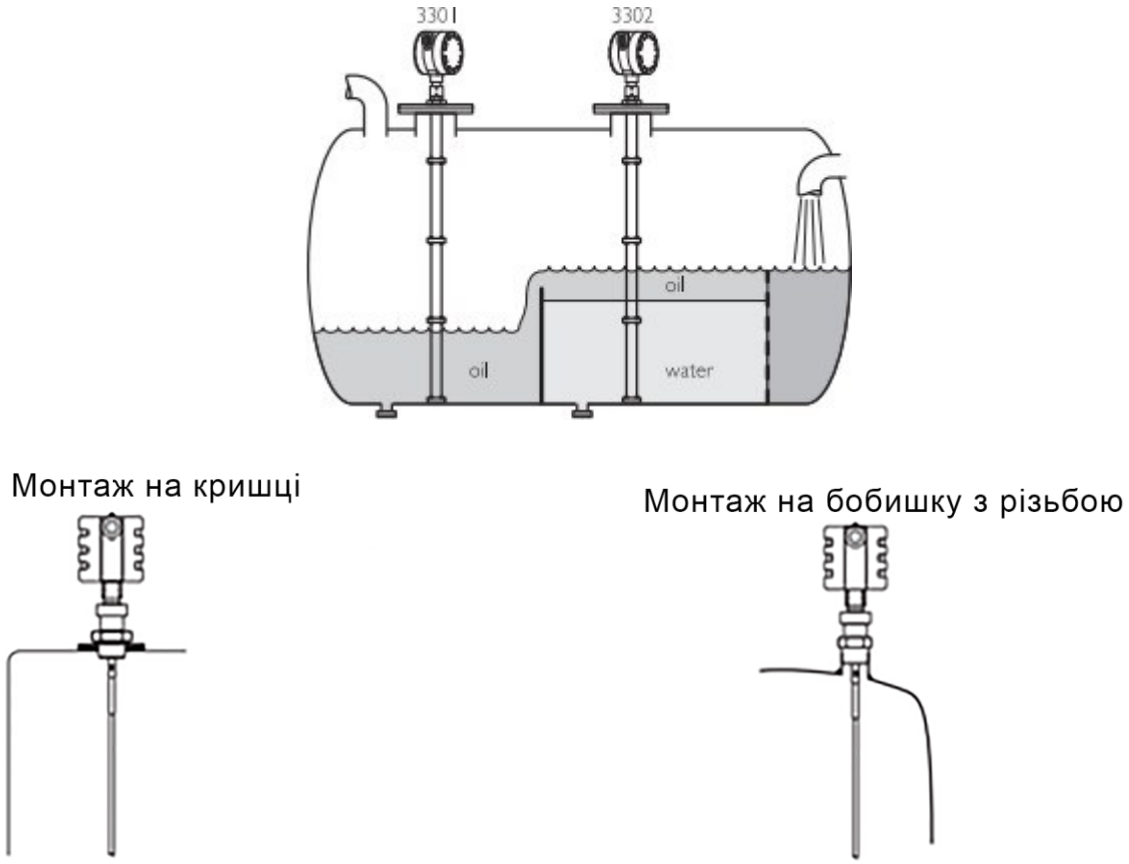


Рис. 19 – Монтаж датчика Rosemount 3300

2.7.2.5. Вибір датчика-сигналізатора рівня

Для сигналізації досягнення граничного рівня краплинної рідини проведемо підбір сигналізатора рівня. Розглянемо такі сигналізатори, як: KROHNE OPTISWITCH 5300, OPTISWITCH 5300, Rosemount 2120.

Порівняльний аналіз сигналізаторів рівня представлений у таблиці 10.

Таблиця 10 - Порівняльний аналіз сигналізаторів рівня

Технічні характеристики	KROHNE OPTISWITCH 5300	OPTISWITCH 5300	Rosemount 2120
Відносна похибка	1%	0,25%	0,2%

Середнє напрацювання на відмову	50 000 год	50 000 год	150 000 год

Як сигналізатор рівня будемо використовувати Rosemount 2120 (рисунок 22), так як задовольняє за похибкою, що нормується, а також на відміну від розглянутих аналогів є більш надійним.



Рис 22 – Rosemount 2120

Таблиця 11 – Технічні характеристики 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
Температура робочого середовища	-40 ... 150 ° C
Діагностика	Функція самодіагностики

	електроніки

Приклади підключення на рис 23.



Рис 23 Приклад підключення

У комплект до сигналізатора необхідно замовити заставні.

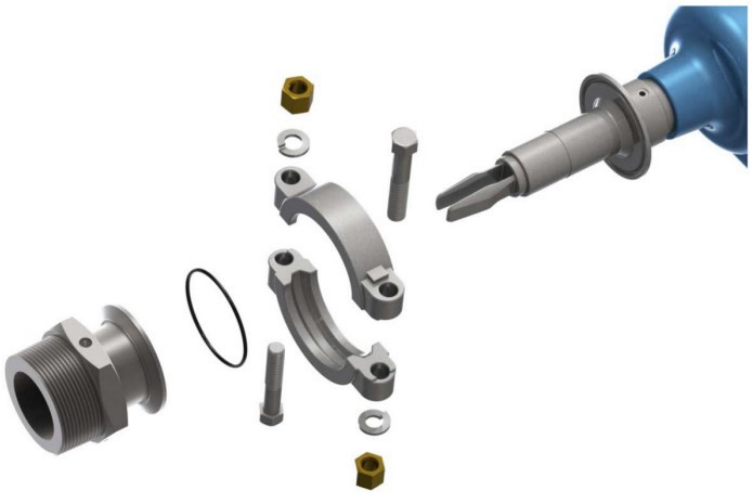


Рисунок 24 – Заставні Rosemount 2120

2.7.3. Вибір виконавчих механізмів

2.7.3.1. Вибір регулюючого клапана

У даним розділі необхідно вибрати пристрій реалізуючий керуючий вплив з боку регулятора на об'єкт керування шляхом механічного переміщення регулюючого органу. У якості регулюючих клапанів були розглянуті SAMSON

Type 3321-E3 + електропривод Type 3374. У якості регулюючого клапана буде використовуватися клапан регулюючий газовий із вбудованим приводом SAMSON Type 3321-E3 (рис. 25), т.к. Auma працюють повністю відкритий/повністю закритий, а RV111 є дорожче.



