МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР.АКПм-11.00.00.000 ПЗ

Група АКПм-24-1

Микола Калініченко

2025

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

Калініченко Микола Костянтинович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.5
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Удосконалення системи автоматизації газорозподільної станції
(назва роботи)

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

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

Консультант з нормоконтролю

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

Здобувач освітнього ступеня

АКПм-23-3			М.К. Калініченко
(шифр групи)	(підпис)	(дата)	(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент, к.т.н.			А.І. Лагойда
(науковий ступінь, вчене звання)	(підпис)	(дата)	(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент, к.т.н.			А.І. Лагойда
(посада)	(підпис)	(дата)	(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент, к.т.н.			І.І. Чигур
(посада)	(підпис)	(дата)	(ініціали та прізвище)

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

Івано-Франківськ – 2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень другий (магістерський)

Спеціальність 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АКІТ
(А.І. Лагойда)
«___» _____ 20__ року

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

Калініченко Микола Костянтинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення системи автоматизації газорозподільної станції

керівник роботи Лагойда Андрій Іванович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 10 » листопада 20 25 року № 699/7

2. Строк подання студентом роботи 08.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Матеріали практик, науково-технічні журнали, довідники

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Аналіз технологічного процесу редукування газу. 2. Система автоматичного керування ГРС Енергія. 3. Математична модель об'єкта керування. 4. Аналіз та синтез автоматичної системи керування. 5. Розробка технічної документації на АСК. Загальні висновки.

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

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 30.10.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу		
	редукування газу	02.12.2025	
2	Система автоматичного керування		
	ГРС Енергія	03.12.2025	
3	Математична модель об’єкта		
	керування	04.12.2025	
4	Аналіз та синтез автоматичної		
	системи керування	05.12.2025	
5	Розробка технічної документації на		
	АСК	05.12.2025	

Студент _____ Калініченко В.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Лагойда А.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на здобуття кваліфікації магістра за спеціальністю 174 - «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та освітньою програмою - «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології». - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. - Івано-Франківськ, 2025.

У магістерській роботі розв’язано комплекс науково-технічних завдань, що охоплюють всебічний аналіз газорозподільної станції як об’єкта автоматичного керування та дослідження функціонування систем стабілізації тиску природного газу на її виході. Обґрунтовано вибір сучасних технічних засобів автоматизації та розроблено повний пакет проєктної документації, зокрема функціональну схему автоматизації, схеми зовнішніх електричних з’єднань і компоновочні рішення для щитів керування. Побудовано та досліджено одноконтурну нелінійну систему автоматичного регулювання, математичну модель якої реалізовано в середовищі Matlab/Simulink. Додатково розглянуто питання забезпечення безпеки праці на об’єкті та проаналізовано економічну доцільність упровадження розробленої системи.

Ключові слова: газорозподільна станція, регулюючий клапан, регулювання тиску, автоматизована система керування, одноконтурна нелінійна система, автоматичне керування, математична модель, моделювання, регулятор.

ANNOTATION

Master's thesis for obtaining a master's degree in specialty 174 - "Automation, computer-integrated technologies and robotics" and educational program - "Automation and computer-integrated technologies". - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. - Ivano-Frankivsk, 2025.

The master's thesis solves a set of scientific and technical tasks that include a comprehensive analysis of a gas distribution station as an object of automatic control and a study of the functioning of natural gas pressure stabilization systems at its outlet. The choice of modern technical means of automation is justified and a full package of design documentation is developed, including a functional automation scheme, external electrical connection schemes and layout solutions for control panels. A single-loop nonlinear automatic control system is built and studied, the mathematical model of which is implemented in the Matlab/Simulink environment. Additionally, the issue of ensuring occupational safety at the facility is considered and the economic feasibility of implementing the developed system is analyzed.

Keywords: gas distribution station, control valve, pressure regulation, automated control system, single-loop nonlinear system, automatic control, mathematical model, modeling, regulator.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ..... 8

ВСТУП..... 9

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕДУКУВАННЯ ГАЗУ..... 12

1.1. Призначення, суть і хімізм процесу..... 12

1.2. Характеристика природного газу, одоранта, гідратів..... 15

1.2.1. Характеристика природного газу..... 15

1.2.2. Характеристика одоранта..... 16

1.2.3. Характеристика гідратів..... 17

1.3. Технічна характеристика технологічного обладнання..... 18

1.3.1. Основна технічна характеристика ГРС Енергія..... 18

1.3.2. Технічна характеристика підігрівача газу..... 19

1.3.3. Технічна характеристика регулятора тиску..... 21

1.3.4. Технічна характеристика фільтрів..... 24

1.3.5. Технічна характеристика запобіжних клапанів..... 24

1.3.6. Технічна характеристика кранів..... 25

1.3.7. Технічна характеристика вентилів..... 27

1.3.8. Технічна характеристика засувок..... 27

1.4. Опис технологічного процесу..... 28

Висновки до розділу 1..... 28

РОЗДІЛ 2

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГРС ЕНЕРГІЯ..... 29

2.1. Аналіз існуючих систем автоматичного керування..... 29

2.2. Вибір і обґрунтування регульованих величин і каналів регулюючих впливів..... 34

2.3. Автоматизована система керування ГРС..... 36

2.4. Постановка задачі..... 42

2.4.1. Вибір об’єкта керування та визначення його структурної схеми..... 42

2.4.2. Визначення цілей управління та встановлення технічних вимог до проектованої системи керування..... 43
Висновки до розділу 2..... 56
РОЗДІЛ 3
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ..... 44
3.1. Розрахунок параметрів об'єкта керування..... 44
3.2. Отримання перехідної характеристики та динамічних характеристик об'єкта керування..... 45
Висновок до розділу 3..... 47
РОЗДІЛ 4
АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.... 48
4.1. Розробка одноконтурної схеми АСК..... 48
4.1.1. Структурна схема АСК..... 48
4.1.2. Розробка виконавчого механізму..... 48
4.2. Дослідження перехідної характеристики АСК без регулятора..... 49
4.3. Дослідження перехідної характеристики АСР з регулятором..... 50
Висновок до розділу 4..... 54
РОЗДІЛ 5
РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА АСК..... 56
5.1. Розрахунок параметрів і вибір регулятора тиску газу..... 56
5.2. Вибір технічних засобів автоматизації..... 59
5.3. Наявні технічні засоби автоматизації на ГРС Енергія..... 62
5.4. Проектування загальної ФСА..... 69
5.5. Розробка загального виду щита..... 69
5.6. Розробка схеми електричних з'єднань щита..... 71
Висновок до розділу 5..... 71
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ..... **72**
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА..... **73**
ДОДАТКИ..... **75**

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

АСК - автоматизована система керування.

АСКФТП - автоматизована система керування фізичними і технологічними параметрами.

АРМ - автоматизоване робоче місце.

АСР - автоматична система регулювання.

АСУТП - автоматизована система управління технологічними процесами.

АТП - автоматизації технологічного процесу.

АЧХ - амплітудо-частотна характеристика.

ГРС - газорозподільна станція.

ДП - диспетчерський пункт.

КВП - контрольно-вимірювальні прилади.

ЛВУ МГ - локальне виробниче управління магістральними газопроводами.

НКПР - нижня концентраційна межа розповсюдження полум'я.

ПІД - пропорційно-інтегральний регулятор.

ПГ - підігрів газу.

ППГ - пункт підготовки газу.

САК - система автоматичного керування.

СДО - система дистанційного оповіщення.

ФСА - функціональні схеми автоматизації.

ВСТУП

Актуальність теми. Природний газ, як ключовий енергетичний та сировинний ресурс, транспортується магістральними газопроводами на значні відстані під високим тиском. Проте такий тиск є неприйнятним для локальних газорозподільних мереж, які забезпечують постачання газу до комунальних підприємств, промислових об’єктів, громадських та житлових будівель. Для приведення тиску до нормативних значень та стабілізації його на необхідному рівні застосовуються газорозподільні станції (ГРС), через які газ надходить із магістральних трубопроводів.

Актуальність даного дослідження обумовлена тим, що більшість існуючих ГРС були введені в експлуатацію 12–30 років тому, і за цей час обладнання морально та фізично застаріло. Це призводить до зниження продуктивності, недостатньої стабілізації тиску в розподільних мережах та ускладнює безпечну експлуатацію технологічного обладнання. Крім того, застарілі технічні засоби спричиняють значні втрати при транспортуванні газу та неточності у його обліку. Внаслідок цього більшість ГРС не відповідає сучасним технологічним і безпековим вимогам, що обумовлює необхідність їх часткової або повної модернізації.

Обґрунтування вибору теми дослідження. Багато газорозподільних станцій (ГРС) обслуговують лише одного споживача, наприклад промислові або стратегічні об’єкти, що висуває підвищені вимоги до точності регулювання тиску газу. Наявні на ГРС засоби редукування не забезпечують достатньої точності: спостерігається статична похибка та коливання при регулюванні. Нестабільність тиску призводить до похибок у обліку газу та знижує надійність виробничих процесів на підприємствах.

Відсутність можливості дистанційного керування регулятором тиску змушує забезпечувати постійну присутність оператора, який вручну встановлює необхідні параметри редуктора прямої дії. Впровадження сучасного електроприводного регулятора тиску з функцією дистанційного керування

дозволяє зменшити статичну похибку регулювання, усуває потребу постійного обслуговування оператором і, як наслідок, сприяє зниженню експлуатаційних витрат на обслуговування ГРС.

Мета та завдання дослідження. Метою даної магістерської роботи є дослідження та розробка автоматизованої системи керування (АСК) газорозподільної станції «Енергія», що забезпечує високоточне регулювання тиску природного газу та підвищує надійність його транспортування шляхом впровадження сучасного регулятора тиску з електроприводом і функцією дистанційного керування. Крім того, робота спрямована на забезпечення безпечної та безвідмовної експлуатації газорозподільних станцій.

Об'єктом дослідження в цій роботі виступає газорозподільна станція з підсистемою редукування тиску газу.

Предмет дослідження є методи автоматичного керування технологічним об'єктом та імітаційна реалізація моделей регулятора тиску газу.

Методи дослідження. Дослідження виконуються із застосуванням методологічного апарату теорії автоматичного керування, що ґрунтується на аналізі статичних і динамічних характеристик об'єкта та його формалізованому математичному описі.

Новизна отриманих результатів є наступною:

Вибрано сучасний регулятор тиску газу для газорозподільної станції «Енергія» та побудовано його імітаційну модель, що включає представлення виконавчого механізму, об'єкта керування та ПІД-регулятора. Проведено дослідження роботи регулятора у різних режимах експлуатації. На основі отриманих результатів синтезовано систему керування вузлом редукування газу, яка забезпечує покращені показники якості регулювання порівняно з традиційною позиційною системою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Тематика магістерської роботи повністю корелює з положеннями чинного Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки та техніки». Наукову основу дослідження становлять результати науково-дослідних робіт, виконаних

відповідно до плану державних досліджень ІФНТУНГ у межах бюджетних тем: «Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» (державний реєстраційний номер 011U605890) та «Науково-організаційні засади нарощування видобутку вітчизняних нафти і газу та диверсифікації постачання енергетичних ресурсів для підвищення енергетичної безпеки України» (державний реєстраційний номер 0115U007099).

Практичне значення отриманих результатів. Синтезовано нелінійну одноконтурну систему автоматичного керування з ПІД-регулятором, здатну забезпечувати високоточне підтримання тиску газу.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та 6 додатків. Повний обсяг магістерської роботи становить 82 сторінки: обсяг основного тексту - 72 сторінки, 22 рисунки, 11 таблиць; список використаних джерел, що включає 13 найменувань та займає 2 сторінки; 6 додатків на 8 сторінках.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РЕДУКУВАННЯ ГАЗУ

1.1. Призначення, суть і хімізм процесу

Автоматизовані блочні газорозподільні станції типу «Енергія» призначені для забезпечення споживачів природним, попутним, нафтовим або штучним газом, попередньо очищеним від важких вуглеводнів, шляхом зниження тиску від магістральних газопроводів (у діапазоні 1,2-7,5 МПа) до регламентованих значень (0,3-1,2 МПа) з подальшим стабільним його підтриманням.

Ці станції характеризуються високим рівнем автоматизації та надійності функціонування, що забезпечує ефективне регулювання параметрів газового потоку в режимі реального часу.

Газорозподільні станції серії «Енергія» випускаються з діапазоном продуктивності від 1000 до 38 000 м³/год відповідно до технічних умов ТУ У 26.5-04601469-042:2014, що гарантує їх відповідність сучасним вимогам промислової безпеки та енергоефективності.

Газорозподільні станції реалізують комплекс ключових технологічних функцій, спрямованих на забезпечення стабільної, безпечної та ефективної подачі газу споживачам. Зокрема, до основних завдань їхньої роботи належать:

- очищення газового потоку від механічних домішок і краплинної вологи;
- відведення та накопичення конденсату у спеціалізованих дренажних ємностях;
- попередній підігрів газу з метою запобігання утворенню гідратів перед процесом редукування;
- зниження тиску газу до регламентованого рівня з одночасним забезпеченням стабільності вихідних параметрів при зміні витрати або коливаннях вхідного тиску;
- введення одоранту для надання газу характерного запаху з метою виявлення витоків;

- вимірювання об’єму спожитого газу з багатодобовим архівуванням параметрів;

- автоматизоване керування робочими режимами станції, включно з регулюванням технологічних процесів у реальному часі;

- формування та передача аварійних і попереджувальних сигналів у разі порушення штатних режимів функціонування до диспетчерського пункту або операторського поста.

Основне технологічне обладнання ГРС включає блочні вузли перемикання та редукування, касетні фільтри газу, підігрівач газу, вузли виміру витрати газу споживачам, блок одорування. До допоміжного обладнання відносяться ємності одоранту та конденсату, опалювальний котел, станція електрохімічного захисту.

Вузол перемикання виконує функцію захисту споживчої газорозподільної мережі від потенційного перевищення робочого тиску, а також забезпечує безперервність подачі газу під час ремонтних чи профілактичних робіт на основному обладнанні газорозподільної станції. У разі необхідності подача газу до споживача здійснюється через обвідну (байпасну) лінію з ручним регулюванням тиску. Конструктивно блок перемикання включає запірну арматуру на вхідних і вихідних трубопроводах, обвідний контур та запобіжні клапани, які гарантують безпечну експлуатацію системи. В якості запірної арматури застосовують шарові крани з ручним важелем або пневмогідроприводом вузла управління ЄПУУ-4, а також свічний кран для скидування в атмосферу. В вузлі преключень є обвідна лінія з двома запірними пристроями: перше по ходу – кран з певмоприводом, друге - з ручним приводом.

Вузол редукування призначений для зниження тиску природного газу з високого (Рвх = 12-75 кгс/см²) до регламентованого низького рівня (1,5-12 кгс/см²) із забезпеченням автоматичного підтримання стабільного вихідного тиску. Крім того, він виконує функцію захисту споживчого газопроводу від перевищення допустимого тиску. Конструктивно вузол реалізований у вигляді дволінійної системи - робочої та резервної, які оснащені двома послідовно встановленими регуляторами, що забезпечує повне резервування за основним каналом подачі газу.

До складу вузла редукування входять газорегулююче обладнання, запірна арматура, лінії редукування, система захисної автоматики та аварійної сигналізації. У технологічних схемах редукування застосовуються:

- сталеві регулювальні елементи, розраховані на умовний тиск до 6,3 МПа;
- регулюючі клапани непрямої дії типу ПРК та їх аналоги;
- регулятори тиску прямої дії серії РДУ.

Система автоматичного керування газорозподільної станції (САК ГРС) виконує функції моніторингу технологічних параметрів, а також формування та передавання аварійних і попереджувальних сигналів на диспетчерський або операторський пульт.

Блок очищення газу, інтегрований у технологічну схему ГРС, запобігає потраплянню механічних домішок і конденсату в елементи обладнання, трубопровідну арматуру, контрольно-вимірювальні прилади та системи автоматики як самої станції, так і кінцевих споживачів газу.

Вузол вимірювання витрати азу призначений для комерційного обліку витрати газу. Метод вимірювання витрати газу полягає в тому, що при установці на трубопроводі звужуючого пристрою виникає частковий перехід потенційної енергії тиску в кінетичну енергію швидкості. Для вимірювання витрати газу найбільш розповсюджені камерні діафрагми. Діафрагма може застосовуватись в газопроводах діаметром не менше 50 мм при умові співвідношення площ отвору діафрагми і перерізу труби в межах $0.05 \leq m \leq 0.7$.

Для своєчасного виявлення можливих витоків природного газу в місцях з’єднань газопроводів, ущільненнях запірної та регулювальної арматури, а також у з’єднаннях контрольно-вимірювальних приладів, до складу природного газу вводять спеціальні ароматизуючі домішки - одоранти, що надають йому характерного різкого запаху, який полегшує ідентифікацію місць негерметичності системи. В якості такого застосовують єтилмеркаптан, пенталарм, каптан, сульфан та ін., найчастіше – етилмеркаптан, який є безбарвною прозорою рідиною. Мінімальна кількість одоранту в газі має бути такою, щоб в приміщенні відчувався запах газу при концентрації, рівній 1/5 нижньої концентраційної величини

вибухонебезпеки, що відповідає для природного газу 16г одоранту на 1000 м3 газу. Для одоризації газу застосовують одоризатори капельного типу (ручні).

1.2. Характеристика природного газу, одоранта, гідратів

1.2.1. Характеристика природного газу

Природний газ являє собою природну суміш газоподібних сполук, що сформувалася в надрах землі внаслідок анаеробного розкладання органічної речовини або конденсації газових еманацій з верхніх шарів мантії у пастках земної кори. Основу природного газу складають вуглеводні - переважно метан, а також етан, пропан, бутан та інші компоненти.

За генетичними та фізико-хімічними характеристиками природні гази поділяють на три основні категорії:

1. Газові родовища - утворення, у яких газ залягає окремо від рідких вуглеводнів і на 82–98% складається з метану.

2. Газоконденсатні родовища - джерела, що містять суміш природного газу та конденсату, до складу якого входять важчі вуглеводневі фракції (бензин, керосин, дизельні компоненти), при цьому частка метану становить близько 80-95%.

3. Нафтові родовища - джерела, з яких разом із нафтою виділяються попутні гази, що містять 30-70% метану та значну кількість газового бензину й пропан-бутанових фракцій.

Під час проєктування газорозподільних станцій ключовими характеристиками природного газу, які необхідно враховувати, є його вологість і поведінка при дроселюванні, оскільки саме ці параметри визначають ефективність процесів редукування та стабільність експлуатаційних режимів.

Вологість природного газу характеризує наявність у ньому водяної пари, якою газ насичується в пластових умовах. У процесі транспортування внаслідок зниження температури та тиску ця пара частково конденсується, утворюючи

рідинні скупчення у понижених ділянках газопроводів. Такі конденсати порушують стабільність технологічного режиму транспортування й можуть призвести до гідравлічних перешкод у системі. Крім того, взаємодія вологи з кислими компонентами газу спричиняє прискорену корозію внутрішніх поверхонь обладнання та трубопроводів. У певних умовах тиску й температури наявність вологи сприяє утворенню газових гідратів - кристалічних сполук, що здатні повністю перекривати прохідний переріз газопроводів та арматури, створюючи ризик аварійних ситуацій.

Дроселювання газу являє собою технологічний процес, який відбувається під час добування або транспортування природного газу і полягає у різкому зниженні тиску потоку з одночасним його розширенням. Унаслідок цього явища, залежно від величини перепаду тисків, спостерігається зниження температури газу. Така зміна температури, зумовлена ізоентальпійним розширенням, відома як ефект Джоуля–Томсона, і має важливе значення для проєктування редукувальних вузлів, а також для запобігання утворенню гідратів у газотранспортних системах.

1.2.2. Характеристика одоранта

Одорант - це спеціально введена до складу природного газу хімічна сполука, призначена для надання йому виразного, різкого та легко впізнаваного запаху. Основна функція одоранта полягає у забезпеченні можливості оперативного виявлення витоків газу за допомогою органів нюху, що слугує важливим елементом системи техногенної безпеки. Таким чином, його застосування має попереджувальний характер і спрямоване на своєчасне виявлення аварійних ситуацій у газотранспортних та споживчих системах.

