

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**АКПМ - 61.00.00.000 ПЗ**

**гр. АКПМ-24-2**

**Петро ЧОБАНЮК**

**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

Чобанюк Петро Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.5

(індекс)

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Інтелектуальна система керування процесом видобування газу на базі

(назва роботи)

технологій штучного інтелекту

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)

П.С.Чобанюк

(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.Я.Чигур

(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 АКІТ**

(А.І. Лагойда)

«    »                      20   року

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

**Чобанюку Петру Сергійовичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інтелектуальна система керування процесом видобування газу на базі технологій штучного інтелекту

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 основних режимів і особливостей технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу. 2. Математична модель технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу. 3. Розробка структури нейромережевої моделі технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу. 4. Імітаційне моделювання процесу сепарації з використанням штучних нейромереж. 5. Технічна реалізація процесу низькотемпературної сепарації газу. 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 основних режимів і особливостей технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу.   | 01.04.2025                     |          |
| 3.    | Математична модель технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу.                       | 15.06.2025                     |          |
| 4.    | Розробка структури нейромережевої моделі технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу. | 30.09.2025                     |          |
| 5.    | Імітаційне моделювання процесу сепарації з використанням штучних нейромереж.                        | 30.10.2025                     |          |
| 6.    | Технічна реалізація процесу низькотемпературної сепарації газу.                                     | 30.11.2025                     |          |

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Чобанюк П.С. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Борин В.С. \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуто концепцію побудови інтелектуальної системи керування процесом видобування газу, створеної на основі сучасних технологій штучного інтелекту та машинного навчання. Метою такої системи є підвищення ефективності, надійності й безпеки технологічних процесів видобування вуглеводнів за рахунок автоматизованого аналізу великих масивів даних, прогнозування критичних параметрів і адаптивного регулювання режимів роботи обладнання.

Інтелектуальна система забезпечує безперервний моніторинг свердловинних параметрів, динамічне оцінювання стану родовища та виявлення відхилень, що можуть свідчити про небезпечні або неефективні режими. За допомогою глибинних нейронних мереж, байєсівських моделей та алгоритмів оптимізації передбачається реалізація можливості раннього визначення падіння дебіту, прогнозування тиску та дебіту газу, а також автоматичного добору оптимальних режимів роботи насосно-компресорного обладнання.

Особлива увага приділяється побудові адаптивного блоку керування, який здатний самостійно змінювати параметри регуляторів залежно від фактичного стану технологічного процесу. Це дозволяє мінімізувати енергетичні витрати, збільшити продуктивність та знизити імовірність аварійних ситуацій. Запропонована система також інтегрується з цифровими платформами моніторингу родовищ, що забезпечує можливість комплексної аналітики та підтримки управлінських рішень.

**Ключові слова:** ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ВИДОБУВАННЯ ГАЗУ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ЦИФРОВІЗАЦІЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ.

## ANNOTATION

The paper considers the concept of building an intelligent gas production process control system, created on the basis of modern artificial intelligence and machine learning technologies. The purpose of such a system is to increase the efficiency, reliability, and safety of hydrocarbon extraction processes through automated analysis of large data sets, prediction of critical parameters, and adaptive regulation of equipment operating modes.

The intelligent system provides continuous monitoring of well parameters, dynamic assessment of the field condition, and detection of deviations that may indicate unsafe or ineffective modes. Using deep neural networks, Bayesian models, and optimization algorithms, it is planned to implement the possibility of early detection of flow rate drops, forecasting gas pressure and flow rate, as well as automatic selection of optimal operating modes of pumping and compressor equipment.

Special attention is paid to the construction of an adaptive control unit, which is capable of independently changing the parameters of the regulators depending on the actual state of the technological process. This allows minimizing energy costs, increasing productivity and reducing the likelihood of emergencies. The proposed system also integrates with digital field monitoring platforms, which provides the possibility of comprehensive analytics and support for management decisions.

**Keywords:** INTELLIGENT CONTROL SYSTEM, GAS PRODUCTION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MACHINE LEARNING, FORECASTING, OPTIMIZATION, DIGITIZATION, AUTOMATION.

## ЗМІСТ

|  | ст. |
|--|-----|
| ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....  | 7   |
| ВСТУП.....   | 8   |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ РЕЖИМІВ І ОСОБЛИВОСТЕЙ<br>ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ<br>СЕПАРАЦІЇ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ..... | 12  |
| 1.1 Вимоги до галузевого стандарту до природного газу.....   | 12  |
| 1.2 Аналіз режимів функціонування технологічного процесу низько<br>темпера-турної сепарації природного газу.....                                       | 14  |
| 1.3 Системи автоматизованого управління технологічним процесом<br>низькотемпературної сепарації газу природного газу.....                              | 16  |
| 1.4 Огляд літературних джерел, щодо використання нейромереж.....   | 19  |
| Висновки до розділу 1.....   | 23  |
| РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ<br>НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ СЕПАРАЦІЇ ГАЗУ.....   | 25  |
| 2.1 Обґрунтування аналітичного визначення димічних характеристик<br>керованого об'єкта.....  | 25  |
| 2.2 Матрична модель установки низькотемпературної сепарації газу.....  | 26  |
| 2.4 Висновки до розділу 2.....   | 34  |
| РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ<br>ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ<br>СЕПАРАЦІЇ ГАЗУ.....                                | 36  |
| 3.1 Побудова нейромережевої моделі технологічного процесу<br>низькотемпературної сепарації газу.....   | 36  |
| 3.3 Навчання нейромережевих моделей.....   | 38  |
| Висновки до розділу 3.....   | 40  |
| РОЗДІЛ 4. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РЕГЕНЕРАЦІЇ З   |     |

|  |    |
|--|----|
| ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОМЕРЕЖ.....  | 41 |
| 4.1 Створення нейронної мережі регулятора.....   | 41 |
| 4.2 Імітаційне моделювання в середовищі MATLAB з використанням<br>нейромережевої моделі.....         | 42 |
| 4.3 Обробка результатів експерименту з використанням нейромережевої<br>моделі.....                   | 43 |
| 4.4 Імітаційне моделювання процесу сепарації.....  | 47 |
| Висновки до розділу 4.....   | 54 |
| РОЗДІЛ 5. ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРАЦЕСУ<br>НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ СЕПАРАЦІЇ ГАЗУ.....                     | 54 |
| 5.1 Аналіз недоліків існуючих системи контролю і автоматичного<br>керування процесом.....            | 54 |
| 5.2 Модернізація системи автоматичного керування процесом<br>низькотемпературної сепарації газу..... | 55 |
| Висновки до розділу 5.....   | 66 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....   | 67 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....  | 69 |

**ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ**

|      |                                     |
|------|-------------------------------------|
| АСК  | автоматизована система керування;   |
| АСР  | автоматизована система регулювання; |
| АРМ  | автоматизоване робоче місце;        |
| ВК   | вимірюваний канал;                  |
| ГПУ  | газопромислове управління;          |
| НТС  | низькотемпературна сепарація;       |
| ЕОМ  | електронно-обчислювальна машина;    |
| Є    | ємність                             |
| КО   | керований об'єкт;                   |
| ММ   | математична модель;                 |
| Н    | насос                               |
| САК  | система автоматичного керування;    |
| ТЗА  | технічні засоби автоматизації;      |
| ШНМ  | штучна неймережа                    |
| ШФЛВ | широка фракція легких вуглеводнів   |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасна газовидобувна галузь функціонує в умовах постійного ускладнення геологічних, технологічних та економічних факторів. Більшість родовищ характеризується виснаженістю запасів, неоднорідністю пластів та складністю прогнозування параметрів видобутку, що потребує високоточної діагностики та оперативного прийняття рішень. Традиційні системи керування, засновані на фіксованих моделях та статичних алгоритмах, часто не забезпечують необхідної точності та адаптивності, особливо за наявності значних невизначеностей і нестабільних режимів роботи обладнання.

