

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

АКПМ - 32.00.00.000 ПЗ

гр. АКПМ-24-2

Роман АНДРЕЦУЛЯК

2025 рік

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

Андрецуляк Роман Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.5

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розроблення автоматизованої система керування абсорбційним осушенням

(назва роботи)

газу з використанням елементів нечіткої логіки

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та роботехніка

(шифр і назва спеціальності)

Консультант з нормоконтролю

асистент

(посада)

Л.І. Лагойда

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКПм-24-2

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

Р.В. Андрецуляк

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доц., к.т.н.

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

В.С. Борин

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доц., к.т.н.

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Рецензент-опонент

доц., к.т.н.

(посада)

(підпис)

(дата)

Л.І. Фешанич

(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 магістерський

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

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКТ

(А.І. Лагойда)

«___» _____ 20__ року

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

Андрецуляку Роману Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої система керування
абсорбційним осушенням газу з використанням елементів нечіткої логіки

керівник роботи доцент,к.т.н. Борин Василь Степанович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» листопада 2025 року № 699/7

2. Строк подання студентом роботи 08 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи Літературні джерела, матеріали переддипломної
практики, технологічний регламент

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Аналіз технологічного процесу абсорбційного осушення природного газу. 2. Побудова і аналіз математичної моделі технологічного процесу абсорбційної осушки природного газу. 3. Побудова нечіткого регулятора. 4. Технічна реалізація системи автоматизованого управління процесом абсорбційного осушення газу. Загальні висновки. Список використаних джерел

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 01 березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ	15.03 2025	
2.	Аналіз технологічного процесу абсорбційного осушення природного газу.	01.04 2025	
3.	Побудова і аналіз математичної моделі технологічного процесу абсорбційної осушки природного газу	15.06.2025	
4.	Побудова нечіткого регулятора	30.10.2025	
5	Технічна реалізація системи автоматизованого управління процесом абсорбційного осушення газу	30.11.2025	

Студент _____
(підпис)

Андрецуляк Р.В. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Борин В.С. _____
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У роботі представлено результати розроблення автоматизованої системи керування процесом абсорбційного осушення природного газу з використанням елементів нечіткої логіки. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення надійності та енергоефективності технологічних процесів підготовки природного газу в умовах зростання вимог до його якості та стабільності параметрів. Процес абсорбційного осушення характеризується високою динамічністю, нелінійністю та значним рівнем технологічної та інформаційної невизначеності, що обмежує можливості традиційних методів автоматичного регулювання.

Виконано аналіз основних режимів функціонування установки осушення газу та визначено ключові фактори, що впливають на якість очищення. На основі апарату нечітких множин синтезовано математичні моделі об'єкта, які дозволяють урахувати лінгвістично описані знання оператора та неповноту вимірювальної інформації. Розроблений нечіткий контролер реалізовано в середовищі SCADA-системи, що забезпечило можливість інтеграції алгоритмів керування з реальними технологічними сигналами та реалізації адаптивного регулювання у широкому діапазоні зміни вологості газу.

Створено систему підтримки прийняття рішень, яка поєднує інтелектуальні методи аналізу даних, нечіткі правила керування та модулі прогнозування стану технологічного процесу. Проведено імітаційне моделювання роботи системи, яке підтвердило підвищення точності регулювання, стійкості до збурень та стабільності технологічних параметрів порівняно з класичними підходами.

Ключові слова: ДИЕТИЛЕНГЛІКОЛЬ, АБСОБЦІЯ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, НЕЧІТКА МОДЕЛЬ.

ANNOTATION

The paper presents the results of the development of an automated control system for the absorption drying process of natural gas using elements of fuzzy logic. The relevance of the study is due to the need to increase the reliability and energy efficiency of technological processes for the preparation of natural gas in the context of increasing requirements for its quality and stability of parameters. The absorption drying process is characterized by high dynamics, nonlinearity, and a significant level of technological and information uncertainty, which limits the capabilities of traditional automatic control methods.

The main operating modes of the gas drying unit were analyzed and key factors affecting the quality of cleaning were identified. Based on the fuzzy set apparatus, mathematical models of the object were synthesized, which allow taking into account the linguistically described knowledge of the operator and the incompleteness of the measurement information. The developed fuzzy controller was implemented in the SCADA system environment, which provided the possibility of integrating control algorithms with real technological signals and implementing adaptive regulation in a wide range of gas humidity changes.

A decision support system has been created that combines intelligent data analysis methods, fuzzy control rules, and process state prediction modules. Simulation modeling of the system operation was carried out, which confirmed the increase in control accuracy, resistance to disturbances, and stability of technological parameters compared to classical approaches.

Keywords: DIETHYLENE GLYCOL, ABSORPTION, SIMULATION MODEL, MATHEMATICAL MODEL, FUZZY MODEL.

ЗМІСТ

	ст.
ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ РЕЖИМІВ І ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АБСОРБЦІЙНОЇ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ	
1.1 Структура газотранспортної системи	14
1.2 Аналіз режимів функціонування технологічного процесу абсорбційної осушки природного газу	18
1.3 Системи автоматизованого управління технологічним процесом абсорбційної осушки газу	20
1.4 Аналіз методів нечіткого моделювання технологічних процесів та методів ідентифікації нечітких моделей	23
Висновки до розділу 1.....	30
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА І АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АБСОРБЦІЙНОЇ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ	
2.1 Математична модель об'єкта управління	31
2.2 Математичний опис динаміки тарілки абсорбера	32
2.3 Лінеаризована модель абсорберу ковпачкового типу	36
2.4 Висновки до розділу 2.....	39
РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА	
3.2 Розробка правил умовного логічного виводу	40
Висновки до розділу 3.....	50
РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ АБСОРБЦІЙНОЇ ОСУШКИ ГАЗУ	
	52

4.1 Технічні засоби нижнього і верхнього рівнів автоматизації	52
4.2 Програмування модулів аналогового входу-виходу	59
4.2 Розробка графічної частини програмного забезпечення	59
4.3 Розробка автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора	61
Висновки до розділу 4.....	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСК	автоматизована система керування;
АСР	автоматизована система регулювання;
АРМ	автоматизоване робоче місце;
ВК	вимірюваний канал
ДЕГ	диетиленгліколь;
ЕОМ	електронно-обчислювальна машина;
Є	ємність
КО	керований об'єкт;
ММ	математична модель;
Н	насос
НДЕГ	насичений диетиленгліколь
ДЕГ	диетиленгліколь
САК	система автоматичного керування;
ТЗА	технічні засоби автоматизації;
НЛ	нечітка логіка

ВСТУП

Актуальність теми. Україна володіє розвинутою та стратегічно важливою системою магістральних експортних газопроводів, через яку протягом тривалого часу здійснюється транзит природного газу з Російської Федерації до країн Центральної та Західної Європи. Забезпечення високої надійності функціонування газотранспортної системи (ГТС), а також підвищення її конкурентоздатності на європейському енергетичному ринку зумовлюють необхідність масштабної модернізації інфраструктури. Відповідно, реалізуються програми реконструкції компресорних станцій, оновлення лінійної частини трубопроводів та спорудження нових газотранспортних магістралей.

Одним із ключових технологічних елементів забезпечення якості транзитного природного газу є процес його осушки. Відхилення параметрів вологості від встановлених міжнародних стандартів (зокрема EN 12327 та ISO 6976) спричиняє застосування штрафних санкцій до оператора ГТС, що підкреслює важливість точного контролю цього параметра. Процес осушки газу на компресорних станціях є складним, багатопараметричним, неперервним і таким, що характеризується дією значних невизначеностей, пов'язаних із варіативністю режимів роботи, нестационарністю потоків та зовнішніми збуреннями.

Автоматизація процесів прийняття рішень та систем автоматичного управління такими багатозв'язаними об'єктами ускладнюється браком повних і достовірних апріорних даних, а також необхідністю застосування інтелектуальних методів, здатних нейтралізувати або мінімізувати вплив невизначеностей. Рівень невизначеності формується під впливом низки факторів: складністю математичної формалізації абсорбційних процесів, нелінійністю масообмінних та тепломасообмінних залежностей, варіативністю вхідних параметрів потоку газу, а також суб'єктивністю рішень диспетчерського персоналу в умовах обмеженої інформації.

На сучасному етапі експлуатації ГТС існуючі системи керування не забезпечують повноцінного врахування нечіткої, неповної чи лінгвістично описаної інформації, що використовується оператором при прийнятті рішень. Це зумовлює необхідність створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та структур управління, здатних оцінювати технологічну ситуацію, прогнозувати відхилення та пропонувати оптимальні керуючі дії в режимі реального часу.

Висока варіабельність параметрів процесу абсорбційної осушки природного газу, нелінійність характеристик абсорбентів, інерційність системи та значний вплив зовнішніх збурень потребують застосування методів нечіткої логіки, як однієї з найефективніших парадигм інтелектуального управління в умовах невизначеності. Теорія нечітких множин, започаткована Л. А. Заде, дозволяє забезпечити формалізацію знань експертів, описувати складні залежності у вигляді лінгвістичних правил та реалізовувати алгоритми керування, адаптовані до умов неповної та нечіткої інформації.

Значний внесок у розвиток теоретичних і прикладних аспектів нечіткого управління зробили як українські, так і зарубіжні вчені, зокрема: Є. В. Бодяньський, Ю. П. Кондратенко, А. П. Ладанюк, А. О. Лозинський, О. А. Лавров, Н. Д. Панкратова, В. В. Різник, О. П. Ротштейн, Г. Н. Семенцов, Л. С. Ямпольський, а також R. Aliev, R. Hampel, E. H. Mamdani, D. Ruan, M. Sugeno, R. Takahashi, M. Wagenknecht, L. A. Zadeh та інші. Їхні наукові досягнення створили підґрунтя для широкого використання нечітких регуляторів у задачах інтелектуального керування, зокрема в нафтогазовій галузі.

Попри значні напрацювання, досі недостатньо розробленими залишаються методи обробки нечіткої інформації в системах реального часу, а також алгоритми, здатні забезпечити підвищену точність і швидкодію для складних об'єктів, таких як системи абсорбційної осушки газу. Проблемними залишаються задачі адаптації параметрів нечітких регуляторів до змінних режимів роботи, оптимізації бази правил, синтезу нечітких моделей складних динамічних процесів та інтеграції нечітких методів з іншими інтелектуальними

технологіями — нейромережами, генетичними алгоритмами та гібридними адаптивними структурами.

Отже, розробка вискоєфективної системи автоматизації технологічного процесу абсорбційної осушки природного газу на основі методів нечіткої логіки є актуальною та практично значущою науковою задачею. Її вирішення сприятиме підвищенню стабільності режимів роботи ГТС, забезпеченню відповідності міжнародним стандартам якості газу, оптимізації енерговитрат та загальному підвищенню технологічної ефективності процесу осушки в умовах невизначеності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Обраний напрям наукових досліджень є органічною складовою тематичного плану Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) та узгоджується з пріоритетами розвитку нафтогазової галузі України. Виконання магістерської роботи здійснювалося відповідно до стратегічного наукового напрямку кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології, яка спеціалізується на розробленні інноваційних методів автоматизації, інтелектуальних систем керування та засобів технічної діагностики для об'єктів нафтогазової інфраструктури.

Тематика дослідження інтегрована у комплекс планових державних науково-дослідних програм, спрямованих на модернізацію, підвищення енергоефективності та екологічної безпеки нафтогазового комплексу України. Зокрема, робота базується на результатах виконання держбюджетних науково-дослідних проєктів, орієнтованих на вдосконалення методів інтелектуального керування технологічними процесами, оптимізацію режимів роботи газотранспортної системи та впровадження сучасних інформаційно-аналітичних засобів моніторингу.

Мета і завдання дослідження.

1. Розробити математичну модель технологічного процесу абсорбційного осушення природного газу.

2. Здійснити моделювання невизначеності знань експертів-технологів про керування процесом абсорбційної осушки газу шляхом використання різних термів лінгвістичних змінних і удосконалити існуючу модель на основі набору логічних правил-продукцій.

Об'єктом дослідження є абсорбер.

Предметом дослідження є методи і алгоритми керування роботою установки абсорбційного осушення газу на базі нечіткої логіки.

Методи дослідження. Аналіз основних режимів функціонування установки абсорбційної осушки природного газу (УАОПГ), а також дослідження взаємозв'язків між технологічними параметрами та показниками ефективності процесу осушки здійснювалися на основі промислових експериментальних даних і спиралися на методологію теорії систем та системного аналізу. Застосування цих підходів дало можливість комплексно оцінити поведінку об'єкта в умовах реальної експлуатації, виявити ключові фактори впливу на якість осушеного газу та визначити структурні залежності між змінними стану системи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. Вперше створено теоретичні засади автоматизованого управління процесом абсорбційної осушки природного газу на компресорній станції магістрального газопроводу, які включають детерміновану математичну модель керованого об'єкта, яка не враховує збурення по вмісту вологи в газі на вході в абсорбер, і логіко-лінгвістичні моделі, що побудовані на нечітких правилах-продукціях, що дало змогу врахувати дане збурення;

Вперше розроблена логіко-лінгвістична модель метазнань, яка додатково враховує всі технологічні параметри установки абсорбційної осушки природного газу і забезпечує оперативно-диспетчерському персоналу при наявності інформації про передаварійні ситуації можливість вибирати необхідну для рішення поточної проблеми локальну модель представлення знань і дозволяє розв'язувати основні виробничі задачі, які впливають на ефективність процесу осушки газу

Практичне значення одержаних результатів

На основі синтезованих схемотехнічних рішень і розроблених структур цифрових пристроїв, що функціонують на принципах нечіткої логіки, створено комплексну систему автоматизованого управління та систему підтримки прийняття рішень для розв'язання задач керування процесом абсорбційної осушки природного газу в умовах значної технологічної та інформаційної невизначеності. Використання нечітких контролерів у структурі системи дає змогу реалізувати адаптивні закони керування, які здатні реагувати на непередбачувані зміни параметрів газового потоку, коливання навантажень, зовнішні збурення та варіативність вихідної вологості.

Для забезпечення ефективного управління технологічним процесом синтезовано нечіткий регулятор, інтегрований у SCADA-систему, що виконує функції збору, обробки та візуалізації даних у реальному часі. Такий підхід дозволяє не лише підвищити точність керування в умовах неповноти вимірювальної інформації, але й адаптувати характеристики системи до широкого діапазону зміни вологості природного газу на вході компресорної станції. SCADA-платформа забезпечує можливість оперативного налаштування параметрів нечіткого контролера, дистанційного моніторингу режимів роботи УАОПГ та інтеграції алгоритмів прогнозування технологічних ситуацій.

Особистий внесок. Всі наукові результати та положення магістерської роботи, які виносяться на захист, одержані автором на основі результатів аналізу літературних джерел і власних досліджень.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати роботи доповідались і одержали позитивну оцінку на міжнародній конференції. Boryn V.S., Andretsulyak R.V. Automated control system for absorption gas drying using fuzzy logic elements. Modern aspects of modernization of science: status, problems, development trends. Materials of the 62th International Scientific and Practical Conference. November 7, 2025, Shumen (Bulgaria). Pp. 103-105. DOI: <https://doi.org/10.52058/62>

Структура і обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, семи розділів, висновків і додатків. Обсяг роботи 68 сторінок машинописного тексту.

Магістерська робота містить 15 рисунків, 1 таблиця, список використаних літературних джерел із 33 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ РЕЖИМІВ І ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АБСОРБЦІЙНОЇ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НИМ

1.1. Структура газотранспортної системи

Газотранспортна система (ГТС) України є складним багаторівневим інженерно-технічним комплексом, призначеним для транспортування, розподілу та зберігання природного газу. Вона забезпечує внутрішні потреби держави та виконує транзитні функції з постачання газу до країн Європи.



Рис. 1.1. Газотранспортна система АТ „Укргазпром”

Поряд з такими важливими об’єктами ГТС, як магістральний газопровід, компресорні станції, лінійні ділянки, підземні сховища газу, важливими об’єктами є установки абсорбційної осушки природного газу.