Як одоранти використовують меркаптани (етилмеркаптан, метилмеркаптан, пропілмеркаптан, ізопропілмеркаптан тощо) і сульфіди (діетилсульфід, діметилсульфід, діметилдисульфід та ін). Найчастіше використовують етилмеркаптан (його хімічна формула $C2H5SH$), який являє собою безбарвну прозору рідину основні фізико-хімічні властивості якої подані в таб.1.1

Таблиця 1.1

Фізико-хімічні властивості етилмеркаптану

Показник:	Значення:
Щільність в рідкому стані, кг/м^3	846 – 865
Вміст сірководню, %	51,4
Масова концентрація, кг/м^3	$6{,}2136 \cdot 10^4$
Показник	Значення
Температура кипіння, ^{o}C	34,7
Температура плавлення, ^{o}C	-121,0
Температура загоряння в повітрі, ^{o}C	299,0
Температура замерзання, ^{o}C	-148
Нижня межа вибуховості,%	2,8
Верхня межа вибуховості, %	18,2
Тиск парів при температурі 10^{o}C, Па:	$3{,}88 \cdot 10^4$
Тиск парів при температурі 20^{o}C, Па:	$5{,}87 \cdot 10^4$
Тиск парів при температурі 30^{o}C, Па:	$8{,}58 \cdot 10^4$

1.2.3. Характеристика гідратів

Гідрати вуглеводневих газів – це білі кристали, які нагадують снігоподібну кристалічну масу. Тверді гідрати утворює метан (їх формула $8CH_4 \cdot 46H_2O$ або $CH_2 \cdot 5.75H_2O$) і етан ($8C_2H_6 \cdot 46H_2O$ або $C_2H_6 \cdot 5.75H_2O$); пропан утворює рідкі гідрати ($8C_3H_8 \cdot 136H_2O$ або $C_3H_8 \cdot 17H_2O$). За наявності у природному газі сірководню утворюються як тверді, так і рідкі гідрати - нестійкі сполуки, що легко розкладаються на газоподібну та рідку фази при зниженні тиску або підвищенні температури. У процесі редукування газу гідрати можуть випадати з потоку, осідати на поверхнях регулюючої арматури, зокрема на клапанах регуляторів тиску, що призводить до порушення їхнього нормального функціонування. Кристалогідрати також накопичуються на внутрішніх стінках вимірювальних

трубопроводів, переважно в зонах звужень, спричиняючи спотворення результатів вимірювання витрати газу. Крім цього, утворення гідратів здатне блокувати імпульсні трубки, що виводить з ладу контрольно-вимірювальні прилади та ускладнює стабільну роботу системи контролю.

1.3. Технічна характеристика технологічного обладнання

1.3.1. Основна технічна характеристика ГРС Енергія

Основна технічна характеристика ГРС Енергія наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Технічна характеристика ГРС Енергія

Параметр	Характеристика
Пропускна здатність, тис. $м^3$/год - номінальна - максимальна при $p_{вх}$=7,5МПа і $p_{вих}$= 1,2МПа	 10 40
Резерв по пропускній здатності блока редукування, %	100
Тиск газу, $кгс/см^2$ - на вході - на виході	 1,2 - 7,5 0,3 - 1,2
Температура газу на вході, ˚С	від -10 до 60
Електроживлення	Змінний струм 220/380В з частотою 50Hz
Середній термін служби, років	Не менше 10

1.3.2. Технічна характеристика підігрівача газу

Водяний підігрівач природного газу з рідким теплоносієм ПТПГ- 30(рисунок 1.1) призначений для непрямого нагріву перед дроселюванням природного газу в системах регулювання (турбінах компресорних станцій, магістральних газопроводів , ГРС індивідуального проекту і інших споживачів) і автоматичного підтримування температури газу на виході з підігрівача в інтервалі 15-70˚С.

Кліматичне виконання підігрівача по ГОСТ 15150-69 – VI, тип атмосфери – II. Допускається експлуатація підігрівача при тепловій виробці, яка не перевищує номінальну, при температурі до -55˚С. Нижче приведена технічна характеристика водяного підігрівача.

Таблиця 1.3

Технічна характеристика підігрівача газу ПТПГ-30

Показник:	Значення:
Макс. пропускна спроможність, $м^3$/год	31500
Номінальна пропускна спроможність, $м^3$/год	2500
Мін. пропускна спроможність,$м^3$/год	2870
Вхідний тиск газу в підігрівач, Па	$7{,}207 \cdot 10^6$
Вхідний тиск перед блоком горілок, Па	$0{,}067 \cdot 10^6$
Температура газу на вхід в підігрівач, не менше, ºС	-20
Температура газу на виході з підігрівача, не більше, ºС	70
Температура паливного газу, не менше, ºС	25
Температура пускового газу,не менше, ºС	15
Температура поверхонь підігрівача, ºС, доступні для обслуговуючого персоналу	45
Напруга живлення	220±22
Довжина підігрівача, м	6,1
Ширина підігрівача, м	1,88
Висота підігрівача, м	6,0
Маса підігрівача, кг	7500

Підігрівач являє собою корпус, в який вбудовані пучок труб, теплогенератор і розподільна камера. В корпус підігрівача заливають 2160 л води і 5100 л диетиленгліколя. В процесі експлуатації необхідно добавляти моноетаноламін.

Теплогенератор і пучок труб занурені в суміш диетиленгліколь- вода, рівень якого контролюється по рамці вказівника рівня. Корпус підігрівача встановлений і закріплений на жорсткій зварній рамі. На корпусі розташована шкафна газорегулююча установка ПШГР-2 з продувочною свічею безпеки: апобіжний люк призначений для аварійного відведення надлишкового об'єму газу у разі виникнення прориву або розгерметизації трубного пучка, забезпечуючи зниження тиску та запобігання руйнуванню елементів системи.

Теплогенератор являє собою виносну топку, в якій згорає газ. Паливний газ під тиском 6 кгс/см2 поступає в шкафну газорегуляторну установку ПШГР- 2 , де його тиск знижується і підтримується на заданому рівні 0.3-0.69 кгс/см2. Отім газ згорає в блоці горілок. Продукти згорання через теплогенератор поступають в димохід і виводяться в атмосферу. Висота димохода забезпечує їх розсіювання до гранично допустимої концентрації (ГДК). Теплота продуктів згорання через стінки труб теплогенератора передається суміші диетиленгліколь-вода.

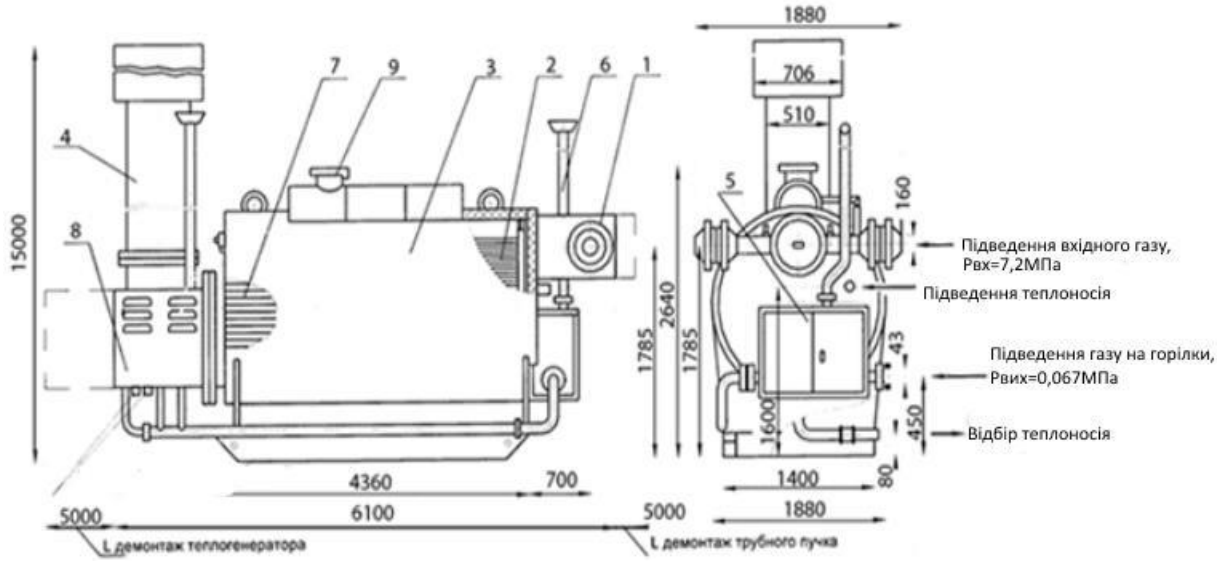

Рис. 1.1. Підігрівач газу ПТПГ-30: 1 - камера розподільна; 2 - пучок трубний; 3 - корпус підігрівача; 4 димохід; 5 - шафа газорегулююча; 6 - свіча; 7 - теплогенератор, 8 - блок горілок, 9 - люк запобіжний

Підігрівач оснащений системою автоматики, до складу якої входять: блок управління (встановлений безпосередньо на приладовій панелі підігрівача), аналогові і дискретні датчики, виконавчі пристрої. Блок управління має інтерфейс RS-485, для зв'язку з улаштуванням верхнього рівня автоматизації, в якості якого може використовуватися комп'ютер або промисловий контролер. Влаштування верхнього рівня поставляється по окремому замовленню.

Система автоматики забезпечує виконання таких функцій:

- автоматичний дистанційний (з верхнього рівня управління), а також місцевий (з лицьової панелі блоку, встановленого на підігрівачі) пуск підігрівача за заданою програмою;

- регулювання температури газу;

- захисне (аварійне) відключення підігрівача;

- сигналізуючу, а також аварійну світлову сигналізацію;

- аварійну звукову сигналізацію.

Влаштування верхнього рівня управління забезпечує виконання таких функцій:

- дистанційний пуск і зупинка підігрівача;

- висновок на інформаційне табло поточної температури продукту, стану виконавчих пристроїв і причини аварійного відключення;

- зміна параметрів програми розпалювання підігрівача;

- перевірка функціонування виконавчих пристроїв.

1.3.3. Технічна характеристика регулятора тиску

Регулятор тиску газу РДУ-100 призначений для зниження і підтримки заданого значення тиску на об'єктах магістральних газопроводів. У порівнянні з регуляторами тиску, де потік газу змінює свій напрямок, регулятор РДУ-100 за рахунок прямоточної конструкції володіє підвищеним коефіцієнтом пропускної здатності і меншою шумовіддачею.

Технічна характеристика регулятора РДУ приведена в таблиці 1.4.

До складу регулятора входить: виконавчий пристрій з відповідними фланцями і задаючий пристрій, поєднаний з виконавчим пристроєм мідними або латунними трубками.

Як задаючі пристрої на РДУ-100/50 і РДУ-100/80 встановлені: редуктор-задатчик РЗ, що задає пристрій ЗУ-3 або регулятор РПО, на РДУ-100/100, РДУ-64/100 редуктор перепаду з підсилювачем або регулятором РПО.

Виконавчі механізми регуляторів, незалежно від їх типорозміру, мають однакові принципові конструктивні особливості та відрізняються лише геометричними параметрами. Вони становлять кінцеву ланку системи автоматичного регулювання. Зміна положення затвора призводить до варіювання прохідного перерізу виконавчого механізму, що, у свою чергу, визначає витрату газу через регулюючий орган. Такий принцип дії забезпечує стабілізацію вихідного тиску на заданому рівні за наявності коливань вхідного тиску або зміни обсягу газоспоживання. Переміщення затвора здійснюється під впливом регулювального тиску, який подається на привід від задавального пристрою. Як робоче середовище для приводу виконавчого механізму використовується газ із лінії високого тиску.

Схема редуктора РДУ показана на рис. 1.2.

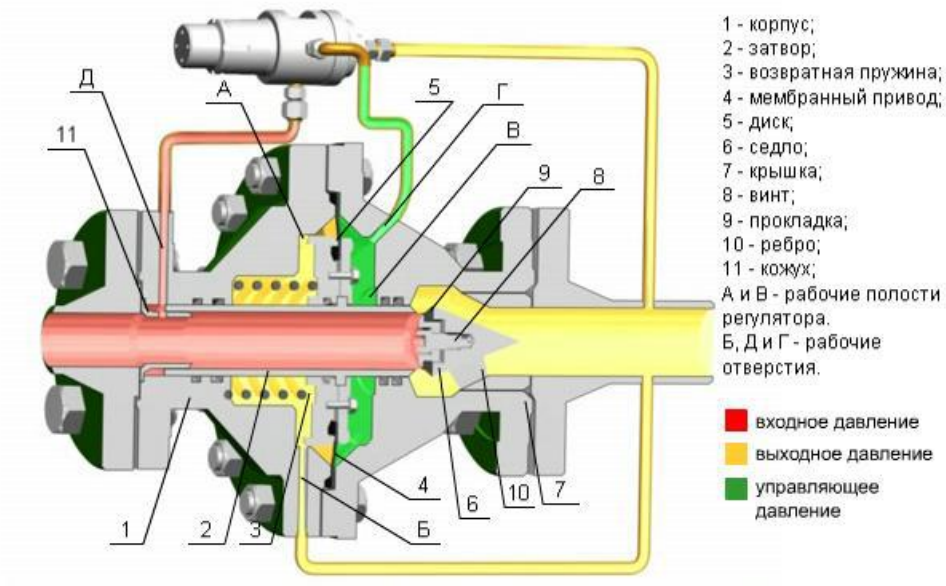

Рис. 1.2. Регулятор РДУ

Виконавчий механізм конструктивно складається з корпусу 1, кришки 7, мембранного приводу 4, затвора 2, зворотної пружини 3, сідла 6 та захисного кожуха 11. Сідло встановлене всередині кришки на опорних ребрах 10, що забезпечують його фіксацію та стійкість під час роботи. Герметичність з'єднання між сідлом і корпусом забезпечується ущільнювальною прокладкою 9, закріпленою гвинтом 8. Затвор 2 має форму тонкостінної трубки та з'єднаний із мембранним приводом 4 через з'єднувальний диск 5. У початковому стані затвор утримується у притиснутому до сідла положенні зворотною пружиною 3. У процесі роботи в порожнину «А» мембранного приводу через канал «Б» подається вихідний тиск, тоді як у порожнину «В» через отвір «Г» надходить керуючий тиск від задавального пристрою, що забезпечує регулювання положення затвора відповідно до зміни параметрів процесу.

Таблиця 1.4

Технічна характеристика регуляторів РДУ

Показник	РДУ-50	РДУ-80	РДУ-100
Умовний прохід D_y, м	0,05	0,08	0,1
Тиск умовний $p_{y,\ М}$Па	6,4	6,4	6,4
Діапазон зміни вхідного тиску, МПа	1,2÷5,5	1,2÷5,5	1,2÷5,5
Діапазон налаштування вихідного тиску, МПа	0,25÷1,6	0,25÷1,6	0,25÷1,6
Максимальний перепад тиску на регулятор, МПа	5,25	5,25	5,25
Мінімальний перепад тиску на регулятор, МПа	0,3	0,3	0,3
Коефіцієнт пропускної здатності K_v±10%, кг/год·10^4	5	10	20
Зона нечуттєвості регулятора від верхнього рівня налаштування, %	2,5	2,5	2,5

Продовження таблиці 1.4

Показник	РДУ-50	РДУ-80	РДУ-100
Температура регулюючого газу, °С	-40…+80	-40…+80	-40…+80
Температура навколишнього середовища, °С	-40…+50	-40…+50	-40…+50
Тип приєднання по трубопроводах	фланцев.	фланцев.	фланцев.

1.3.4. Технічна характеристика фільтрів

У більшості газорозподільних станцій типу «Енергія» застосовуються вісцинові фільтри. Конструктивно такий фільтр складається з корпусу, у внутрішній частині якого розташована касета (насадка), заповнена кільцями Рашига. В якості фільтрувального елемента можуть використовуватись як металеві, так і керамічні кільця. Поверхня кілець покривається вісциновим мастилом відповідно до вимог ГОСТ 7611-55, яке містить 60% циліндрового та 40% солярового масла. Принцип дії полягає в тому, що потік газу, проходячи через насадку, змушує частинки механічних домішок змінювати траєкторію руху, унаслідок чого вони осідають і прилипають до поверхні змочених вісциновим маслом кілець Рашига, що забезпечує ефективне очищення газу від твердих забруднень.

1.3.5. Технічна характеристика запобіжних клапанів

Запобіжні клапани встановлюються на газопроводі з метою захисту системи від перевищення допустимого тиску. Як правило, монтують два таких пристрої — основний (робочий) та резервний. У конструкції газорозподільних станцій зазвичай застосовуються спеціальні повнопідйомні запобіжні клапани типу СППК або пружинні повнопідйомні клапани типу ППК, конструктивна схема яких наведена на рисунку 1.3. Для забезпечення можливості перемикання між основним і резервним клапанами між ними встановлюють трьохходовий вентиль типу КТРП,

який у штатному режимі залишається відкритим у напрямку до одного з працюючих запобіжних клапанів.

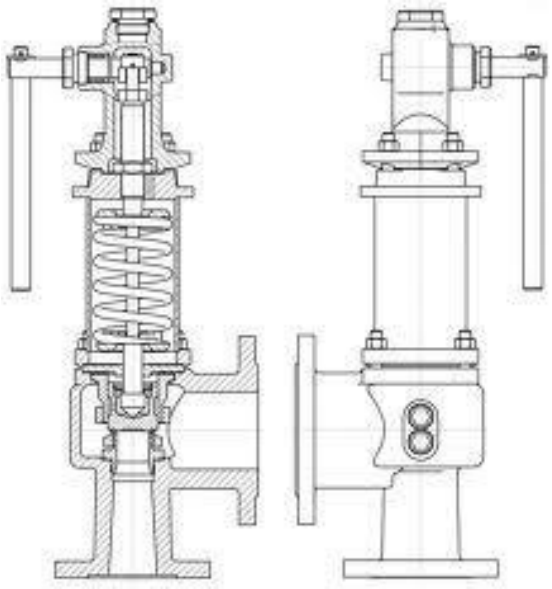

Рис. 1.3. Клапан ППК-4

Пружинний запобіжний клапан середнього і високого тисків ППК-4 випускається промисловістю з умовними проходами 50, 80, 100 і 150 мм. Залежно від діаметра пружини вони можуть настроюватися на тиск 0,05-2,2 МПа. Принцип роботи клапана полягає в наступному. Імпульс вихідного тиску газу подається під клапан, який під дією пружності пружини герметично притискається до сідла. При підвищенні тиску понад встановлену межу сила, що діє на клапан знизу, долає зусилля, яке чиниться пружиною, і клапан, відкриваючись, скидає надлишки газу. Налаштовують пружину на заданий режим роботи регулювальним гвинтом.

1.3.6. Технічна характеристика кранів

Крани установлюються в блоках переключення, а також на інших ділянках газопроводів ГРС крани відрізняються по видам приводів (таблиця 1.4).

Шарові крани відрізняються від інших різноманітністю конструкцій. Можна виділити два основних типи кранів: з плаваючою пробкою і з плаваючими кільцями. Шарові крани типу КШ-10 і КШ-15 призначені для відключення трубопроводів, технологічного, контрольного і запобіжного обладнання.

Герметичність запірного вузла (шарова пробка – сідло) забезпечується щільним обхватом частини сферичної поверхні шарової пробки сідлом з деяким натягом за рахунок властивості матеріалу сідла деформуватися при закріплювані деталей крана стяжними болтами. Матеріалами для виготовлення сідла можуть бути фторопласт, вініпласт, резина та інші, які володіють властивостями пластичної деформації, близькими до властивостей названих матеріалів. В випадку зносу ущільнюючих поверхонь сідла і втрати герметичності запірним вузлом, конструкція крана забезпечує можливість відновлення герметичності за рахунок введення одної або двох прокладок, встановлених з двох сторін між корпусом і кришкою.

Пневматичні вузли керування типів УУП-1 і УУП-2. Призначені для дистанційного і місцевого керування газовими кранами з пневмоприводом і мультиплікатором. Вузли керування складаються з трьох пневматичних підсилювачів УП-2 , трьох кнопок КУП і трьох перекидних клапанів КП-1.

Вузол керування УУП-2 на відміну від вузла керування УУП-1 має більш сучасніший пневматичний підсилювач, який дозволяє встановлювати УУП-2 в приміщеннях, так як в його підсилювачі передбачений організований відвід в атмосферу відпрацьованого газу, а також не потребує для ручного керування, яке здійснюється важелем, спеціального джерела енергії (тиск газу 1,4 кгс/см^2).