Рис. 25 – Регулюючий клапан SAMSON Type 3321-E3 + електропривод Type 3374

Технічні характеристики даного клапана наведені в таблиці 12

Таблиця 12 – технічні характеристики SAMSON Type 3321-E3 + електропривод Type 3374

Основне робоче середовище	природний газ
Тип приєднання	фланцеве
Тип конструкції	поворотно-золотниковий прямоточний
Нерегульований пропуск середовища, не більше	1%
Електромеханізм	Type 3374
Зусилля на рукоятці ручного приводу, Н	100-250

Повний кут повороту, град.	90°
Споживана напруга	220/380 В, 50-60 Гц
Потужність, Вт,	не більше 250
Ступінь захисту згідно з ДСТУ	IP-54
Механізм Type 3374 має вибухобезпечний рівень вибухозахисту, вид вибухозахисту "вибухонепроникна оболонка", маркування вибухозахисту 1ExdIIBT4 і може застосовуватися у вибухонебезпечних зонах згідно з ДСТУ та іншими нормативно-технічними документами, можливе утворення вибухонебезпечних сумішей категорії IIA та IIB груп T1, T2, T3, T4, T5 згідно з ДСТУ	
Максимальна температура робочого середовища, °С (К)	для вуглеводневих газів - плюс 60 (333) для коксових та доменних газів - плюс 100 (273)
Мінімальна температура робочого середовища, °С (К)	для вуглеводневих газів - мінус 60 (213) для коксових та доменних газів - плюс 5 (278)
Температура довкілля, ° С (К)	райони з помірним та холодним кліматом: -плюс 40 (313) -мінус 60 (213) райони з тропічним кліматом: -плюс 50 (323)

Клапан встановлюється в горизонтальному положенні і може керуватися як автоматично і дистанційно відповідно до командних сигналів керуючих пристроїв, що регулюють витрату газоподібного палива, так і вручну безпосередньо з виконавчого механізму.

2.8. Розробка схеми зовнішніх проводок

Схема зовнішньої проводки наведена у додатку З. Прилади польового рівня складаються з датчиків тиску, температури, витрати, рівня вихідного уніфікованого сигналу 4-20 мА. Сигналізатор рівня працює за принципом реле 0-24 ст.

Марку кабелю підбираємо КВВГ Енг. Вибрана марка кабелю складається з струмопровідних жил, як використовуються однодротяні мідні жили з ПВХ ізоляцією. Екранований захист призначений для захисту від зовнішніх електричних та магнітних полів. НГ – негорючий матеріал.

Кабелі призначені для нерухомого приєднання пристроям номінальною змінною напругою до 660 В частотою до 100 Гц або постійною напругою до 1000 при температурі навколишнього середовища від мінус 50°С до + 50°С.

2.9. Вибір алгоритмів керування АС

В автоматизованій системі на різних рівнях управління застосовуються різні типи алгоритмів, серед яких:

– алгоритми пуску та зупинки технологічного обладнання (релейні пускові схеми), що реалізуються на ПЛК та у SCADA-системі;

– релейні або ПІД-алгоритми автоматичного регулювання технологічних параметрів (керування положенням виконавчих механізмів, регулювання тиску тощо), які виконуються на рівні ПЛК;

– алгоритми збору та первинної обробки вимірювальних сигналів, представлені у вигляді універсальних програмних блоків, що зберігаються у ППЗУ контролерів (реалізуються на ПЛК);

– алгоритми протиаварійного захисту (ПАЗ), реалізовані на контролері;

– алгоритми централізованого управління автоматизованою системою, що виконуються на ПЛК та у SCADA-інтерфейсі.

У межах даного проєкту розроблено такі основні алгоритми АС:

– алгоритм збору та обробки вимірювальних даних;

– алгоритм автоматичного регулювання технологічного параметра

2.9.1. Алгоритм збору даних вимірів

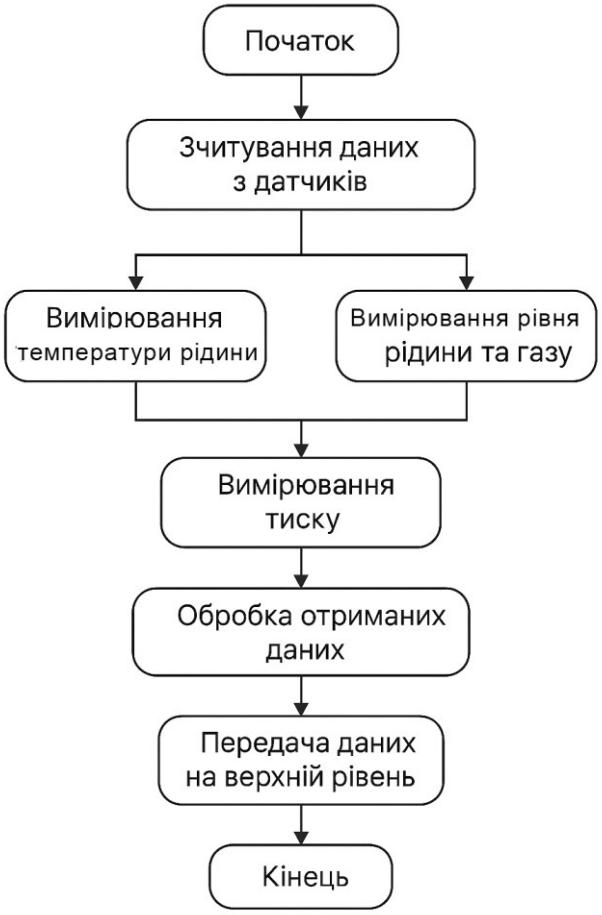
Як приклад розглянемо канал вимірювання температури в низькотемпературному сепараторі. Алгоритм збору даних температури функціонує таким чином.