Магістральні газопроводи є основою ГТС та призначені для транспортування природного газу на великі відстані від місць видобутку або імпорту до основних центрів споживання і транзитних пунктів. Вони характеризуються великим діаметром труб та високим робочим тиском.

Компресорні станції забезпечують підтримання необхідного тиску газу в магістральних газопроводах і компенсують його втрати під час транспортування. До їх складу входять газоперекачувальні агрегати, системи охолодження, очищення газу та автоматизовані системи керування.

ГРС призначені для зниження тиску газу до рівня, необхідного для подачі споживачам, а також для обліку, очищення та одоризації газу. Вони є сполучною ланкою між магістральною та розподільчою мережами.

Підземні сховища газу використовуються для накопичення запасів газу з метою покриття сезонних коливань споживання та забезпечення надійності газопостачання. Вони є важливим елементом енергетичної безпеки України.

Автоматизовані системи керування та телеметрії забезпечують контроль параметрів роботи ГТС (тиск, температура, витрата газу), оперативне керування технологічними процесами та підвищення надійності й безпеки експлуатації.

Необхідність застосування математичного моделювання процесів у газотранспортній системі (ГТС) зумовлена складністю її структури та функціонування, а також обмеженими можливостями використання фізичних моделей. У більшості випадків фізичні моделі ГТС або відсутні, або ґрунтуються на експериментальних даних, що мають недостатню вірогідність і не дозволяють адекватно відобразити реальні умови експлуатації системи. Крім того, проведення натурних експериментів на діючих об'єктах ГТС є технічно складним, економічно затратним і часто неможливим з огляду на вимоги безпеки.

У зв'язку з цим під час розв'язання задач автоматизації та побудови математичних моделей газотранспортної системи необхідно враховувати низку її специфічних особливостей, які істотно впливають на вибір методів моделювання та керування.

По-перше, ГТС характеризується наявністю великої кількості взаємопов'язаних елементів, кожен з яких має значну кількість вхідних і вихідних змінних. Така багатовимірність системи ускладнює аналітичний опис процесів і потребує застосування системного підходу.

По-друге, між елементами ГТС існує тісний функціональний зв'язок, унаслідок чого зміна режиму роботи одного об'єкта неминуче призводить до зміни параметрів інших об'єктів системи. Це обумовлює необхідність врахування міжоб'єктних взаємодій та зворотних зв'язків.

По-третє, залежності між вхідними та вихідними змінними мають складний, переважно нелінійний характер, що зумовлено фізичними властивостями газу, гідравлічними процесами та конструктивними особливостями обладнання. Нелінійність зв'язків істотно ускладнює процес ідентифікації моделей та синтезу систем керування.

Суттєвим чинником є також нестаціонарність статичних і динамічних характеристик об'єктів ГТС, яка виникає внаслідок утворення гідратних і конденсатних відкладень, появи водяних пробок, замерзання вологи в трубопроводах, а також через зміну технічного стану обладнання в процесі його старіння або заміни окремих елементів.

Крім того, основні технологічні процеси в ГТС мають стохастичний характер. Зокрема, споживання природного газу змінюється випадковим чином під впливом погодних умов, добових і сезонних коливань, а також соціально-економічних факторів, що зумовлює необхідність використання імовірнісних і адаптивних методів моделювання.

Режими роботи газотранспортної системи є істотно нестаціонарними, що проявляється у виникненні збурень різної природи, зокрема під час відкриття та закриття засувки, перемикання технологічних схем або зміни умов транспортування газу. Це потребує врахування перехідних процесів і використання динамічних моделей.

Важливою особливістю ГТС є значна інерційність технологічних процесів, що зумовлює застосування систем автоматичного регулювання за

збуренням, а також комбінованих систем керування, які поєднують регулювання за відхиленням і за збуренням.

Крім того, параметри об'єктів газотранспортної системи мають принципово розподілений характер. Зокрема, процес руху газу в трубопроводах описується диференційними рівняннями в частинних похідних за часом і просторовими координатами, що потребує використання відповідних методів чисельного моделювання.

Окрему роль відіграє вплив навколишнього середовища, який проявляється у зміні температури, тиску та інших параметрів у різні періоди доби і року. Ці фактори істотно впливають на режими транспортування газу та мають бути враховані при побудові адекватних математичних моделей ГТС.

Для більшості елементів газотранспортної системи, зокрема компресорних станцій, лінійної запірної арматури та допоміжного технологічного обладнання, сталі часу об'єктів автоматичного керування є порівняно малими відносно сталої часу лінійної частини магістральних газопроводів. Для трубопровідних ділянок характерні значні значення сталої часу, які в середньому становлять близько 3–6 годин на кожні 100 км довжини. За таких умов у загальній структурі технологічного ланцюга доцільним є використання статичних або квазістатичних характеристик окремих елементів, що дозволяє спростити математичний опис без істотної втрати адекватності моделі.

Разом із тим, сукупність розглянутих особливостей газотранспортної системи зумовлює значні труднощі при автоматизації її технологічних параметрів. До таких труднощів належать нестационарність режимів роботи, багатовимірність об'єктів керування, наявність неконтрольованих і випадкових збурень, а також недостатня вивченість низки фізичних процесів, що відбуваються в елементах ГТС. У зазначених умовах застосування традиційних методів автоматичного керування, орієнтованих на стаціонарні та лінійні об'єкти, є малоефективним і не забезпечує необхідної якості регулювання.

З огляду на різну фізичну природу процесів, що відбуваються в газотранспортній системі, а також їх стохастичний характер, синтез систем

керування є складною багатокроковою процедурою, яка істотно залежить від класу та властивостей конкретного об'єкта керування. Різноманітність об'єктів ГТС зумовила формування широкого спектра методів ідентифікації та керування, які застосовуються під час синтезу відповідних систем.

Слід зазначити, що синтез систем керування газотранспортною системою базується на розв'язанні двох взаємопов'язаних задач: ідентифікації об'єкта керування та синтезу керуючих пристроїв. Якість розв'язання цих задач безпосередньо визначає ефективність функціонування всієї системи керування.

Основним напрямом підвищення ефективності газотранспортної системи та її окремих елементів є вдосконалення процесів управління. Розв'язання задач керування технологічними процесами на основі математичних моделей, як правило, здійснюється із застосуванням алгоритмів оптимізації. Теоретичною та методичною базою таких розрахунків є математичні моделі газотранспортної системи та її складових.

Водночас недостатня теоретична опрацьованість зазначених питань зумовлює високу складність поставленої задачі. Ця складність полягає, зокрема, у відсутності універсальних і ефективних алгоритмів керування, ефективність яких істотно залежить від адекватності побудованих математичних моделей елементів ГТС, у тому числі установки абсорбційної осушки природного газу, що є важливим об'єктом автоматизації в технологічному ланцюгу транспортування газу.

1.2. Аналіз режимів функціонування технологічного процесу абсорбційної осушки природного газу

Осушка природного газу є одним із ключових технологічних процесів у загальному ланцюгу його промислової підготовки. Наявність у складі газу вологи, важких вуглеводнів, кислих компонентів та механічних домішок істотно погіршує умови його транспортування і використання. Зокрема, підвищений вміст вологи призводить до зменшення пропускної здатності

газопроводів, зростання енергетичних витрат на роботу дотискувальних компресорних станцій, а також до прискорення корозійних процесів металевих елементів обладнання.

Водяний конденсат у поєднанні з компонентами природного газу утворює гідратні сполуки, відкладення яких здатні накопичуватися в робочих об'ємах технологічних апаратів і трубопроводів. Це супроводжується зменшенням їх ефективного перерізу, порушенням гідравлічних режимів та, у граничних випадках, може призвести до виникнення аварійних ситуацій. Саме тому забезпечення стабільної та ефективної осушки газу є необхідною умовою надійної експлуатації газотранспортної системи.

Установка абсорбційної осушки газу являє собою сукупність взаємопов'язаних технологічних процесів, що реалізуються в паралельно та послідовно з'єднаних апаратах. Продуктивність установки та якість осушеного газу визначаються оптимальним перебігом технологічного процесу, який, у свою чергу, залежить від підтримання основних технологічних параметрів у заданих межах.

В основу роботи установки абсорбційної осушки природного газу покладено процес поглинання (абсорбції) парів води з газової фази рідким абсорбентом у масообмінному апараті — абсорбері. У тарілчастій колоні кожна тарілка функціонує як окрема стадія абсорбції, на якій відбувається контакт і взаємне переміщення газових та рідинних потоків. У процесі контакту фаз система прагне до встановлення термодинамічної рівноваги. Ступінь наближення фаз до рівноважного стану визначає ефективність тарілки, яка кількісно характеризується коефіцієнтом корисної дії.

Тарілки, що використовуються в абсорберах, зазвичай виконуються у вигляді круглих або жолобкових ковпачків чи S-подібних елементів, які забезпечують підтримання сталого рівня рідини на тарілці та стабільні умови масообміну. У колонах з насадкою масообмін між потоками рідини та газу відбувається на розвиненій поверхні насадки, при цьому перенесення речовини між фазами здійснюється безперервно вздовж усієї висоти апарата. У результаті

концентрації компонентів у газовій і рідкій фазах змінюються по довжині колони.

Таким чином, абсорбційний процес є типовим масообмінним процесом, у якому беруть участь дві фази — газова і рідка, а перенесення речовини відбувається через поверхню їх контакту внаслідок різниці концентрацій.

Процес абсорбції широко застосовується для розділення газових сумішей на окремі компоненти та для видалення небажаних домішок. Його суть полягає у пропусканні газової суміші через рідкий абсорбент, у якому добре розчиняється компонент, що підлягає вилученню. На дослідницькій установці як абсорбент використовується діетиленгліколь (ДЕГ), який характеризується високою гігроскопічністю та добрими експлуатаційними властивостями. Під час контакту газової суміші з абсорбентом водяна пара переходить із газової фази в рідку. У міру проходження газу через абсорбент концентрація вологи в газовій фазі зменшується, а в рідкій — зростає, доки не досягається стан рівноваги.

Згідно з технологічною схемою, вологий природний газ після стадії очищення в установці фільтрів-сепараторів надходить до абсорбера під тиском 5,5 МПа, з витратою 3,334 млн $\text{nm}^3/\text{год}$ та температурою +25 °С. У нижній частині абсорбера розміщені сепараційні пристрої, за допомогою яких з газу виділяється частина вологи. У середній частині апарата газ контактує з 99%-м розчином діетиленгліколю на ковпачкових тарілках і осушується до температури точки роси -10 °С за тиску 4 МПа, що відповідає контрактним вимогам до якості газу, призначеного для експорту.

У верхній частині абсорбера здійснюється сепарація осушеного газу від крапель абсорбенту. Осушений газ по газозбірному колектору надходить на холодильну установку, а далі — на вхід компресорного цеху. Насичений водою розчин діетиленгліколю з нижньої (глухої) тарілки абсорбера дроселюється до тиску 1,6 МПа і подається на установку регенерації.

Ефективність системи керування даним технологічним процесом визначається, з одного боку, якістю осушки газу, тобто досягненням заданих

параметрів точки роси, а з іншого — витратами на функціонування установки, які безпосередньо впливають на собівартість кінцевої продукції. Досягнення стабільних вихідних параметрів осушеного газу в реальних умовах експлуатації є складним завданням, що значною мірою обумовлено недостатнім рівнем автоматизації існуючої установки абсорбційної осушки природного газу. Це зумовлює необхідність удосконалення систем керування на основі сучасних методів моделювання та оптимізації технологічних процесів.

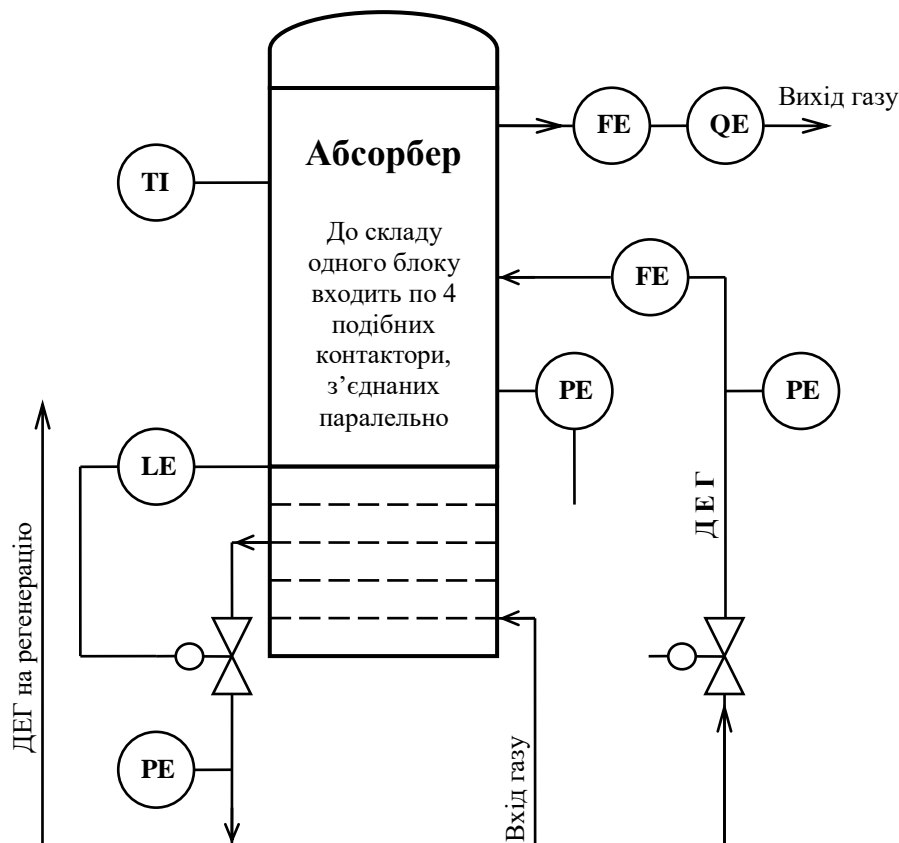


Рис. 1.2. Технологічна схема установки абсорбційної осушки газу

1.3. Системи автоматизованого управління технологічним процесом абсорбційної осушки газу

Одним із найбільш перспективних напрямів розвитку систем автоматичного керування є створення інтелектуальних систем, заснованих на використанні експертних систем і методів штучного інтелекту. Такі системи

здатні працювати з лінгвістично невизначеною, нечіткою та неповною інформацією, що є характерним для складних технологічних об'єктів. Використання експертних систем дозволяє формалізувати знання фахівців-практиків, накопичувати досвід експлуатації та застосовувати його для підтримки прийняття управлінських рішень у режимі реального часу.

Широке впровадження електронно-обчислювальних машин у непромислову та управлінську сфери, а також створення типових автоматизованих робочих місць для різних категорій персоналу, забезпечує істотне зростання продуктивності праці, підвищення якості виконання функцій управління та точності прийняття рішень. Це набуває особливої актуальності в умовах оптимізації організаційних структур і скорочення чисельності управлінського персоналу, коли навантаження на окремих фахівців суттєво зростає.

Аналіз виробничої діяльності керівників і спеціалістів управлінської праці дає змогу виокремити типові функції, які виконуються на більшості автоматизованих робочих місць і є доцільними для автоматизації з використанням ЕОМ. До таких функцій належать збір і обробка інформації, аналіз технологічних показників, планування режимів роботи, формування управлінських рішень та контроль їх реалізації [12–14].

Питання програмного забезпечення автоматизованих систем управління достатньо широко висвітлені в наукових і технічних джерелах. Зокрема, у роботі [15] наведено огляд близько 60 операційних систем різних фірм для ЕОМ, а в роботі [16] подано характеристики систем управління з використанням баз даних, розроблених американськими компаніями. Це свідчить про значну увагу до проблем інформаційного забезпечення та програмної підтримки процесів керування.