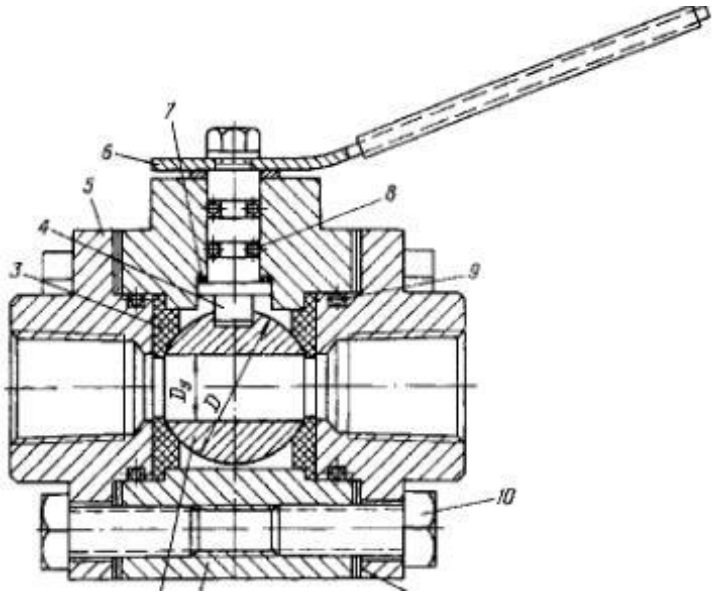

Рис. 1.4. Кран шаровий

Корпуси кранів з Dy=50÷200 мм штамповані, з фланцевим роз’ємом , а з Dy=700, 100, 1400 мм – суцільнозварений, з штампованих півсфер. Блоки управління (БУЭП-5; ЭПУУ-6) не потребують допоміжної обв'язки в умовах експлуатації, так як мають вбудовану клемну коробку і кінцевий вимикач. Безбалонна конструкція приводів значно скоротила витрату дефіцитної гідрорідини для гідросистеми кранів. Крім того, в кранах застосовуються ручні гідравлічні насоси принципово нової конструкції.

1.3.7. Технічна характеристика вентилів

Вентилі запірні голкові. На ГРС, особливо в вузлах переключення, на імпульсних лініях, в якості запірних пристроїв застосовують вентилі типів ВІ-10 і ВІ-15. Корпус вентиля - кований з сталі, квадратного січення. Різьба на з’єднувальних кінцях - трубна, конічна. Конічний кінець шпинделя виконаний з більш твердого матеріалу, ніж золотник, що сприяє покращенню форми ущільнюючої поверхні.

1.3.8. Технічна характеристика засувок

Засувки клинові. По влаштуванню затвора розрізняють засувки паралельні і клинові, по конструкції підйому затвора – з ручним керуванням (напряму маховиком), електричним, пневматичним, або гідравлічним приводом.

У засувок висувним шпинделем різьбова втулка розташована ззовні корпуса. По числу ниток різьби над маховиком можна визначити степінь відкриття засувки.

У засувок з невисувним шпинделем кінець його різьбової частини входить в нарізну втулку, яка знаходиться в верхній частині затвора засувки. При обертанні маховика шпиндель не переміщається вздовж своєї осі, а обертається разом з маховиком.

1.4. Опис технологічного процесу

В Додатку В показаний технологічний процес газорозподільної станції. Призначення газорозподільної станції - редукування газу, який надходить з магістральних газопроводів, одорування газу й облік газу. Порядок проходження газу по лінії ГРС наступний: вхідний газ під тиском 15-75 кгс/см^2 проходить через вхідний кран з пневматичним керуванням вузла переключення. При ремонтних роботах, при плановому відключенні а також при аварійній ситуації потік газу переводиться на байпасну лінію, закривши вхідний і вихідний крани з пневматичним керуванням і відкривши ручний і пневматичний крани байпасної лінії. Регулювання вихідного тиску на байпасній лінії здійснюється вручну. При нормальному режимі роботи вхідний газ надходить в вузол редукування. Вузол редукування має дві лінії: робочу і резервну. Кожна лінія на початку і в кінці оснащена ручними кранами . Також на лінії є два регулятори РДУ: робочий і слідкуючий. Газ редукується і далі проходить через вузол вимірювання витрати газу(через діафрагму) і надходить в вузол одоризації. Одоризований газ надходить в вузол переключення , обходить лінії які ведуть до свічі і крізь вихідний кран виходить з газорозподільної станції до подальшого редукування на газорегулюючі пункти.

Висновок до розділу 1

В цьому розділі було проведено аналіз технологічного процесу газорозподільної станції Енергія. Було описано технологічний процес і характеристики природного газу, одоранту, гідратів на ГРС Енергія.

РОЗДІЛ 2
СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГРС ЕНЕРГІЯ

2.1. Аналіз існуючих систем автоматичного керування

Система автоматичного керування ГРС «Ізмаїл».

Система автоматизації ГРС реалізує наступні функції: автоматичний контроль і управління запірною арматурою; комерційний облік витрати газу; обмін даними з системою диспетчерського контролю та управління.

Структурна схема автоматизації і зовнішній вигляд щита САК ГРС представлені нижче.

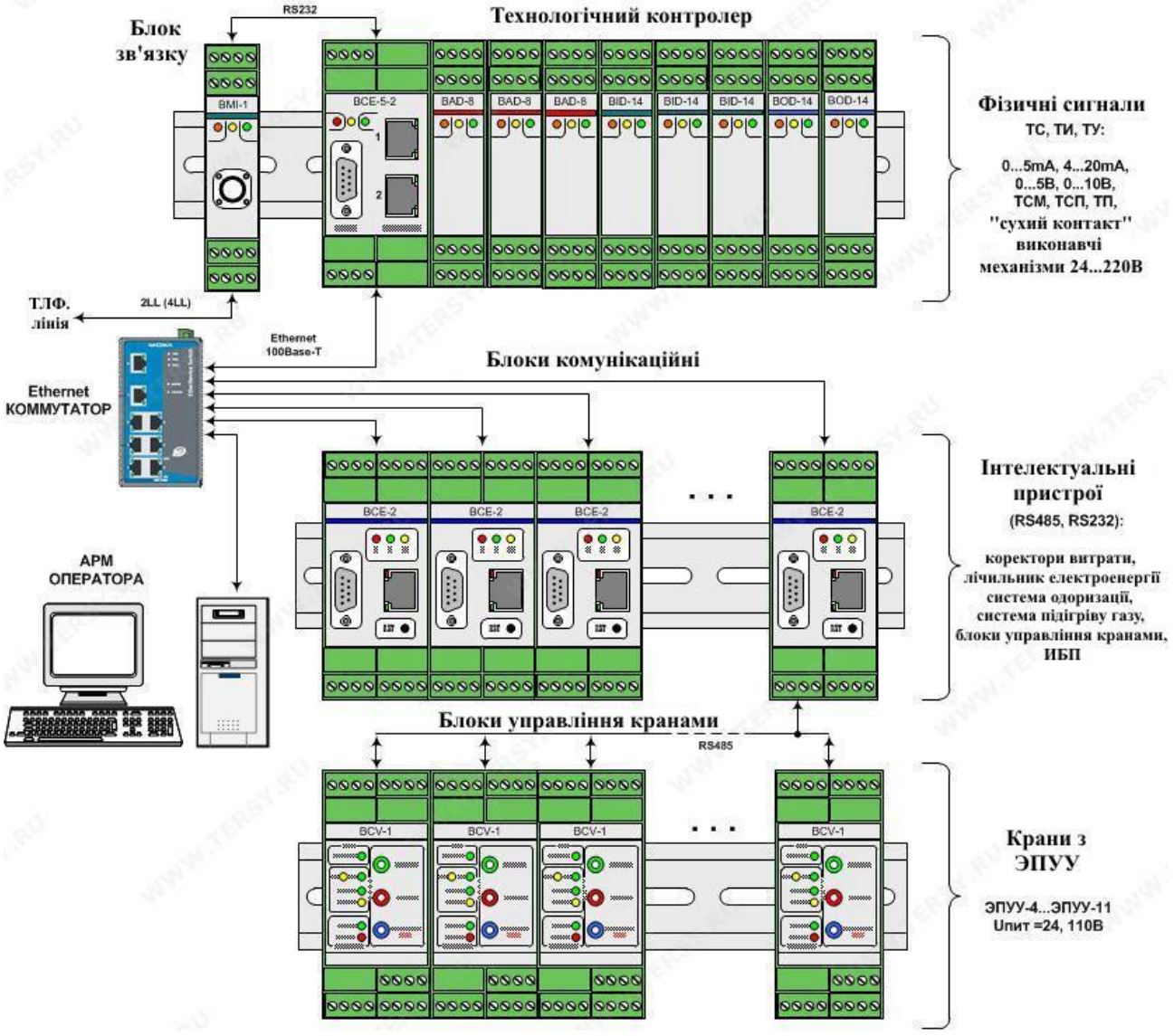

Рис. 2.1. Структурна схема автоматизації

Сигнали датчиків, блоків управління кранами і дані приладів обліку реєструються технологічним контролером на базі програмованого логічного контролера ВСЕ-5 або ВСР-А9 і блоків введення-виведення серії PLC4. Протягом циклу послідовно проводиться введення даних, виконання технологічних алгоритмів, висновок керуючих сигналів і передача інформації на верхній рівень - в підсистеми архівації та відображення САК ГРС, а також в систему диспетчерського контролю та управління мережі ГРС.

Типове програмне забезпечення контролера підтримує введення- виведення даних наступного обладнання, що використовується на ГРС:

- електронні коректора витрати газу Електроніка ЕК-88К, ЕК-260, ЕК-270, Логіка СПГ-761, СуперФло-IIЕТ;

- лічильник електроенергії Меркурій-230, ПСЧ-3ТА, СЕБ-2А; пристрій віддаленої сигналізації УДКСУ-4604;

- інше обладнання з протоколом обміну даними Modbus RTU / TCP.

Для зв'язку контролера з системою диспетчерського контролю та управління ГРС в системі використовується блок зв'язку ВМІ-1. Блок здійснює зв'язок по двухпровідній виділеній лінії зі швидкістю 1200 бод з видаленням до 30 км по протоколу V.23.

Регулювання тиску газу здійснюється за допомогою двох регулювальних ниток, одна з яких робоча, інша - резервна. На кожній нитці встановлено регулятор прямої дії та кран з пневмоприводом. ГРС укомплектована пристроєм "Защита-5", який разом з кранами з пневмогідроприводом утворює систему захисної автоматики ГРС. Система здійснює контроль вихідного тиску газу, автоматично проводить вимкнення і ввімкнення ниток редукування залежно від величини відхилення тиску газу на виході ГРС від заданого значення. Для аварійної сигналізації роботи ГРС передбачені манометри ВЕ-16, які забезпечують подачу сигналу оператору. Перемикання кранів на редукуючих нитках проходить з деякою затримкою від моменту досягнення вихідним тиском значення налаштування датчиків комплексу "Защита-5". Затримка необхідна для запобігання перемикання

редукуючих ниток при випадкових короткочасних відхиленнях вихідного тиску газу. Час затримки може бути встановлений від 5 до 30 с.

Система автоматичного керування ГРС Сохрановського ЛВУМГ.

Вузол електропневматичного управління ЕПУУ-6 призначений для реалізації дистанційного контролю та керування процесами відкриття, закриття й індикації положення охоронного крана у взаємодії з блоком керування БК-25. Керування здійснюється як із блоку контрольно-вимірювальних приладів газорозподільної станції Сохрановського ЛВУМГ, так і з головного щита управління (ГЩУ) №2 компресорної станції.

Для дистанційного керування охоронним краном із диспетчерського щита КС-2 використовується блок БК-25, який забезпечує двопозиційне електропневматичне керування затвором крана (режими відкриття та закриття). Блок керування працює з двома термостійкими електромагнітними клапанами, розрахованими на постійну напругу 24 В та потужність у діапазоні 15–40 Вт.

Конструктивно блок БК-25 містить реле контролю руху механізму, реле перевірки цілісності ланцюга керування, а також реле, що дублюють сигнали кінцевих вимикачів для визначення положення затвора.

Система автоматичного керування ГРС Адлер.

АГРС Адлер з продуктивністю понад 211 500 м3 / год поєднує в своєму складі як міні-ГРС (продуктивністю від 100 м3 / ч), так і обладнання для вимірювання витрати, яке виконує окремі функції газовимірювальної станції (ГВС).

ГРС Адлер забезпечує широкий діапазон вхідного тиску (1,4-5,4 МПа), мінімальний перепад вхідного (від 1,45 МПа) і вихідного (1,2 МПа) тиску, велику амплітуду продуктивності ГРС (від 100 до 211 500 м3 / год), високу максимальну продуктивність при піковому навантаженні, вимір витрати газу при пікової і мінімальної продуктивності, визначення компонентного складу газу і вимірювання точки роси по вологості і вуглеводнів.

У складі обвідних ліній вузла перемикання застосовані регулюючі клапани з електроприводом, що дозволяють при необхідності в автоматичному режимі підтримувати тиск на виходах станції для кожного споживача. Вузол

автоматичного відключення підігрівачів дозволяє направляти потік газу через систему, минаючи підігрів. Додатково передбачена можливість змішування підігрітого газу з холодним в автоматичному режимі.

Вузол редукування ГРС має в своєму складі п'ять блок-боксів. У чотирьох з них розташовані лінії редукування (основні та резервні) першого і другого виходів. П'ятий блок-бокс призначений для роботи при мінімальних витратах (від 100 до 10 000 м3 / год). Блок-бокс має в своєму складі вузол очищення, вузол запобігання гідратоутворення і лінії редукування по кожному виходу. Для обігріву блок-боксів в холодний період року на майданчику розташована блочно-модульна котельня.

Вузол заміру витрати газу виконаний як незалежна система для виміру витрати і обчислення обсягу газу, зведеного до стандартних умов. Він включає в себе вузли виміру витрати газу для кожного споживача, а також аналітичний блок-бокс. В аналітичному блок-боксі розташовані прилади визначення якісних показників газу, що поставляється (хроматограф, аналізатор точки роси) та обчислювачі об'єму витрат газу.

Система управління станцією включає в себе САК ГРС на базі комплексу «Магістраль-2. Прикладне програмне забезпечення, що входить до складу САК ГРС, крім виконання функцій SCADA-системи та забезпечення в реальному масштабі часу збору, обробки, відображення та архівування інформації про роботу станції, виконує більше 20-ти алгоритмів, що забезпечують її автоматичну роботу у всіх режимах, попереджувальні і захисні функції. Також до складу системи управління ГРС входять АСК витратомірів, АСК котельні та АСК регуляторів.

Система автоматичного керування вузлом редукування і пунктом підготовки газу компанії ЗАО «РМГ РУС».

Компанія ЗАТ «РМГ РУС» пропонує комплексні рішення по створенню систем автоматичного управління різної складності. На даний момент створені та інтегровані наступні основні типи систем автоматичного управління (далі - САУ):

- Система автоматичного управління вузлом редукування газу на базі регуляторів RMG-512 або RMG-530.

- Система автоматичного управління пунктом підготовки газу / автоматичної газорозподільної станції.

Система автоматичного управління вузлом редукування на базі регуляторів RMG-512 або RMG-530 являє собою дворівневу багатофункціональну інформаційно-обчислювальну систему, що працює в режимі реального часу і призначена для виконання наступних функцій:

- збору даних;

- надання даних оперативному персоналу у вигляді он-лайн трендів;

- управління виконавчими механізмами регуляторів в ручному та автоматичному режимах для підтримки заданих значень вихідного тиску або для підтримання заданих значень витрати газу.

Ключовою перевагою такого технічного рішення є детальне розуміння параметрів і динаміки застосовуваних газових регуляторів тиску, що забезпечує високу ефективність адаптації прикладного програмного забезпечення системи автоматичного керування до конкретної моделі регулятора.

Розробка подібних систем автоматизації здійснюється на основі високопродуктивних програмованих логічних контролерів (ПЛК), що гарантує надійність і гнучкість функціонування.

Система автоматичного керування пунктом підготовки газу або газорозподільною станцією (ППГ/ГРС) являє собою дворівневу багатофункціональну обчислювально-інформаційну платформу, яка функціонує в режимі реального часу та призначена для реалізації комплексу основних технологічних і контрольних операцій:

- забезпечення переходу між різними технологічними режимами ППГ/ГРС здійснюється шляхом формування керуючих впливів на виконавчі механізми, як у автоматичному режимі, так і під керуванням технолога-оператора, з одночасним відображенням та контролем значень технологічних параметрів;

- визначення аварійних ситуацій на технологічних вузлах, шляхом опитування підключених до системи датчиків, аналізу виміряних показань і перекладу технологічного процесу в безпечний стан шляхом видачі керуючих

впливів на виконавчі механізми. Під безпечним станом процесу розуміється такий стан виконавчих механізмів і арматури, при якому виключена або зведена до мінімуму ймовірність розвитку небезпечних ситуацій;

- збору даних та надання оперативному персоналу у вигляді мнемосхем, а також онлайн і історичних архівів і трендів;

- передачі даних до верхнього рівня керування за допомогою уніфікованих промислових протоколів.

2.2. Вибір і обґрунтування регульованих величин і каналів регулюючих впливів

На наявній автоматичній системі керування ГРС «Енергія» наявні наступні вимірювальні величини і регулюючі впливи:

Вхідні аналогові сигнали:

• Тиск газу на вхідному колекторі ГРС.

• Температуру газу на вхідному колекторі ГРС.

• Тиск газу на вході вузла редукування.

• Температуру газу на вході вузла редукування.

• Тиск газу на редукторі робочої нитки 1.

• Тиск газу на редукторі резервної нитки 2.

• Тиск газу на вихідному колекторі ГРС.

• Температуру газу на виході ГРС.

• Температура повітря на вулиці.

• Температура повітря в операторній.

• Напруга лінії керування відкриття вхідного крана.

• Напруга лінії керування закриття вхідного крана.

• Напруга лінії керування відкриття вихідного крана.

• Напруга лінії керування закриття вхідного крана нитки редукування 1.

• Напруга лінії керування закриття вхідного крана нитки редукування 1.

• Напруга лінії керування відкриття вхідного крана нитки редукування 2.

• Напруга лінії керування закриття вхідного крана нитки редукування 2.

Вхідні дискретні сигнали:

• Перевищення допустимого тиску газу на вхідному колекторі ГРС.

• Зниження тиску газу нижче нормативного на вхідному колекторі ГРС.

• Перевищення встановленого тиску газу на вихідному колекторі ГРС.

• Зниження тиску газу нижче допустимого на вихідному колекторі ГРС.

• Негерметичність байпасної лінії.

• Підвищення перепаду тиску на фільтрі нитки 1.

• Підвищення перепаду тиску на фільтрі нитки 2.

• Низька температура теплоносія котла опалення.

• Двері шафи автоматики відкриті.

• Аварія одоризаційної установки.

• Аварія підігрівача газу.

• Спрацювання пожежної сигналізації.

• Несправність пожежної сигналізації.

• Наявність напруги мережі 220 В.

• Наявність напруги живлення зовнішніх ланок.

• Спрацювання системи грозозахисту.

• Спрацювання детектора руху відеореєстратора.

• Спрацювання давача руху.

• Спрацювання КТМ.

Вихідні дискретні сигнали:

• Відкрити кран на вході ГРС.

• Закрити кран на вході ГРС.

• Відкрити кран на виході ГРС.

• Закрити кран на виході ГРС.

• Відкрити вхідний кран нитки редукування 1.

• Закрити вхідний кран нитки редукування 1.

• Відкрити вхідний кран нитки редукування 2.

• Закрити вхідний кран нитки редукування 2.

• Керування живленням перетворювача 24/220 В.

• Керування аварійним освітленням.

• Керування клапаном котла опалювання.

• Керування світло-звуковим сповіщувачем.

• Керування живленням відеореєстратора і камер.

• Керування напругою контролю цілісності ліній керування.

На вдосконаленій САК додатково вибрано наступні вимірювальні величини і регулюючі впливи:

Вихідні аналогові сигнали:

• Регулювання тиску газу на нитці редукування 1.

• Регулювання тиску газу на нитці редукування 2.

2.3. Автоматизована система керування ГРС

Комплекс технічних засобів, відповідно до типових проектних рішень, складається з таких систем:

- система контролю фізичних та технологічних параметрів автоматики ГРС (СКФТПА), яка є основною системою керування на ГРС;

- система контролю загазованості;

- система контролю присутності на об’єкті;

- система пожежної сигналізації (розглядається в окремому розділі.

Інші локальні підсистеми, такі як система автоматичного керування підігрівачем газу (САК ПГ), система автоматичного керування одоризатором, та інші, у разі їх наявності на об'єкті, взаємодіють з системою контролю фізичних та технологічних параметрів ГРС за цифровим інтерфейсом RS-485 (RS-232), та за фізичними каналами передачі аварійних сигналів стану обладнання.

Система автоматизованого управління функціонує в наступних режимах:

• Автоматичному, коли керування роботою ГРС відбувається відповідно до алгоритмів керування та захисту без участі експлуатаційного персоналу.

• Дистанційному, коли керування окремим обладнанням та вузлами виконується з АРМ оператора (АРМ змінного інженера), а за “безлюдної” технології з диспетчерським пунктом ЛВУМГ.