Після подавання живлення на датчик виконується його початкова ініціалізація, після чого активується режим самодіагностики. Насамперед здійснюється перевірка на обрив лінії. У разі виявлення обриву формується відповідне повідомлення, яке передається на екран оператора. Якщо обрив не зафіксовано, виконується перевірка на коротке замикання. При наявності КЗ система також генерує повідомлення для оператора. За відсутності короткого замикання відбувається завантаження уставок температури.

На наступному етапі система виконує перевірку кожної уставки. При досягненні або перевищенні порогових значень формується попереджувальне повідомлення, що відображається оператору. Незалежно від стану уставок, отримані дані перетворюються у градуси Цельсія та передаються на панель оператора для відображення в реальному часі

2.9.2. Алгоритм автоматичного регулювання технологічним параметром

У якості алгоритму регулювання застосовується ПІД-регулятор, який забезпечує високу якість керування, малий час виходу системи на усталений режим та низьку чутливість до зовнішніх збурень. ПІД-регулятор використовується для підтримання заданого значення вимірюваного параметра за рахунок формування керуючого впливу відповідно до відхилення від заданої уставки.



Алгоритм збору даних для АСУ низькотемпературного сепаратора

Для підтримання необхідного тиску в вимірювальних лініях передбачено використання регулюючих засувок. Об’єктом керування є ділянка трубопроводу між датчиком тиску та регулюючою засувкою. У спрощеному вигляді динамічні властивості цієї ділянки можуть бути описані передавальною функцією виду:

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

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q},\ \tau_0 = \frac{Lf}{Q},\ c = \frac{Q}{f} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{2\Delta p \cdot g}}$$

Таблиця 13 -Значення параметрів передавальної функції

f, м^2	0.031416
d, м	0.2
L, м	3
Q, м^3/с	3

Δp, МПа	0,16
g, м/с^2	9.8
γ, кг/с	800

Завдяки розвитку контрольно-вимірювальних пристроїв, сучасні датчики характеризуються високою швидкодією, а також лінійною вхідно-вихідною залежністю. У зв'язку з цим датчики можна описувати як пропорційну підсилювальну ланку. Відповідно до даних параметрів, передатна функція виглядає наступним чином:

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

Регулююча засувка описується інтегральним ланкою:

$$W_з(p) = \frac{1}{p},$$

Виконавчий електропривід в спрощеному вигляді може бути представлений за допомогою аперіодичної ланки першого порядку:

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

$$T_{дв} = \frac{J M_к}{\omega_н},\ K_{дв} = \frac{\omega_н}{f_{max}}$$

Таблиця 14 – Значення параметрів

f, $м^2$	0.031416
ρ, кг/м^3	890
L, $м$	3
$\omega_н$, $рад/с$	1000
$M_{до}$, $Н{\cdot}м$	60
J, $кг{\cdot}м^2$	0,45

I_{max},мА (максимальний струм керуючого сигналу ЧП)	20

Значення параметрів взято із паспортів виробів [3]. Отримана передавальна функція виглядає наступним чином:

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{K_{\text{дв}}}{\text{T}_{\text{дв}} \cdot p + 1} = \frac{3{,}14}{0{,}027 \cdot p + 1}$$

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

$$W_{\text{чп}}(p) = \frac{K_{\text{чп}}}{\text{T}_{\text{чп}} \cdot p + 1},$$

$$\text{T}_{\text{чп}} = \frac{T_{\text{дв}}}{2},\ K_{\text{чп}} = \frac{f_{max}}{I_{max}}$$

У відповідно з даними таблиці 12, передавальна функція виглядає так:

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

ПІД-регулятор описується відомою передатною функцією:

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

На рис 26 надано структурну схему регулювання в середовищі Matlab.

Сепаратор діаметром 2 м, A=3,14 м^2, ρ_l=700 кг/м^3, Температурна стала часу T_T=60 с, K_Q*=0,5 С (зміна витрати холодоагенту).

Контур температури (аперіодична ланка з ПІ-регулятором):

$$G_T(s) = \frac{1}{20s+1}$$

Контур рівня (інтегруюча ланка з ПІ-регулятором).

$$G_H(s) = \frac{0.2}{s}$$

Оптимальні значення параметрів налаштування:

Контур температури:

K_p=1.5

T_i=25 с

T_d=0 (чистий ПІ)

Контур рівня:

K_p=0,8

T_i=40 с

T_d=0 (чистий ПІ)