Значний внесок у розвиток програмних засобів для автоматизованого керування зробили компанії Combustion Engineering та Taylor Instrument (США), які розробили програмний пакет «Analyze». Даний пакет забезпечує реалізацію функцій керування різного рівня складності, а також графічне

представлення технологічних даних, що суттєво підвищує наочність інформації та покращує експлуатаційні характеристики систем керування [17].

Найбільш повним вимогам інформаційного забезпечення автоматизованих систем керування відповідає реляційна модель даних. Основними її перевагами є простота подання бази даних у вигляді множини взаємопов'язаних таблиць, високий рівень логічної незалежності даних від програм їх обробки, а також зручність і універсальність операцій над таблицями. Завдяки цим властивостям реляційні бази даних широко застосовуються в сучасних системах управління технологічними процесами [18, 19].

Результати досліджень, проведених із використанням комплексу програм оптимальних розрахунків, а також досвід його практичної експлуатації показали, що висока точність обчислень, достатня швидкодія, невисокі вимоги до обсягів оперативної пам'яті, зручний діалоговий режим роботи та можливість оперативної зміни параметрів і структури магістральних газопроводів дозволяють ефективно використовувати даний програмний комплекс у режимі радника. Це, у свою чергу, забезпечує його застосування для розв'язання задач оперативного планування та керування режимами роботи реальних газопроводів [20–24].

На рівні промислового об'єднання, газотранспортних і газовидобувних підприємств автоматизовані робочі місця диспетчерів і технологів (АРМДіТ) об'єднуються в локальні обчислювальні мережі. Для таких мереж формується єдина спеціалізована база даних, що розміщується на файловому сервері та забезпечує централізоване зберігання, актуалізацію і доступ до технологічної та довідкової інформації [25]. Такий підхід створює інформаційну основу для інтеграції процесів управління, підвищення узгодженості рішень і оперативності обміну даними між структурними підрозділами.

Формування нових управлінських відносин на основі комп'ютеризації є складним і багатогранним процесом, що передбачає не лише організаційні та технічні зміни, а й глибоке розуміння технологічних процесів з боку фахівців-

експлуатаційників і технологів. При цьому оновлення технічної бази слід розглядати лише як початковий етап трансформації системи керування. Не менш важливим, але значно більш трудомістким і ресурсомістким є процес адаптації персоналу до нових методів роботи, інтерфейсів та принципів прийняття управлінських рішень.

Перший, початковий етап, характеризується ініціюванням процесів автоматизації управління. На цьому етапі відбувалося накопичення первинного досвіду використання електронно-обчислювальних машин у керуванні, визначення основних напрямів і тенденцій застосування нових інформаційних технологій, а також оцінювання їх потенційного впливу на ефективність діяльності підприємств.

Другий етап пов'язаний із встановленням контролю над впровадженням нових інформаційних технологій. Для нього характерним є завершення пошуку основних сфер застосування ЕОМ у керуванні та зосередження уваги на розв'язанні задач оптимізації використання обчислювальної техніки, формуванні адекватних організаційних структур управління інформаційними ресурсами, а також аналізі впливу автоматизації на організаційно-управлінські процеси в цілому.

Третій етап — етап інтеграції інформаційних впливів у діяльність підприємств — припадає на 80–90-ті роки ХХ століття і був характерний для більшості американських компаній. Він супроводжувався стабілізацією або «замороженням» загальних витрат на обробку даних. На цьому етапі можливості підвищення ефективності за рахунок екстенсивних факторів, таких як залучення до автоматизації нових підрозділів, були практично вичерпані. У зв'язку з цим основний акцент змістився на пошук прихованих резервів інтенсифікації процесів обробки даних, зокрема за рахунок оптимізації алгоритмів, інтеграції інформаційних потоків і підвищення інтелектуального рівня систем керування.

Поява електронно-обчислювальних машин нового покоління та широке впровадження засобів передавання даних на основі обчислювальних мереж

зумовили перенесення основного акценту автоматизації на створення систем з розподіленим обчислювальним потенціалом усередині організації. Це відкрило принципово нові можливості для розвитку комп'ютеризованого управління, зокрема в частині підвищення гнучкості, масштабованості та адаптивності систем.

На сучасному етапі практичного впровадження набули розробки в галузі штучного інтелекту, зокрема експертні системи, системи підтримки прийняття рішень і гібридні інтелектуальні системи. Якість експертної системи визначається її потенційною здатністю формувати обґрунтовані практичні рекомендації для прийняття управлінських рішень у конкретних ситуаціях і безпосередньо залежить від обсягу, структури та достовірності знань, отриманих від реальних фахівців-експертів і закладених у базу знань системи.

1.4. Аналіз методів нечіткого моделювання технологічних процесів та методів ідентифікації нечітких моделей

Перша нечітка динамічна модель була запропонована в роботі [10] для моделювання хімічного реактора. У вітчизняній літературі описано досвід розробки нечітких моделей ректифікаційної колони, установок первинної переробки нафти, виробництва поліетилену, фізико-хімічних систем, установок підготовки природного газу для автомобілів

В роботах [11,14,15] нечіткі одномірні моделі представлені у вигляді таких співвідношень:

$$Y=R \circ X, \quad (1.1)$$

$$Y=R \Delta X, \quad (1.2)$$

$$Y=R \cdot X, \quad (1.3)$$

де X, Y - нечіткі вхідні і вихідні множини, $X \in F(X)$, $Y \in F(Y)$;

R -нечітке відношення, $R \in F(X \times Y)$;

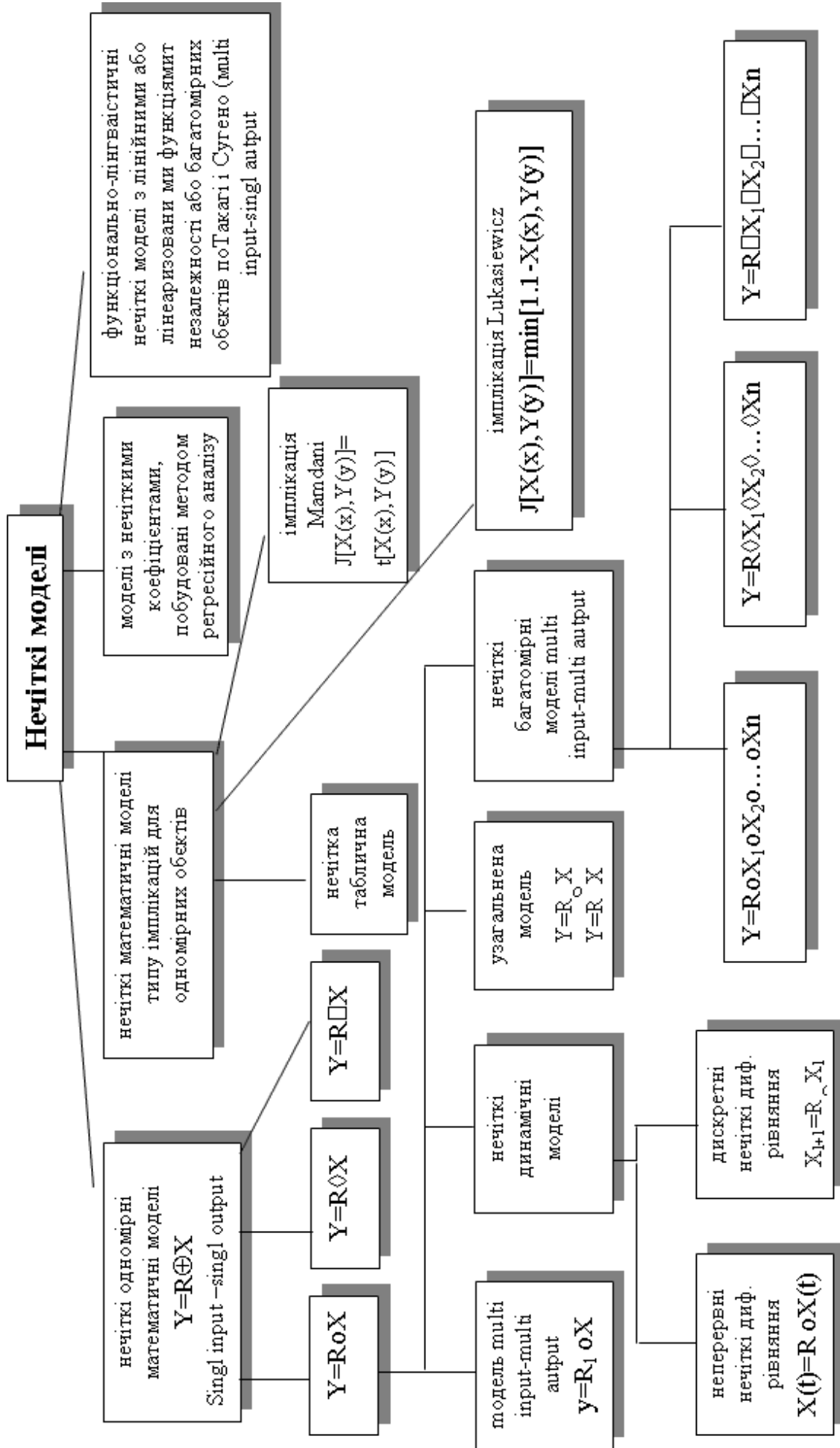


Рис. 1.3. Класифікація нечітких моделей технологічних процесів

о, \diamond , \bullet - операції композиції.

Співвідношення (1.1)-(1.3) можна привести до загального вигляду:

$$Y=R*X \quad (1.4)$$

з функцією належності

$$\mu_y(y) = \mu_x(x) * \mu_R(x, y). \quad (1.5)$$

Тут символ $*$ означає бінарну операцію, конкретні функції належності, які відповідають співвідношенням (1.1)-(1.3), мають такий вигляд:

$$\mu_y(y) = \sup_{x \in X} \left[\min \left(\mu_x(x), \mu_R(x, y) \right) \right] \quad (1.6)$$

$$\mu_y(y) = \sup_{x \in X} \left[\mu_x(x) \cdot \mu_R(x, y) \right] \quad (1.7)$$

$$\mu_y(y) = \inf_{x \in X} \left[\max \left(\mu_x(x), \mu_R(x, y) \right) \right]. \quad (1.8)$$

Нечітке відношення R в рівнянні (1.1) для нечітких множин $X_i, Y_i, i = \overline{1, N}$

$$R = \bigcup_{i=1}^N (x_i \times y_i) = \bigcup_{i=1}^N R_i \quad (1.9)$$

з функцією належності

$$\begin{aligned} \mu_R(x, y) &= \max_{i \in \overline{1, N}} \left(\mu_{R_i}(x, y) \right) = \\ &= \max_{i \in \overline{1, N}} \left[\min \left(\mu_{x_i}(x), \mu_{y_i}(y) \right) \right] \end{aligned} \quad (1.10)$$

являє собою об'єднання нечітких імплікацій або нечітких правил

$$R_i = X_i \Rightarrow y_i \equiv \text{якщо } X_i \text{ то } y_i, i = \overline{1, N}. \quad (1.11)$$

В роботі [53] вихідна інформація про нечітке відношення R в рівняннях (1.2), (1.3) задається у вигляді оцінок \hat{R} і \check{R} відповідно.

Оцінка \hat{R} визначається за допомогою Θ -композиції

$$\hat{R} = \bigcap_{i=1}^N \hat{R}_i = \bigcap_{i=1}^N (x_i \Theta y_i) \quad (1.12)$$

з функцією належності

$$\begin{aligned}\mu_{\hat{R}_i}(x, y) &= \mu_{x_i}(x) \oslash \mu_{y_i}(y) = \\ &= \min\left(1, \mu_{y_i}(y) / \mu_{x_i}(x)\right),\end{aligned}\quad (1.13)$$

а оцінка \check{R} -за допомогою ε -композиції

$$\check{R} = \bigcup_{i=1}^N \check{R}_i = \bigcup_{i=1}^N (x_i \varepsilon y_i) \quad (1.14)$$

з функцією належності

$$\begin{aligned}\mu_{\check{R}_i}(x, y) &= \mu_{x_i}(x) \varepsilon \mu_{y_i}(y) = \\ &= \begin{cases} \mu_{x_i}(x), & \text{якщо } \mu_{x_i}(x) < \mu_{y_i}(y) \\ 0 & \text{в протилежному випадку.} \end{cases}\end{aligned}\quad (1.15)$$

Подальшим розвитком моделей типу (1.1) є запропоновані два типи моделей:

а) нечітка модель типу multi input multi output

$$y = R_I \circ X \quad (1.16)$$

з нечітким відношенням

$$R_I = \bigcap_{i=1}^N (x_i \alpha y_i) \quad (1.17)$$

з функцією належності

$$\mu_{R_I}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{якщо } \mu_{x_i}(x) \leq \mu_{y_i}(y); \\ \mu_{y_i}(y), & \text{якщо } \mu_{y_i}(x) > \mu_{y_i}(y), \quad i = \overline{1, N}, \end{cases} \quad (1.18)$$

б) нечітка модель типу multi input single output

$$y_i = R_{II} \delta x_i \quad (1.19)$$

з нечітким відношенням

$$R_{II} = \bigcup_{i=1}^N (x_i \times y_i) \quad (1.20)$$

з функцією належності

$$\mu_y(y) = \inf_x \{ \mu_R(x', y), x' \in \{x / \mu_x(x)\} \mu_R(x, y) \} \quad (1.21)$$

Цей недолік відсутній в нечітких динамічних моделях типу імплікації для одномірних об'єктів [61], які можуть бути табличного типу, типу імплікації Lukasiewicz і імплікації Mamdani.

Розглянемо динамічну модель табличного типу. Ця модель являє собою множину тверджень типу імплікації або правил $R_i, i = \overline{1, N}$, які утворюють представлений у вигляді таблиці алгоритм визначення поточної вихідної змінної $y(t)$ по мінімальних значеннях вихідної $y(t-l)$ і вхідної $x(t-k)$, $l, k = 1, 2, \dots$ змінних.

На рис.1.6 приводиться табличний запис нечіткої моделі або нечіткого алгоритму, який містить два правила:

$$\text{ЯКЩО } X(t-1) \in \text{MB} \text{ ТО ЯКЩО } Y(t-1) \in \text{VD} \text{ ТО } Y(t) \in \text{H3} \quad (1.22)$$

$$\text{ЯКЩО } X(t-1) \in \text{CB} \text{ ТО ЯКЩО } Y(t-1) \in \text{MD} \text{ ТО } Y(t) \in \text{CD} \quad (1.23)$$

Тут ВВ-велике від'ємне, СВ-середнє від'ємне, МВ-мале від'ємне, НЗ-нульова змінна, МД-мале додатнє, СД-середнє додатнє, ВД-велике додатнє.

		Y(t-1)		
		МД	СД	ВД
X(t-1)	МВ			НЗ
	СВ	СД		
	ВВ			

Рис. 1.4. Табличний запис нечіткої моделі

Моделі даного класу доцільно застосовувати для опису технологічних об'єктів, що характеризуються наявністю запізнення у каналах керування або вимірювання. Запізнення сигналів є типовою властивістю багатьох промислових процесів і суттєво впливає на динаміку об'єкта, ускладнюючи застосування класичних лінійних моделей та методів синтезу систем керування. Використання спеціалізованих моделей дозволяє адекватніше відобразити часові властивості об'єкта та підвищити точність прогнозування його поведінки.

Однією з найбільш ефективних і функціонально розвинених моделей цього класу є модель Такагі–Сугено (Takagi–Sugeno). Її особливістю є поєднання нечіткого опису умов функціонування об'єкта з локальними лінійними або афінними моделями у висновковій частині правил. Це забезпечує високу апроксимаційну здатність, можливість аналітичного аналізу та зручність використання в задачах ідентифікації й синтезу систем керування.

$$\text{ЯКЩО } x_1 \in X_1 \text{ і } \dots \text{ і } x_k \in X_k, \text{ ТО } y = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_k x_k. \quad (1.24)$$

Математичні моделі з лінійними функціями належності годяться для опису об'єктів з одним виходом і декількома входами. При кількості входів більше двох такі моделі стають надто громіздкими.