• Налагоджувальному, коли до САК ГРС має бути підключений інженерний пристрій типу “notebook” для забезпечення виконання пусконалагоджувальних та налагоджувальних робіт, при цьому автоматичне і дистанційне керування повинно бути заблоковано.

Система контролю фізичних та технологічних параметрів автоматики ГРС, у числі безпосередньо виконуваних функцій, здійснює контроль параметрів та керування основними та допоміжними технологічними вузлами:

а) вузол перемикання:

1) вимірювання тиску та температури газу біля (до або після) вхідного та (до або після) вихідного кранів ГРС;

2) дистанційний контроль положення вхідного та вихідного кранів, та забезпечення можливості керування цими кранами;

3) контроль тиску щодо початку утворення перетоку газу через байпасну лінію;

б) вузол редукування:

1) вимірювання тиску та температури газу перед вузлом редукування;

2) контроль перепаду тиску газу на фільтрі газу кожної нитки редукування;

3) вимірювання тиску газу після першого по ходу газу регулятора тиску кожної нитки редукування;

4) за можливості керування вхідними кранами першої та другої ниток редукування передбачена їхня автоматизація;

в) опалювальний котел (у разі його наявності на об'єкті):

1) контроль температури теплоносія після опалювального котла;

2) керування відсічним клапаном подачі паливного газу на котел. Оповіщення персоналу про відхилення технологічних параметрів від норми здійснюється за допомогою світлозвукового оповіщувача, а також за допомогою

блока дистанційного негайного голосового оповіщення не менше трьох абонентів за заданим алгоритмом.

Система контролю загазованості призначається для:

• постійного контролю рівня концентрації природного газу (за метаном);

• сигналізації оператору та диспетчеру ЛВУ про небезпечний рівень вмісту природного газу в повітрі згаданих вище приміщень ГРС (перший концентраційний поріг). Відповідно до нормативних документів, цей поріг становить для метану 10 % від нижньої концентраційної межі розповсюдження полум'я (НКПР), або 0,5 % об'ємних;

• відсікання паливного газу від опалювального котла у разі досягнення вмісту природного або чадного газу в опалювальній котельні ГРС рівня другого концентраційного порогу. Цей поріг становить для метану 20 % від нижньої концентраційної межі розповсюдження полум'я (НКПР), або 1,0 % об'ємних.

Система контролю загазованості базується на сучасних сигналізаторах типу "Дозор-С". Сигналізатор являє собою стаціонарний прилад, який складається з вимірювальних перетворювачів (давачів) та блока живлення і сигналізації. Інформація з сигналізатора "Дозор-С" до шафи автоматики надходить за цифровим інтерфейсом RS-485.

Давачі ІП-CnHm призначені для визначення в повітрі приміщень концентрації метану або суміші горючих газів та парів. Блок живлення і сигналізації призначений для дистанційної сигналізації досягнення порогів загазованості в приміщеннях та формування електричних сигналів ("сухий контакт") для керування зовнішньою сигнальною арматурою та відсічними клапанами. Інформація з сигналізатора "Дозор-С" до шафи автоматики надходить за цифровим інтерфейсом RS-485. Комутація дискретних сигналів керування оповіщувачами здійснюється у блоці живлення і сигналізації. Комутація дискретного сигналу керування відсічним клапаном подачі паливного газу на опалювальний котел здійснюється у шафі автоматики.

Джерелом електроживлення засобів автоматики на ГРС є загальна мережа електропостачання цієї ГРС, яка за надійністю відповідає третій категорії

споживачів. З огляду на це, система контролю фізичних та технологічних параметрів ГРС має у своєму складі систему безперебійного електрозабезпечення, що підвищить надійність роботи автоматики в умовах живлення ГРС від одного зовнішнього вводу. В якості резервного джерела живлення система використовує акумуляторні батареї. Перехід системи контролю фізичних та технологічних параметрів ГРС на резервне електроживлення і назад здійснюється автоматично з індикацією відповідного режиму роботи.

Система контролю присутності на об’єкті ГРС призначена для визначення походження (свій/чужий) особи з виводом світлозвукової сигналізації в разі несанкціонованого відкриття дверей операторної, проникнення до операторної ГРС, а також збору, обробки та збереження візуальної інформації подій на майданчику ГРС. Система здійснює сповіщення диспетчера ЛВУ, оператора ГРС, а також включає місцеву світлозвукову сигналізацію. Система складається з сповіщувача руху, контролера ключів в комплекті зі зчитувачем, обладнання відеоконтролю. Сповіщувач призначений для контролю пересування в операторній.

Пожежна сигналізація.

Комплекс технічних засобів, відповідно до типових проектних рішень щодо пожежної сигналізації, складається з таких систем:

- система протипожежного контролю стану об’єкта;
- система видачі тривожних сповіщень (про пожежу, аварію);
- система оповіщення персоналу об’єкта.

Система протипожежного контролю забезпечує цілодобове виконання функцій контролю стану об’єкта. Система протипожежного контролю здійснює контроль протипожежного стану у таких приміщеннях:

а) вузол перемикання; б) вузол редукування;

в) приміщення з опалювальним котлом (при його наявності на об'єкті);

г) операторна.

Система видачі тривожних сповіщень від приладу приймально-контрольного пожежного, призначається для сигналізації на майданчику ГРС, а також оператору та диспетчеру ЛВУ про:

- сигнал "пожежа";

- сигнал "аварія" обладнання.

Сигнали оповіщення додатково надходять від приладу приймально-контрольного пожежного до системи контролю фізичних та технологічних параметрів автоматики ГРС (шафа автоматики).

Контролер системи має двадцять аналогових вхідних сигналів, двадцять чотири дискретних вхідних сигналів, двадцять дискретних вихідних сигналів, два інтерфейси RS-232\RS-485, а також один інтерфейс – Ethernet.

Структурна схема зв’язку контролера з приладами показана на рис. 2.2.

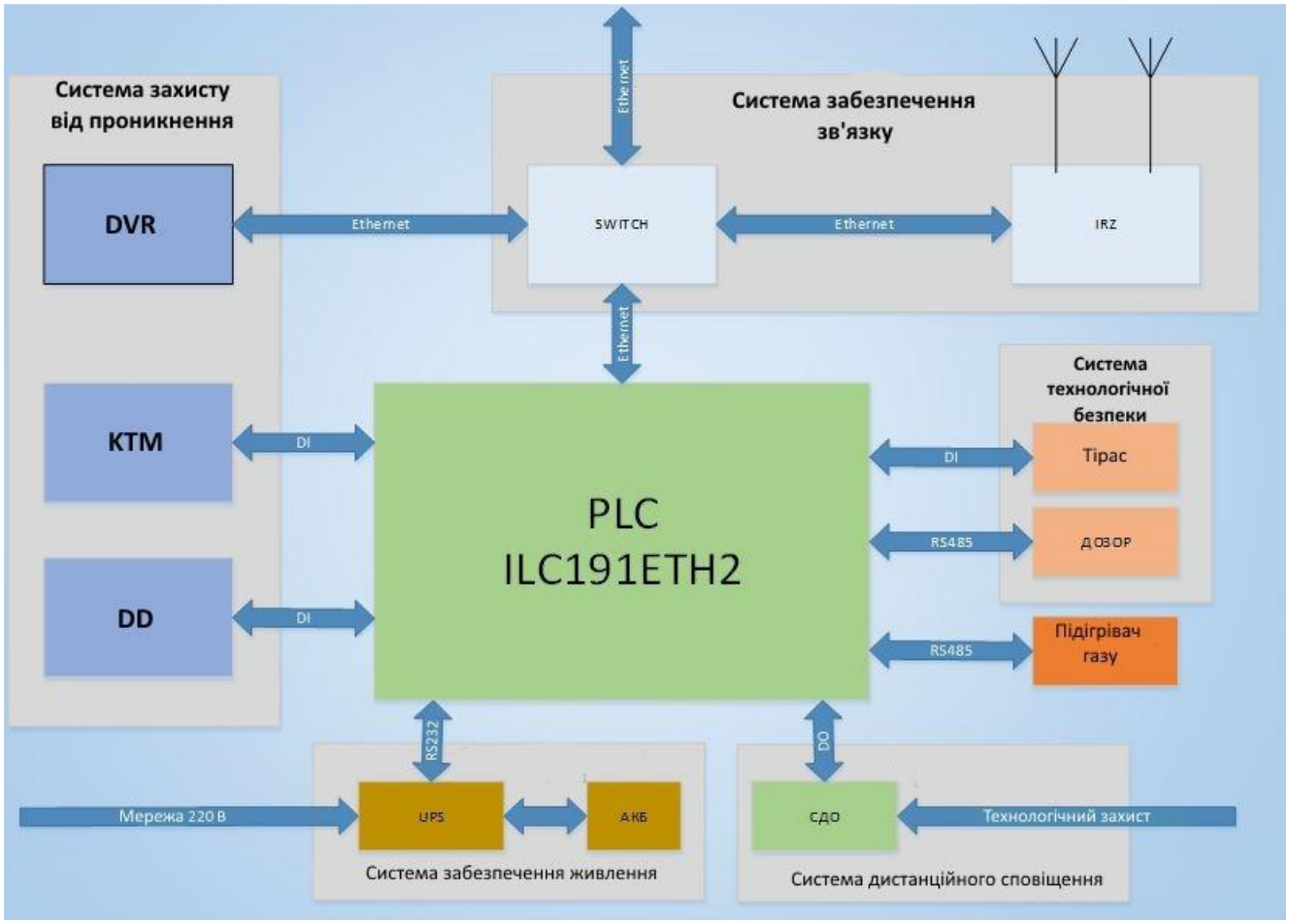

Рис. 2.2. Структурна схема зв’язку контролера з приладами

Система автоматичного керування виконує такі основні функції:

• аварійна сигналізація у разі несанкціонованого змінення стану обладнання, несанкціонованого доступу до обладнання, зникнення основного електроживлення тощо;

• передачу аварійної інформації оператору ГРС, диспетчеру ЛВУМГ, начальнику служби ЛВУМГ за заданим алгоритмом;

• обмін інформацією з ДП ЛВУМГ;

• дистанційне керування з ДП ЛВУМГ;

• захист від несанкціонованого втручання;

• самодіагностування з глибиною діагностування до блоків і модулів з видаванням результатів на відповідні індикатори у формі службової телеінформації на ДП ЛВУМГ;

• резервування каналів передачі даних між ДП ЛВУМГ та АСКФТП.

Інформаційні функції АСК:

• збирання інформації від локальних САК та допоміжних систем;

• автоматичне ведення протоколу подій ТП;

• реєстрацію відхилень параметрів від норми;

• автоматичне передавання на вищий рівень інформації про функціонування обладнання ГРС та перебіг ТП;

• приймання сигналів керування з рівня ДП ЛВУМГ;

• формування і видача попереджувальних та аварійних сигналів, входження параметрів у норму, ознак квітування, несанкціонованого доступу, дій оператора (змінного інженера) тощо;

• приймання аварійних сигналів від локальних САК та допоміжних систем, формування і видавання аварійних сигналів та повідомлень на ДП ЛВУ МГ;

• зберігання інформації про аварійні ситуації в ПЛК та в базі даних;

• формування архівів даних (аварійний, архів подій, архів команд, архів параметрів - оперативний та довготривалий). Термін зберігання добового архіву подій - не менше ніж один місяць, аварійного - не менш ніж один рік, оновлення архівів має виконуватися автоматично.

2.4. Постановка задачі

2.4.1. Вибір об’єкта керування та визначення його структурної схеми

У процесі редукування газу критично забезпечити підтримання вихідного тиску на заданому рівні, оскільки його перевищення може спричинити аварійні ситуації. Тому для автоматичного регулювання технологічного процесу обирають тиск газу за клапаном як контрольований параметр.

Виконавчий пристрій у системі керування виконує безпосереднє реалізаційне впливання регулятора на об’єкт управління через механічне переміщення регулюючого елемента. Дія виконавчого пристрою повинна змінювати параметри процесу в напрямку, що забезпечує досягнення мети регулювання – стабілізації контрольованої величини.

Об’єктом регулювання є ділянка трубопроводу довжиною 1 метр між точкою вимірювання тиску та регулюючим органом.

Структурна схема об’єкта керування наведена на рис. 2.3.

Рис 2.3. Структурна схема об’єкта керування

Основним вхідним параметром для системи керування є:

• положення регулюючого клапана.

Основним вихідним параметром для системи є:

• вихідний тиск в трубопроводі (на відстані 1 метр від запірного механізму).

2.4.2. Визначення цілей управління та встановлення технічних вимог до проектованої системи керування

Великі високотехнологічні підприємсва потребують великої кількості газу з точним значенням тиску. Також у разі потреби або нештатної ситуації необхідно швидко змінити значення тиску або перекрити подачу газу. Тому для таких підприємств необхідно спроектувати газорозподільні станції з сучасною системою автоматичного керування, яка дозволить ефективно керувати станом обладнання. Як редуктор газу Метою керування редуктором газу є стабілізація тиску на виході з трубопроводу і підтримання тиску на заданому рівні. Також метою керування є дистанційне керування редуктором газу, моніторинг стану клапана.

Основними функціями, виконуваних САК, повинні бути функції:

1. Автоматичне регулювання вихідного тиску газу в трубопроводі.
2. Дистанційне керування.

Висновок до розділу 2

В цьому розділі проаналізовано існуючі системи автоматичного керування а такожсистему автоматичного керування, яка підлягає вдосконаленню. Вибрано регульовані величини і каналів регулюючих впливів. Вибрано об’єкт керування та визначено його структурну схему з одним входом і одним виходом. На вхід надходить значення положення клапана, а на виході маємо тиск газу. Сформовано мету керування. Вибрано регульовані величини і каналів регулюючих впливів.

РОЗДІЛ 3
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

3.1. Розрахунок параметрів об'єкта керування

Динаміка об'єкта управління W(p), виражена передавальною функцією буде:

$$W(p)=\frac{Q_k(p)}{Q(p)}=\frac{1}{T\cdot p+1}\cdot e^{-\tau_0 p}, \tag{3.1}$$

де $Q_k(p)$ – об'ємна витрата газу після клапана;

$Q(p)=15000 м^3/год$ – об'ємна витрата газу, яка вимірюється;

T - постійна часу;

τ_0 – запізнення.

Значення постійної часу буде рівним:

$$T=\frac{2\cdot L\cdot f\cdot c^2}{Q}, \tag{3.2}$$

де f – площа січення труби;

L – довжина ділянки трубопроводу між точкою вимірювання і точкою регулювання.

Запізнення розраховуємо за наступною формулою:

$$\tau_0=\frac{L\cdot f}{Q}, \tag{3.3}$$

$$c=\frac{Q}{f}\sqrt{\frac{\gamma}{2\cdot\Delta p\cdot q}}, \tag{3.4}$$

де γ=0,72 кг/м^3 – густина природного газу;

Δp=0,0125 кгс/см^2 – перепад тиску на трубопроводі.

Площа січення труби:

$$f=\frac{\pi\cdot d^2}{4}, \tag{3.5}$$

Обчислимо необхідні параметри:

Об'ємна витрата газу^

$$Q = \frac{15000}{3600} = 4.167 \frac{м^3}{c} \tag{3.6}$$

Площа січення труби:

$$f = \frac{3.14 \cdot 0.1^2}{4} = 7.85 \cdot 10^{-3} \tag{3.7}$$

$$c = \frac{4.167}{7.85 \cdot 10^{-3}} \sqrt{\frac{0.72}{2 \cdot 0.012510^5 \cdot 9.8}} = 2.877 \tag{3.8}$$

Постійна часу:

$$T = \frac{2 \cdot 1 \cdot 7.85 \cdot 10^{-3} \cdot 2.877^2}{4.167} = 0.0031 \tag{3.9}$$

Запізнення:

$$\tau_0 = \frac{1 \cdot 7.85 \cdot 10^{-3}}{4.168} = 1.884 \cdot 10^{-3} \tag{3.10}$$

Підставивши коефіцієнти, отримаєм передавальну функцію:

$$W(p) = \frac{1}{0.0031 \cdot p + 1} \cdot e^{-0.0019 p}. \tag{3.11}$$

3.2. Отримання перехідної характеристики та динамічних характеристик об’єкта керування

Для отримання перехідної характеристики використаємо програмний пакет MATLAB SIMULINK. Задаючим впливом буде тиск 3 кгс/см^2. На рис. 3.2. показано перехідний процес.

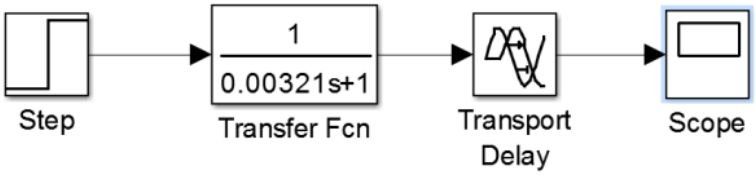

Рис. 3.1. Модель об'єкта керування в SIMULINK

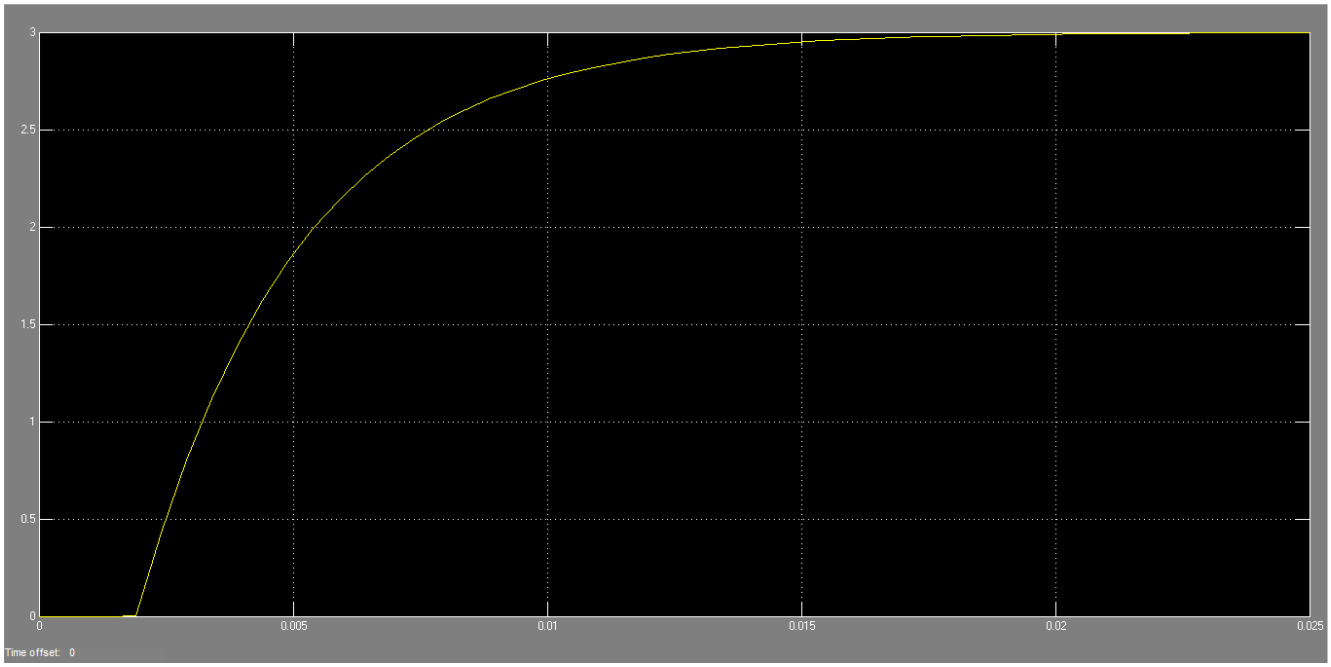

Рис. 3.2. Перехідний процес редукування газу

Визначимо частотні характеристики, використовуючи програмний пакет SIMULINK DESIGN OPTIMISATION. Програмний пакет лінеаризує створену модель, що дає можливість для дослідження частотних характеристик. Амплітудно- фазова частотна характеристика (діаграма Найквіста) показана на рис. 3.3.