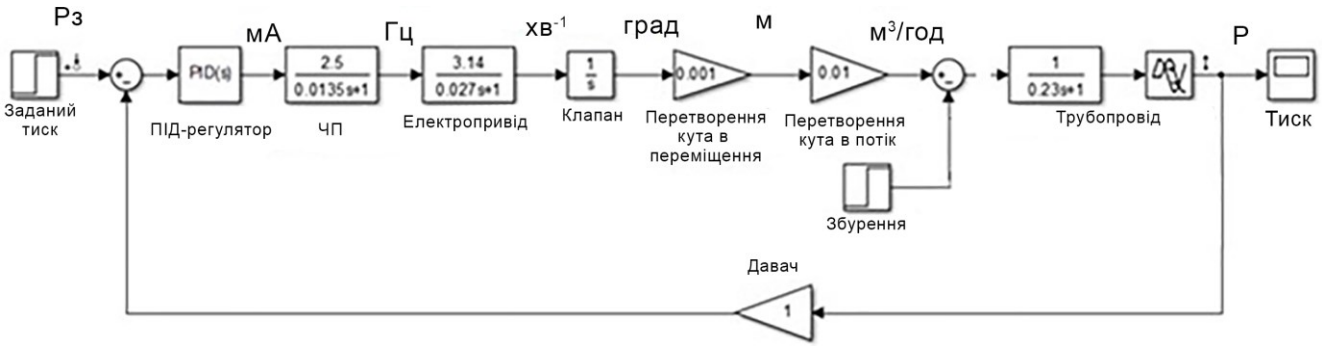
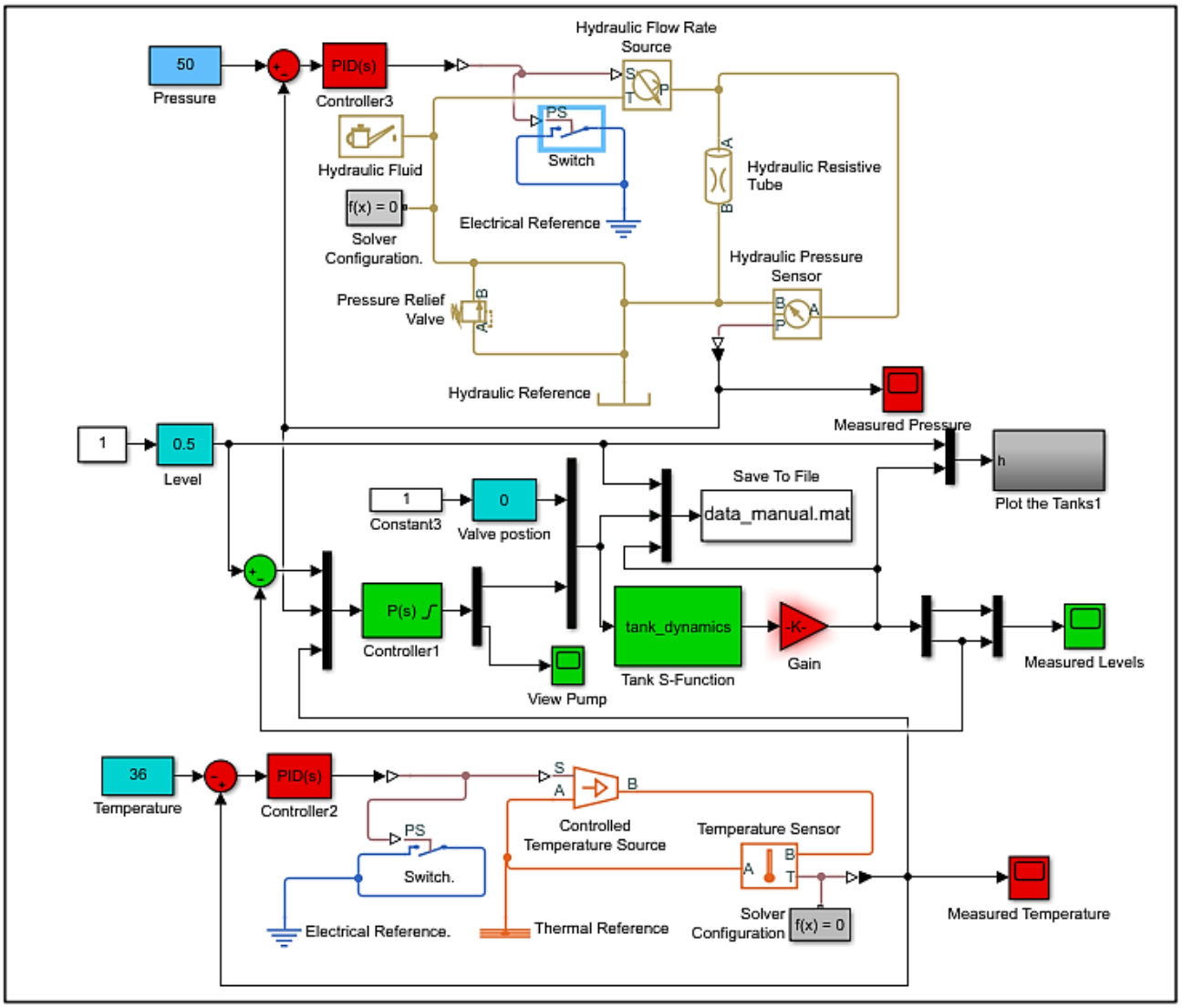


Рис 26 – Структурна схема регулювання


Hydraulic Flow Rate Source
50
Pressure
PID(s)
Controller3
Hydraulic Fluid
PS
Switch
Hydraulic Resistive Tube
f(x) = 0
Solver Configuration.
Electrical Reference
Hydraulic Pressure Sensor
Pressure Relief Valve
Hydraulic Reference
Measured Pressure
1
0.5
Level
h
Plot the Tanks1
Save To File
1
Constant3
0
Valve postion
data_manual.mat
P(s)
Controller1
tank_dynamics
Tank S-Function
-K-
Gain
Measured Levels
View Pump
36
Temperature
PID(s)
Controller2
S
A
B
Controlled Temperature Source
Temperature Sensor
PS
Switch.
Electrical Reference.
Thermal Reference
Solver Configuration
f(x) = 0
Measured Temperature