Отже, за результатами проведеного аналізу нечітких математичних моделей технологічних процесів встановлено, що найбільш ефективними з точки зору адекватності опису та практичної реалізації є моделі, побудовані на основі правил нечіткого умовного виводу. Зазначені моделі забезпечують формалізацію складних нелінійних залежностей між вхідними та вихідними змінними об'єкта керування та дозволяють враховувати неповноту, неточність і лінгвістичний характер початкової інформації.

Використання правил нечіткого виводу надає можливість застосовувати такі моделі для опису складних багатовимірних систем керування, що функціонують в умовах структурної та параметричної невизначеності, змінних режимів роботи та дії стохастичних збурень. При цьому інтеграція експертних

знань у вигляді нечітких правил дозволяє акумулювати практичний досвід фахівців та використовувати його безпосередньо в алгоритмах керування.

Аналіз літературних джерел [59,61,63-67] показав, що для ідентифікації нечітких моделей використовуються різні методи, але найбільша кількість робіт присвячена ідентифікації нечітких одновимірних моделей. Що стосується оцінки точності нечітких математичних моделей і їх адекватності технологічному процесу, то ці питання остаточно ще не вирішені.

Проте, з позицій системного підходу, математична модель процесу абсорбційної осушки природного газу повинна задаватись таким вимогам:

- мати певну точність в межах застосування моделі;
- суворо виконувати основні закони фізики, зокрема, закон збереження;
- містити непротиворічливу систему операцій, необхідних для експериментального визначення параметрів моделі;
- зберігати умови розмірності;
- бути стійкою, фізично реалізуючою;
- всебічно відображати властивості процесу абсорбційної осушки газу;
- бути простою і добре відображати процес, дозволяти ідентифікувати параметри моделі за результатами експериментів;
- ідентифікація моделі повинна здійснюватись за оперативними даними.

Системний підхід до розвитку задачі автоматизації процесу абсорбційної осушки газу має наступні етапи:

- визначення кінцевих цілей, формування критеріїв ефективності функціонування системи;
- розбиття глобальної задачі на часткові; декомпозиція системи на окремі підсистеми з виявленням структури, рівнів ієрархії, взаємозв'язків між підсистемами і задачами;

- аналіз технологічного процесу як об'єкта управління, формування вимог до об'єкта управління з позицій задач автоматичного контролю і управління;
- виявлення допустимої області, на якій проводиться оптимізація, обмеження критерію управління;
- визначення альтернативних варіантів і виявлення шляхів вирішення поставленої задачі;
- реалізація шуканих розв'язків системи і підготовка до вводу в дослідну експлуатацію;
- аналіз функціонування системи управління, рекомендації по її розвитку.

Отже, одним з перших етапів створення системи установки підготовки газу є декомпозиція задачі автоматизованого управління технологічним процесом абсорбційної осушки газу.

Висновок до розділу 1

У даному розділі виконано комплексний аналіз технологічного процесу абсорбційної осушки природного газу як одного з ключових етапів його промислової підготовки та забезпечення надійної роботи газотранспортної системи. Показано, що якість осушки природного газу істотно впливає на ефективність транспортування, енергетичні витрати компресорних станцій, довговічність обладнання та рівень експлуатаційної безпеки.

У результаті аналізу встановлено, що процес абсорбційної осушки є складним багатофакторним масообмінним процесом, який характеризується нелінійністю, інерційністю, нестационарністю режимів та наявністю стохастичних збурень. Основні технологічні параметри, зокрема тиск, температура, витрата газу, концентрація абсорбенту та ступінь його насичення,

перебувають у тісному взаємозв'язку і визначають ефективність видалення вологи та досягнення заданої точки роси осушеного газу.

Проведений аналіз режимів роботи установки показав, що відхилення технологічних параметрів від оптимальних значень призводить до погіршення якості осушки, зростання витрат енергії та абсорбенту, а також підвищення ймовірності утворення гідратів і аварійних ситуацій. Встановлено, що існуючі системи керування процесом абсорбційної осушки природного газу в багатьох випадках мають обмежені функціональні можливості, недостатній рівень автоматизації та не забезпечують необхідної адаптації до змінних умов експлуатації.

Отримані в розділі результати підтверджують доцільність подальших досліджень, спрямованих на розробку та вдосконалення систем автоматичного керування процесом абсорбційної осушки природного газу з використанням сучасних методів моделювання та підтримки прийняття рішень. Це створює наукове підґрунтя для формування вимог до математичної моделі об'єкта керування та синтезу ефективної системи керування, що розглядаються в наступних розділах роботи.

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА І АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ АБСОРБЦІЙНОЇ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

2.1. Математична модель об'єкта управління

Процес абсорбції як об'єкт математичного моделювання схематично зображено на рис.2.1. Індексом "а" позначено стан газу і абсорбенту при їх вході в абсорбер, а "е" - при виході із нього.



Рис. 2.1. Структура моделі процесу абсорбції

Отже, вхідними величинами об'єкта будуть:

тиск P_a на вході в абсорбер, Па;

концентрація води в газі Y_a , що поступає в абсорбер, кг·моль/ кг·моль;

концентрація води в абсорбенті X_a – при вході в абсорбер, кг·моль/ кг·моль;

навантаження газу на абсорбер $M_{G,a}$, моль/с;

температура газу, що поступає в абсорбер, К,

а вихідними:

тиск P_e на виході із абсорберу (перепад тисків для насадкових абсорберів), Па;

концентрація води в газі Y_e на виході із абсорберу, кг·моль/ кг·моль;

концентрація води X_e в абсорбенті, що покидає установку, кг·моль/ кг·моль;

відбір газу із абсорберу $M_{G,e}$, моль/с.

2.2. Математичний опис динаміки тарілки абсорберу

В абсорбційних тарілчастих колонах газ подається в нижню частину і рухається ввєрх назустріч рухомому абсорберу.

В більшості випадків абсорбент – це диетиленгліколь, масова концентрація якого не нижча 99÷99,5%. Контакт газу, що підлягає осушенню, з абсорбентом відбувається на тарілках. Схематичне зображення тарілки показано на рис. 2.2.

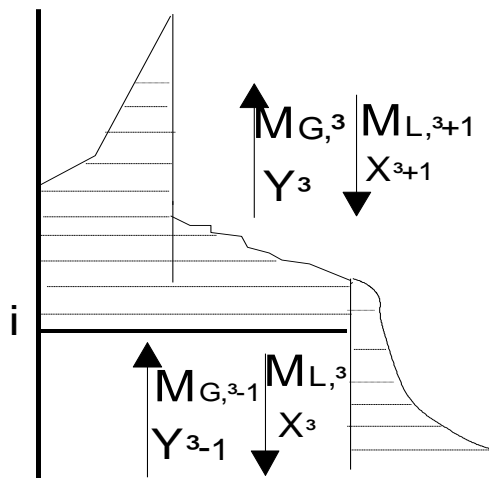


Рис. 2.2. Схематичне зображення i -ї тарілки абсорберу

Математичний опис тарілок будемо вести при таких основних допущеннях:

- маса рідкої фази на всіх тарілках однакова;
- витрата газу і абсорбенту від тарілки до тарілки не змінюється;
- ефективність всіх тарілок однакова і дорівнює одиниці, так що кількість теоретичних і реальних тарілок однакова;

- рідина на тарілках повністю переміщується.

В рівняння, що опускають динаміку i -ої тарілки, входять незалежні:

$M_{L,i+1}, M_{G,i}$ – масові витрати рідини і газу на виході i -ої тарілки, моль/с;

X_{i+1}, Y_{i-1} – молярні концентрації рідини і газу на виході i -ої тарілки, кг·моль/ кг·моль;

$I_{L,i+1}, I_{G,i-1}$ – молярні ентальпії рідини і газу на виході i -ої тарілки, Дж/моль;

P_{i-1} – тиск, під яким знаходиться система "рідина-газ" на $i-1$ тарілці, Па;
і залежні змінні;

$M_{L,i}$ – кількість рідини на i -тій тарілці, моль;

$M_{G,i}$ – кількість газоподібної фази, що вміщується на i -тій тарілці, моль;

$m_{L,i}, m_{G,i}$ – масові витрати рідини і газу на виході i -ої тарілки;

X_i, Y_i – молярні концентрації рідини і газу, що знаходяться на i -тій тарілці, кг·моль/ кг·моль;

$I_{L,i}, I_{G,i}$ – молярні ентальпії рідини і газу, що вміщуються на i -тій тарілці, Дж/моль;

P_i – тиск, під яким знаходиться система "рідина-газ" на i -тій тарілці, Па.

1. Рівняння матеріального балансу для рідкої

$$\frac{d(M_{L,i} X_i)}{dt} = -m_{L,i} X_i + m_{L,i+1} X_{i+1} + K_Y S_k (Y_i - Y_i^*) \quad (2.1)$$

і газоподібної

$$\frac{d(M_{G,i} X_i)}{dt} = -m_{G,i-1} Y_{i-1} - m_{G,i} Y_i - K_Y S_k (Y_i - Y_i^*) \quad (2.2)$$

фаз, що перебувають на i -тій тарілці.

В рівняннях (2.1) і (2.2) S_k – площа контакту між газоподібною і рідкою фазами.

2. Рівняння енергетичного балансу складаємо, використовуючи співвідношення

[Швидкість накопичення тепла] = [Підвід тепла] – [Відбір тепла], де

$$[\text{Швидкість накопичення енергії (тепла)}] = \frac{d(M_{L,i} I_{L,i} + M_{G,i} I_{G,i})}{dt}, \quad (2.3)$$

$$[\text{Підвід енергії (тепла)}] = m_{L,i+1}I_{L,i+1} + m_{G,i-1}I_{G,i-1}, \quad (2.4)$$

$$[\text{Відбір енергії (тепла)}] = m_{L,i}I_{L,i} + m_{\sigma,i}I_{\sigma,i} + Q_a, \quad (2.5)$$

Q_a – тепло, яке відводиться в процесі абсорбції (включаючи і витрати в навколишнє середовище).

Об'єднаємо рівняння (2.3) – (2.5) в одне. Тоді

$$\frac{d(M_{L,i}I_{L,i} + M_{G,i}I_{G,i})}{dt} = m_{L,i+1}I_{L,i+1} + m_{G,i-1}I_{G,i-1} - m_{L,i}I_{L,i} - m_{\sigma,i}I_{\sigma,i} - Q_a \quad (2.6)$$

3. Запишемо рівняння, що виражає динаміку тиску, який діє на систему "рідина-газ", для i -ої тарілки.

Розглянемо простір між i -тою і $i+1$ -ою тарілками, заповнений газом, що піднімається вгору по колоні (рис. 3.3). Запишемо рівняння матеріального балансу для газу, що вміщує об'єм V_i

$$\frac{dM_i}{dt} = m_{G,i-1} - m_{G,i}, \quad (2.7)$$

де M_i – кількість газу, що знаходиться між i -тою і $i+1$ -ою тарілками, моль.

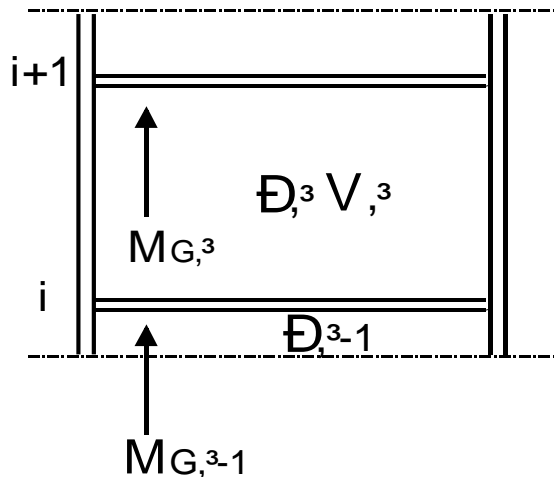


Рис. 2.3. Схематичне зображення частини абсорбційної колони

Отримані рівняння (2.1), (2.2), (2.6) і (2.7) утворюють математичну модель процесу абсорбції на i -тій таріці.

Оскільки розрахунок коефіцієнтів передавальної матриці дуже об'ємний, то для його проведення використано ЕОМ.

Структурна схема моделі перевірена за допомогою програмного пакету MATLAB.

Для перевірки моделі на адекватність була використана структурна схема першої тарілки (рис.2.4) абсорбера, на другий вхід якої подавалось збурення у вигляді одиничного вхідного сигналу, так як другий вхід відповідає сигналу про зміну вологовмісту газу, а це є основний параметр контролю на установці, і після цього досліджувались вихідні сигнали на чотирьох виходах тарілки, які відповідають U_1 - вологовмісту ДЕГу; U_2 - вологовмісту газу; U_3 - витраті газу і U_4 - тиску газу в абсорбері.

При аналізі таблиць вихідних сигналів видно, що при збільшенні вологовмісту ДЕГу вологовміст газу, що залишає тарілку, зменшується від 0,317 до 0.054, а на виходах 3 і 4 отримано практично незалежні в часі сигнали, тобто тиск а апараті і витрата газу не залежать від зміни вологовмісту газу. Як бачимо, модель адекватно відображає процес абсорбції, так як результати на виходах моделі відповідають фізичним основам процесу абсорбції.

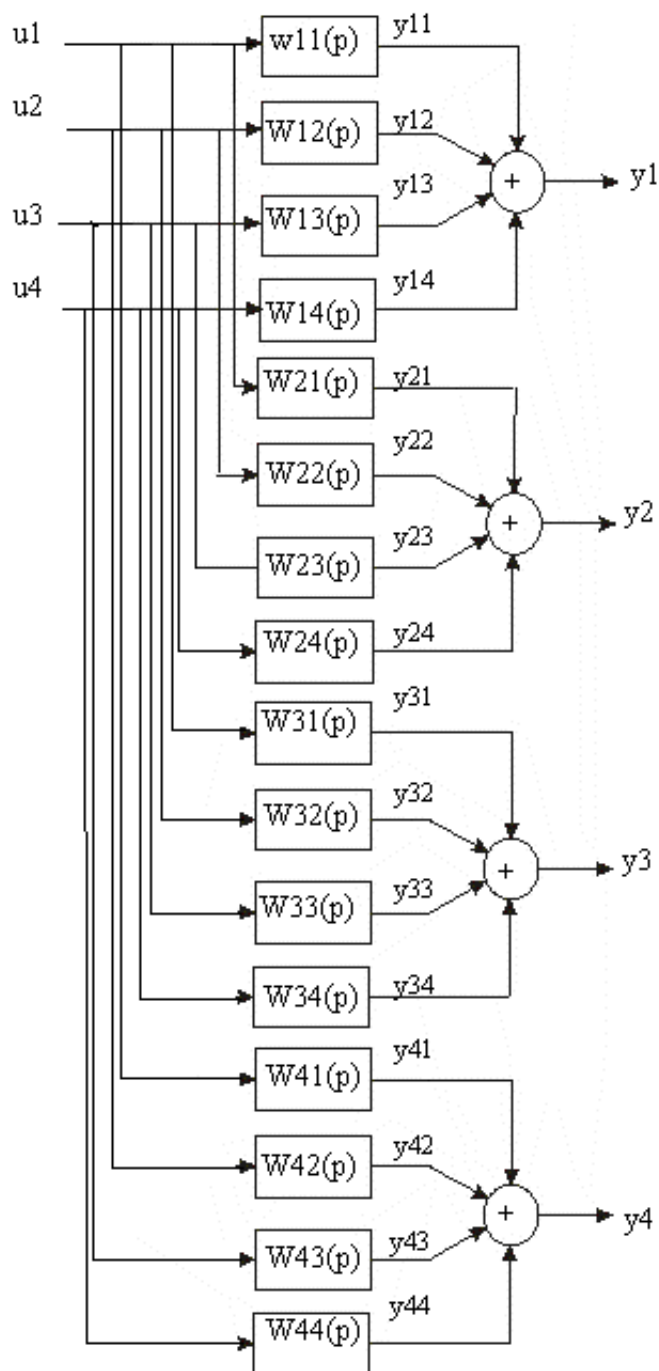


Рис. 2.4. Структурна схема математичної моделі i -ої тарілки

2.3. Лінеаризована модель абсорберу ковпачкового типу

Система диференціальних рівнянь подає лінеаризовану математичну модель i -тої тарілки в просторі станів, координатами якого є змінні ΔX_i , ΔY_i ,

$\Delta m_{G,i}$, ΔP_i , а співвідношення в еквівалентній формі – в формі матричної передавальної функції.