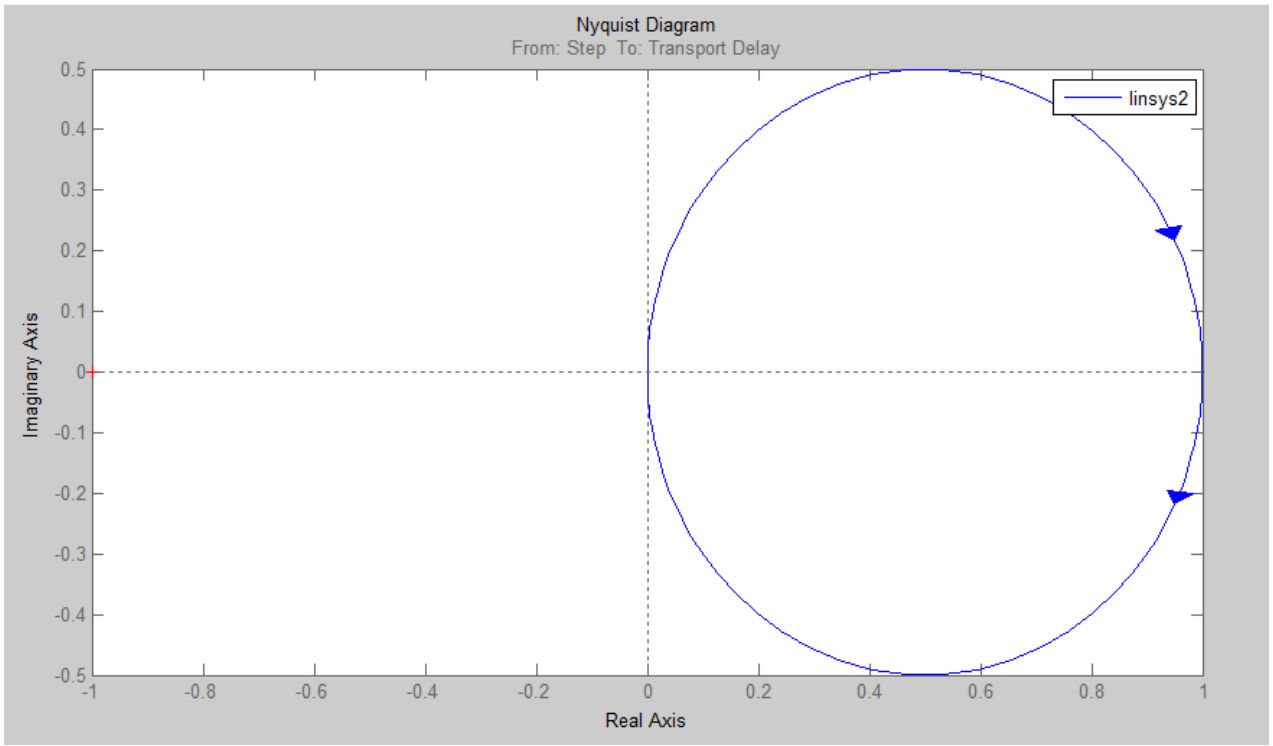

Рис. 3.3. Амплітудно- фазова частотна характеристика

Висновок до розділу 3

В цьому розділі розраховано параметри об’єкта керування і знайдено передавальну функцію (3.11). Змодельовано об’єкт керування в Simulink і подано на вхід сигнал. Отримано перехідну характеристику (рис.3.2.) і амплітудно-фазову частотну характеристику (рис.3.3.).

РОЗДІЛ 4
АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1. Розробка одноконтурної схеми АСК

4.1.1. Структурна схема АСК

Автоматична система керування буде реалізовуватись на основі одноконтурної схеми регулювання тиску газу з регулятором Структурна схема складається з наступних основних елементів: завдання, ПІД-регулятор, регулюючий орган, об'єкт управління (рис. 4.1.)

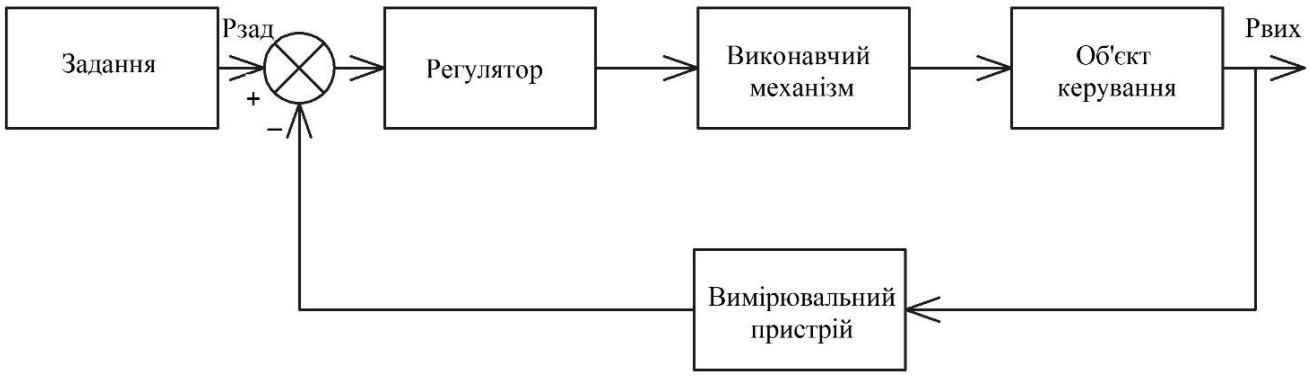

Рис. 4.1. Структурна схема АСК

4.1.2. Розробка виконавчого механізму

Виконавчим механізмом в системі є регулюючий клапан з електроприводом. Характеристика клапана є лінійною. У даній математичній моделі передбачається, що клапан реагує на різницю задавального значення тиску і поточного значення, перетвореного в напругу. При неузгодженості цих значень клапан негайно реагує на зміни і відкривається / закривається на деякий відсоток з метою компенсації помилки.

Необхідно перевести значення задавального значення тиску в відповідний струмовий сигнал:

$$I_з = \frac{3-0}{7-0} \cdot 16 + 4 = 10{,}857 мА, \quad (4.1)$$

Далі встановимо ланка, що відповідає за перетворення струму в відсоток відкриття. Для визначення цього коефіцієнта необхідно розрахувати, скільки відсотків припадає на 1 В помилки регулювання з діапазону від -5 В до 5 В.

$$K_{кл} = \frac{100}{10} = 10 \frac{\%}{В} \quad (4.2)$$

Далі, за умови, що клапани мають лінійну характеристику перетворення відсотка відкриття в витрата, розрахуємо коефіцієнт посилення в залежності від максимальної пропускної здатності кожного клапана. Згідно процесу, регулюючий клапан забезпечує значення вихідного тиску $P_{вих}$ = 12кгс/см^2.

Таким чином, на кожен відсоток відкриття клапана буде відповідати таке значення тиску:

$$K_н = \frac{12}{100} = 0{,}12 \frac{кгс}{см^2} \quad (4.3)$$

Коефіцієнт передачі давача тиску буде рівним 0,999.

4.2. Дослідження перехідної характеристики АСК без регулятора

Схема АСР в пакеті Simulink показана на рис.4.2.

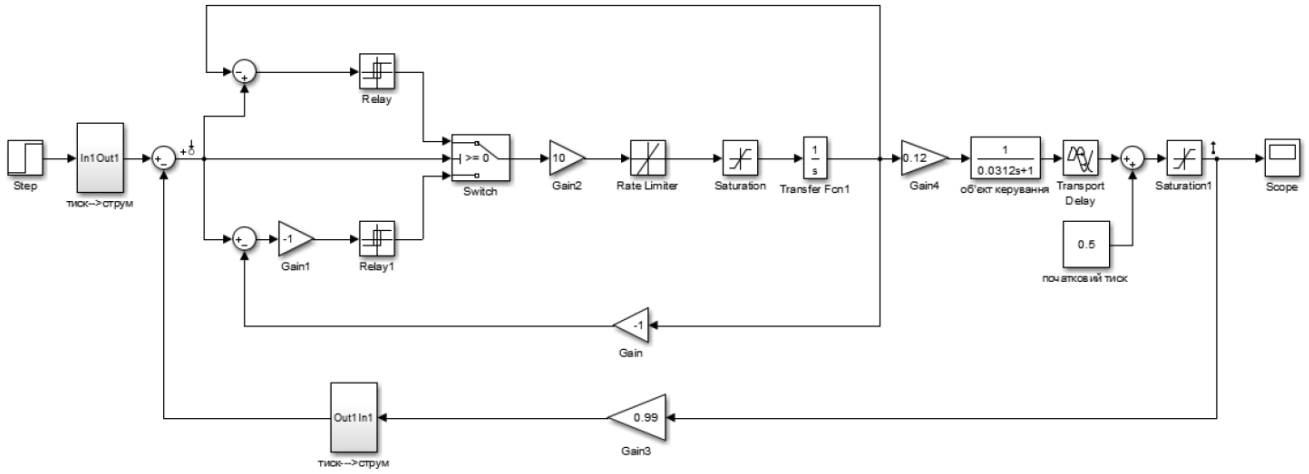

Рис. 4.2. Модель нелінійної одноконтурної АСК

Перехідна характеристика замкнутої системи без регулятора приведена на рис. 4.3.

Рис. 4.3. Перехідна характеристика замкнутої АСК без регулятора

Як видно по перехідній характеристиці, в системі спостерігаються незгасаючі гармонійні коливання. Перерегулювання становить 48%. Для усунення автоколивань доцільно використання ПІД – регулятора.

4.3. Дослідження перехідної характеристики АСР з регулятором

Передавальна функція ПІД-регулятора з фільтром має вигляд:

$$W_{рег}(p) = K_p + K_i \frac{1}{p} + K_d \frac{N}{1 + N\frac{1}{p}} \qquad (4.4)$$

Значення параметрів налаштування регулятора визначаються на ЕОМ за допомогою пакету розширення Matlab Simulink Design Optimization. Пакет наділений функціями, інтерактивними інструментами і блоками для аналізування і налаштування параметрів моделі у часовій і частотних областях.

Модель системи з ПІД - регулятором приведена на рис. 5.6. Графік перехідної характеристики представлений на рис. 4.7.

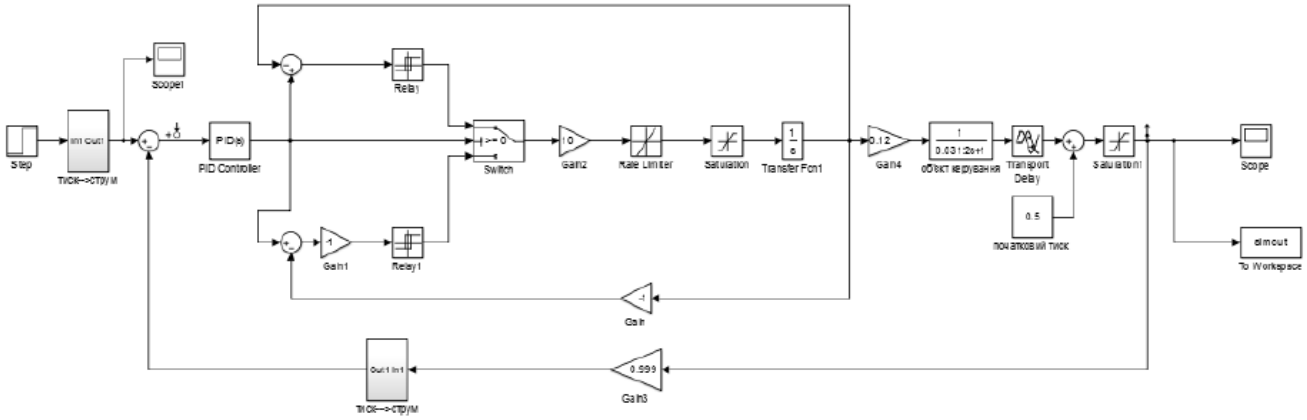

Рис 4.4. Модель системи з ПІД – регулятором

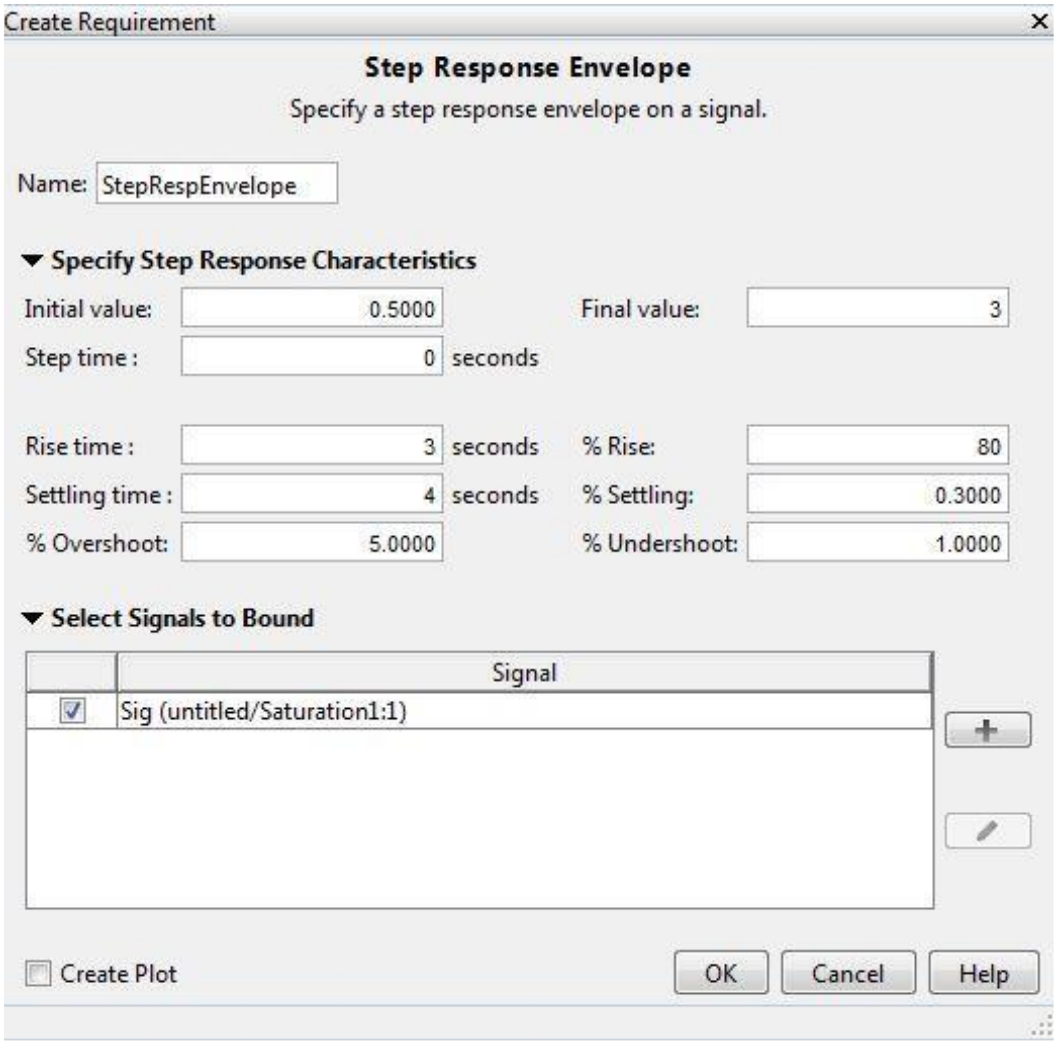

Рис. 4.5. Бажані значення прямих показників якості

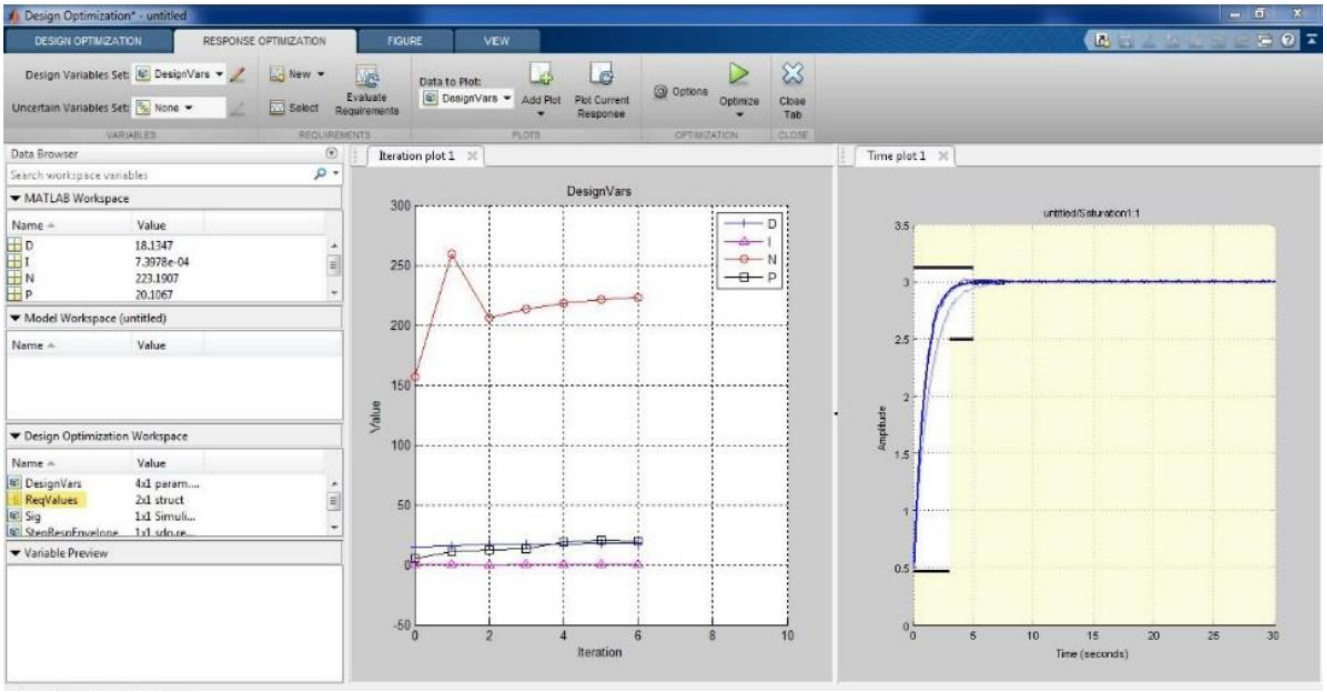

Рис. 4.6. Оптимізація каскадної АСК

Отримали наступні значення коефіцієнтів регулятора:

Kp = 20,1067;

Ki=7,3978e-4;

Kd=18,1347;

N=223,1907.

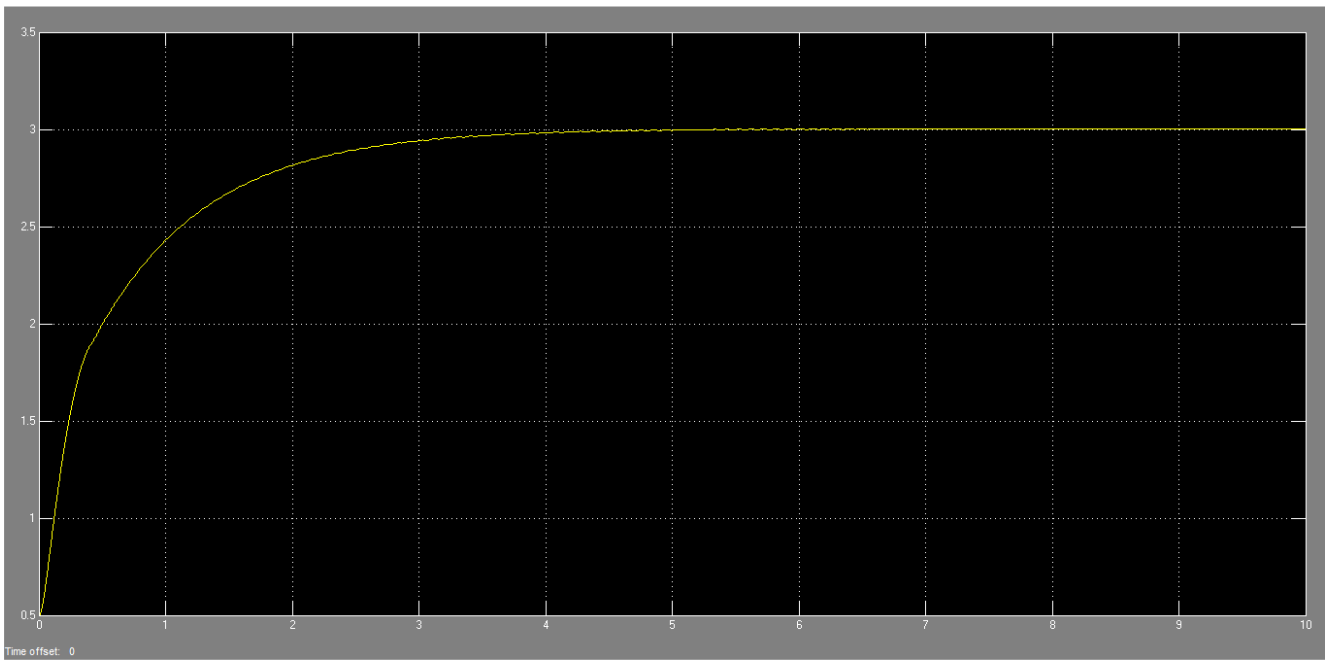

Рис. 4.7. Перехідна характеристика замкнутої АСК з регулятором

Як видно по перехідній характеристиці, в системі спостерігаються незначні гармонійні коливання і перерегулювання. Перерегулювання становить 0,1%. Час перехідного процесу становить 3,6с.