Впровадження інтелектуальної системи керування процесом видобування газу, побудованої на технологіях штучного інтелекту, є актуальним напрямом, оскільки дозволяє поєднати автоматизовані методи збору даних з потужними алгоритмами прогнозування та оптимізації. Завдяки застосуванню машинного навчання, нейронних мереж і систем підтримки прийняття рішень з'являється можливість у режимі реального часу виявляти приховані закономірності, прогнозувати зміну дебіту, тиску та газодинамічних характеристик, а також оптимізувати режими експлуатації свердловин і наземного обладнання.

Особливу вагу тема набуває в умовах зростання вимог до енергоефективності, безпеки та екологічної відповідальності. Інтелектуальні технології дають змогу мінімізувати ризики аварій, скоротити непродуктивні втрати, підвищити термін служби обладнання та забезпечити стабільну роботу системи навіть за обмеженої кількості інженерного персоналу.

Отже, використання штучного інтелекту в системах керування газовидобувними процесами є не лише інноваційним підходом, а й необхідною передумовою для підвищення ефективності, конкурентоспроможності та технологічної стійкості галузі в умовах сучасних викликів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дана магістерська робота виконувалась автором відповідно до основного наукового напрямку діяльності кафедри «Автоматизації та комп'ютерно - інтегрованих

технологій» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). «Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» (ДР №011U005890) та комплексної цільової програми «Науково-організаційні засади нарощування видобутку вітчизняних нафти і газу та диверсифікації постачання енергетичних ресурсів для підвищення енергетичної безпеки України» (ДР №0115U007099). В рамках зазначеної теми автором безпосередньо було виконано розділи роботи із розроблення системи автоматичного управління процесом низькотемпературної сепарації газу з використанням штучних нейромереж.

**Мета і завдання дослідження.** Метою магістерської роботи є розробка нейромережної моделі для підвищення ефективності управління технологічним процесом низькотемпературної сепарації газу.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення наступних задач:

1. Провести аналіз технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу.
2. Побудувати математичну модель.
3. Розробити структуру нейромережевої моделі.
4. Провести імітаційне моделювання з використанням штучних нейромереж.

**Об'єктом дослідження** є низькотемпературний сепаратор газу.

**Предметом дослідження** є методи і алгоритми керування роботою установки низькотемпературної сепарації газу на базі нейромереж.

**Методи дослідження.** Методи теорії автоматичного керування – для розробки системи керування технологічним процесом низькотемпературної сепарації газу та алгоритму її функціонування. Методи теорії штучних нейромереж – для подальшого розвитку розробленої системи; методи імітаційного моделювання – для тестування розробленої системи на ПК.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

1. Вперше розроблено структуру нейромережної моделі, яка адекватна складним багатоетапним технологічним процесам низькотемпературної сепарації газу. Для аналізу одного етапу застосовна модель на основі двошарового перцептрона. Кілька таких моделей, побудованих для різних етапів технологічного процесу і об'єднаних в одну, складають нейромережеву модель, що описує наскрізну технологію процесу низькотемпературної сепарації газу.

2. Вперше проведено імітаційне моделювання, а саме здійснено експериментальне визначення динамічних характеристик по заданих каналах з використанням нейронних мереж. За його результатами встановлено, що перехідні характеристики по каналах відповідають фізичним основам процесу низькотемпературної сепарації газу.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблені в магістерській роботі моделі і системи керування дають змогу вирішувати задачу автоматичного управління технологічним процесом низькотемпературної сепарації газу.

Одержаний результат є основою для розробки технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності автоматизованого керування процесом низькотемпературної сепарації газу.

Окремі розділи магістерської роботи можуть бути використані в навчальному процесі при читанні курсу «Автоматизація технологічних процесів в галузі» для студентів спеціальності 174 - «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

**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., Chobaniuk P.S. Intelligent gas production process control system based on artificial intelligence technologies. Modern aspects of modernization of science:

status, problems, development trends. Materials of the 63th International Scientific and Practical Conference. December 7, 2025, Olomouc (Czech Republic). Pp. 240-243. DOI: <https://doi.org/10.52058/63>

**Публікації.** Основні результати магістерської роботи викладено у 1 публікації (тези міжнародної конференції).

**Структура і обсяг магістерської роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, семи розділів, висновків і додатків. Обсяг роботи 70 сторінок машинописного тексту.

Магістерська робота містить 19 рисунків, 5 таблиць, список використаних літературних джерел із 33 найменувань.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ РЕЖИМІВ І ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ СЕПАРАЦІЇ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ТА СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

### 1.1. Вимоги до галузевого стандарту до природного газу

Призначення Головних споруд (ГС) - Солоха - підготовка сирого газу та конденсату, який надходить із магістральної частини газу та конденсатопроводів Котелевського, Опішнянського, Березівського, Більського, Тимофіївського, Валюхівського, Солохівського, Гадяцького, Новотроїцького газоконденсатних родовищ з метою одержання товарного газу, ШФЛВ, нестабільного конденсату, пропан-бутану, пропану, деетанпропанбутанізованого конденсату та дизельної фракції. Після вилучення із сирого газу цінних вуглеводневих компонентів сухий газ поступає в магістральну частину газопроводу.

Технологічний комплекс підготовки та переробки газу і газового конденсату на ГС – Солоха складається з наступних технологічних установок:

- установка підготовки газового конденсату (УПГК);
- пропанова холодильна установка (ПХУ);
- установка низькотемпературної сепарації (УНТС - ПХУ);
- IV-та технологічна лінія з УДЕУ;
- установка низькотемпературної абсорбції (УНТА);
- установка підготовки абсорбенту (УПА) з вузлом компримування газів стабілізації абсорбенту;
- установка підготовки пропану (УПП).

Внаслідок того, що газ транспортується на великі відстані особливе значення набуває питання якісної його обробки і сепарації, яка включає конденсацію води із газу.

Наявність в газі вологи, різних вуглеводнів, агресивних і технічних домішок знижує пропускну здатність газопроводів, підвищує витрату інгібіторів, посилює корозію, вимагає збільшення потужності компресорних агрегатів, сприяє забиванню лінії контролю — вимірювальних і регулюючих приладів. Все це знижує надійність роботи технологічної системи, підвищується вірогідність аварійних ситуацій. Крім того, пил і механічні домішки сприяють старінню метала і осідаючи на поверхнях теплообмінників, погіршують їх теплові характеристики.

Якщо при транспортуванні газу падає тиск, то підвищується рівноважна вологопінність, таким чином газ стає менш насиченим. При постійній температурі не відбувається виділення крапельної вологи із такого газу. Якщо при транспортуванні газу знижується його температура, то при постійному тиску зменшується рівноважна вологоємність такого газу і газ стає насиченим. В цьому випадку частина крапель вологи конденсується і випадає в трубі.

Для забезпечення безаварійного транспортування газу по магістральних трубопроводах, з врахуванням кліматичних умов, в яких знаходяться газопроводи, розробленні галузеві стандарти.

*Таблиця 1.1*

#### **Вимоги галузевого стандарту до природного газу**

| <b>Показник</b>  | <b>Норма</b>                               |
|--|--|
| Точка роси за вологою і важкими вуглеводнями при тиску 5.5 МПа, °С (не більше) | в зимовий період -10<br>в літній період -3 |
| Вміст механічних домішок, г/100м <sup>3</sup> газу (не більше)                 | 0.1  |
| Вміст сірководню, г/100м <sup>3</sup> газу ( не більше )                       | 2.0  |
| Вміст кисню, % ( не більше)  | 1.0  |

Підготовлений газ являє собою суміш окремих компонентів, які хімічно не взаємодіють між собою, процентний склад якої наступний (% об):

$\text{CH}_4$  - 95.259             $\text{C}_5\text{H}_{12}$  - 0.032;  
 $\text{C}_2\text{H}_6$  - 2.006             $\text{CO}_2$  - 0.5;  
 $\text{C}_3\text{H}_8$  - 0.539             $\text{N}_2$  - 1.48;  
 $\text{C}_4\text{H}_{10}$  - 0.171            $\text{O}_2$  - 0.1;  
 Середня густина газу - 0.97030 кг/м<sup>3</sup>  
 Середня температура - 14.5 °С  
 Газова постійна - 441.1 Дж/кгК  
 Вища теплота згоряння - 37365.02 кДж/м<sup>3</sup>  
 Нижча теплота згоряння – 33983.4 кДж/м<sup>3</sup>  
 Точка роси за вологою при тиску 2.2 - 5.5 МПа - 10 °С.