Для отримання моделі абсорберу в цілому необхідно врахувати зв'язки, які існують між тарілками і граничні умови. Нумерація тарілок ведеться зверху вниз тому на першу тарілку поступає газ в кількості m_G^a моль/с і вмістом вологи в газі Y^a моль·кг/ моль·кг; знизу абсорберу відбирається відпрацьований абсорбент концентрацією X^e моль·кг/ моль·кг. Із N -ої (останньої) тарілки відбирається

осушений газ, витрата якого m_G^e моль/с і вмістом вологи Y^e моль·кг/ моль·кг; а на верхню тарілку поступає абсорбент концентрацією X^a моль·кг/ моль·кг. Оскільки в лінеаризовану модель тарілки входять величини, які відраховуються від їх усталених значень, то граничні умови для математичної будуть мати такий вигляд:

для першої тарілки

$$\Delta X_1 = \Delta X^e, \Delta Y_0 = \Delta Y^a, \Delta m_{G,0} = \Delta m_G^a, \Delta P_0 = \Delta P^a; \quad (2.8)$$

для N -ої (останньої) тарілки

$$\Delta X_{N+1} = \Delta X^a, \Delta Y_N = \Delta Y^e, \Delta m_{G,N} = \Delta m_G^e, \Delta P_N = \Delta P^e. \quad (2.9)$$

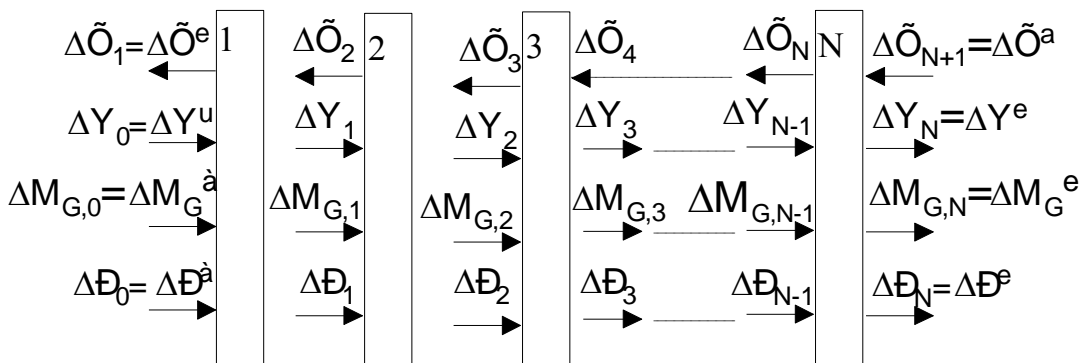


Рис. 2.5. Структурна схема абсорберу

Зв'язки між тарілками показані на рис.2.5. Із структурної схеми (рис.2.5) випливає, що знайти взаємозв'язки між вхідними і вихідними величинами абсорберу можна шляхом розв'язку системи рівнянь (2.8) – (2.9) спочатку для першої тарілки з початковими умовами (2.1); потім отримані результати використати як початкові умови для другої тарілки і т.д. аж до N -ої тарілки включно. Такий поелементний спосіб опису динамічних властивостей абсорберу наштовхується на певні труднощі, пов'язані з тим, що концентрації води задаються на протилежних кінцях колони.

З практичної точки зору найбільший інтерес викликає динаміка колони відносно вхідних ΔY^a , Δm_G^a , ΔP^a і вихідних ΔY^e , Δm_G^e , ΔP^e величин. В такому випадку передавальну матрицю i -тої тарілки отримаємо із матриці $W_i(p)$ шляхом вилучення першого стовбця і першої лінійки. В результаті отримаємо алгоритмічну структуру колони, як це показано на рис.2.6.

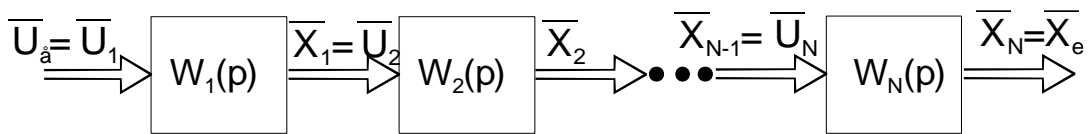


Рис. 2.6. Алгоритмічна структура абсорбційної колони

Кожну тарілку можна розглядати як багатомірну ланку з векторним входом $\bar{U}_i(p) = (\Delta Y_{i-1}, \Delta m_{i-1}, \Delta P_{i-1})$ і векторним виходом $\bar{X}_i(p) = (\Delta Y_i, \Delta m_i, \Delta P_i)$. Динамічні властивості такої ланки характеризуються передавальною матрицею $W_i(p)$. Оскільки ланки з'єднані послідовно, то динаміка колони опишеться системою матричних рівнянь:

$$\bar{X}_1(p) = W_1(p)\bar{U}_1(p), \bar{U}_1(p) = \bar{U}_a(p);$$

$$\bar{X}_2(p) = W_2(p)\bar{U}_1(p), \bar{X}_1(p) = \bar{U}_2(p); \quad (2.10)$$

.....

$$\bar{X}_N(p) = W_N(p)\bar{U}_N(p), \bar{X}_{N-1}(p) = \bar{U}_N(p); \bar{X}_N(p) = \bar{X}_e(p)$$

Вилучаючи із (2.68) всі проміжні змінні, крім $\bar{U}_a(p)$ і $\bar{X}_e(p)$, отримаємо матричну передавальну функцію

$$W(p) = W_N(p)W_{N-1}(p) \dots W_2(p)W_1(p) \quad (2.11)$$

яка однозначно визначає лінеаризовану модель абсорбційної колони.

Висновки дорозділу 2

Узагальнено та побудовано математичні та структурні схеми моделі технологічного процесу абсорбційної осушки природного газу, які включають математичну модель статички та математичну модель динаміки i -ої тарілки, і створюють основу для моделювання на ЕОМ і розробки системи автоматизованого управління технологічним процесом абсорбційної осушки газу.

Встановлено, що установка абсорбційної осушки природного газу є складним об'єктом, який працює в умовах невизначеності. При зовнішніх збуреннях спостерігається відхилення вологості природного газу від заданого значення, що є характерною особливістю таких установок і вимагає управління технологічним процесом абсорбційної осушки природного газу.

Розроблено математичну модель першої тарілки абсорбційної колони. Встановлено, що при збільшенні вологовмісту ДЕГу вологовміст газу, що залишає тарілку, зменшується від 0,317 до 0,054, а на виходах 3 і 4 отримано практично незалежні в часі сигнали, тобто, тиск в апараті і витрата газу не залежать від зміни вологовмісту газу. Модель адекватно відображає процес абсорбції, так як результати на виходах моделі відповідають фізичним основам процесу абсорбції.

РОЗДІЛ 3

ПОБУДОВА НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА

3.1. Розробка правил умовного логічного виводу

Для побудови нечіткої продукційної моделі системи регулювання, вхідні і вихідні параметри керованого процесу необхідно проквантувати по рівню і визначити їх лінгвістичне значення по кожному рівню квантування. Деякі лінгвістичні значення виражаються в таких наближених поняттях, як “мало”, “багато”, “менше норми” і т.д. Для маніпуляції такими лінгвістичними значеннями необхідна їхня інтерпретація. З цією метою використано апарат теорії нечітких множин, де кожному значенню параметра ставиться у відповідність функція належності.

Запишемо наступні вхідні величини нечіткого регулятора, для регулювання температури точки роси осушеного газу з абсорбера:

- відхилення біжучого значення температури точки роси газу від заданого
 - діапазон зміни $[-\infty \div +\infty], [-0,6 \div +0,6]$;
 - кількість термів 9; назва термів: С - середній, НН - незначно нище, НС – нище середнього, ЗН-значно нище, ДН -дуже низький, НВ - незначно вище, ВС -вище середнього, ЗВ-значно вище, ДВ - дуже високий.

Побудову функцій належності виконаємо з врахуванням наступних ознак їх класифікації:

- види параметрів (кількісні, якісні);
- кількість термів, що використовується для лінгвістичної оцінки параметрів(однакова, різна).

Задача нечіткого регулятора полягає в тому, щоб кожному поєднанню значень факторів поставити у відповідність одне із рішень.

Функції належності параметрів x_1 (відхилення значення температури точки роси від завдання) побудуємо методом статичної обробки експертної інформації. В якості експертів використовувались технологи-оператори установки осушення природного газу.

Кожному кванту вимагалось поставити у відповідності один із нечітких термів: С, НН, НС, ЗН, ДН, НВ, ВС, ЗВ, ДВ.

Результати експертного опитування по всіх параметрах, а саме по відхиленню значення температури точки роси від заданого значення, зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1

Результати даних експертного опитування про відхилення значення температури точки роси

Експерт Діапазон	1	2	3	4	5
-0,5÷ -0,6	ДН	ДН	ДН	ДН	ДН
-0,3÷ -0,5	ЗН	ДН	ЗН	ЗН	ДН
-0,1÷ -0,4	НН	НС	НС	НС	НН
-0,02÷ -0,2	С	НН	НН	НН	С
-0,01÷ 0	С	С	С	С	С
0,02÷ 0,2	НВ	С	НВ	С	НВ
0,1÷ 0,4	ЗВ	ВС	ВС	ВС	ВС
0,3÷ 0,5	ЗВ	ЗВ	ДВ	ЗВ	ЗВ
0,5÷ 0,6	ДВ	ДВ	ДВ	ДВ	ДВ

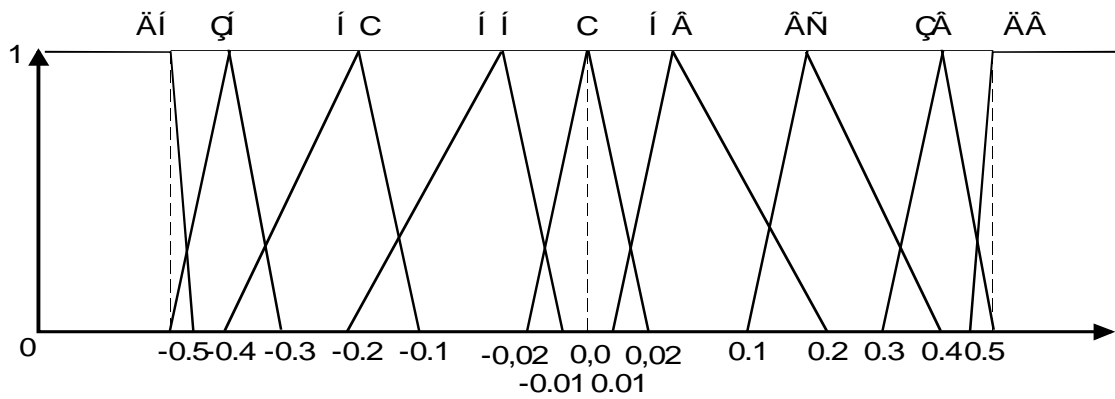


Рис. 3.1. Графік визначення функцій належності по зміні відхилення значення температури точки роси

Наступним етапом, після знаходження функцій належності вхідних параметрів, у побудові нечіткого регулятора є створення його бази даних. Тому, користуючись функціями належності, запишемо логічні рівності, що формалізують експертні знання:

- Якщо $Md=C$ то $MZ=C$;
- Якщо $Md=C$ і $Md=HH$ то $MZ=HH$;
- Якщо $Md=HH$ то $MZ=HH$;
- Якщо $Md=HH$ і $Md=HC$ то $MZ=HC$;
- Якщо $Md=HC$ то $MZ=HC$;
- Якщо $Md=3H$ і $Md=ДH$ то $MZ=3H$;
- Якщо $Md=3H$ то $MZ=3H$;
- Якщо $Md=ДH$ то $MZ=ДH$;
- Якщо $Md=HB$ і $Md=C$ то $MZ=HB$;
- Якщо $Md=HB$ то $MZ=HB$;
- Якщо $Md=BC$ то $MZ=BC$;
- Якщо $Md=BC$ і $Md=3B$ то $MZ=BC$;
- Якщо $Md=3B$ то $MZ=3B$;
- Якщо $Md=3B$ і $Md=ДB$ то $MZ=3B$;
- Якщо $Md=ДB$ то $MZ=ДB$;

де Md – відхилення значення вологості газу від завдання;

MZ – керуючий вплив;

Терми, що відповідають: С – середнє, НН - незначно нище, НС – нище середнього, ЗН-значно нище, ДН -дуже низький, НВ - незначно вище, ВС - вище середнього, ЗВ-значно вище, ДВ - дуже високий.

Згідно опитування експерт – оператора були створені відповідності між функціями належності μ_i , та правилами керування P_{li} і лінгвістичними формулюваннями, які характеризують параметри процесу абсорбційного осушення газу. Ці відповідності мають такий вид:

– температура в абсорбері:

μ_{11} – “Температура значно нище нормального значення”;

μ_{12} – “Температура нище нормального значення”;

μ_{13} – “Температура не значно нище нормального значення”;

μ_{14} – “Температура нормальна”;

μ_{15} – “Температура не значно вище нормального значення”;

μ_{16} – “Температура вище нормального значення”;

μ_{17} – “Температура значно вище нормального значення”;

μ_{18} – “Температура дуже висока”;

P_{11} – “Перевірити цілісність трубопроводів подачі ДЕГу”;

P_{12} – “Прикрити на 10% клапан на лінії виходу ДЕГу з теплообмінника Т-4-1”;

P_{13} – “ Прикрити на 5% клапан на лінії виходу ДЕГу з теплообмінника Т-4-1”;

P_{14} – “Регулювання не потрібне”;

P_{15} – “Відкрити на 5% клапан на лінії виходу ДЕГу з теплообмінника Т-4-1”;

P_{16} – “Відкрити на 10% клапан на лінії виходу ДЕГу з теплообмінника Т-4-1”;

- P_{17} – “Відкрити на 20% клапан на лінії виходу ДЕГу з теплообмінника Т-4-1”;
- P_{18} – “Перекрити лінію подачі газу”;
- P_{19} – “Відкачати ДЕГ з абсорбера”;
- температура в випарній колоні:
- μ_{21} – “Температура дуже низька”;
- μ_{22} – “Температура значно нище нормального значення”;
- μ_{23} – “Температура нище нормального значення”;
- μ_{24} – “Температура не значно нище нормального значення”;
- μ_{25} – “Температура нормальна”;
- μ_{26} – “Температура не значно вища нормального значення”;
- μ_{27} – “Температура вища нормального значення”;
- μ_{28} – “Температура значно вища нормального значення”;
- μ_{29} – “Температура дуже висока”;
- P_{21} – “Відкрити на 10% клапан подачі водяної пари в випарник”;
- P_{22} – “Відкрити на 5% клапан подачі водяної пари в випарник”;
- P_{23} – “Відключити блок абсорберів”;
- P_{24} – “Відключити подачу пари в випарник”;
- P_{25} – “Відкачати ДЕГ з апарату”;
- P_{26} – “Відкрити на 30% клапан подачі водяної пари в випарник”;
- P_{27} – “Регулювання не потрібне”;
- P_{28} – “Прикрити на 10% клапан подачі водяної пари в випарник”;
- P_{29} – “Прикрити на 5% клапан подачі водяної пари в випарник”;
- P_{210} – “Прикрити на 30% клапан подачі водяної пари в випарник”;
- тиск в абсорбері:
- μ_{31} – “Тиск дуже низький”;
- μ_{32} – “Тиск значно нищий нормального значення”;
- μ_{33} – “Тиск нище нормального значення”;
- μ_{34} – “Тиск не значно нище нормального значення”;