Дослідимо АСК на задання різних значень задаючого впливу в часовому проміжку 30 секунд (рис. 4.8).

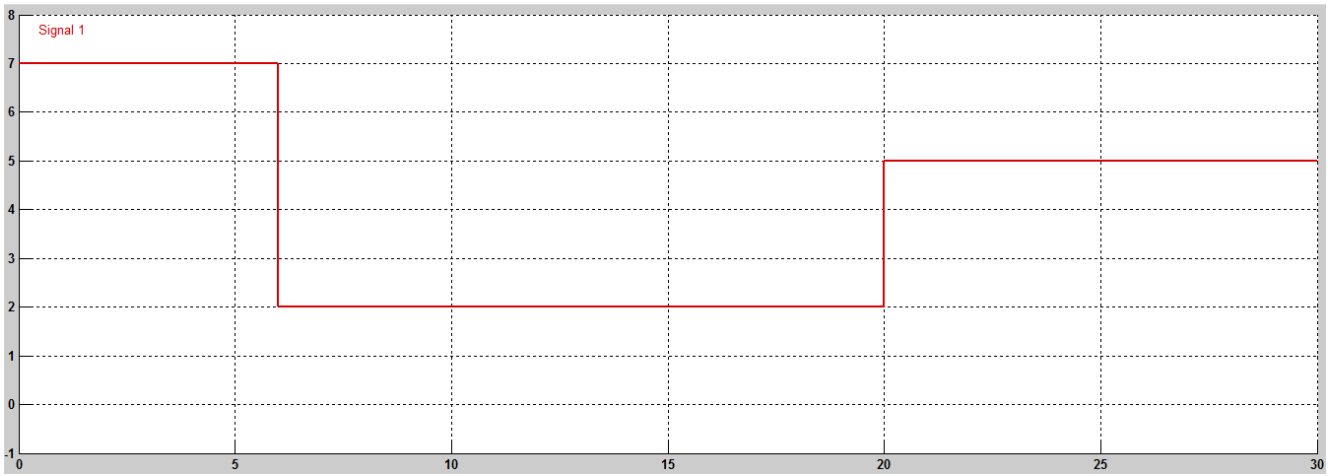

Рис.4.7 Зміна задаючого впливу (тиск)

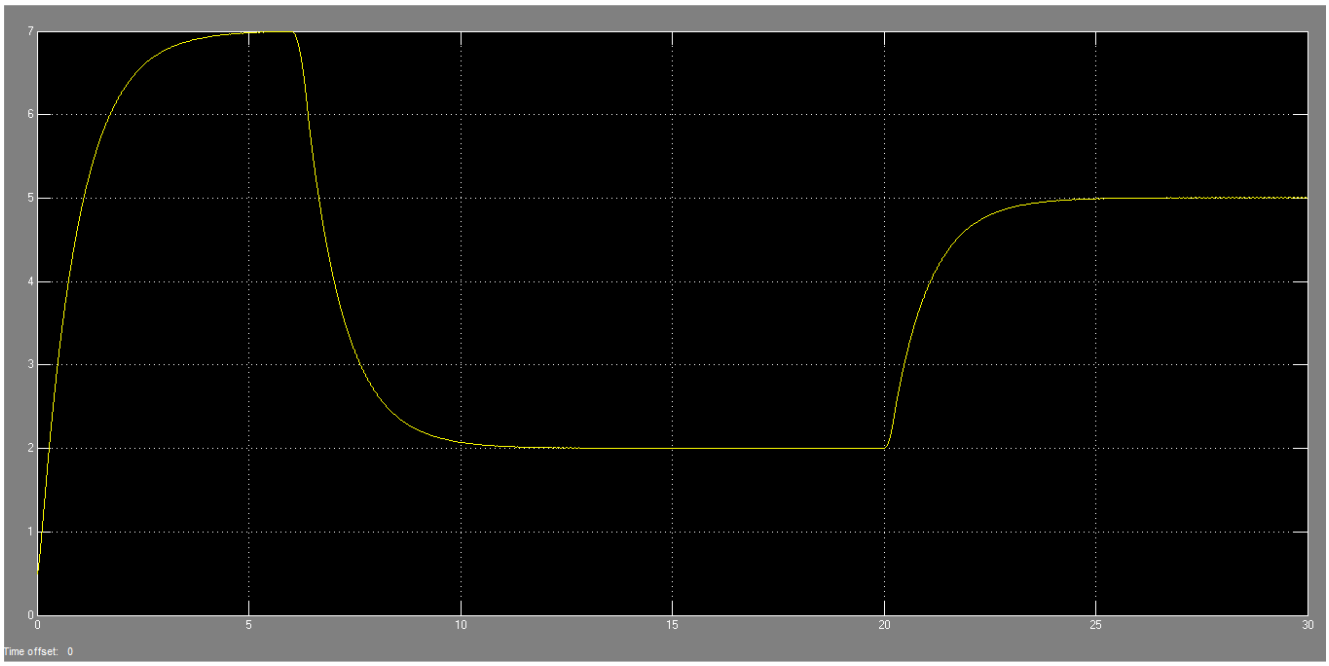

Рис. 4.8. Перехідна характеристика АСК з різними задаючими впливами

На перехідній характеристиці спостерігаютьсяn незначні гармонійні коливання і перерегулювання.

При заданні тиску 7 кгс/см^2 перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу становить 4,1с.

При заданні тиску з 7 кгс/см^2 до 2 кгс/см^2 перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу становить 5,4с.

При заданні тиску з 2 кгс/см^2 до 5 кгс/см^2 перерегулювання відсутнє, час перехідного процесу становить 3,8с.

Розглянемо ситуацію стрибкоподібного збурення, наприклад, при різкому збільшенні тиску на виході на 1 кгс / см^2. Це можливо при короткочасному закритті вихідного крана. Перехідна характеристика приведена на рис. 4.9.

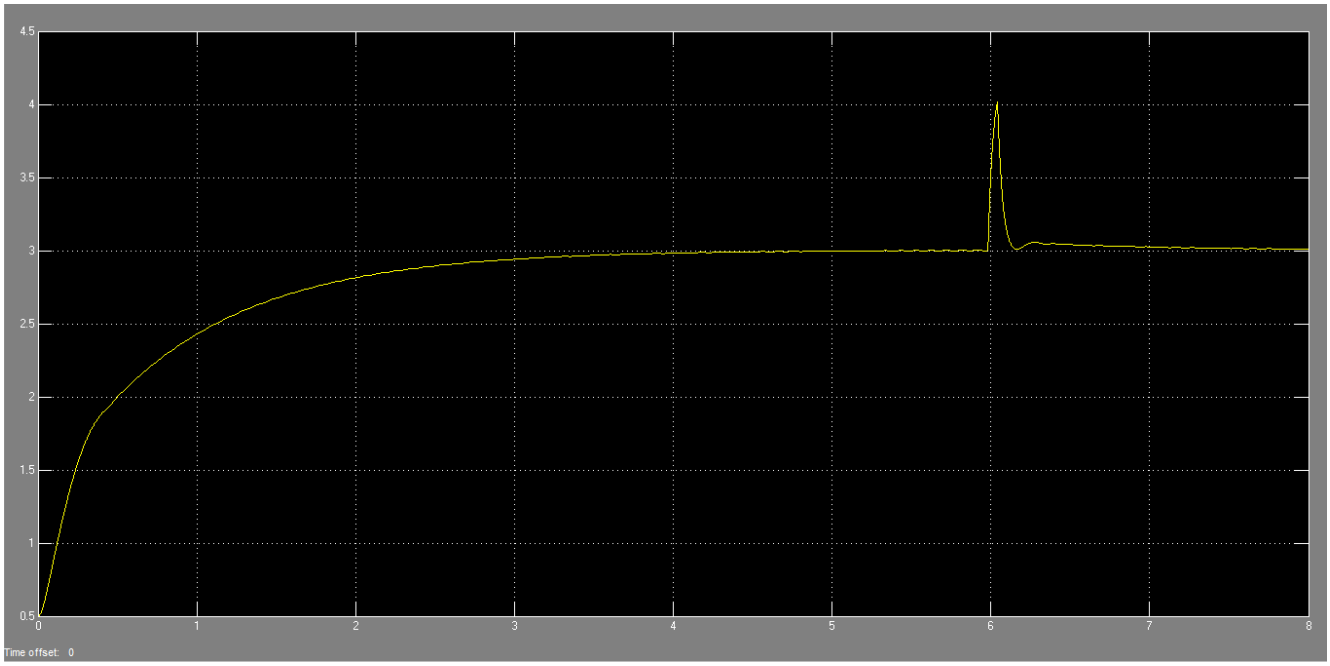

Рис. 4.9. Перехідна характеристика АСК при збуренні

Збурення виникло на шостій секунді процесу, і було повністю скомпенсовано за 1,2 секунди.

Висновок до розділу 4

В розробленій АСК реалізована одноконтурна нелінійна система регулювання тиску на виході з клапана. В результаті моделювання в програмному пакеті MatLab, проаналізовано перехідну характеристику без регулятора і з

регулятором. Вибрано ПІД- регулятор з наступними значеннями коефіцієнтів: Kp = 20,1067; Ki=7,3978e-4; Kd=18,1347; N=223,1907. Якість регулювання з ПІД-регулятором досить висока. Перерегулювання рівне 0.1% і час перехідного процесу 3,6с.

РОЗДІЛ 5
РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА АСК

5.1. Розрахунок параметрів і вибір регулятора тиску газу

Для точного регулювання тиску газу і дистанційного керування вибиремо регулятор тиску газу фірми HONEYWELL серія RMG

Одним з найбільш важливих параметрів для вибору регулятора тиску RMG є витратний коефіцієнт K_G .

Значення K_G визначається згідно стандартів DIN EN 334 I DIN EN. Значення K_G є рівним нормальній витраті з повністю відкритим кінцевим контролюючим елементом і абсолютним вхідним тиском p_u = 0,2 МПа і абсолютним вихідним тиском p_d =0,1 МПа.

Діаграма, яка показана на рис 6.1 допоможе визначити необхідне значення витратного коефіцієнта з використанням даних параметрів: мінімальний вхідний тиск p_u в бар, p_d в бар, Q_b в $м^3$ /год.

Ця діаграма розроблена з використанням наступних рівностей:

Розрахунок витратного коефіцієнта KG до критичного співвідношення тиску:

$$\frac{p_d}{p_u} \geq 0{,}5 \qquad \text{або} \qquad \frac{\Delta p}{p_u} \leq 0{,}5 \tag{5.1}$$

$$K_G = \frac{Q_b}{\sqrt{p_d} \cdot (p_u - p_d)}, \frac{м^3}{бар \cdot год} \tag{5.2}$$

Розрахунок витратного коефіцієнта KG після критичного співвідношення тиску:

$$\frac{p_d}{p_u} \leq 0{,}5 \qquad \text{або} \qquad \frac{\Delta p}{p_u} \geq 0{,}5 \tag{5.3}$$

$$K_G = \frac{2 \cdot Q_b}{p_u}, \frac{м^3}{бар \cdot год} \tag{5.4}$$

Коефіцієнт пропускної здатності рівний наступній формулі:

$$K_V = \frac{K_G}{33{,}57}, \frac{м^3}{год} \qquad (5.5)$$

Показники для вибору витратного коефіцієнта і діаметра труби:

- Максимальний тиск на вході $p_{u\,max}$=7,5 МПа=75 бар.
- Мінімальний тиск на вході $p_{u\,min}$=1,2 МПа=12 бар.
- Максимальний вихідний тиск $p_{d\,max}$=1,2 МПа=12 бар.
- Мінімальний вихідний тиск $p_{d\,min}$=0,3 МПа=3 бар.
- Максимальна продуктивність : $Q_{b\,max}$ = 38 000 м^3/год.

Згідно діаграми яка показана на рис. 5.1 вибираємо витратний коефіцієнт (червона штрихова лінія на діаграмі):

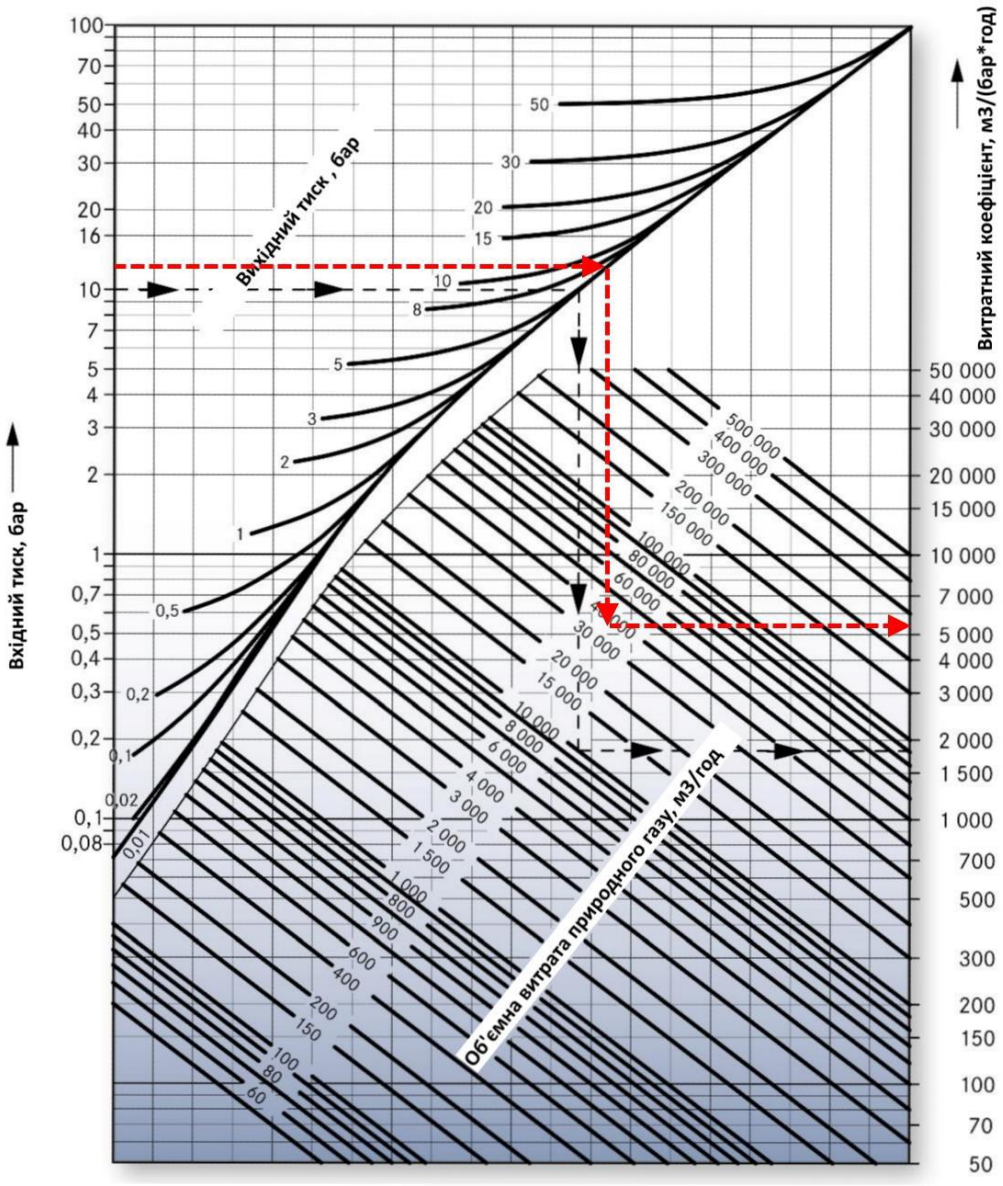

Рис. 5.1. Діаграма для визначення витратного коефіцієнта

Значення витратного коефіцієнта: K_G = 5500 м^3/(бар · год).

Значення коефіцієнта пропускної здатності:

$$K_V = K_G/33{,}57 = 5500/33{,}57 = 163{,}8 \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.5)$$

Згідно діаграми, яка показана на рис. 5.2. вибираємо діаметр труби на виході з регулюючого клапана (синя штрихова лінія на діаграмі).

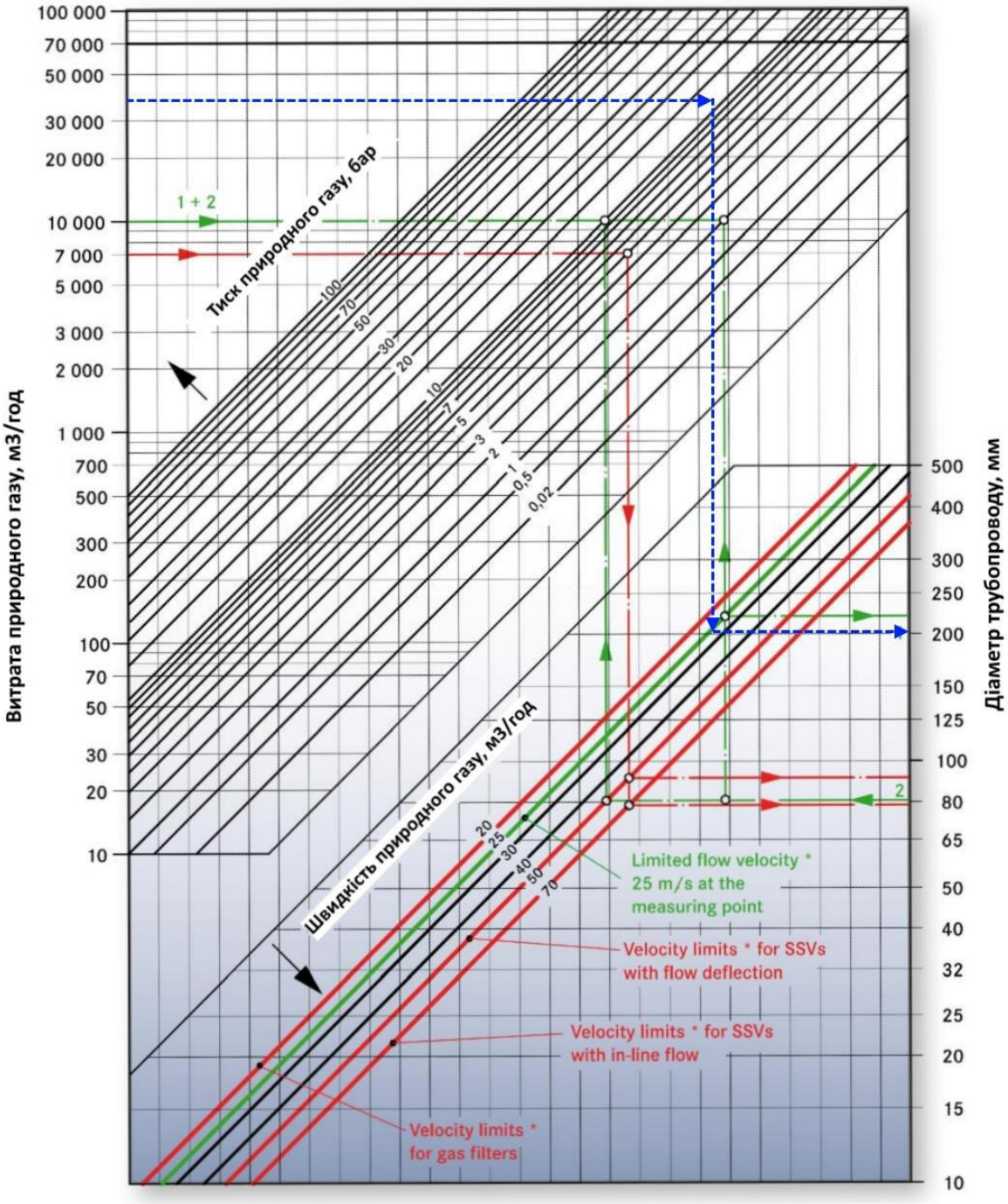

Рис. 5.2. Діаграма для визначення діаметра труби

Значення діаметра труби: D = 200 мм. За обчисленими параметрами обираємо регулюючий клапан HONEYWELL RMG (NON) 530-E.