## **1.2. Аналіз режимів функціонування технологічного процесу низькотемпературної сепарації природного газу**

Установка призначена для осушки газу від вологи і вуглеводневого конденсату та газ із ступені сепарації нафти перед поступленням в магістральний газопровід підлягає підготовці згідно вимог ОСТ 5140 - 83 «Гази горючі, природні, що подаються в магістральні газопроводи».

В будь-якому процесі, де газ або пара поступає з рідиною, або барботує через неї, як правило, не проходить повного розділу рідини і газу на окремі компоненти тільки за рахунок різниці їх густин. Система, яка складається із газового середовища, в якому зважені краплі рідини називається аерозолем. Краплі аерозолу мають переважно кулеподібну форму і можуть бути різних розмірів, що залежить від природи їх утворення. Але розмір крапель, які утворюються при конденсації не залишається постійним на протязі деякого часу.

Чим більший час перебування крапель в потоці, тим більша ймовірність їх укрупнення, за рахунок злиття їх з другими краплями.

Після сепараторного обладнання, де виділяються найбільші краплі, в газовому потоці присутні дуже малі краплі від 0,5 - 1 до 80 - 100 мкм, розмір їх залежить від конструкції сепаратора, і чим вона досконаліша, тим менші краплі і в меншій кількості будуть знаходитися в потоці після сепаратора.

Вертикальні сепаратори використовуються, якщо в потоці газу є багато бруду і піску, так, як в їх об'ємі добре організований стік відсепарованого залишку і відводу в дренажну систему.

Крім того, вони вимагають невелику площу для свого розміщення. Для інтенсифікації процесу сепарації, тобто збільшення робочої швидкості, а також отримання кращих результатів ефективності, в сепараторах використовуються різного роду насадки. Осадження крапель рідини на насадках проходить в основному під дією інерції. Жалюзними сепараторами називають апарати, з встановленими в них жалюзними насадками, які можуть монтуватися вертикально або горизонтально. Найбільшого розповсюдження отримали сепаратори з вертикальними насадками. Вони мають великі робочі швидкості і ефективно вловлюють краплі діаметром більше 10 - 20 мкм. Жалюзні сепаратори представляють собою пакет тонких пластин хвилястого профілю, встановлених на рівній відстані одна від одної. При русі газу через вузькі проходи між жалюзними пластинами інерційні сили, які діють на поворотах, забезпечують осадження крапель рідини на поверхні пластин, утворюючи на них тонку плівку.

Видалення і стікання рідини в основному проходить на вхідних ділянках жалюзних пластин. Порушення ефективності роботи насадки проходить при збільшенні швидкості, коли плівка рідини засолюється в напрямку руху газу.

Вона досягає задніх крамок жалюзних пластин і зривається з них, зменшуючи ефективність сепарації навантаження, при якому виникає це явище називається критичним, а швидкість, яка відповідає йому — критичною швидкістю.

Важливим показником роботи сепаратора є діапазон роботи. Для жалюзних

сепараторів цей діапазон є невеликим і не перевершує  $\pm 13\%$  від номінальної продуктивності. Пропускна здатність жалюзних сепараторів в залежності від тиску  $0.5\text{—}6\text{ м}^3/\text{с}$ .

### **1.3. Системи автоматизованого управління технологічним процесом низькотемпературної сепарації газу природного газу**

Для управління технологічними процесами низькотемпературної сепарації природного газу [2,3,4,5,6,7,8,9,10], починаючи від зародження цієї області техніки і до початку 60-х років, застосовувались в основному найпростіші механічні, пневматичні або електричні регулятори, розрахунок яких здійснювався на основі лінійних одновимірних моделей. Відсутність більш складних систем керування пояснювалась їх великою вартістю, обмеженими можливостями технологічних засобів, повільними темпами створення теоретичної бази. Проте навіть найпростіші контури регулювання непогано себе зарекомендували там, де для об'єктів характерні великі сталі часу, стійкість в розімкнутому стані, згладжування шумів за рахунок перемішування сировини в проміжних ємностях. Для інших використання простих контурів регулювання вважалось менш ефективним, але все таки допустимим, так як в даний період не було жорстких обмежень, пов'язаних з охороною навколишнього середовища, якість продукції контролювалась мало, а проміжні ємності в значній мірі компенсували недоліки системи керування. Проте зараз стан справ суттєво змінився. В наш час переважають неперервні технологічні процеси великої потужності зі складними комплексами енергетичних і матеріальних потоків або з жорсткими вимогами до якості продукції, безпеки персоналу і дії на навколишнє середовище, що веде до необхідності створення удосконалених систем керування.

Системи регулювання [11], які реалізують задачі керування, можна розділити на наступні групи:

- системи автоматичного регулювання, які здійснюють стабілізацію вхідних змінних і є розімкнутими відносно об'єкта керування. Ці схеми дозволяють підтримувати будь-які значення вхідних концентрацій, які мають забезпечувати задані значення вихідних концентрацій.

Одним із найбільш перспективних напрямків стала розробка інтелектуальних систем керування з використанням експертних систем, які можуть працювати з лінгвістично невизначеною інформацією.

Широке впровадження ЕОМ в непромислову сферу, створення типових автоматизованих робочих місць для різних категорій робітників забезпечує значний ріст продуктивності праці, підвищення його якості і точності прийняття рішень, що особливо важливо в діяльності управлінського персоналу в умовах скорочення його чисельності.

Аналіз виробничої діяльності керівників управлінської праці дозволяє виділити основні функції, які виконуються на більшості робочих місць і представляють зацікавленість з точки зору їх автоматизації за допомогою ЕОМ [12-14].

В роботі [15] описано біля 60 операційних систем різних фірм для ЕОМ, а в роботі [16] наведені характеристики систем управління з використанням баз даних американських фірм.

Фірми Combustion Engineering і Taylor Instrument (США) створили пакет програм «Analyze», який дозволяє реалізувати різні по складності функції керування об'єктами і графічне представлення даних, суттєво покращуючи експлуатаційні показники систем керування [17].

Найбільш повному інформаційному забезпеченню задовільняє реляційна модель даних, переваги яких полягають в простоті представлення бази даних як множини взаємозв'язаних таблиць; великою незалежністю даних; простоті використання операцій над таблицями [18,19].

Дослідження, проведені з комплексом програм оптимальних розрахунків, а також досвід його експлуатації показав, що точність, швидкодія, невисокі вимоги до об'єктів оперативної пам'яті, зручний діалоговий режим роботи, можливість зміни параметрів і структури магістральних газопроводів дозволяють використовувати комплекс в режимі радника в задачах оперативного планування і керування режимами роботи реальних газопроводів [20-24].

Розробка автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ) на базі автоматизованого робочого місця диспетчерів і технологів (АРМДіТ) дозволяє зробити висновок, що основний напрямок [25-29] розвитку багаторівневих АСДУ регіональними системами газозабезпечення пов'язано з впровадженням АРМ на базі ЕОМ. Масштаби розробки і впровадження АРМ на сучасній технічній базі потребують уніфікації основних технічних рішень по їх функціональній структурі.