- μ_{35} – “Тиск нормальний”;
- μ_{36} – “Тиск не значно вищий нормального значення”;
- μ_{37} – “Тиск вищий нормального значення”;
- μ_{38} – “Тиск значно вищий нормального значення”;
- μ_{39} – “Тиск дуже високий”;
- P_{31} – “Перекрити клапан на лінії подачі газу ”;
- P_{32} – “Відкрити на 35% клапан на лінії виходу газу”;
- P_{33} – “ Відкачати ДЕГ з апарату”;
- P_{34} – “Відкрити клапан на лінії виходу газу на 20%”;
- P_{35} – “ Відкрити клапан на лінії виходу газу на 10%”;
- P_{36} – “Регулювання не потрібне”;
- P_{37} – “Прикрити клапан на лінії виходу газу на 10%”;
- P_{38} – “Прикрити клапан на лінії виходу газу на 20%”;
- P_{39} – “Прикрити клапан на лінії виходу газу на 35%”;
- тиск в випарній колоні:
 - μ_{41} – “Тиск дуже низький”;
 - μ_{42} – “Тиск значно нищий нормального значення”;
 - μ_{43} – “Тиск нище нормального значення”;
 - μ_{44} – “Тиск не значно нище нормального значення”;
 - μ_{45} – “Тиск нормальний”;
 - μ_{46} – “Тиск не значно вищий нормального значення”;
 - μ_{47} – “Тиск вищий нормального значення”;
 - μ_{48} – “Тиск значно вищий нормального значення”;
 - μ_{49} – “Тиск дуже високий”;
 - P_{41} – “Відключити блок абсорберів”;
 - P_{42} – “Відключити подачу пари в випарну колону”;
 - P_{43} – “ Відкачати ДЕГ з апарату”;
 - P_{44} – “Перекрити клапан на лінії подачі парів ДЕГу в випарну колону на 10%”;

P_{45} – “Перекрити клапан на лінії подачі парів ДЕГу в випарну колону на 5%”;

P_{46} – “Регулювання не потрібне”;

P_{47} – “Відкрити клапан на лінії подачі пари НДЕГу в випарну колону на 5%”;

P_{48} – “Відкрити клапан на лінії подачі пари НДЕГу в випарну колону на 10%”;

P_{49} – “Перекрити клапан на лінії подачі парів ДЕГу в випарну колону на 20%”;

P_{410} – “Відкрити клапан на лінії подачі пари НДЕГу в випарну колону на 20%”;

– рівень ДЕГу в абсорбері:

μ_{51} – “Рівень дуже низький”;

μ_{52} – “Рівень значно нищий нормального значення”;

μ_{53} – “Рівень нище нормального значення”;

μ_{54} – “Рівень не значно нище нормального значення”;

μ_{55} – “Рівень нормальний”;

μ_{56} – “Рівень не значно вищий нормального значення”;

μ_{57} – “Рівень вищий нормального значення”;

μ_{58} – “Рівень значно вищий нормального значення”;

μ_{59} – “Рівень дуже високий”;

P_{51} – “Перекрити газ на вході в апарат”;

P_{52} – “Перекрити подачу ДЕГу”;

P_{53} – “Перекрити клапан на лінії виходу ДЕГу з абсорбера на 20%”;

P_{54} – “Перекрити клапан на лінії виходу ДЕГу з абсорбера на 10%”;

P_{55} – “Перекрити клапан на лінії виходу ДЕГу з абсорбера на 5%”;

P_{56} – “Регулювання не потрібне”;

P_{57} – “Відкрити клапан на лінії виходу ДЕГу з абсорбера на 5%”;

P_{58} – “Відкрити клапан на лінії виходу ДЕГу з абсорбера на 10%”;

- P*₅₉ – “Відкрити клапан на лінії виходу ДЕГу з абсорбера на 20%”;
- рівень ДЕГу в випарній колоні:
- μ*₆₁ – “Рівень дуже низький”;
- μ*₆₂ – “Рівень значно нищий нормального значення”;
- μ*₆₃ – “Рівень нище нормального значення”;
- μ*₆₄ – “Рівень не значно нище нормального значення”;
- μ*₆₅ – “Рівень нормальний”;
- μ*₆₆ – “Рівень не значно вищий нормального значення”;
- μ*₆₇ – “Рівень вищий нормального значення”;
- μ*₆₈ – “Рівень значно вищий нормального значення”;
- μ*₆₉ – “Рівень дуже високий”;
- P*₆₁ – “Перекрити подачу пари в випарну колону”;
- P*₆₂ – “Перекрити подачу ДЕГу”;
- P*₆₃ – “Відключити блок абсорберів”;
- P*₆₄ – “Перекрити клапан на лінії виходу ДЕГу з випарної колони на 20%”;
- P*₆₅ – “Перекрити клапан на лінії виходу ДЕГу з випарної колони на 10%”;
- P*₆₆ – “Перекрити клапан на лінії виходу ДЕГу з випарної колони на 5%”;
- P*₆₇ – “Регулювання не потрібне”;
- P*₆₈ – “Відкрити клапан на лінії виходу ДЕГу з випарної колони на 5%”;
- P*₆₉ – “Відкрити клапан на лінії виходу ДЕГу з випарної колони на 10%”;
- P*₆₁₀ – “Відкрити клапан на лінії виходу ДЕГу з випарної колони на 20%”;
- температура точки роси газу на виході з блоку абсорберів:
- μ*₇₁ – “Температура дуже низька”;
- μ*₇₂ – “Температура значно нища середнього значення”;
- μ*₇₃ – “Температура нище середнього значення”;
- μ*₇₄ – “Температура не значно нища середнього значення”;

- μ_{75} – “Температура на середньому рівні”;
- μ_{76} – “Температура не значно вища середнього значення”;
- μ_{77} – “Температура вища середнього значення”;
- μ_{78} – “Температура значно вища середнього значення”;
- μ_{79} – “Температура дуже висока”;
- P_{71} – “Відключити подачу газу в абсорбер”;
- P_{72} – “Перекрити подачу ДЕГу в абсорбер”;
- P_{73} – “Зменшити подачу ДЕГу на 20%”;
- P_{74} – “Зменшити подачу ДЕГу на 15%”;
- P_{75} – “Зменшити подачу ДЕГу на 5%”;
- P_{76} – “Регулювання не потрібне”;
- P_{77} – “Збільшити ДЕГ на 5%”;
- P_{78} – “Збільшити ДЕГ на 15%”;
- P_{79} – “Збільшити ДЕГ на 20%”.

Маючи перелік відповідностей можемо сформулювати правила нечіткого регулювання згідно правил Л. Заде:

- R1: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{11}$ ТО $y_1 = P_{11}$;
- R2: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{12}$ ТО $y_1 = P_{12}$;
- R3: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{13}$ ТО $y_1 = P_{13}$;
- R4: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{14}$ ТО $y_1 = P_{14}$;
- R5: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{15}$ ТО $y_1 = P_{15}$;
- R6: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{16}$ ТО $y_1 = P_{16}$;
- R7: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{17}$ ТО $y_1 = P_{17}$;
- R8: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{18}$ ТО $y_1 = P_{18}$ і $y_2 = P_{19}$;
- R9: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{21}$ ТО $y_1 = P_{23}$ і $y_2 = P_{24}$ і $y_3 = P_{25}$;
- R10: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{22}$ ТО $y_1 = P_{26}$;
- R11: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{23}$ ТО $y_1 = P_{21}$;
- R12: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{24}$ ТО $y_1 = P_{22}$;
- R13: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{25}$ ТО $y_1 = P_{27}$;

- R14: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{26}$ ТО $y_1 = P_{29}$;
- R15: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{27}$ ТО $y_1 = P_{28}$;
- R16: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{28}$ ТО $y_1 = P_{210}$;
- R17: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{29}$ ТО $y_1 = P_{23}$ і $y_2 = P_{24}$ і $y_3 = P_{25}$;
- R18: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{31}$ ТО $y_1 = P_{31}$ і $y_2 = P_{33}$;
- R19: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{32}$ ТО $y_1 = P_{39}$;
- R20: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{33}$ ТО $y_1 = P_{38}$;
- R21: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{34}$ ТО $y_1 = P_{37}$;
- R22: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{35}$ ТО $y_1 = P_{36}$;
- R23: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{36}$ ТО $y_1 = P_{35}$;
- R24: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{37}$ ТО $y_1 = P_{34}$;
- R25: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{38}$ ТО $y_1 = P_{32}$;
- R26: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{39}$ ТО $y_1 = P_{31}$ і $y_2 = P_{33}$;
- R27: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{41}$ ТО $y_1 = P_{41}$ і $y_2 = P_{42}$ і $y_3 = P_{43}$;
- R28: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{42}$ ТО $y_1 = P_{49}$;
- R29: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{43}$ ТО $y_1 = P_{44}$;
- R30: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{44}$ ТО $y_1 = P_{45}$;
- R31: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{45}$ ТО $y_1 = P_{46}$;
- R32: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{46}$ ТО $y_1 = P_{47}$;
- R33: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{47}$ ТО $y_1 = P_{48}$;
- R34: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{48}$ ТО $y_1 = P_{410}$;
- R35: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{49}$ ТО $y_1 = P_{41}$ і $y_2 = P_{42}$ і $y_3 = P_{43}$;
- R36: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{51}$ ТО $y_1 = P_{51}$ і $y_2 = P_{52}$;
- R37: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{52}$ ТО $y_1 = P_{53}$;
- R38: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{53}$ ТО $y_1 = P_{54}$;
- R39: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{54}$ ТО $y_1 = P_{55}$;
- R40: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{55}$ ТО $y_1 = P_{56}$;
- R41: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{56}$ ТО $y_1 = P_{57}$;

- R42: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{57}$ ТО $y_1 = P_{58}$;
- R43: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{58}$ ТО $y_1 = P_{59}$;
- R44: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{59}$ ТО $y_1 = P_{51}$ і $y_2 = P_{52}$;
- R45: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{61}$ ТО $y_1 = P_{63}$ і $y_2 = P_{62}$ і $y_3 = P_{61}$;
- R46: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{62}$ ТО $y_1 = P_{64}$;
- R47: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{63}$ ТО $y_1 = P_{65}$;
- R48: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{64}$ ТО $y_1 = P_{66}$;
- R49: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{65}$ ТО $y_1 = P_{67}$;
- R50: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{66}$ ТО $y_1 = P_{68}$;
- R51: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{67}$ ТО $y_1 = P_{69}$;
- R52: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{68}$ ТО $y_1 = P_{610}$;
- R53: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{69}$ ТО $y_1 = P_{63}$ і $y_2 = P_{62}$ і $y_3 = P_{61}$;
- R54: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{71}$ ТО $y_1 = P_{71}$ і $y_1 = P_{72}$;
- R55: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{72}$ ТО $y_1 = P_{79}$;
- R56: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{73}$ ТО $y_1 = P_{78}$;
- R57: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{74}$ ТО $y_1 = P_{77}$;
- R58: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{75}$ ТО $y_1 = P_{76}$;
- R59: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{76}$ ТО $y_1 = P_{75}$;
- R60: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{77}$ ТО $y_1 = P_{74}$;
- R61: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{78}$ ТО $y_1 = P_{73}$;
- R62: ЯКЩО $x_1 \in \mu_{79}$ ТО $y_1 = P_{71}$ і $y_1 = P_{72}$.

Всі ці дані є необхідні для практичної реалізації нечіткого (Fuzzy) регулятора за допомогою SCADA – системи.

Висновки до розділу 3

В даному розділі магістерської роботи здійснено критичний аналіз систем регулювання установки осушення газу з метою удосконалення існуючої системи керування.

Синтезовано побудову нечіткого регулятора на основі правил умовного логічного виводу, побудованих, згідно опитування оператора – експерта, функцій належності вхідних параметрів регулятора та створеної бази знань.

Проведено визначення функцій належності по зміні відхилення значень температури точки роси. Було проведено відповідності між функціями належності, правилами керування та лінгвістичними формулюваннями, які характеризують параметри процесу абсорбційного осушення газу.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ АБСОРБЦІЙНОГО ОСУШЕННЯ ГАЗУ

4.1. Технічні засоби нижнього і верхнього рівнів автоматизації

Для збільшення швидкодії та покращення якості процесу регулювання в існуючих системах абсорбційної осушки природного газу широко застосовують типові регулятори. Найбільш ефективними вважаються ПІ та ПІД-регулятори. Щоб зменшити вплив невизначеності на процес регулювання запропоновано доповнити систему додатковим контуром з нечіткими ПІД-регулятором і використати SKADA-систему (Supervising Control and Aquition), згідно прийнятого в 1997р Європейським Товариством Положення, є обов'язковим для забезпечення будь-яких виробничих процесів засобами оперативного контролю та управління.

Тому передбачено в даному розділі розглянути узагальнену структуру комп'ютерної системи управління підприємством, ієрархічні рівні управління, операційну модель, компоненти комп'ютерних систем управління. Розроблені експериментальні програми та технічне забезпечення повинні мати такі переваги: проекти управління; використання високоякісних елементів, що відрізняються надійністю і тривалістю використання; дистанційний моніторний контроль; висока чутливість; постійна готовність до роботи ; управління від ЕОМ; та ін.

Узагальнена На компресорних станціях магістральних газопроводів функціонують багаторівневі комп'ютерні системи керування процесом абсорбційної осушки природного газу, які забезпечують безперервний контроль технологічних параметрів та оперативне управління обладнанням у режимі реального часу. Такі системи будуються за ієрархічним принципом і включають декілька взаємопов'язаних рівнів управління, структура яких наведена на рис. 4.1.

Нижній (польовий) рівень системи призначений для безпосередньої взаємодії з технологічним процесом. На цьому рівні здійснюється збір первинної інформації від давачів і контрольно-вимірювальних приладів щодо основних параметрів абсорбційної осушки, таких як тиск, температура, витрата газу та абсорбенту, а також вологість осушеного газу. Крім того, реалізується формування та передача керуючих впливів на виконавчі механізми (регулюючі клапани, насоси, запірну арматуру тощо).

Функціонування нижнього рівня забезпечується програмованими логічними контролерами (ПЛК), у яких реалізуються алгоритми автоматичного регулювання, технологічні та аварійні блокування, логічні умови захисту обладнання, а також базові алгоритми сигналізації. Наявність програмних блокувань та захисних функцій дозволяє підвищити рівень промислової безпеки, забезпечити надійну роботу технологічного обладнання та мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій.

На наступному, SCADA-рівні, здійснюється віддалене представлення стану технологічного процесу абсорбційної осушки природного газу для операторів за допомогою графічного інтерфейсу користувача (GUI – Graphics User Interface). Окрім цього, SCADA-рівень забезпечує виконання задач збору, накопичення та передачі даних про стан процесу на нижчі рівні управління компресорної станції та на верхній рівень планування.

На даному рівні відбувається подальша обробка технологічної інформації, формування узагальненої картини процесу та отримання ключових показників якості і кількості осушення газу. Це дозволяє оператору приймати обґрунтовані оперативні рішення, коригувати режими роботи установки та забезпечувати безперервність і стабільність технологічного процесу.

У ряді випадків функції SCADA-рівня інтегруються з верхнім рівнем управління підприємства, де застосовуються методи прогнозування, імовірнісні та статистичні підходи для планування ресурсів виробництва, оптимізації режимів роботи та стратегічного управління активами.