5.2. Вибір технічних засобів автоматизації

1) Регулюючий клапан HONEYWELL RMG (NON) 530-E. Технічна характеристика клапана подана в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Технічна характеристика регулюючого клапана

Параметр	Характеристика
Основний клапан	
Найменування регулюючого клапана	HONEYWELL RMG (NON) 530-E
Призначення	для регулювання тиску або витрати газу
Розміри трубопроводу	DN 100/200
Діаметр сідла клапана	100 мм
Витратний коефіцієнт	8000 $м^3$/(бар·год)
Тип приводу	електропривід
Макс. вхідний тиск pu max	100 бар
Макс. допустимий тиск	PS 100 бар
Підключення	фланець DIN Py 16, Py 40
Особливості	- електронне керування - електрообладнання відповідає вимогам ATEX 95 (94/9/EC) (Обладнання і захисні системи для використання в вибухонебезпечних умовах)
Електропривід	
Живлення	230V, 50Hz або 400V, 50Hz
Потужність	0,5-1,5kW (залежить від модифікації)

Продовження таблиці 5.1

Параметр	Характеристика
Вибухобезпечне виконання	E Ex edib II CT4
Передача потужності	механічний редуктор
Електронний контроль	за допомогою частотного перетворювача
Індикатор положення клапана	Потенціометр 5kΩ або0/4 – 20 mA сигнал

2) Перетворювач частоти SIEMENS SINAMICS G120C. Технічна характеристика клапана подана в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Технічні характеристики перетворювача частоти

Параметр	Характеристика
Бренд	SIEMENS
Серія	SINAMICS G120C
Потужність	1,5 кВт
Число фаз/напруга на вході	3-ф/380
M_{max}(1 min),%	150
Струм номінальний	4,1 А
Струм протягом однієї хвилини	6,2 А
Вбудований регулятор	ПІД
Скалярний режим керування	наявний
Векторний режим керування без енкодера	наявний
Векторний режим керування з енкодером	Наявний
Степінь захисту	IP20/UL відкритого типу

Продовження таблиці 5.2

Параметр	Характеристика
Клас захисту згідно EN 61800-5-1	III (PELV1)
Захист від дотику згідно EN 61800-5-1	Клас I (з ланкою захисту)
Вологість повітря, макс.	95% при 40˚C(104˚F), утворення конденсату і обледеніння не допускаються
Температура навколишнього середовища	0…40 ˚C без погіршення характеристик >40…60 ˚C з погіршенням характеристик
Цифрові входи: - рівень переключення 0→1 - рівень переключення 1→0 - вхідний струм, макс.	- 6 входів з потенціальною розв'язкою ; - оптична ізоляція; - вільний опорний потенціал (власна група потенціалів) - вибір логіки NPN/PNP 11 В 5 В 15мА
Цифрові виходи	- 1 релейний перемикаючий контакт - DC 30 В, 0,5 А (омічне навантаження) - 1 транзистор - DC 30 В, 0,5 А (омічне навантаження)
Аналогові входи	- 1 аналоговий вхід - диференціальний вхід - можливість переключення через DIP- перемикач між напругою (-10…+10В) і струмом (0/4…20мА) - 10-біт дозвіл

Продовження таблиці 5.2

Параметр	Характеристика
Аналогові входи	- може використовуватися як допоміжний цифровий вхід
Аналогові виходи	- 1 аналоговий вихід - можливість перемикання через параметр між напругою (0…10 В) і струмом (0/4…20мА) - режим напруги: 10 В, мін. навантаження 10kΩ; - режим струму: 20 mA, макс. навантаження 500 Ω; Аналогові входи мають захист від короткого замикання;
PTC/KTY- інтерфейс	1 вхід давача температури двигуна;
Протоколи	RS485, USS, Modbus RTU, PROFIBUS DP PROFIdrive Profi V4.1, CANopen
Пристрої керування	Базова панель оператора BOP-2 або інтелектуальна панель оператора IOP
PC-інтерфейс	USB

5.3. Наявні технічні засоби автоматизації на ГРС Енергія

На ГРС «Енергія» експлуатуються наступні технічні засоби автоматизації:

1) Давач перепаду тиску Сапфір М 5450.

Призначений для неперервного вимірювання перепаду тиску газу на фільтрах блока редукування. Технічна характеристика подана в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Технічна характеристика давача перепаду тиску

Параметр	Характеристика
Модифікація	5450
Клас захисту	“вибухонебезпечна оболонка” IExsdllBT5
Кліматичне виконання	Від -30 до +50 ˚С
Степінь захисту від дії води і пилу	IP 66
Межі вимірювань перепаду тиску	Від 20 кПа до 630 кПа
Основна похибка вимірювання	0,25 %
Максимально- допустимий перепад тиску	12 МПа
Діапазон переналаштувань меж вимірювання	До 20:1
Вихідний сигнал	4-20 мА при живленні 15…42 V DC

2) Інтелектуальний перетворювач надлишкового тиску ST 3000.

На даній ГРС Енергія використовуються дві модифікації STD 930 і STG 974. Всі датчики ST 3000 можуть видавати вихідний сигнал в аналоговій формі 4 20 мА, цифровий вихід розширеного цифрового (DE) протоколу фірми Honeywell, вихід HART або вихід FOUNDATIONTM Fieldbus. При цифрової інтеграції з Process Knowledge SystemTM, EXPERION PKSTM, датчики ST 3000 забезпечують більш точне вимірювання змінних процесу поряд з розширеною діагностикою. Конструкція з вбудованим подвійним ущільненням забезпечує максимальну безпеку в відповідно до стандартів ANSI / NFPA 70-202 і ANSI / ISA 12.27.0.

Як і інші датчики фірми Honeywell, ST 3000 забезпечує двосторонню зв'язок між оператором і датчиком за допомогою інтелектуального комунікатора SFC. Ви можете підключити SFC в будь-якій точці системи, де є доступ до ліній сигналів датчика. Засоби конфігурації SCT 3000 Smartline® Configuration Toolkit надають просту процедуру для конфігурації приладів з використанням персонального комп'ютера. Набір засобів забезпечує конфігурація пристрою до поставки або

установки. SCT 3000 може працювати в автономному режимі і забезпечити конфігурація необмеженого числа пристроїв. Потім база даних може бути завантажена в датчик під час випробувань. Основні технічні характеристики подані в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Технічні характеристики перетворювача надлишкового тиску

Параметр	Характеристика	
	STG 74L	STG 77L
Максимальний робочий тиск, МПа	3,5	21
Температура навколишнього середовища,˚С	Від -40 до +85	
Температура середовища, яке виміряється, ˚С	Від -40 до +125	
Вологість навколишнього середовища, %	Від 0 до 100	
Базова точність, %	0,0650	
Діапазон перестройки	100:1	
Напруга живлення,V DC	10,8…42,4	
Опір навантаження, Ом	0…1440	
Аналоговий вихід	Двохпровідний, 4-20 мА	
Обмін даними	Протокол Honeywell DE (Digital Enhanced) Протокол HART® (версия 7.0) Протокол FOUNDATION™ Fieldbus	
Вплив напруги живлення	0,005% діапазону на 1 В	
Час відклику	Аналоговий вихід DE/HART: 100мс	

Продовження таблиці 5.4

Параметр	Характеристика	
	STG 74L	STG 77L
Вплив вібрації	Менше ніж ±0,1% верхньої межі вимірювання без згладжування/демпфування. На ділянці трубопроводі згідно стандарту IEC60770-1, рівень високих вібрацій (10-2000 Hz: амплітуда коливань 0,21/макс.прискорення 3g)	
Вплив вібрації	IEC 61326-3-1	
Грозозахист	Струм минання: макс.10мкА при 42,4 В пост.струму 93С	

3) Давач температури ТЭРА ТСП 1-43-Pt100-B-3 Основні технічні характеристики наведені в таблиці 5.5

Таблиця 5.5

Давач температури ТЭРА ТСП 1-43-Pt100-B-3

Параметр	Характеристика
Тип чутливого елемента	Pt100
Діапазон температури, ˚С	-50…+180
Клас допуску	В
Схема з'єднання чутливого елемента	трьохпровідна
Вибухозахист	1ExdllCT622T1X
Максимальний тиск, МПа	6,3

4) Електроконтактні манометри ДМ2005Сг1Ех 0…16 кг/см^2 і 0…100кг/см^2. Технічна характеристика манометрів наведена в таблиці 6.6.

Таблиця 5.6

Технічна характеристика електроконтактних манометрів ДМ2005Сг1Ех 0…16 кг/см² і 0…100кг/см²

Параметр	Характеристика
Клас точності	1,5
Діапазон уставок пристроїв, %	5 …. 95
Напруга, V DC	24
Розривна потужність контактів і значення комутуючого струму для сигналізуючого пристрою, Вт	10
Межа допустимої основної похибки спрацювання сигналізуючого пристрою, %	±2,5
Температура навколишнього середовища , ˚С	-50 …. +60
Вологість повітря	До 100% при температурі 25 ˚С
Захист від води, пилу	IP40
Вибухозахист	1ExdIIBT4

5) Контролер ILC 191 ETH 2TX – 2700976.

Модульний компактний контролер ILC 191 ETH 2TX – 2700976 для системи вводу-виводу Inline являється центральною ланкою Easy Automation. Зовнішній вигляд контролера показаний на рисунку 5.3.

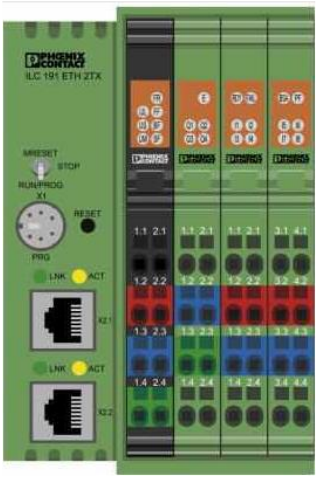

Рис. 5.3. Контролер ILC 191 ETH 2TX – 2700976

Технічні характеристики контролера наведені в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

Технічні характеристики контролера ILC 191 ETH 2TX – 2700976

Параметр	Характеристика
Прямі входи/виходи	
Найменування, вхід	Цифрові входи
Тип під'єднання	Розповсюджувач потенціалів
Описання входу	EN 61131-2 тип 1 n-p-n/p-n-p
Найменування, вихід	Цифрові виходи
Кількість виходів	4
Спосіб під'єднання	2-, 3-, 4- провідний
Максимальний вихідний струм на 1 канал	500мА
Без аналогового входу	Так
Без аналогового виходу	Так
Показник	Характеристика
Без виходу імпульса/напруги	Так
Без входу лічильника	Так
Живлення	
Електроживлення	24 В DC
Споживаний струм, макс.	870мА (370 мА, живлення логічної схеми +500мА, живлення аналогової схеми)
Споживаний струм, типовий	210мА
Діапазон напруги живлення	19,2 В DC…30 В DC
Остаточна пульсація	±5%
Розсіювана потужність	Макс. 5 Вт
Функція польової шини	

Продовження таблиці 5.7

Параметр	Характеристика
Кількість процесних даних	Макс. 4096 біт (INTERBUS) Макс.32768 біт (внутрішній клієнт Modbus/TSP)
Кількість підтримуваних кінцевих пристроїв	Макс.128
Кількість кінцевих пристроїв, які підключаються до локальної шини	Макс.63
Кількість кінцевих пристроїв з каналом параметрів	Макс.24
Кількість підтримуваних розгалужуючих клем з відводом для ввіддаленої шини	Макс.3
Виконавча система, відповідно МЭК-61131	
Програмний інструмент	PC WORX/ PC WORX EXPRESS
Показник	Характеристика
Пам’ять для прогам	1Мбайт (Команди 86К (IL))
Пам’ять для даних	1 Мбайт
Пам’ять для постійного зберігання даних	48 кбайт (NVRAM)
Кількість задач керування	8
В реальному часі	так
Загальні характеристики	
Процесор	Altera Nlos II 64 МГц
Система керування	
Діагностичний інструмент	DIAG+
Програмний інструмент	PC WORX / PC WORX EXPRESS
Конфігураційний інструмент	Config v.1.01

Продовження таблиці 5.7

Параметр	Характеристика
Інтерфейси передачі даних	
Тип підключення	Розподільник Inline
Інтерфейс	Наявна локальна шина INTERBUS – Master
Інтерфейс	Задання параметрів / обслуговування / діагностика
Швидкість передачі даних	500 kBaud / 2MBaud (змінний)

5.4. Проектування загальної ФСА

На основі вибраних технічних засобів автоматизації проектуємо загальну ФСА автоматизованої системи керування ГРС Енергія, яка входить в склад проекту при розробці технічної документації на всіх стадіях проектування. Креслення розроблені відповідно до ДСТУ Б А.2.4-3:2009 СПДБ ФСА подана в Додатку Е.

5.5. Розробка загального виду щита

Щити та пульти автоматизаційних систем повинні відповідати стандартам ОСТ 36.13-76, ОСТ 36.ЕД1-13-79 та рекомендаціям РМ3-82-83. Вони призначені для монтажу у закритих приміщеннях за умов температури навколишнього середовища від −30 до +50 °С, відносної вологості до 80 % та відсутності вібрацій, агресивних газів, парів і електропровідного пилу.

У разі встановлення на щиті або пульті приладів чи апаратури, розрахованих на менший температурний або вологісний діапазон, умови експлуатації щита або пульта повинні визначатися технічними характеристиками та вимогами до даного обладнання.

Керівний документ РМ3-82-83 призначений для використання проектними організаціями як методичний посібник при розробці проектної документації на

щити та пульти автоматизації.

Щити слід застосовувати виключно в автоматизованих системах технологічних процесів у межах області використання, визначеної стандартами ОСТ 36.13-76 та ОСТ 36.ЕД1-13-79. Використання щитів у випадках, не передбачених цими стандартами, допускається лише після погодження проектною організацією безпосередньо з виробником обладнання.

З урахуванням конструктивних особливостей щитів та ступеня захисту від дотику до струмопровідних частин відповідно до ТОСТ 14254-96 рекомендовано застосовувати такі типи конструкцій:

1. Шафи-щити одиночні, дво- та трисекційні з задніми дверима, а також компактні щити зі ступенем захисту JP30 – у виробничих приміщеннях та щитових (операторських і диспетчерських) приміщеннях у технічно обґрунтованих випадках, наприклад, при необхідності розміщення апаратури з відкритими струмопровідними частинами (живильні щити, шафи затискачів тощо).

2. Панельні щити всіх типорозмірів з каркасом та допоміжні елементи до них (ступінь захисту JPOO) – у диспетчерських і операторських приміщеннях.

3. Шафи-щити з передніми та задніми дверима (ступінь захисту JP30) – для релейних та інших допоміжних щитів із двостороннім обслуговуванням.

4. Штативи всіх типорозмірів (ступінь захисту JPOO) – як конструкції для розміщення допоміжної апаратури в апаратних залах за щитами у операторських та диспетчерських приміщеннях.

Розміри приладів і апаратури, встановлених на фронтальних панелях, а також відстані між ними визначаються відповідно до РТМ25-91-72 «Рекомендовані відстані між приладами на фасадах щитів і пультів». У контексті щитів і пультів за стандартами ОСТ 36.13-76 та ОСТ 36.ЕД1.13-79 термін «край панелі» слід трактувати як лінію, що обмежує монтажну зону.

Загальний вид щита поданий в Додатку Є.

5.6. Розробка схеми електричних з’єднань щита

Схеми з’єднань відображають електричні взаємозв’язки між складовими елементами пристроїв електроприводу, визначаючи проводи, кабельні джгути, шини та кабелі, за допомогою яких здійснюються ці з’єднання, а також точки їх приєднання та введення (затискачі, роз’єми тощо).

Схеми підключень демонструють зовнішні комутації між окремими елементами електроприводу або між ними та пристроями й елементами, розташованими на промисловій установці, вказуючи проводи, джгути та кабелі, що забезпечують ці підключення. Такі схеми використовуються для організації електричних підключень під час виготовлення електроприводної установки та її подальшої експлуатації.

Схеми розташування електроприводів відтворюють розміщення обладнання в контурі технологічної установки без суворого дотримання масштабу. На таких схемах відображаються електричні машини, перетворювачі, трансформатори, окремо встановлені резистори та реактори, вимикачі, панелі, шафи та пульти керування, задатчики і датчики положення та інших параметрів, командоконтролери, а також різноманітні пристрої сигналізації, індикації та інші електричні елементи, розташовані як на технологічній установці, так і поза нею.

У Додатку Ж наведена схема електричних підключень приладів блока редукування ГРС до шафного щита.

Висновок до розділу 5

В цьому розділі було обчислено параметри, необхідні для вибору регулятора тиску газу, вибрано регулятор тиску HONEYWELL RMG(NON)530E, спроектовано функціональну схему автоматизації, схему електричних з’єднань та схему загального виду щита. Підібрано технічні засоби автоматизації і зроблено аналіз існуючих.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В магістерській роботі проведений аналіз процесу редукування газу на ГРС «Енергія». Встановлено , що основним параметром процесу є тиск газу на виході з ГРС. Для стабілізації тиску газу на вузлі редукування синтезовано нелінійну систему стабілізації тиску із застосуванням нового редукційного клапана з електродвигунним приводом. Проведено імітаційне моделювання АСР та виконаний аналіз системи на стійкість та якість роботи при типових збурюючих чинниках на об'єкті. Впровадження сучасних технічних засобів автоматизації веде до ефективності і точності регулювання. Також розроблені наступні креслення: функціональна схема автоматизації, схема електричних з'єднань проводок, схема щита шафового.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Семенцов, Г. Н. Теорія автоматичного управління (нелінійні та дискретні системи) [Текст]: навч. посіб. / Г. Н. Семенцов, І. І. Чигур. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. – 96 с.

2. Експлуатація і технічне обслуговування газорозподільних станцій магістральних газопроводів: довідник / Валентин Миколайович Коломєєв, Василь Васильович Розгонюк, Михайло Андрійович Григіль, О.О. Болокан, Ю.М. Герасименко; За заг. ред. Анатолій Андрійович Руднік. – Київ: Росток, 2003 . – 575 с.

3. Семенцов, Г. Н. Теорія автоматичного керування [Текст] : підручник / Г. Н. Семенцов. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 1999. – 610 с.

4. Горбійчук, М. І. Теорія автоматичного керування. Лінійні системи. [Текст]: конспект лекцій / М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2024. – 159 с.

5. Горбійчук, М. І. Математичні методи оптимізації [Текст]: навч. посіб. / М. І. Горбійчук. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2018. – 302 с.

6. ДСТУ Б А.2.4-16:2008 «Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів автоматизації в схемах».

7. ДСТУ Б А.2.4-3 "Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів".

8. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник.- 2-ге вид.,перероб. і доп.- К.:Либідь,2007.-656 с.

9. Зайцев Г.Ф. та ін. Теорія автоматичного управління / Г.Ф.Зайцев, В.К.Стеклов, О.І.Бріцький; За ред.проф.Г.Ф.Зайцева.- К: Техніка, 2002. -688с.

10. Негрич, В. В. Термодинаміка і теплові процеси зварювання [Текст]: конспект лекцій / В. В. Негрич, Л. І. Гаєва, Я. М. Дем’янчук. – Івано- Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. – 64 с.

11. Середюк, М. Д. Проектування та експлуатація систем газопостачання населених пунктів [Текст]: навч. посіб. / М. Д. Середюк, В. Я. Малик, В. Т. Болонний. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2003. – 436 с.

12. Дранчук М.М. Проектування систем автоматизації технологічних процесів в НГП / М.М. Дранчук; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нфти і газу. - Івано-Франківськ: Факел, 2005.-448с.