На рівні промислового об'єднання, газотранспортного і газо видобувного підприємства АРМДіТ об'єднуються в локальні мережі, для яких створюється єдина спеціалізована база даних на файловому сервері мережі [25].

Створення нових управлінських відношень на основі комп'ютеризації – складний процес не тільки організаційних технічних змін, але і глибоких знань технологів про технологічний процес. Заміна технічної бази – тільки початковий етап перетворення системи керування. Не менш важлива, але потребує великих сил і засобів, адаптація робітників до нової системи.

Аналіз публікацій [30-32] на цю тему показує, що можна виділити три основних етапи комп'ютеризації, які відрізняються по меті, задачах і методах їх рішення:

- 1) початковий етап – ініціювання автоматизації управління. В його ході проходило накопичення компаніями початкового досвіду використання ЕОМ в керуванні, виявленні основних тенденцій застосування нової техніки;

- 2) етап встановлення контролю над впровадженням нової інформаційної технології. Для нього характерне те, що в основному пошук сфер застосування

ЕОМ в керуванні вже завершено і приймаються кроки вирішення наступних по важливості задач: оптимізація використання нової техніки, вироблення організаційних форм управління нею і виявлення можливих впливів на організаційно-управлінські процеси в цілому;

3) етап інтеграції інформаційних впливів діяльності, на якому у 80-90-их роках знаходилась більшість американських фірм, характеризується замороженням подальших загальних витрат на обробку даних. Можливості удосконалення за рахунок ефективних факторів (тобто втягування в автоматизацію нових підрозділів) вже практично вичерпані, і компанії вимушені перейти до пошуку прихованих резервів по інтенсифікації процесів обробки даних.

Завдяки появі ЕОМ і широкому розповсюдженню передачі даних за допомогою обчислювальних віток, основний акцент автоматизації був перенесений на створення систем, обчислювальний потенціал яких розподілений в середині організації. Це відкрило принципово нові можливості в комп'ютеризації управління. На даний момент для практичного впровадження стали розробки в області «штучного інтелекту».

Володіння експертною системою (ЕС) починає розглядатись як важливий стратегічний фактор в боротьбі за виживання. Тому з цієї причини провідні закордонні фірми приступили до інтенсивної розробки власних експертних систем, щоб не припустити розголосу досвіду своїх експертів.

Якість ЕС визначається її потенційною спроможністю давати практичні рекомендації по прийняттю рішень в конкретних ситуаціях і залежить від об'єму закладеного в систему досвіду реальних експертів [12].

#### **1.4. Огляд літературних джерел, щодо використання нейромереж**

Стрімкий розвиток обчислювальної техніки [9], зниження її вартості, підвищення точності та універсальності сприяє впровадженню інформаційних технологій (ІТ) у всі без винятку галузі промисловості. Спеціалізовані

програмні засоби сьогодні дозволяють проводити проектування, планування та оптимізацію виробництва будь-якого рівня складності. Останні роки характеризуються зростанням наукового інтересу до систем автоматизованого керування на базі нейромережових підходів та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (СППР).

Теорія нейронних мереж є перспективним напрямком математики та інформатики і представляє цікаву область для дослідження. Багато вчених проводили теоретичні та практичні дослідження, щодо створення нейронних мереж з різною динамікою для вирішення завдань лінійної, квадратичної, нелінійної, комбінаторної оптимізації. Методи, засновані на використанні штучних нейронних мереж, дозволяють значно підвищити оперативність рішення даного класу задач, забезпечуючи достатню точність результату.

У теорії автоматичного керування розроблено багато методів, які дають змогу оптимізувати роботу систем за тими чи іншими критеріями якості за умови виконання низки обмежень, однак математичний апарат, що використовується в традиційних методах автоматичного керування, не завжди повною мірою може забезпечити задовільні результати у разі обмеженої кількості вхідних даних. Тому останнім часом значного поширення набувають так звані “м’які” обчислення, основний принцип яких полягає у забезпеченні прийнятної якості керування (не обов’язково оптимального) в умовах невизначеності за порівняно невисокого рівня витрачених ресурсів (вартісних, часових, обчислювальних тощо). До “м’яких” обчислень сьогодні зараховують такі інформаційні технології, як експертні системи, нейронні мережі, нечіткі системи, генетичні алгоритми тощо.

Історія нейронних мереж [10] складає не одне десятиліття і бере початок в 1943 році із статті нейрофізіолога Уоррена Маккалоха і математика Уолтера Піттса, в якій вони описали роботу штучних нейронів і представлення моделі нейронної мережі на електричних схемах. За цей час концепції побудови нейронних мереж тричі змінювались. Багато науковців приділяють увагу цьому напрямку, публікуються сотні книг, статей у наукових виданнях, проводиться

велика кількість конференцій. Всі дослідники нейронних мереж впевнені, що саме нейромережеві технології будуть становити основу майбутніх розробок. Ф. Уоссермен у своїй книзі «Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика» у доступній формі описує основи побудови нейрокомп'ютерів, структуру нейронних мереж та різноманітні алгоритми їх налаштування. Окремі розділи присвячені питанням реалізації нейронних мереж. І.В. Заснцев розглянув основні моделі нейронних мереж і методи їх навчання, включаючи багатосарові перцептрони, мережі Кохонена, теорію адаптивного резонансу та інші аспекти. Шевченко А.В. свою статтю «Гипотеза сознания или нейроинформационные системы», що була опублікована у журналі «Искусственный интеллект», присвятив питанням дослідження природних інтелектуальних систем та синтезу штучних. На простих прикладах він аналізує специфіку функціонування біологічних інформаційних систем, та, опираючись на методологію синергетики, нейронних мереж, традиційного штучного інтелекту та використовуючи системний підхід, пропонує основні концепції і напрямки створення принципово інших інформаційних систем нового типу. Віхароз Я.З., угорський вчений, у статті «Training and application of artificial neural networks with incomplete data» описує новий підхід для навчання і використання штучних нейронних мереж, що базуються на неповних даних. Новизною цього підходу є не просто заміна недостатньої інформації, а навчання і використання нейронних мереж таким чином, щоб вони могли працювати у таких ситуаціях. Телков А.Ю. у своїй праці «Экспертные системы» розглядає підходи до побудови інтелектуальних інформаційних систем, експертних систем, вивчає етапи створення експертних систем, приводить основні відомості про способи подання знань у цих системах. Аналізує особливості експертних систем різних класів – самонавчаємих, індуктивних, нейронних мереж, системах, що базуються на прецедентах. Огляд робіт [11] в області нейрокомп'ютерингу показав, що більшість із них присвячено моделюванню, оптимізації і прогнозуванню виробничих процесів, також багато робіт присвячено розробці АСУ і САПР, систем діагностики і

контролю якості. Але в той самий час такі галузі, як розробки з використанням нейронних мереж інтелектуальних тренажерів, технологічних довідників, інформаційно-дорадчих систем, систем накопичення досвіду, експертних систем залишаються недостатньо вивченими. А саме в цих сферах використання нейронних мереж є найбільш перспективним.

У літературі описано багато прикладів практичного використання нейронних мереж(НМ) для вирішення задач керування різноманітними об'єктами. Так нейромережі використовуються для діагностики стану нафтогазового обладнання. На даний момент розроблено де кілька методів нейрокерування: імітуюче, інверсне, з прогнозуванням, багатомодульне,гібридне, допоміжне та інші.[12]

Наявність значної уваги до прогресивних інформаційних технологій на основі штучних нейронних мереж, яка приділяється в останні роки з боку науковців, інженерів-інформатиків та користувачів-практиків різних сфер діяльності, підтверджується великою кількістю публікацій в наукових та науково-популярних виданнях, високим рівнем представництва на численних спеціалізованих науково-технічних конференціях в різних країнах світу та введенням відповідних рубрик в програми конференцій, присвячених різноманітним проблемам обчислювальної техніки, теорії зв'язку, мультимедійних систем.