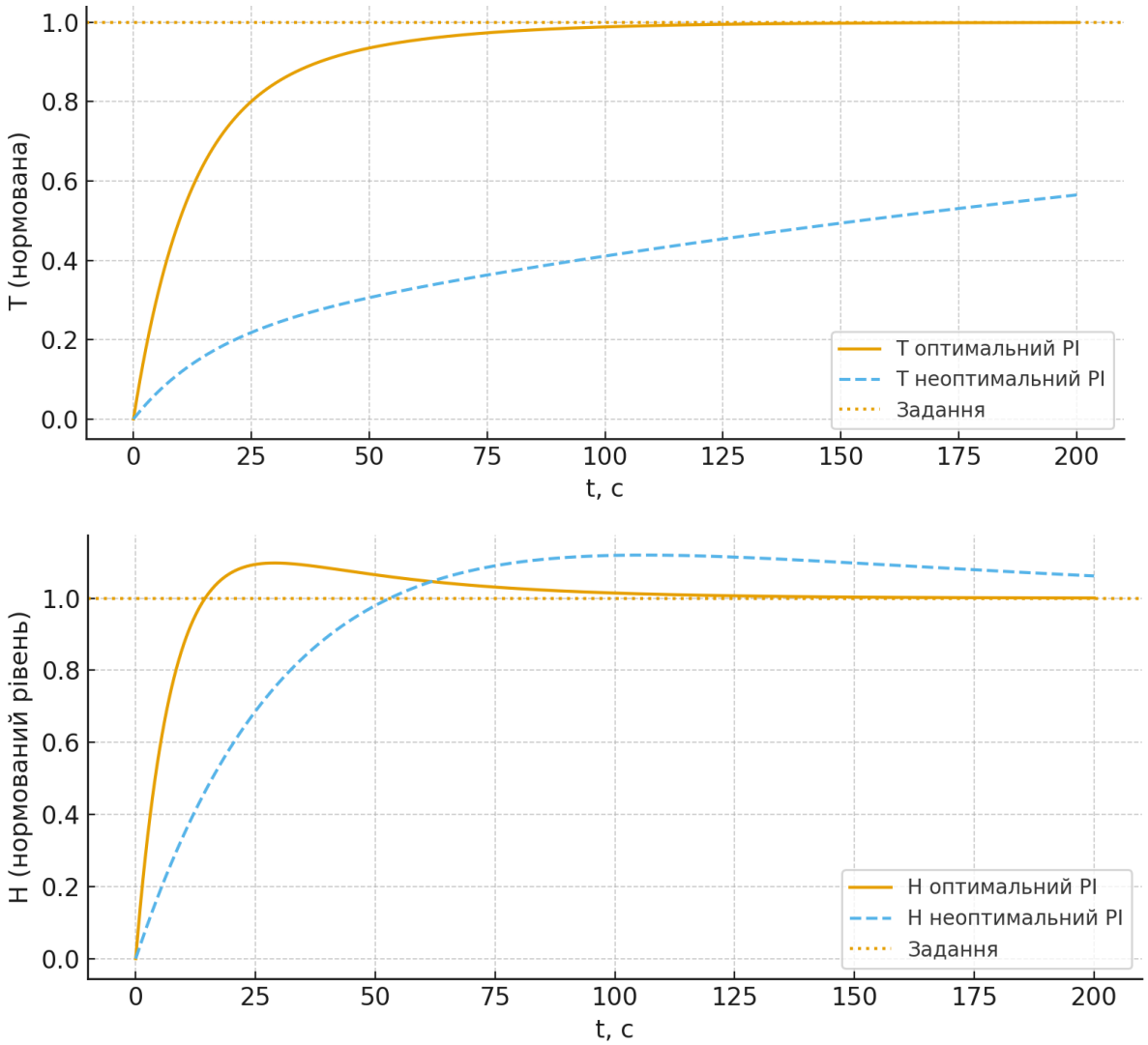


Рисунок 27 – Графіки перехідних процесів

З графіків видно, що температура при оптимальному ПІ вихід за 80–100 с досягає уставки і практично не має перерегулювання; при неоптимальному ПІ система дуже “лінива” – до 200 с температура не встигає вийти навіть на 60% уставки.

Рівень при оптимальному ПІ рівень швидко доходить до 1, невелике перерегулювання й потім плавне затухання; при неоптимальному налаштуванні перехідний набагато довший, з більшим перерегулюванням і повільним поверненням до уставки.

Висновки

У ході виконання випускної кваліфікаційної роботи було спроєктовано автоматизовану систему керування низькотемпературним сепаратором високого тиску. На першому етапі сформовано технічне завдання та проведено аналіз технологічного процесу очищення газу від краплинної рідини. Відповідно до вимог технічного завдання розроблено структурну та функціональну схеми автоматизації згідно з чинними нормами ДСТУ.

Під час добору контрольно-вимірювальних приладів і контролерного обладнання виконано порівняльний аналіз з урахуванням метрологічних параметрів, показників надійності, експлуатаційних характеристик та економічної ефективності. Основним контролером обрано модульну систему Siemens S7-300, що вирізняється високою надійністю, можливістю гарячої заміни модулів, значним ресурсом безвідмовної роботи та високим потенціалом масштабування, що забезпечує зниження ризиків простоїв та підвищення ефективності виробництва.

У роботі розроблено алгоритми збору даних і алгоритм автоматичного регулювання тиску на виході газу. Моделювання перехідних процесів продемонструвало стійкість системи, мінімальний рівень перерегулювання та здатність компенсувати зовнішні збурення.

Параметри спроектованої системи таку: температура при оптимальному ПІ вихід за 80-100 с досягає уставки і практично не має перерегулювання; при неоптимальному ПІ система дуже “лінива” – до 200 с температура не встигає вийти навіть на 60% уставки.

Рівень при оптимальному ПІ рівень швидко доходить до 1, невелике перерегулювання й потім плавне затухання; при неоптимальному налаштуванні перехідний набагато довший, з більшим перерегулюванням і повільним поверненням до уставки.

Також створено схему зовнішніх електричних з’єднань і розроблено екранні

форми операторського інтерфейсу в середовищі WinCC.

Таким чином, проєктована автоматизована система керування низькотемпературним сепаратором високого тиску повністю відповідає вимогам технічного завдання, має високу функціональність, гнучкість та резерв для подальшого розвитку й модернізації.

Список використаних джерел

1. Горбійчук М. І., Єднак І. С. Математична модель динамічного процесу низькотемпературної сепарації. *Методи та прилади контролю якості.* 2024. № 1(52). С. 74–88. DOI: 10.31471/1993-9981-2024-1(52)-74-88.

2. Кулінченко Г. В., Павлов А. В., Леонтьєв П. В. Формування підходу до побудови регулятора процесу низькотемпературної сепарації природного газу. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 6. С. 9–17. ir.lib.vntu.edu.ua

3. Mokhatab S., Poe W. A., Mak J. Y. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing: *Principles and Practices. 4th ed. Amsterdam :* Elsevier, 2018.

4. Arnold K., Stewart M. Surface Production Operations. Vol. 1: Design of Oil Handling Systems and Facilities. *3rd ed. Amsterdam : Elsevier,* 2008. 722 p.