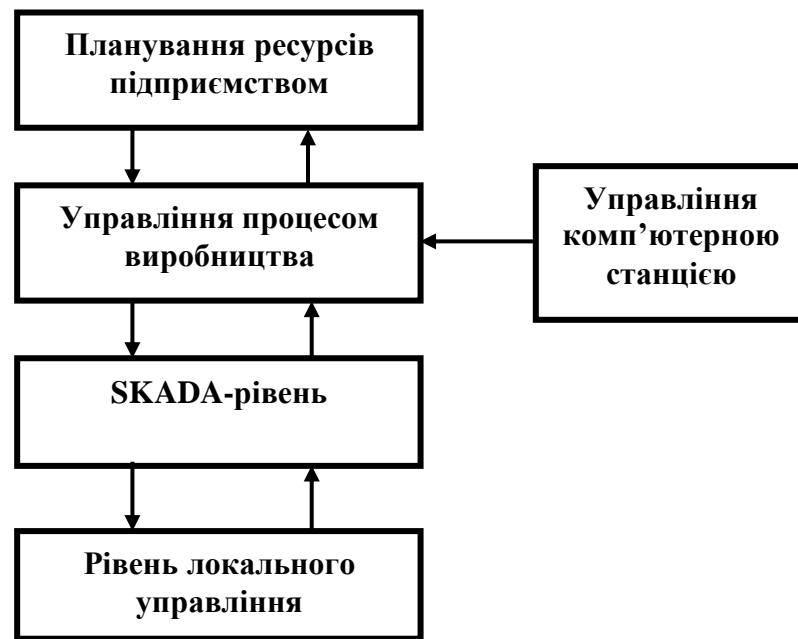


Рис. 4.1. Ієрархія рівнів управління

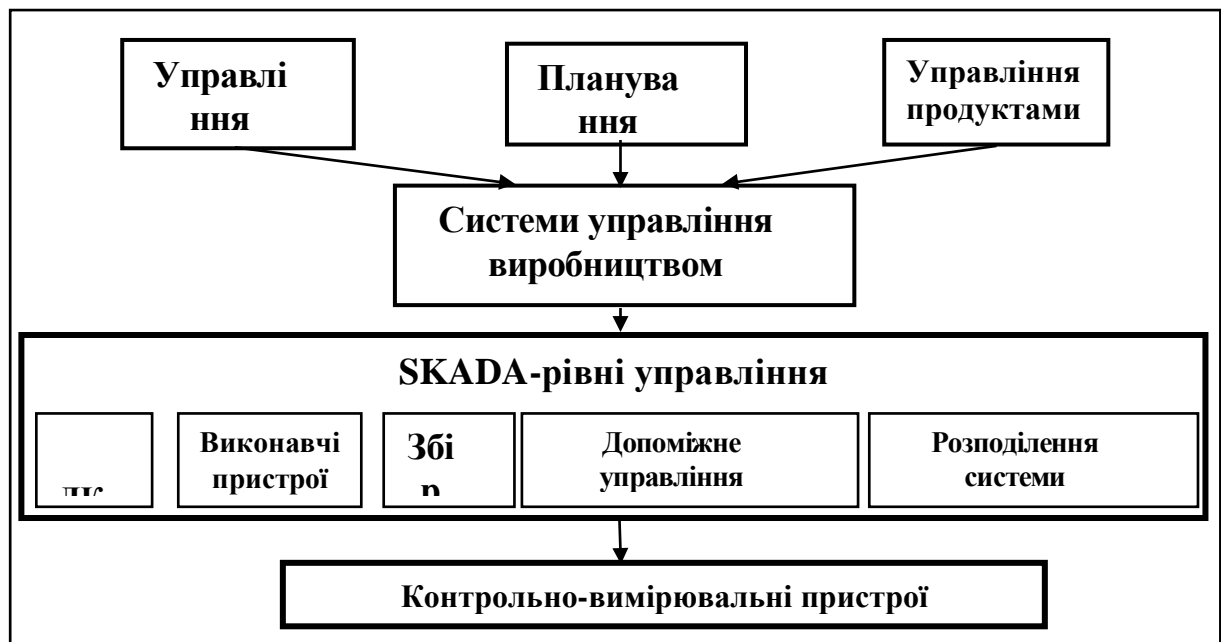


Рис 4.2. Інформаційна модель підприємства

Описаному рівню управління відповідає інформаційна модель підприємства, яка представлена на рис. 4.2. Аналіз технологічного процесу осушення газу, вимог до контролю основних параметрів, регулювання та

загального рівня автоматизації дозволив обґрунтовано здійснити вибір технічних засобів автоматизації (ТЗА) як нижнього, так і верхнього рівнів системи, функціональна структура якої наведена на рис. 4.3.

Враховуючи специфіку досліджуваної установки, яка функціонує в умовах підвищеної пожежо- та вибухонебезпечності, до технічних засобів висуваються додаткові вимоги. Було здійснено вибір обладнання з вибухозахищеними вхідними та вихідними колами, а також з гальванічною розв'язкою по кожному каналу вимірювання. Кожен електричний сигнал, що надходить до операторної або від неї, проходить через бар'єр іскрозахисту, що забезпечує безпеку роботи персоналу та надійність технологічного процесу.

Оскільки на установці контролюється ряд однотипних параметрів технологічного процесу, то в систему приладів ТЗА входять однакові автоматичні пристрої. Це значно полегшує їх використання та експлуатацію, налаштування та ремонт.

При виборі ТЗА керувались рекомендаціями виробників, тому надано перевагу використанню автоматичних пристроїв серійного виробництва фірми Honeywell.

Так, при великій кількості однакових параметрів для їх контролю застосовують однакові прилади. Вибираючи технічні засоби, враховано наступні фактори метрологічного та режимного характеру:

- границю вимірювання;
- інерційність датчиків;
- вплив фізичних параметрів досліджуваного середовища та довкілля на роботу приладу;
- можливість застосування датчика з погляду на умови експлуатації;
- відстань між датчиками та операторною, на яку можлива передача даних;
- граничне значення вимірювальної величини та досліджуваного середовища;

Автоматизація нижнього рівня установки осушення газу вимагає таких

технічних засобів:

- первинні перетворювачі температури, тиску, рівня, витрати, температури точки роси;
- проміжні перетворювачі;
- вторинні прилади;
- виконавчі механізми.

Давачі тиску та перепаду тиску. При виборі давачів тиску, крім основних характеристик, враховано ще й такі:

- характер зміни тиску в часі ;
- вплив контрольованого середовища;
- вплив зовнішніх збурень.

Як перетворювач тиску вибрано “Метран-43 ДИ”, “Метран-43 ДА” та “Метран-43 ДВ”, з електричним уніфікованим вихідним сигналом 4..20мА у вибухозахисному виконанні. Давачі перепаду тиску підібрано по максимально допустимому перепаду тиску на діафрагмі. Вибрано давачі перепаду тиску типу STD-130 з електричним уніфікованим вихідним сигналом 4..20мА у вибухозахисному виконанні.

Давачі температури. Температура при проведенні абсорбційної осушки газу коливається в межах $25 \div 35^{\circ}\text{C}$. З огляду на це, підібрано термометр опору ТСМ-254 з двома чутливими елементами в вибухозахищеному виконанні (захисна арматура Ст08Х13). Діапазон вимірювання $T = -50^{\circ}\text{C} \div 180^{\circ}\text{C}$. Для вимірювання температури вологого та осушеного газу, який поступає та відводиться з установки підібрано давач температури з уніфікованим вихідним сигналом 4..20мА типу ТСМУ-274, в вибухозахищеному виконанні. Для вимірювання температури точки роси на виході кожного абсорбера підібрано гігрометри типу Н4112, з уніфікованим вихідним електричним сигналом 4..20мА в вибухозахищеному виконанні.

Давачі рівня. Так, як рівень на установці осушення газу вимірюється по перепаду тиску в апаратах, то підібрано давачі рівня типу “Метран-43 ДД”, з

електричним уніфікованим сигналом 4..20мА у вибухозахисному виконанні (1ЕхібІІСТ 5Х) з максимальним перепадом тиску 160 кПа.

Давачі витрати. Для вимірювання витрати насиченого та регенерованого ДЕГу а також вологого газу в абсорбери вибрано діафрагму камерну типу ДКС-36,669-10, ДКС-28,482-10, ДКС-37,973-10, ДКС-69,356-10, ДКС-31,340-10. Для вимірювання витрати вологого та осушеного газу, який поступає та відводиться з установки підібрано лічильник газу ЛГ-К-150-Ех у вибухозахищеному виконанні.

Модулі аналогових входів – виходів. Модулі входів – виходів вибрані із врахуванням категорії вибухонебезпеки установки, гальванічна розв'язка по кожному каналу 3000В. Підібрані модулі є багатоканальними. Кожний модуль аналогових входів має вихідний сигнал RS485, що дозволяє об'єднати модулі в єдину локальну мережу. Вхідні сигнали модулів I-7017 та I-7018 це входи від термометрів опору та стандартні уніфіковані електричні сигнали 4..20мА. Вихідні сигнали модулів I-7024 це уніфіковані електричні сигнали 4..20мА, а вхідні – це RS485.

Виконавчі механізми. Підбір виконавчих механізмів здійснено по пропускній здатності, максимальному тиску та по діаметру умовного проходу. Підібрані виконавчі механізми типу V41113540 з редукторним електроприводом АМЕ550, який управляється модулюючим вхідним сигналом 4..20мА. Електропривід виконано у вибухозахищеному виконанні.

Для візуалізації технологічного процесу осушення природного газу підібрано ЕОМ, яка за своїми технічними характеристиками дозволяє виконання програмного забезпечення Promotic SCADA в системі реального часу. З цією метою було вибрано ЕОМ із наступними технічними характеристиками:

- Процесор PENTIUM IV;
- Частота процесора 2,7 ГГц;
- Оперативна пам'ять 512 DDR;
- Постійна пам'ять 80Gb;

- Операційна система WINDOWS XP PROFESSIONALE;
- Монітор 17";
- Кількість COM-портів – мінімум 2.

Для забезпечення резервування запропоновано встановити два вінчестери (жостких диска), з операційною системою та програмним забезпеченням на кожному з них. У випадку відмови одного з них, другий автоматично включається в роботу. Запис архівних даних проводиться на два жостких диска одночасно, в системі реального часу.

Для зв'язку ЕОМ з модулями аналогового входу-виходу використовується адаптер зв'язку I-7520, який призначений для перетворення інтерфейсу RS485 в RS232.

Узгоджена робота верхнього рівня автоматизації установки осушення природного газу визначається правильним підбором датчиків та модулів аналогового входу-виходу, а також правильним їх програмуванням, яке здійснюється на нижньому рівні автоматизації. Робота верхнього рівня автоматизації зводиться до постійного опитування модулів аналогового входу-виходу та відображення значень технологічних параметрів на моніторі ЕОМ, за допомогою програмного забезпечення.

На рис.4.3 показано зв'язок первинних перетворювачів та давачів з модулями аналогового входу-виходу, а також зв'язок з автоматизованим робочим місцем (АРМ) оператора, який здійснює контроль технологічних параметрів в системі реального часу за допомогою програмного забезпечення Promotic SCADA.

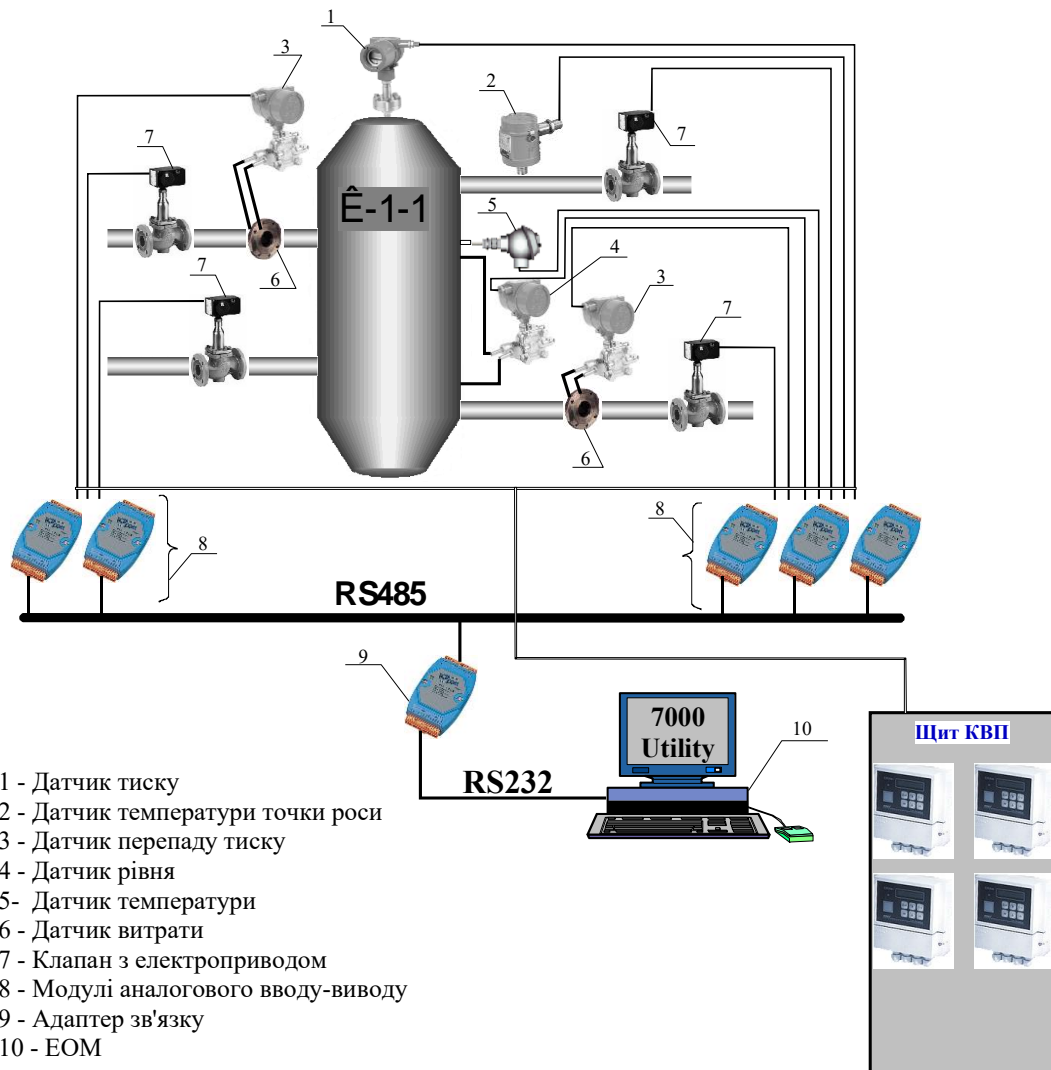


Рис. 4.3. Функціональна структура системи автоматизації процесу абсорбційного осушування газу

4.3. Програмування модулів аналогового входу-виходу

Автоматизація установки осушення природного газу передбачає нижній та верхній рівень автоматизації. На нижньому рівні автоматизації система збору інформації повинна відповідати наступним вимогам:

- забезпечення безперебійного зв'язку з давачами та первинними перетворювачами;
- пріоритет опитування давачів аналогового входу повинен бути не менше 0,2с.;
- зберігати стійкість при виході з ладу будь-якого опитувального каналу;
- похибка перетворення аналогового сигналу в цифровий повинна бути

мінімальною;

- забезпечувати максимальну точність передачі інформації.

Для синхронної роботи нижнього і верхнього рівнів автоматизації проведено програмування модулів входу – виходу.

Модулі аналогового вводу призначені для сприйняття аналогового сигналу від датчиків та первинних перетворювачів, перетворення його в цифровий вигляд та передачі інформації на ЕОМ.

Програмування модулів аналогових входів проводилось за допомогою програмного забезпечення I7000 Utility.

На першому етапі програмування підключено ЕОМ до мережі перетворювачів та запущено програму I7000 Utility в режимі “Налаштування”. В цьому режимі здійснюються загальні налаштування: вказується номер СОМ-порта комп’ютера по якому буде здійснюватись зв’язок з перетворювачами та швидкість, з якою буде здійснюватись пошук перетворювачів.