У зв'язку з цим все більше і більше значення мають нові альтернативні підходи до моделювання виробничих процесів з використанням емпіричних моделей (нейронні мережі, генетичні алгоритми, еволюційні стратегії, еволюційне програмування, нечітка логіка), зокрема, з використанням мереж із нейроподібних елементів. Цей підхід надає великі можливості по створенню моделей, працюючих у реальному часі з малими похибками, здатних до навчання у процесі їх використання. Додатковий поштовх до розвитку прикладного нейрокомп'ютинга дав стрімкий розвиток мікроелектроніки, поява нейронних комп'ютерів — ЕОМ, архітектура яких найкраще підходить для вирішення задач побудови, навчання та використання нейронних мереж,

здатних апаратно реалізувати деякі елементи багатьох алгоритмів для навчання нейронних мереж.

Спрощено функціонування нейрона можна представити наступним чином:

- 1) нейрон отримує набір (вектор) вхідних сигналів;
- 2) у тілі нейрона оцінюється сумарне значення вхідних сигналів.
- 3) нейрон формує вихідний сигнал, інтенсивність якого залежить від значення обчисленого скалярного перемноження. Якщо воно не перевищує деякого заданого порогу, то вихідний сигнал не формується зовсім – нейрон «не спрацьовує»;
- 4) вихідний сигнал іншим нейронів.

Відхилення технологічних параметрів процесу сепарації від заданих норм призводить до зменшення якісних показників, а відтак до неефективної сепарації. На сьогоднішній день є актуальним застосування штучних нейромереж при управлінні технологічними процесами. Такий підхід дає можливість отримати бажану якість сепарації при повному інформаційному і оптимальному керуванні технологічним процесом низькотемпературної сепарації газу.

## **Висновки до розділу 1**

В цьому розділі магістерської роботи досліджено технологічний процес, як об'єкт керування, дано характеристику сировини і готового продукту, розглянуто установку низькотемпературної сепарації газу.

Проведено огляд літературних джерел, щодо застосування штучних нейромереж при управлінні технологічними процесами.

Точність і якість регулювання технологічним процесом дуже важлива на даній установці, призводить до зменшення концентрації аерозолю, а відтак до неефективної сепарації природного газу. В даній магістерській роботі запропоновано вдосконалити систему автоматичного керування технологічним

процесом низькотемпературної сепарації природного шляхом створенням нейромережевої моделі.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ СЕПАРАЦІЇ ГАЗУ

#### 2.1. Обґрунтування аналітичного визначення динамічних характеристик керованого об'єкта

Робота сепаратора значною мірою впливає на роботу іншого технологічного обладнання, установки низькотемпературної сепарації газу. Це показує практичну цілісність і актуальність обґрунтування та визначення динамічних характеристик керованого об'єкта.

До автоматичних систем керування процесом сепарації ставляться високі вимоги, тому, що підготовка газу перед поступанням в магістральний газопровід до вимог ОСТ5140 - 83 «Гази горючі природні, що поступають в магістральні газопроводи» в значній мірі залежить від якості процесу сепарації.

Важливим фактором, який забезпечує високі техніко - економічні показники технологічного процесу є дотримання оптимальних умов його протікання. Забезпечення високої точності підтримання параметрів на оптимальному рівні, можливе лише при допомозі високоефективних АСК процесом. Проблеми автоматизації технологічних процесів на установці низькотемпературної сепарації газу є досить актуальним.

Параметри, які характеризують процес сепарації :

- $P_c$  - тиск сепарації;
- $h$  - рівень рідини;
- $V$  - об'єм газового простору;
- $T_c$  – температура сепарації.

Джерела збурень:

- $G$  - витрата нафтогазової суміші на вході в сепаратор;
- $P_c$  - тиск в газовому колекторі;

-  $P_k$  - тиск в колекторі для конденсату і уловленої нафти, а також газу в потоці.

Основні джерела збурень, що діють на сепаратор :

- навантаження сепаратора, тобто витрата середовища через нього, величина змінна, її зміна обумовлена тим, що кількість продукції змінюється в часі.

Співвідношення кількості рідкої і газової фаз потоку продукції, поступаючого в сепаратор також не є постійною величиною;

- змінюються тиски в колекторах (газовому і колекторі для конденсату). Зміна тиску в колекторах проходить за рахунок зміни витрати середовища, що протікає по них, а також за рахунок зміни січення колекторів при відкладених на стінках труб парафіну і твердих механічних частинок.

Всі збурення, діючі на сепаратор призводять до зміни рівня рідини в сепараторі. Рівень рідини (параметр, який регулюється) - в загальному випадку намічена функція об'єму, яка визначається геометрією технологічної ємності сепаратора.

В автоматичній системі регулювання, що проектується розглядається задача стабілізації витрати непідготовленого газу у вхідному колекторі. При цьому не враховується, що параметри, які піддаються регулюванню, піддаються різного роду збурюючих впливів, які приводять до відхилення цих параметрів від оптимального значення. Отже, враховуючи вищесказане, динамічні характеристики керованого об'єкту будемо визначати аналітичним методом.

## **2.2. Матрична модель установки низькотемпературної сепарації газу**

Побудова математичної моделі включає :

визначення залежності між вхідними і вихідними параметрами технологічного об'єкта;

аналіз впливу окремих параметрів і визначення основних змінних;

знаходження обмежень в контурному виді;  
складання і аналіз розроблених моделей.

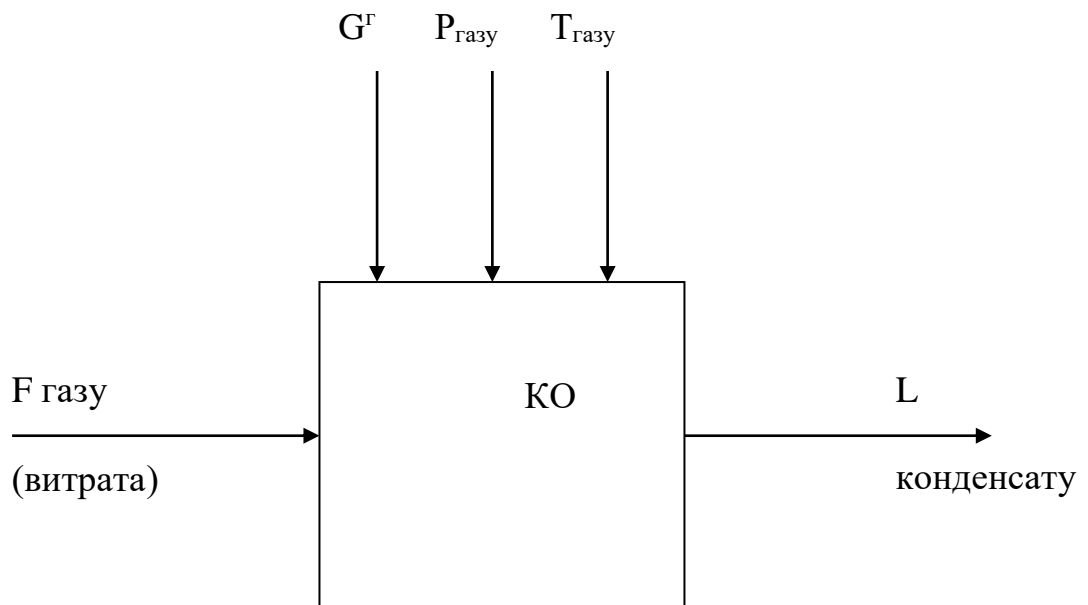


Рис. 2.1. Модель вхід-вихід сепаратора

Визначення залежності між вхідними і вихідними параметрами, які відображають основні закономірності, що характеризують досліджуваний технологічний процес один із найважливіших етапів розробки моделі.