5. Gas Processors Suppliers Association. GPSA Engineering Data Book. 14th ed. Tulsa : GPSA, 2016.

6. Haque M. E., Palanki S., Xu Q. Advanced Process Control for Cost-Effective Glycol Loss Minimization in a Natural Gas Dehydration Plant under Upset Conditions. *Industrial & Engineering Chemistry Research.* 2020. Vol. 59, No. 16. P. 7680–7692. DOI: 10.1021/acs.iecr.9b06449.

7. Goh B. Z. H., Elyas R., Hamid A., Foo D. C. Y. Artificial neural network modelling of natural gas dehydration process. *Discover Chemical Engineering.* 2024. Vol. 4. Art. 10. DOI: 10.1007/s43938-024-00047-8.

8. Wosu C. O. Proportional, Integral and Derivative Control Strategy of Triethylene Glycol Recovery Regenerator for Optimum Natural Gas Dehydration Process. UNIOSUN *Journal of Engineering and Environmental Sciences.* 2024. Vol. 6, No. 2. P. 43–63. DOI: 10.36108/ujees/4202.60.0250.

9. Interlenghi S. F., de Medeiros J. L., Araújo O. Q. F. Protected supersonic separator performance against variable CO_2 content on natural gas processing: energy and sustainability analyses. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2020. Vol. 78. Art. 103282. DOI: 10.1016/j.jngse.2020.103282.

10. Про затвердження Кодексу газотранспортної системи : постанова

НКРЕКП від 30.09.2015 № 2493. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 06.11.2015 за № 1378/27823.

11. Про затвердження Правил безпеки в нафтогазодобувній промисловості : наказ Міністерства економіки України від 27.04.2023 № 2610. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 02.06.2023 за № 928/39984.

12. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII, зі змінами та доповненнями.

13. Про об’єкти підвищеної небезпеки : Закон України від 18.01.2001 № 2245-III, зі змінами та доповненнями.

14. Деякі питання ідентифікації об’єктів підвищеної небезпеки : постанова Кабінету Міністрів України від 13.09.2022 № 1030.

15. ДСТУ EN IEC 60079-0:2019. Вибухонебезпечні середовища. Частина 0. Устаткування. Загальні вимоги (EN IEC 60079-0:2018, IDT; IEC 60079-0:2017, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.

16. ДСТУ EN IEC 60079-10-1:2022. Вибухонебезпечні атмосфери. Частина 10-1. Класифікація зон. Вибухонебезпечні газові атмосфери (EN IEC 60079-10-1:2021, IDT; IEC 60079-10-1:2020, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

17. ДСТУ EN 60079-11:2017. Вибухонебезпечні середовища. Частина 11. Вид вибухозахисту — іскробезпечне електричне коло «і» (EN 60079-11:2012, IDT; IEC 60079-11:2011, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.

18. ДСТУ EN 60079-14:2022. Вибухонебезпечні атмосфери. Частина 14. Проєктування, вибір і монтаж електроустановок (EN 60079-14:2014, IDT; IEC 60079-14:2013, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

19. ДСТУ EN 60529:2018. Ступені захисту, забезпечувані кожухами (Код IP) (EN 60529:1991; A1:2000; A2:2013, IDT; IEC 60529:1989; A1:1999; A2:2013, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.

20. Siemens AG. SIMATIC S7-300. Module Data : Equipment Manual. Edition 05/2022. Doc. No. A5E00105505-AK. Nürnberg : Siemens AG, 2022.

21. Emerson. Rosemount 3051 Pressure Transmitter : Product Data Sheet. Doc. No. 00813-0100-4001. Emerson, 2025.

22. Emerson. Rosemount 3144P Temperature Transmitter : Reference Manual. Emerson, 2025.

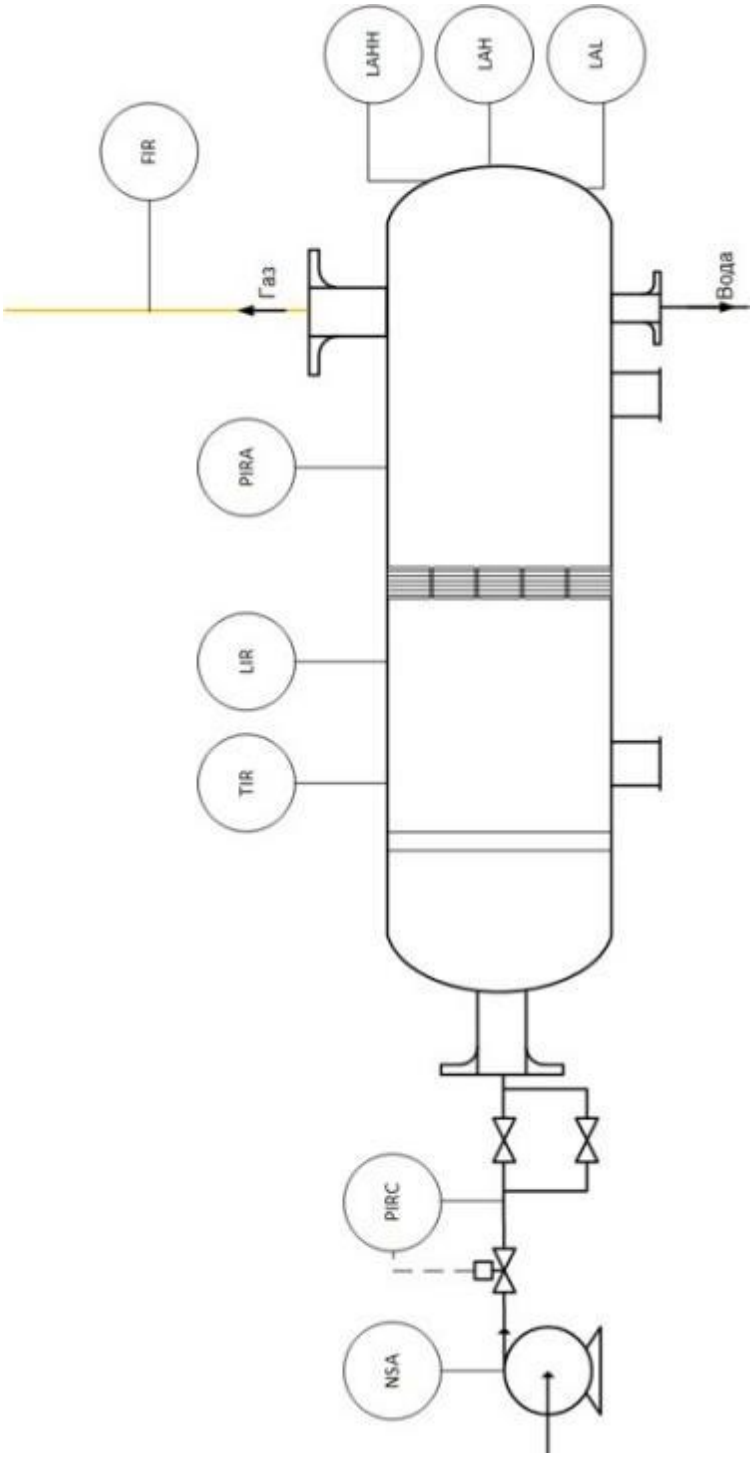
23. Emerson. Rosemount DP Flow Meters and Primary Elements : Product Data Sheet. Emerson, 2025.