13. Гаєва Л.І. Електронний конспект лекцій з дисципліни виробничі процеси і обладнання об’єктів автоматизації / Л.І. Гаєва.-Івано-Франківськ, 2011. – 89 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

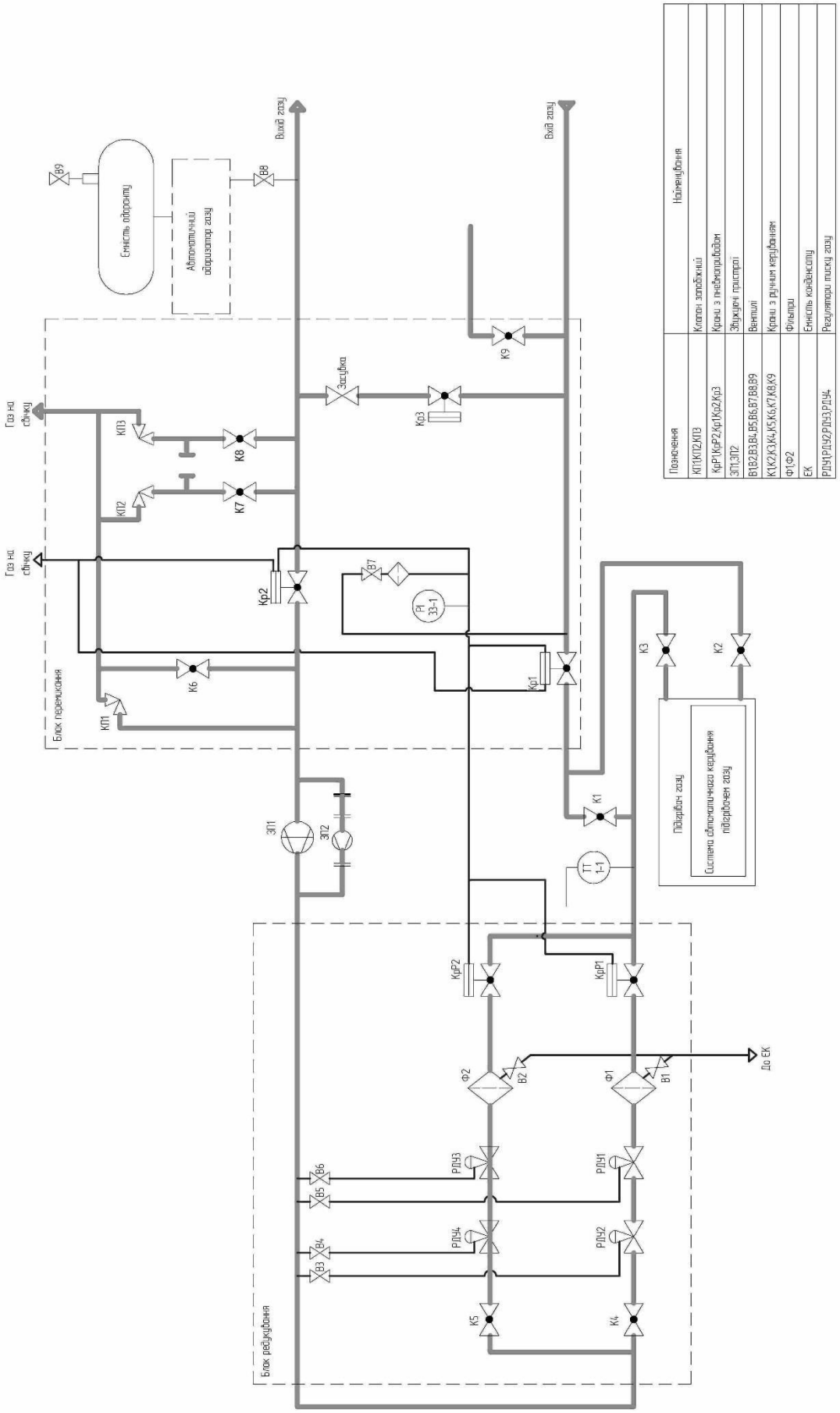

Рис. В. Схема технологічного процесу

Рис. 1. Структурна схема об'єкта керування

$$W(p) == \frac{1}{0{,}0031 \cdot p + 1} \cdot e^{-0{,}0019 \cdot p}$$

Рис.2. Передавальна функція об'єкта керування

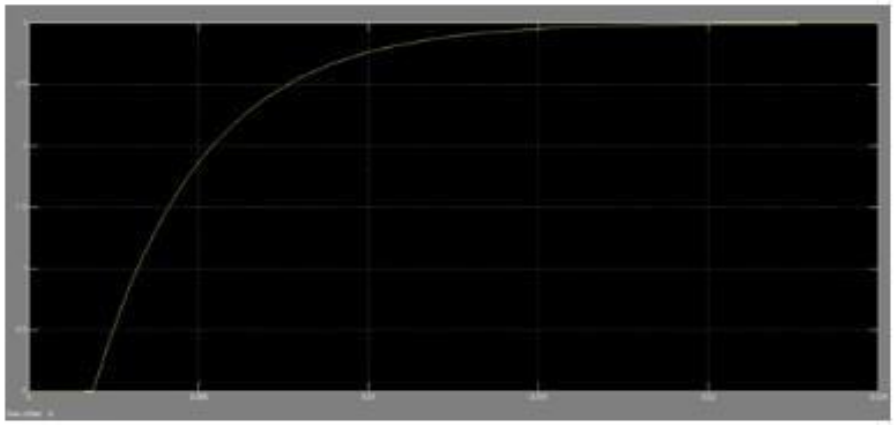

Рис. 3. Перехідна характеристика

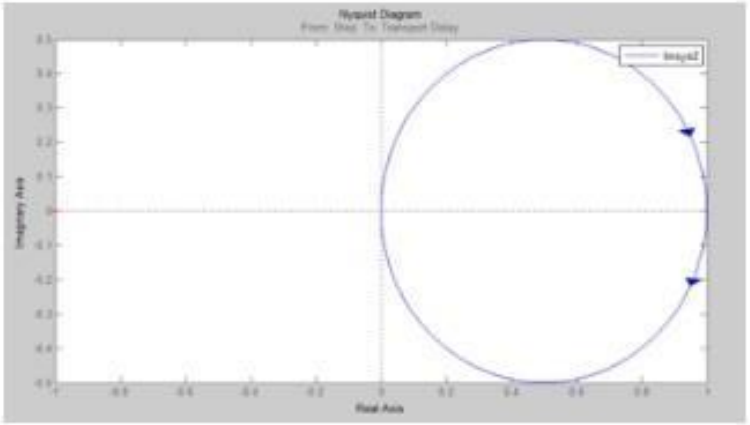

Рис. 4. Амплітудно-фазова частотна характеристика

Рис. Г. Динамічні характеристики об'єкта керування

Рис. 1. Структурна схема АСК

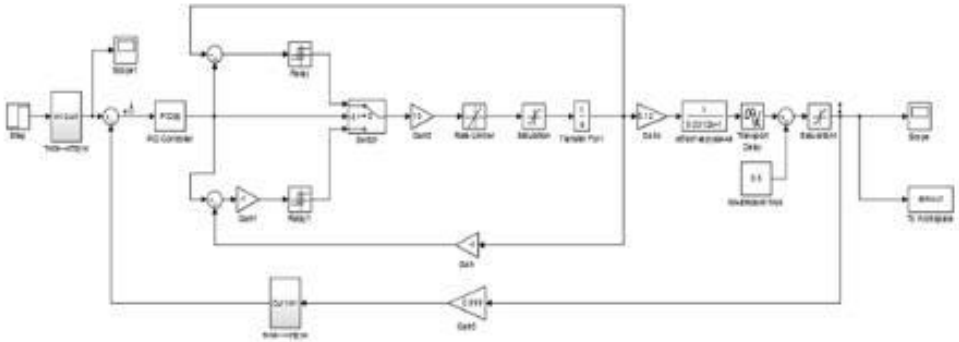

Рис.2 - Змодельована АСК в Simulink

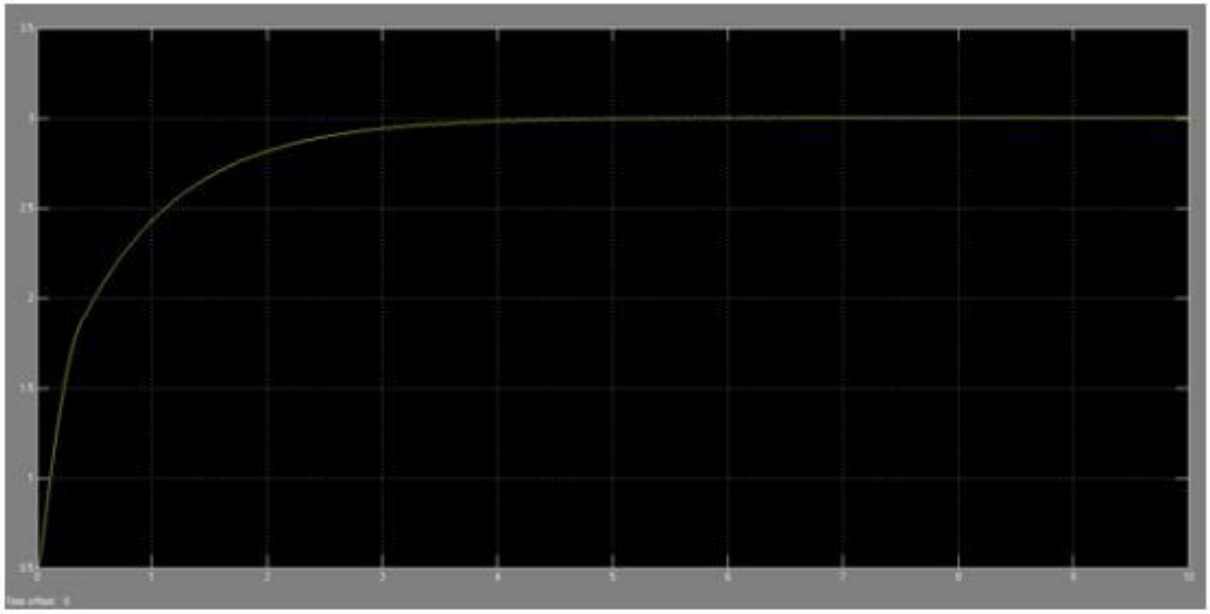

Рис. 3. Перехідна характеристика АСК

Рис. Д. Аналіз АСК

Додаток Е

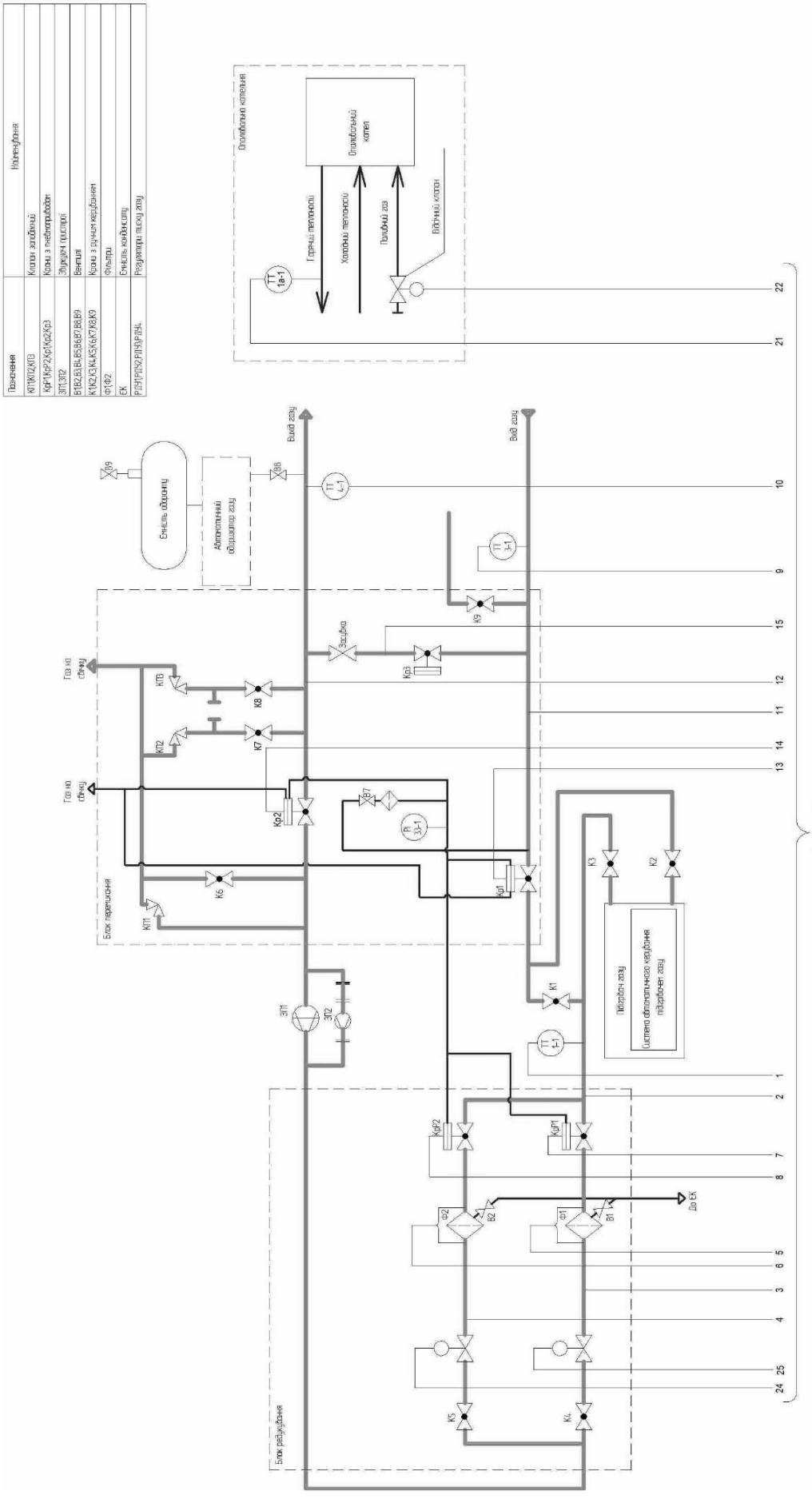

Рис. Е. - Аркуш 1-Функціональна схема автоматизації

Продовження додатку Е

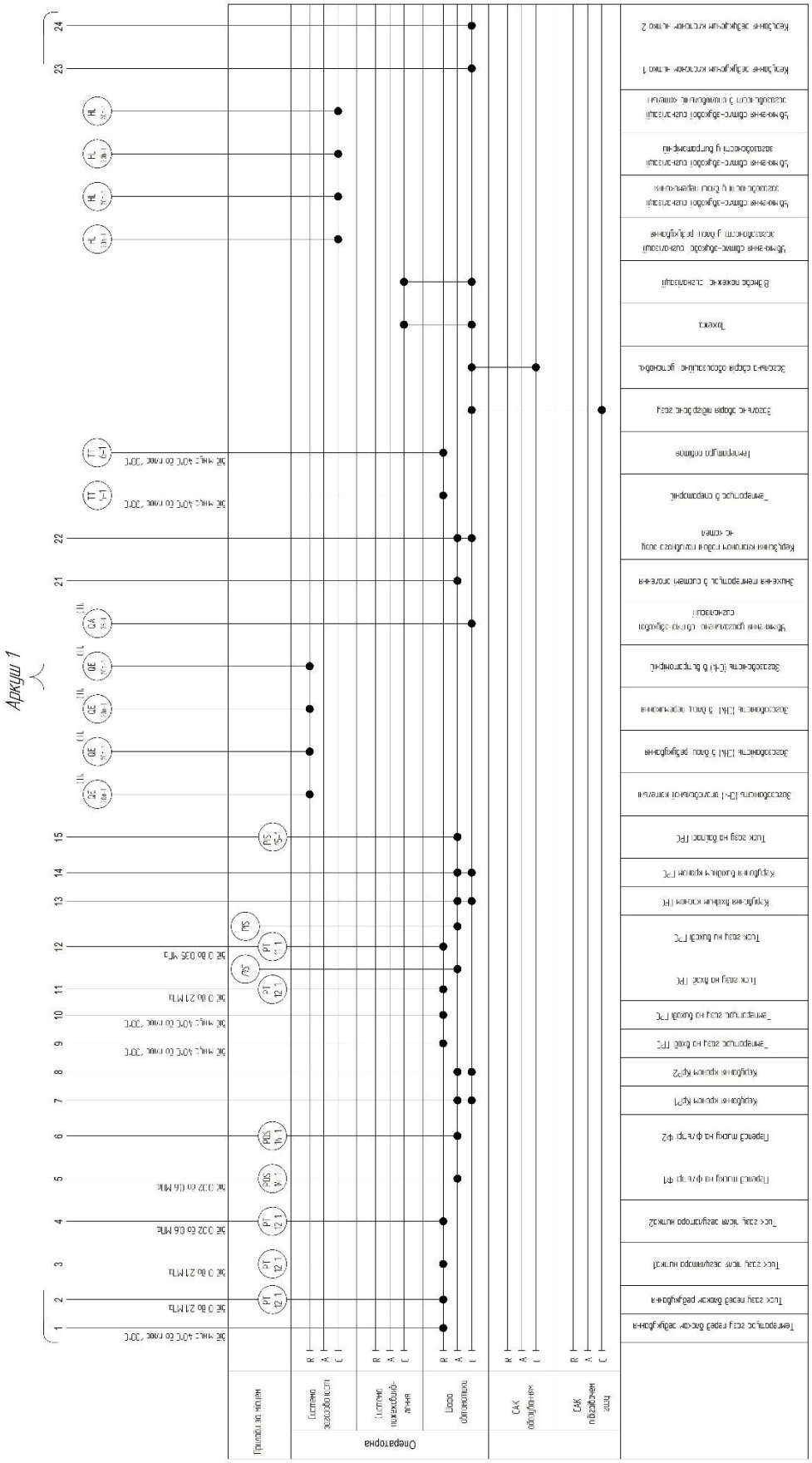

Рис. Е. - Аркуш 2 - Функціональна схема автоматизації

Додаток Є

№	Найменування
1	Шафа автоматики
2	Контролер
3	Шафа автоматики
4	Система передачі даних в диспетчерський пункт
5	Клемні коробки
6	Електромагнітні реле
7	Система контролю присутності на об'єкті
8	Система дистанційного оповіщення
9	Блок безперебійного живлення
10	Ручка

Рис. Є. Щит шафовий

Додаток Ж

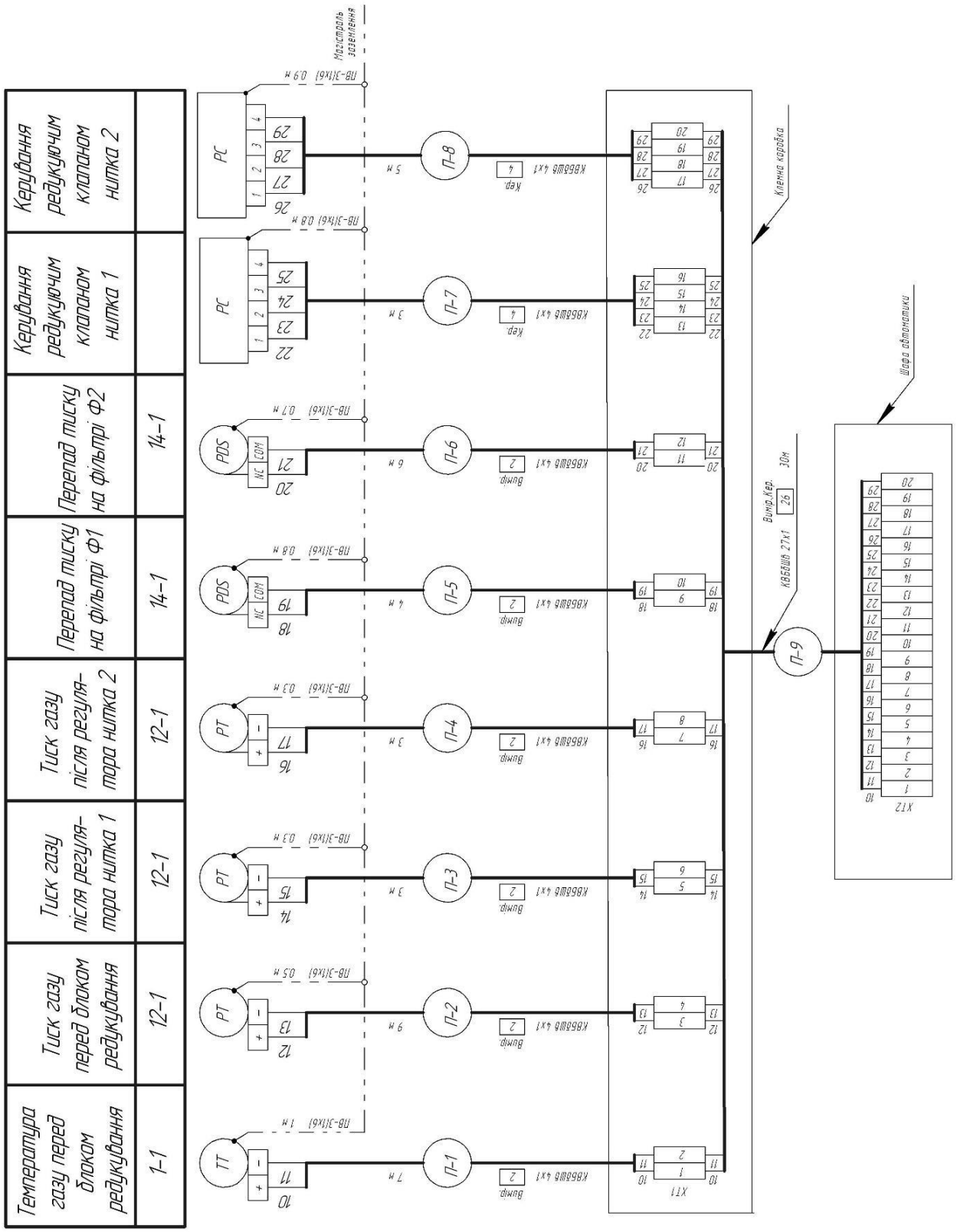

Рис. Ж. Схема електричних з'єднань