При складанні математичного опис процесу низькотемпературної сепарації приймають наступні допущення:

багатокомпонентна газова суміш, яка поступає на установку НТС, являється двофазною системою «газ - рідина» ;

витрата газу постійна на всіх ланках установки ;

перепад тиску по всій технологічній лінії НТС залишається постійним;

існує рівновага між рідкою і газоподібною фазами;

конденсацією 27m тепла в агрегатах нехтуємо .

Оснoву математичного опису процесу низькотемпературної сепарації газу складають рівняння, які описують фазові співвідношення в системі сепарації газу, матеріального і теплового балансів.

Принцип дії сепараційних процесів основний на зміні фазових співвідношень газоконденсаційних сумішей при зміні параметрів системи. Зниження температури газу при сталому тиску супроводжується переходом частини вуглеводів в рідку фазу, При цьому степiнь конденсації компонентів обернено пропорційно значенням їх констант рівноваги.

$$K_i = f(P_c, T_c, X_1, X_2, \dots, X_n). \quad (2.1)$$

де  $P_c, T_c$  - тиск і температура в низькотемпературному сепараторі;

$X_1, X_2, \dots, X_n$  - компоненти вуглеводів газової суміші.

Газовий потiк, поступає на установку НТС характеризується наявністю в його складі рідкої фази, яка включає:

$$q_1 = q_2 + q_3 + q_4,$$

де:  $q_1$  - загальний вміст рідкої фази в потоці газу;

$q_2$  - вміст компонентів вуглеводів в рідкій фазі;

$q_3$  - вміст вологи в потоці природного газу;

$q_4$  - вміст інгiктора гiдроутворення в рідкій фазі.

Визначимо ці складові.

Після проходження газом сепаратора 1-го ступеня і дроселюючого пристрою частина компонентів газової функції переходить в рідку фазу.

Молярний вміст  $i$ - го компонента вуглеводів в рідкій фазі визначається як:

$$X_i = \frac{X_{oi}}{X_i - (X_i - 1)L} \quad (2.2)$$

де:  $X_i$  - молярна для  $i$ -го компонента в рідкій фазі;

$X_{io}$  - молярна для  $i$ -го компонента в газовій суміші до початку зміни його параметрів;

$K_i$  - константа рівноваги  $i$ -го компонента;

$L$  - молярна доля рідкої фази.

Для  $n$  компонентів вуглеводнів газової суміші рівняння запишеться так:

$$\left. \begin{aligned} \chi_1 &= \frac{\chi_{01}}{\kappa_1 - (\kappa_1 - 1)L} \\ \chi_2 &= \frac{\chi_{02}}{\kappa_2 - (\kappa_2 - 1)L} \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

$$\chi_n = \frac{\chi_{0n}}{\kappa_n - (\kappa_n - 1)L} \sum_{i=1}^n \chi_i = 1$$

Тоді молярний вміст  $i$ -го компонента вуглеводнів в рідній фазі:

$$g_{2i}^m = \chi_i NL = \frac{\chi_{0i} NL}{\kappa_i - (\kappa_i - 1)L} \quad (2.4)$$

а загальний вміст компонентів вуглеводнів:

$$g_2^m = \sum_{s=1}^n g_{2s} = \sum_{i=1}^n \frac{\chi_{0i} NL}{\kappa_i - (\kappa_i - 1)L} \quad (2.5)$$

Попередні два вирази в масових одиницях запишуться:

$$g_{2i}^s = x_i NLM_i = \frac{X_{0i} NLM_1}{K_1 - (K_1 - 1)L} \quad (2.6)$$

$$g_{2i}^s = \sum_{i=1}^n g_{2i}^s = \sum_{i=1}^n \frac{X_{0i} NLM_1}{K_1 - (K_1 - 1)L} \quad (2.7)$$

де :  $M_i$  – молярна маса  $i$ -го компоненту

$N$  – загальна кількість газової суміші.

Об'єм загальний вихідної газової суміші  $V_1$  за рахунок переходів компонентів вуглеводнів в 1-й ступені сепарації, в рідку фазу зменшиться на величину :

$$\Delta V = Ag \sum_{i=1}^n g_{2i}^m = 22.4 \sum_{i=1}^n \frac{X_{0i} NL}{K_1 - (K_1 - 1)L} \quad (2.8)$$

де :  $\Delta V$  - об'єм газу, на який зменшиться об'єм вихідної газової суміші;

$Ag$  - число Авогадро, 22.4.

Об'єм вихідної газової суміші  $V_1$  не змінюється, за рахунок розчинення газу в водяних розчинах, так як величина ця не велика, то нею нехтують.

Об'єм газу, що поступає на НГС :

$$V_2 = V_1 - \Delta V \quad (3.45)$$

Масовий вміст вуглеводнів що переходять в рідку фазу з початкового об'єму вихідної газової суміші в одиницях об'єму рівний :

$$g_2^j = \frac{\sum_{i=1}^n q_u^r}{V_1} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_{oi} NLM_1}{K_1 - (K_1 - 1)}}{V_1} \quad (2.9)$$

Масовий вміст вуглеводів в рідкій фазі, що виділилися в НГС визначимо :

$$g_2^{ii} = \frac{\sum_{i=1}^n q_u^r}{V_2} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_{oi} NLM_1}{K_1 - (K_1 - 1)}}{V_2} \quad (2.10)$$

Крім вуглеводів в склад рідкої фази входить волога і розчин інгібітора 30ідро утворення. Запишемо рівняння валого вмісту в газі :

$$\Delta W = W_1 - W_2 = \left(\frac{A}{P_1} + B_1\right) - \left(\frac{A}{P_2} + B_2\right) \quad (2.11)$$

де :  $\Delta W$  – кількість вологи, що виділилось із газу;

$W_1, W_2$  – кількість вологи в газі на вході і виході з низькотемпературного сепаратора;

$B_1, B_2$  – емпіричні коефіцієнти;

$A$  – вологовміст ідеального газу;

$P_1, P_2$  – тиск на вході і виході низькотемпературного сепаратора.

Тоді вміст вологи в рідкій фазі, що виділилося з сепаратора :

$$q_3^w = \Delta W / V_2.$$

Зміст вологи в газоподібній суміші :

$$q_3 = w_1 / V_2 \quad (3.49)$$

Так, як  $q_2 = q_2^i$ , то загальний вміст рідини по воді за час  $t$  складає :

$$\frac{dq_1}{dtc} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_{O_i} NLMi}{K_1(K_1-1)}}{V_1} + \frac{W_1}{V_2} + \frac{GZ_2}{Z_1 - Z_2} \right) \quad (2.12)$$

Загальний вміст рідини, що виділяється в сепараторі за час  $t$  залишаємо :

$$\frac{dq_5}{dtc} = q_2 + \frac{\Delta W}{V_2} + q_4 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{X_{O_i} NLMi}{K_1 - (K_1 - 1)}}{V_2} + \frac{\Delta W}{V_2} + \frac{GZ_2}{Z_1 - Z_2} = \frac{1}{V_2} \left( \sum_{i=1}^n \frac{X_{O_i} NLMi}{K_1 - (K_1 - 1)L} + \Delta W \right) + \frac{GZ_2}{Z_1 - Z_2} \quad (3.51)$$

Але частина рідкої фази в процесі низькотемпературної сепарації виноситься в магістральний газопровід. Вміст рідкої фази в потоці газу на виході сепаратора визначаємо :

$$\frac{dq_6}{dtc} = \frac{dq_5}{dtc} Ke = Ke \left[ \frac{1}{V_2} \left( \sum_{i=1}^n \frac{X_{O_i} NLMi}{K_1 - (K_1 - 1)L} + \Delta W \right) + \frac{GZ_2}{Z_1 - Z_2} \right] \quad (2.14)$$

де :  $Ke$  - коефіцієнт ефективності сепаратора. Він визначається з графіків в залежності від конструктивних параметрів сепаратора.

$$Ke = f(lc/dc) \text{ або } Ke = f(hc) \quad (2.15)$$

$lc, dc, hc$  - довжина, висота і діаметр сепараційного процесу.