24. Emerson. Rosemount 3300 Series Guided Wave Radar Level and Interface Transmitters : Reference Manual. Doc. No. 00809-0100-4811. Emerson.

25. Emerson. Rosemount 2120 Level Switch : Reference Manual. Doc. No. 00809-0100-4030. Emerson, 2022.

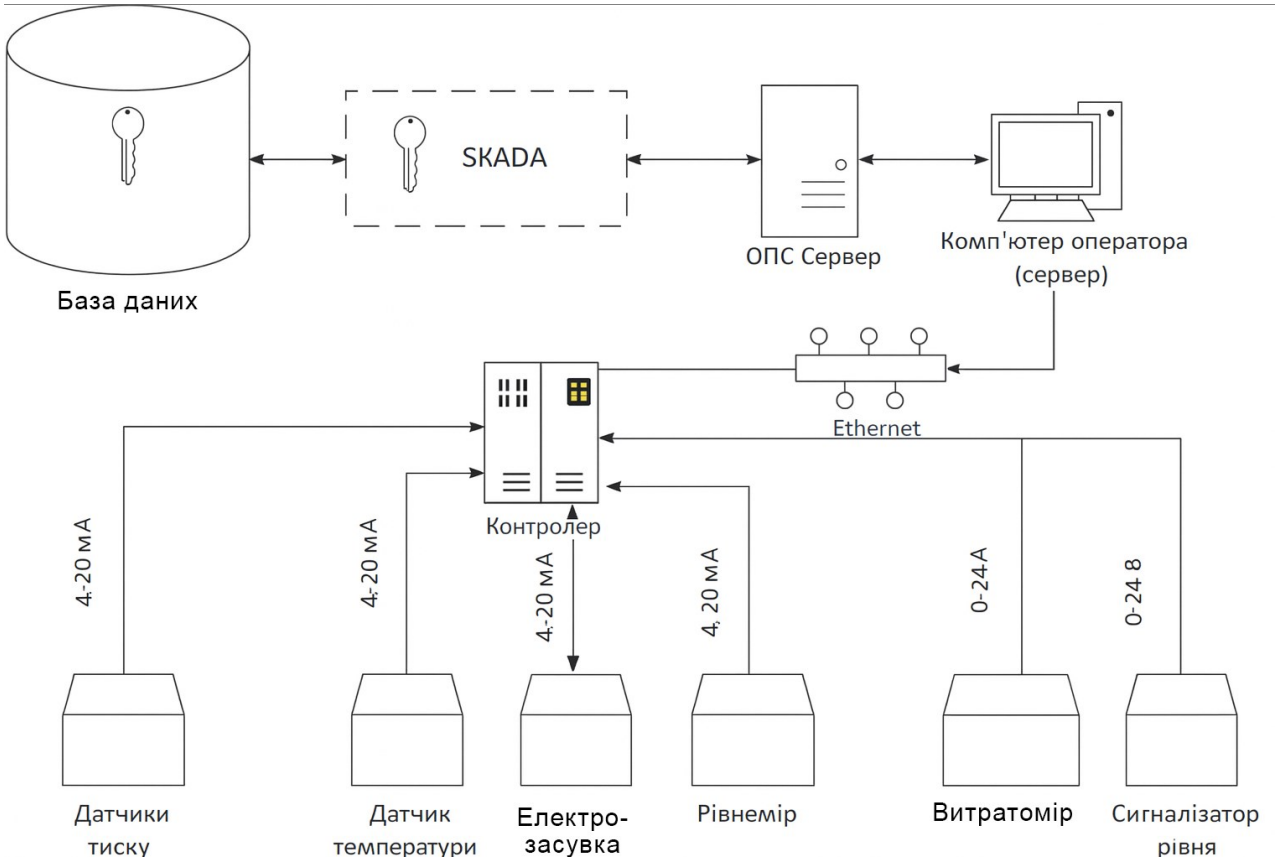