4.4. Розробка графічної частини програмного забезпечення

Графічна частина проекту розроблена за допомогою “Редактора представлення даних”(РПД). Для запуску РПД вибрано необхідний ярлик в папці інструментальної системи, або запустити модуль risman.exe за допомогою командного рядка.

Розробка графічного інтерфейсу полягає в розміщенні на екранах графічної бази статичних елементів малювання і динамічних форм відображення. Графічні елементи вибираються за допомогою відповідних інструментальних панелей. При цьому на екран виводиться діалог налаштування їх атрибутів (колір фона, прив’язка до каналу).

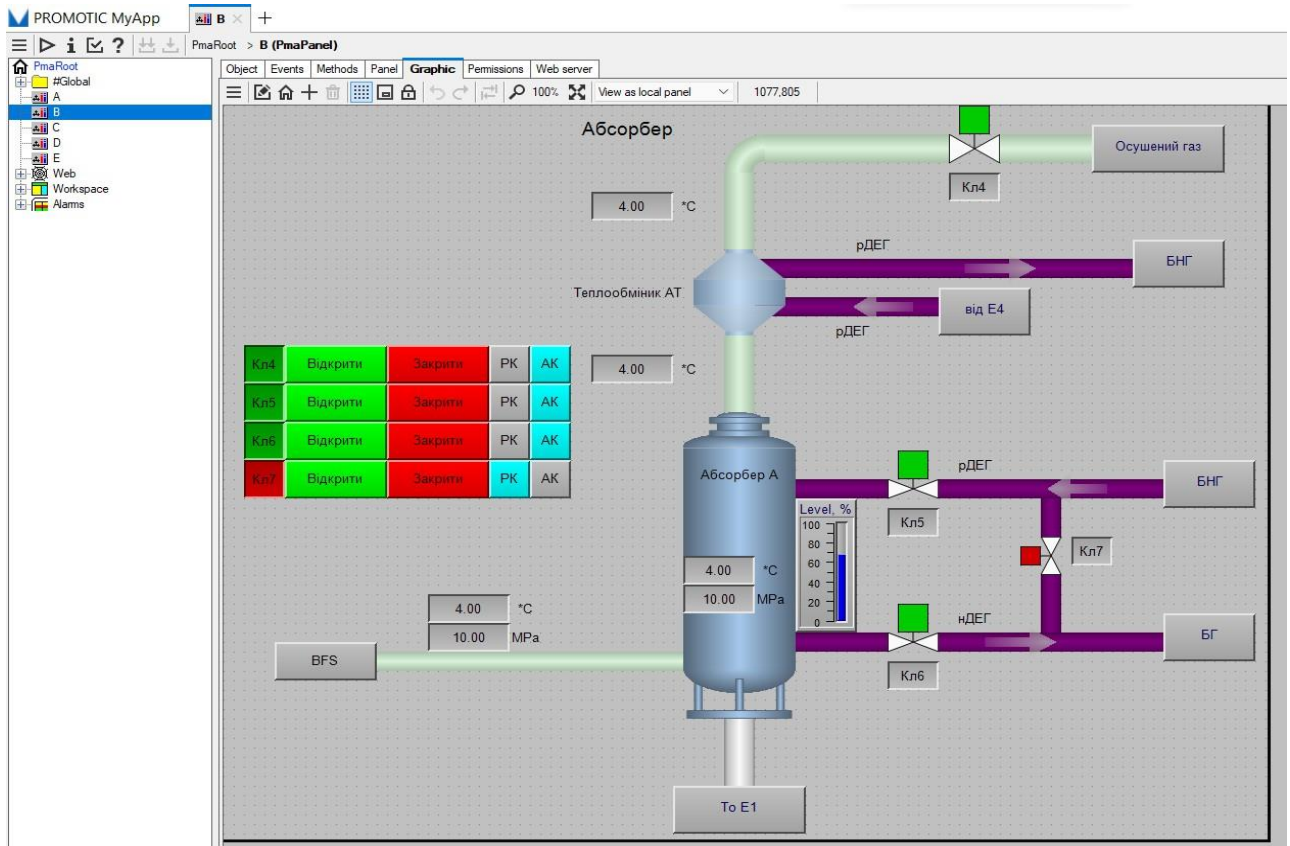


Рис.4.4. Загальне вікно установки осушення природного газу

4.5. Розробка автоматизованого робочого місця оператора

Для створення автоматизованого робочого місця оператора (рис.4.4), та для узгодження роботи “Редактора бази каналів” та “Редактора представлення даних” використано “Монітор реального часу”(МРЧ).

МРЧ складається з двох компонентів:

- Сервер математичної обробки
- Графічна консоль

Сервер математичної обробки реалізує функцію перерахунку бази каналів, обробки даних і управління, зв’язку з віддаленими МРЧ по мережі і через модеми. Крім цього він реалізує функції обміну з базами даних та іншим програмним забезпеченням, здійснює архівування і зчитування даних з архівів.

Графічна консоль реалізує функції людино-машинного інтерфейсу. Цей модуль запрошує дані у сервера математичної обробки, для їх відображення і передає зворотно команди управління, які сформовані оператором. Для запуску МРЧ потрібно вибрати необхідний ярлик в папці інструментальної системи, або запустити модуль `picRT.exe` за допомогою командного рядка.

Для забезпечення безпеки вхід в МРЧ здійснюється тільки після введення імені оператора та індивідуального пароля.

Висновки до розділу 4

Для технічної реалізації системи автоматизації технологічного процесу абсорбційної осушки газу використано ЕОМ зі SCADA-системою, яка виступає в якості нечіткого регулятора. Програмування контурів управління здійснено шляхом використання алгоритмів FBD-блоків.

На нижньому рівні автоматизації датчики та модулі збору і передачі інформації підібрані з таким розрахунком, щоб вся система об'єднувалась в єдину локальну мережу. Верхній рівень автоматизації дозволяє одночасне використання в системі реального часу до 1024-ох контурів регулювання. Це значно впливає на швидкодію системи та точність.

Розроблено алгоритм програмування модуля аналогового входу I-7018 за допомогою програмного забезпечення I7000 Utility. Наведено основні команди, які використовуються при програмуванні модуля аналогового входу. При правильному використанні даних команд буде досягнута максимальна точність вимірювання та перетворення аналогової величини в цифрову.

Розроблене програмне забезпечення верхнього рівня автоматизації за допомогою SCADA-системи. Розроблена база каналів та проведено налаштування кожного каналу, графічна частина вузла проекту та створене автоматизоване робоче місце оператора, за допомогою монітора реального часу. Розроблений СПАД-архів за допомогою ODBC інтерфейсу, та проведена робота з базами даних в Microsoft Excel.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дослідженні здійснено розроблення автоматизованої системи керування процесом абсорбційного осушення природного газу з використанням методів нечіткої логіки, що дало змогу підвищити ефективність та адаптивність функціонування установки в умовах змінних технологічних і зовнішніх факторів. Показано, що традиційні регулятори, орієнтовані на лінійні моделі, не завжди здатні забезпечити стабільність та оптимальність режимів роботи абсорбційної колони, оскільки фізична природа процесу осушення передбачає нелінійність, інерційність і наявність параметричних збурень. Використання нечітких регуляторів дало можливість побудувати систему, здатну ефективно реагувати на складні режимні ситуації та підтримувати ключові параметри процесу — температуру, витрату розчинника, циркуляцію діетиленгліколю — у оптимальних межах.

Побудована модель абсорбційного процесу, а також реалізований алгоритм нечіткого керування підтвердили свою адекватність у рамках імітаційного моделювання. Отримані перехідні характеристики засвідчили зменшення часу регулювання, зниження перерегулювання та підвищення точності стабілізації технологічних параметрів порівняно з традиційними системами автоматичного регулювання. Це свідчить про перспективність застосування інтелектуальних методів у задачах керування процесами підготовки газу.

У роботі сформовано вимоги до модернізованої системи керування, визначено її функціональну структуру та продемонстровано можливість інтеграції нечітких алгоритмів у існуючі автоматизовані комплекси промислового призначення. Показано, що впровадження такої системи сприяє підвищенню енергоефективності, зниженню експлуатаційних витрат та поліпшенню якості кінцевого продукту.

Загалом отримані результати підтверджують доцільність використання нечіткої логіки як ефективного інструмента для оптимізації процесу

абсорбційного осушення газу та створення гнучких, надійних і адаптивних систем автоматизованого керування. Розроблена система може слугувати основою для подальшої модернізації технологічних комплексів газопідготовки та впровадження інтелектуальних рішень у промисловій автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Халатов А.А. Энергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи [Текст]/ А.А. Халатов // Вісник НАН України – ISSN 1027-3239. – 2016. – №6. – С.53–61.
2. Shorokhov V.A. Development of a mathematical model simulating the multiply connected automatic control system of a coal-fired power unit equipped with a direct-injection dust feed system [Текст] / A.P. Smol'nikov, D.A. Kurochkin, et al. // Thermal Engineering. – 2009. – Vol. 56. - № 10. – P. 868-874.
3. Li Y., Ang K.H, Chong G.C.Y. Patents, software, and hardware for PID control. An overview and analysis of the current art // IEEE Control Systems Magazine. Feb.2006. P. 41-54.
4. Ляпощенко О.О., Толстун Ю.О. Розробка енергоефективної технології осушування та очищення природного газу з застосуванням багатофункціонального абсорбера / Збірник наукових праць: «Наукові праці Одеської державної академії харчових технологій». — Одеса, 2009. — Вип.35. — Т.2. — С.75-79.
5. Борин В.С. Автоматизація технологічного процесу регенерації диетиленгліколю з використанням штучних нейромереж / В. С. Борин, І. І. Чигур, О. В. Костецький, В. М. Сопуляк // Розвідка та розробка нафт. і газ. родовищ. - 2017. - № 4. - С. 104-107. - Бібліогр.: 3 назв. - укр.
6. Ковриго Ю.М. Методика налаштування H_{∞} -ПІД регулятора для об'єктів із запізнюванням [Текст] / Ю.М. Ковриго, Т.Г. Баган // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – Київ. – 2019. – № 1. – С. 27-33.
7. Silva R.N. Adaptive regulation of super-heated steam temperature: a case study in an industrial boiler [Текст] / R.N. Silva et al. // Control Engineering Practice. – 2020. – Vol. 8. - Issue 12. – P. 1405-1415.
8. Bova, S., Codara, P., Maccari, D., Marra, V. A., Logical analysis of Mamdani-type fuzzy inference, I theoretical bases, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, Barcelona, pp. 1-8, 2021.

9. Ковриго Ю.М. Fuzzy-регулятор для керування інерційними технологічними параметрами котлоагрегату ТЕС / Ю.М. Ковриго, О.С.Бунке, П.В. Новіков / *Nauka i Studia NR 8 (169) 2017* – с. 76-84.

10. Штіфзон О.Й. Розробка адаптуючого fuzzy-logic пристрою для керування в умовах параметричної нестационарності / О.Й. Штіфзон, П.В. Новіков, Т.Г. Баган / *Східно-європейський журнал передових технологій* – Харків, 2018. – Том 1№ 2.

11. Руденко О.Г. Штучні нейронні мережі.: навч.посіб./ О.Г. Руденко, Є.В.Бодяньський. – Х.: Компанія СМІТ, 2016. – 404 с. – іл.. - 390-397

12. Новіков П.В. Контролер на базі системи нечіткого виводу для регулювання інерційних теплоенергетичних параметрів / П.В.Новіков, О.С.Бунке // *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2017: IV міжнар. наук.-прак. конф. мол. уч, асп., і студ.: мат. конф.– К., 2017.– .С. 31-32.*

13. Автоматизація процесів переробки нафти та газу: навч. посіб. / Г.Н.Семенцов, М.І.Горбійчук, Л.І.Жуган, С.А.Чеховський. - Львів: Світ, 1992. - 352 с.

14. Горбійчук М.І. Моделювання об'єктів і систем керування в нафтовій та газовій промисловості: навч. посіб. Ч. 1. - Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. - 149 с.

15. Горбійчук М.І. Математичне моделювання на ЕОМ технологічних об'єктів: навч. посіб. - Івано-Франківськ: Факел, 2001. С.240

16. Новіков П.В. Інтелектуальна система керування інерційними технологічними параметрами на базі fuzzy-регулятора / П.В.Новіков, О.С.Бунке. Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: XV міжнар. наук.-прак. конф. асп., маг. і студ. : мат. конф.– К., 2017.

17. Горбійчук М.І. Моделювання об'єктів і систем керування в нафтовій та газовій промисловості: навч. посіб. Ч. 2. - Івано-Франківськ: ІФДТУНГ, 1999. С. 226

18. Фазі-логіка в системах керування: навч. посіб. / Г.Н.Семенов, І.І.Чигур, М.В.Шавранський, В.С.Борин. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2002. – С. 64
19. Фазі-логіка в системах контролю: навч. посіб. / Г.Н.Семенов, І.І.Чигур, М.В.Шавранський, В.С.Борин. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2002. – С. 70.
20. Compernelle, Tine & Witters, Nele & Van Passel, Steven & Thewys, Theo, 2011. "Analyzing a self-managed CHP system for greenhouse cultivation as a profitable way to reduce CO₂-emissions," Energy, Elsevier, vol. 36(4), Pp. 1940-1947. Режим доступу:
<https://uhdspace.uhasselt.be/dspace/bitstream/1942/11943/1/compernelle%201.pdf>
21. Теорія систем керування: підручник / В. І. Корнієнко, О. Ю. Гусєв, О. В. Герасіна, В. П. Щокін. Дніпро: НГУ, 2017. С.497.
22. Шаруда, В. Г. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра [Текст]: навч. посіб. / В. Г. Шаруда, В. В. Ткачов, А. В. Бубліков; Держ. ВНЗ "Нац. гірн. ун-т". - Дніпропетровськ: НГУ, 2015. С. 489.
23. Карташов В.В. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Конспект лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи керування технологічними процесами». – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. С. 148.
24. Critten DL, Bailey BJ. A review of greenhouse engineering developments during the 1990s. Agricultural and Forest Meteorology 2002;122:1e22.
25. Directive 2004/8/EC of the European Parliament and of the Council of 11 February 2004.
26. Nielsen, B & Madsen, H 1995, 'Identification of Transfer Functions for Control of Greenhouse Air Temperature', Journal Agric. Engng.Res., vol. 60, сторінки. 25 34. Режим доступу:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021863485710931?>

27. Семенцов Г.Н. Планування та обробка результатів експерименту: навч. посіб. / Г.Н.Семенцов, Я.Р.Когуч, М.М.Дранчук. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. С. 222.
28. Семенцов Г.Н. Теорія автоматичного управління (нелінійні та дискретні системи): навч. посіб. / Г.Н.Семенцов, І.І.Чигур. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. С. 96.
29. Aidan O`Dwyer Handbook PI and PID Controller Tuning Rules.–2nd Edition.–Ireland: Imperial College Press. P.545.
30. Song, Yang (2018) Intelligent PID controller based on fuzzy logic control and neural network technology for indoor environment quality improvement. PhD thesis, University of Nottingham. Режим доступу: http://eprints.nottingham.ac.uk/14300/1/Yang_PhD_Thesis.pdf
31. Лагойда А.І., Шавранський М.В., Когутяк М.І., Борин В.С., Чигур І.І. «Магістерська робота»: Методичні вказівки. – Івано-Франківськ: Факел, 2024. С. 30.
32. Борин В.С., Козак Ю.В.. Автоматизація технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу // XII The international scientific and practical conference “AREAS OF SCIENTIFIC THOUGHT -2016/2017”, Sheffield, 2016,- С.69-73.
33. Boryn V.S., Andretsulyak R.V. Automated control system for absorption gas drying using fuzzy logic elements. Modern aspects of modernization of science: status, problems, development trends. Materials of the 62th International Scientific and Practical Conference. November 7, 2025, Shumen (Bulgaria). Pp. 103-105. DOI: <https://doi.org/10.52058/62>