Вирази  $dg_5/dtc$ ,  $dq_6/dtc$  - характеризують якість газу, так, як являють собою залежність степеня поглинання рідкої фази від фазових співвідношень процесу сепарації газових сумішей.

Температурний баланс.

Якщо на вхід НГС сепаратора поступає  $V_1$  газової суміші, то кількість рідини, яка є даному об'ємі в одиниці часу ( $m^3/год$ ) визначається:

$$Q_1 = V_2 \frac{dq_1}{dtc} \quad (2.16)$$

Кількість рідини, яка виділилась в низькотемпературному сепараторі :

$$Q_2 = V_2 \frac{dq_5}{dtc} \quad (2.17)$$

Кількість рідини, яка виноситься в магістральний газопровід потоком газу в одиницю часу із Н<sub>т</sub> сепаратора :

$$Q_3 = V_3 \frac{dq_6}{dtc} \quad (2.18)$$

де :  $V_3$  - об'єм газу на виході з установки НГС.

Тоді рівняння матеріального балансу записуємо :

$$Q_3 = Q_1 - Q_2,$$

або :

$$V_3 \frac{dq_6}{dtc} = V_2 \frac{dq_1}{dtc} - V_2 \frac{dq_5}{dtc} \quad (2.19)$$

або :

$$\frac{dq_6}{dtc} = \frac{V_2}{V_3} \left( \frac{dq_1}{dtc} - \frac{dq_5}{dtc} \right) \quad (2.20)$$

Математичний опис теплового балансу НТС визначається тепловим балансом дросельного пристрою і Н<sub>т</sub> сепаратора.

Тепловий баланс дросельного пристрою при стаціонарному режимі :

$$\frac{dTg}{dt} = \frac{dTc}{dt} - \frac{Mg}{dt} \Delta P \quad (2.21)$$

де :  $Tg$  – температура на виході дросельного пристрою;

$Mg$  – коефіцієнт Арногура-Томпсона ;

$\Delta P$  – перепад тиску на дросельному пристрої.

Тепловий баланс НТ сепаратора :

$$CpV_2 \frac{dTc}{dt} = Q_1 - Q_2 + Q_3 \quad (2.21)$$

де :  $C, P, T_c$  - питома теплоємність, густина і температура газу в сепараторі;

$Q_1$  - кількість тепла, вноситься потоком газу в сепаратор;

$$Q_1 = CPcV_2T_1;$$

$Q_2$  - кількість тепла, яке виноситься потоком газу із сепаратора;

$$Q_2 = CPcV_2T_2;$$

$Q_3$  - кількість тепла, яке передається від стінок сепаратора потоку газу;

$$Q_3 = L_T F_c \left( \frac{T_1 + T_2}{2} - T_3 \right),$$

де:  $T_1, T_2$  - температура на вході і виході сепаратора;

$L_T$  - кількість тепловіддачі від внутрішньої стінки поверхні сепаратора-газу;

$F_c$  - внутрішня поверхня сепаратора;

$T_3$  - середня температура корпусу сепаратора;

$$\frac{dT_c}{dt} = \frac{dT_1}{dt} - \frac{dT_2}{dt} + \frac{0.5L_T F_c}{CcPcV_2} - \frac{d(T_1 + T_2 - 2T_3)}{dt}. \quad (2.22)$$

Отже, математичний опис процесу сепарації складається з рівняння, які виражають фазові співвідношення в системі сепарації, матеріальних і теплових балансів в динаміці і мають вид:

$$\frac{dq_1}{dtc} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\chi_{0i} NLM_i}{\kappa_i - (\kappa_i - 1)L}}{V_1} + \frac{W_1}{V_2} + \frac{GZ_2}{Z_1 - Z_2} \right);$$

$$\kappa_i = f(P_c, T_c, X_1, \dots, X_n);$$

$$\frac{dq_5}{dtc} = \left[ \frac{1}{V_2} \left( \sum_{s=1}^n \frac{\chi_{0i} NLM_s}{\kappa_i - (\kappa_i - 1)L} + \Delta W \right) - \frac{GZ_2}{Z_1 - Z_2} \right];$$

$$\frac{dq_6}{dtc} = \frac{V_2}{V_3} \left( \frac{dq_1}{dtc} - \frac{dq_6}{dtc} \right);$$

$$\frac{dT_d}{dtc} = \frac{dTc}{dtc} - \frac{MД}{dtc} \Delta P;$$

$$\frac{dTc}{dtc} = \frac{dT_1}{dtc} - \frac{dT_2}{dtc} - \frac{0.5L_T Fc}{CcPcV_2} \cdot \frac{d[T_1 + T_2 - 2T_3]}{dtc};$$

Структурна схема математичної моделі установки НГС з основними технологічними параметрами зображена на рис.2.2.

Основною характеристикою процесу низькотемпературної сепарації є температурний режим, який порушується при зміні витрати газу. Регулювання температурного режиму здійснюється дроселем, а також перерозподілом осушеного газу в системі теплообмінників I-го і II-го сепараторів.

## **Висновки до розділу 2**

Узагальнено та побудовано математичні та структурні схеми моделі технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу та сепаратора, які включають математичну модель статички та математичну модель сепаратора, і створюють основу для моделювання на ЕОМ і розробки системи автоматизованого управління технологічним процесом низькотемпературної сепарації газу.

Встановлено, що установка низькотемпературної сепарації газу є складним об'єктом, який працює в умовах невизначеності. При зовнішніх збуреннях спостерігається відхилення основних параметрів в процесі сепарації від заданого значення, що є характерною особливістю таких установок і вимагає управління технологічним процесом низькотемпературної сепарації газу.

Розроблено математичну модель низькотемпературної сепарації газу. Модель адекватно відображає процес низькотемпературної сепарації газу, так

як результати на виходах моделі відповідають фізичним основам процесу сепарації.

Встановлено, що співвідношень, які, як правило, описуються лінгвістично, набагато більше ніж детермінованих взаємозв'язків. Тому аналіз цих взаємозв'язків і включення їх в модель технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу є важливою науковою задачею.

Побудована модель є вихідними даними для розробки методики синтезу системи (розділ 4) та оперативно-диспетчерського управління технологічним процесом низькотемпературної сепарації газу на газовидобувних підприємствах.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА СТРУКТУРИ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ СЕПАРАЦІЇ ГАЗУ

#### 3.1. Побудова нейромережевої моделі технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу

Для вдосконалення технології процесу низькотемпературної сепарації газу та управління якістю необхідно детальне вивчення явищ, що протікають в ході процесу сепарації. Проте проведення з цією метою активних експериментів часто або взагалі неможливо через ймовірних катастрофічних наслідків, або економічно не вигідно. У таких випадках технологічні процеси досліджують за допомогою математичного моделювання.

Побудова моделі виробництва на основі рівнянь фізико-хімічних законів процесів, що протікають на кожному етапі технологічного циклу, затруднене, так як вони мають складну і різноманітну природу і часто в повній мірі не можуть бути описані навіть системами складних інтегральних та диференціальних рівнянь. Зв'язок між технологією процесу і якістю одержуваної продукції може бути виявлена з прийнятною точністю статистичними методами за інформацією, що накопичується про виробництво в ході його нормального функціонування. Для опису залежності властивостей продукції від технології виробництва застосовують детерміновані функціональні залежності виду  $y = \varphi(X)$ , де  $y$  - одна з властивостей продукції,  $\varphi$  - складна функція багатьох змінних, а  $X$  - вектор технологічних параметрів. Для визначення виду функції  $\varphi$  використовується масив накопиченої [20] технологічної інформації:  $W = \{X|Y\} \in R^{p \times (n+m)}$ , що містить набори значень технологічних параметрів  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  та значення властивостей

$Y = \{y_1, \dots, y_n\}$  продукції, отриманої при реалізації даної технології. Завдання полягає в тому, щоб побудувати для кожної властивості продукції таке відображення  $\varphi: X \rightarrow y$ , при якому значення  $\hat{y}(X_j)$ , що видається моделлю, було б найбільш близько до значення модельованої властивості продукції  $y(X_j)$ , отриманої при реалізації технології. Традиційно функції  $\varphi$  отримують у вигляді лінійних за параметрами регресійних моделей. Альтернативою їм є нейромережеві моделі. В роботі [21] розглянуто використання двошарових нейронних мереж для моделювання взаємозв'язку властивостей одержуваної продукції і параметрів сепарації (рис.3.1).