Додаток А

Схема автоматизації спрощеного типу



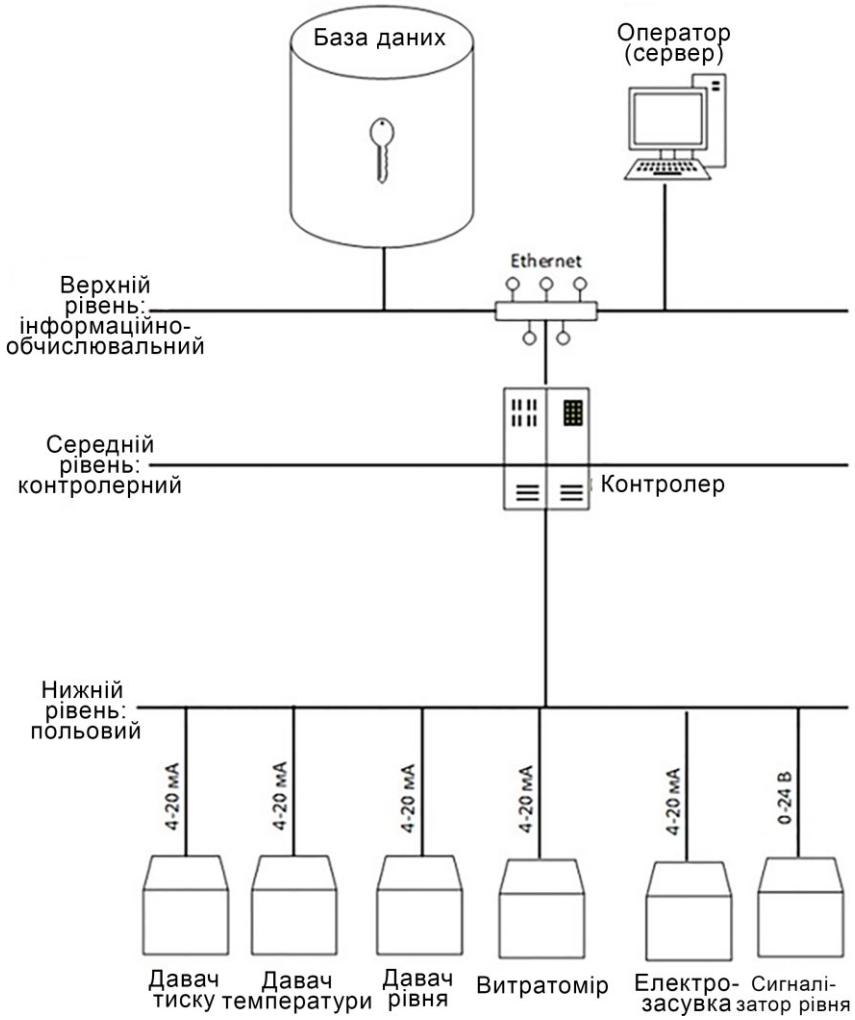
Додаток Б

Узагальнена структурна схема



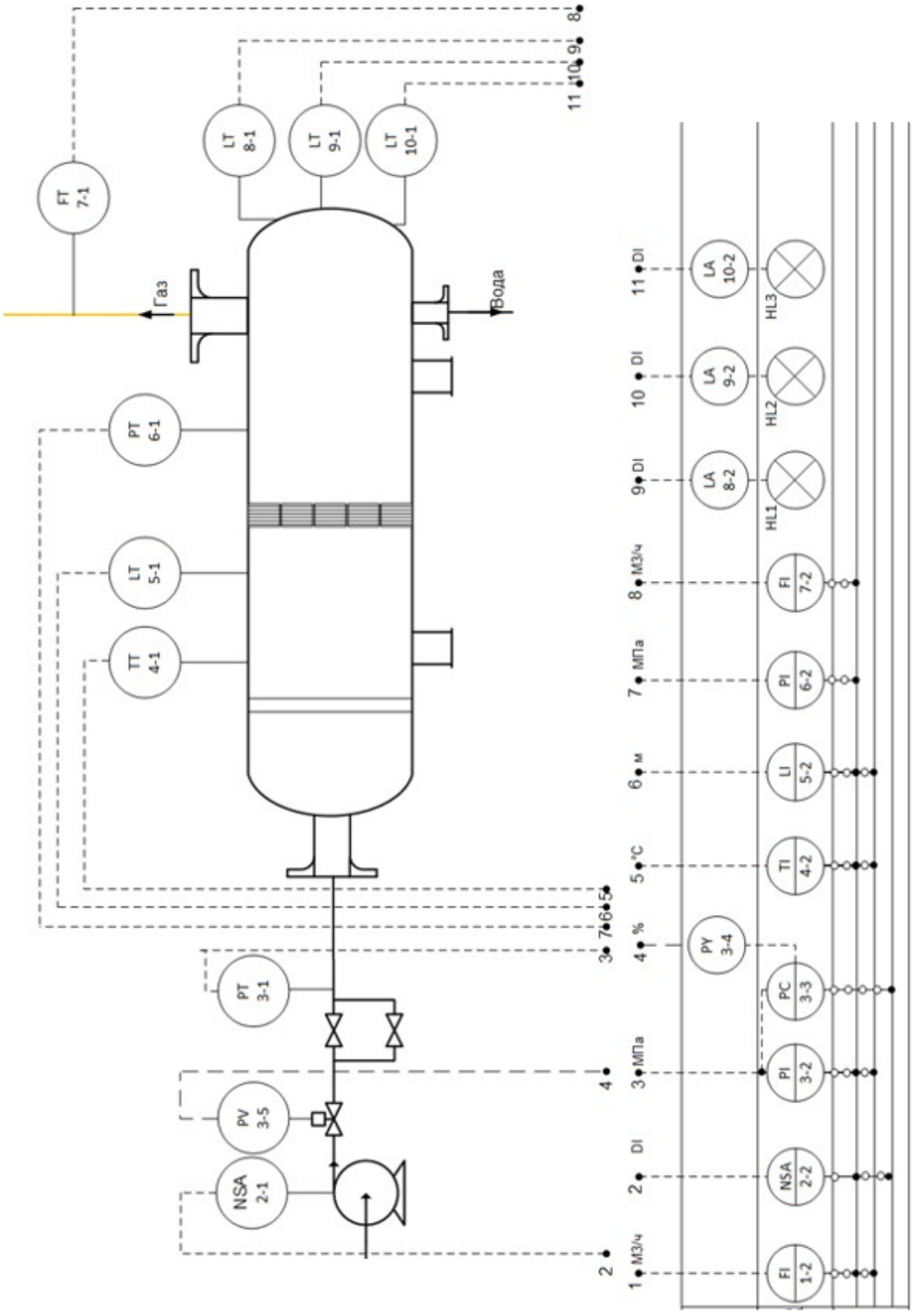
Додаток Г

Трирівнева структурна схема



Додаток Д

Схема автоматизації



Додаток Е

Схема автоматизації з ANSI/ISA