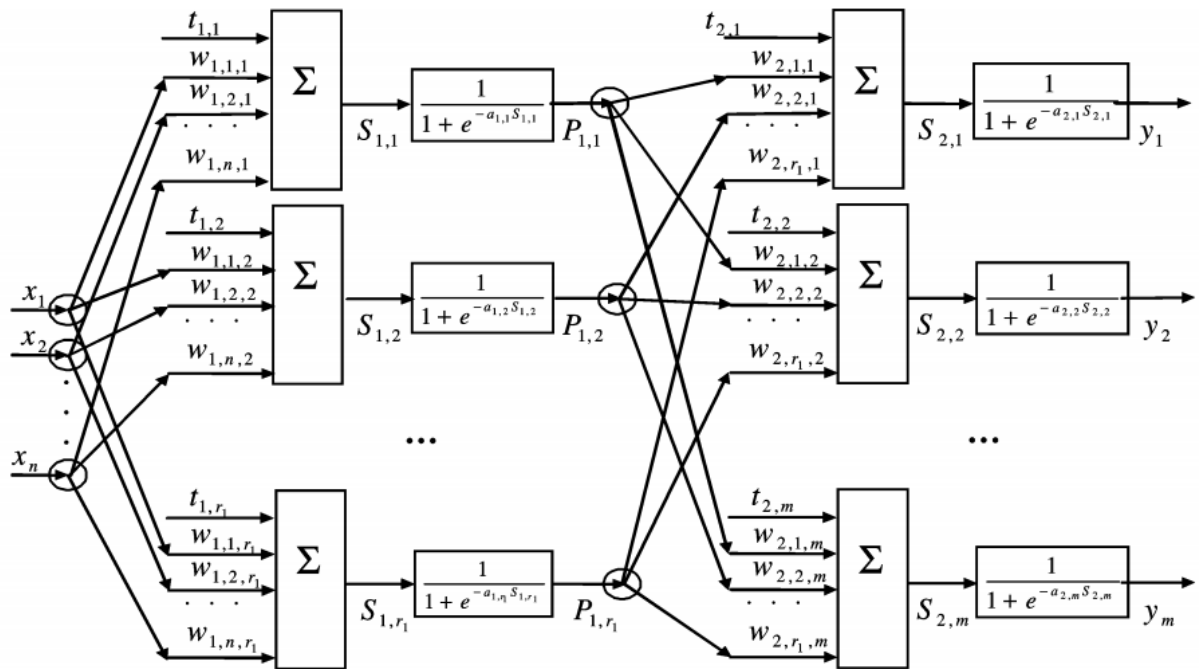


Рис. 3.1. Модель технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу

Тут  $x_1, \dots, x_n$  - фактори технологічного процесу сепарації,  $y_1, \dots, y_n$  - властивості газу,  $t_{i,j}, a_{i,j}, w_{i,j}, i = 1, 2, j = 1, \dots, r_i, k = 1, \dots, r_{i-1}$  параметри нейромережевої моделі, де  $r_0, r_1, r_2$  - кількість вхідних сигналів мережі і кількість нейронів в першому і другому шарі відповідно ( $r_0 = n, r_2 = m$ ). Літерами

$S_{i,j}, j = 1, \dots, r_i, i = 1, 2$  позначені виходи адаптивних суматорів кожного нейрона, а буквами  $P_{1,j}, j = 1, \dots, r_1$  - вихідні значення нейронів прихованого шару.

Топологія такої моделі може бути сформована за такими правилами:

- будується двошарова однорідна нейронна мережа, в якості функції активації вибирається логістична функція

- число входів моделі визначається кількістю технологічних факторів, всі вхідні сигнали подаються всім нейронам першого (прихованого) шару;

- число виходів моделі відповідає числу контрольованих властивостей одержуваної продукції; вихідними сигналами моделі служать сигнали нейронів вихідного (другого) шару, тому кількість нейронів у цьому шарі дорівнює числу показників якості виробленої в ході технологічного процесу продукції;

- кількість нейронів у першому шарі розраховується відповідно до підходу, описаному в роботі [22]: оцінюється максимально необхідну кількість

зв'язків між нейронами  $N_w^{max} = m \cdot \left( \frac{1}{n} + 1 \right) \cdot (n + m + 1) + m$

, а потім розраховується максимально необхідну кількість нейронів у першому

шарі  $r_1^{max} = \frac{N_w^{max}}{n+m} + 1$ .

Спочатку параметри моделі (коефіцієнти синаптичних зв'язків, порогові значення і параметри функцій активації) ініціюються випадковими числами в діапазоні [0; 1]. Розрахунок оптимальних значень цих параметрів називається навчанням. В основі навчання лежить використання масиву навчальних даних. Для перевірки якості навчання моделі використовується масив іспитів даних.

### 3.3. Навчання нейромережових моделей

Нейронна мережа описується [23] векторною функцією векторного аргументу:

Компоненти вектора  $S$  діляться на три типи:

- коефіцієнти синаптичних зв'язків - число зв'язків між нейронами;

- порогові значення  $t_i, i = 1, \dots, N_n, \partial e N_n$  - кількість нейронів в мережі;
- параметри активаційних функцій  $a_{ij}, i = 1, \dots, N_f, j = 1, \dots, N_n \partial e N_f$  - число параметрів функції активації.

Мета навчання нейронної мережі полягає в знаходженні оптимального в сенсі обраного критерію навчання вектора параметрів.

Розглянемо стратегію навчання нейромережевої моделі, представленої на рис. 3.5. Критерій (3.23) можна переписати в наступному вигляді:

Традиційно для цього застосовують методи чисельного обчислення похідної, причому для обчислення градієнта необхідно не менше ніж  $n$  обчислень значень функції, де  $n$  - число змінних. Специфіка нейронної мережі полягає в тому, що число її параметрів, що настраюються велике (від декількох десятків до тисяч), тому обчислення градієнта стандартними методами неефективно.

Для обчислення градієнту нейронної мережі за її параметрами застосовується метод швидкого диференціювання, при цьому витрати на обчислення градієнту всього в 2-3 рази перевищують витрати на обчислення значення функції. Застосування цього методу ґрунтується представлені складної функції багатьох змінних у вигляді суперпозиції функцій меншого числа змінних. У цьому випадку можна скористатися правилом диференціювання складної функції:

Для кожної з функцій  $A_i$ , які складають  $f$  розраховуються двоїсті змінні  $\mu(A_i)$ , які є приватними похідними функції. Знаючи похідну кожної з функцій складових  $f$ , можна розрахувати значення  $\nabla_{x_1, \dots, x_n} f$ . Детально метод швидкого диференціювання описаний в роботах [25, 26].

Застосування методу швидкого диференціювання дозволяє отримати формули для розрахунку компонент градієнта.

Кожен нейрон мережі функціонує наступним чином:

Для кожного нейрона мережі розраховуються вхідна двоїста змінна  $\mu_{ri}^{sx}$  - змінна точки розгалуження і вихідна двоїста змінна  $\mu_{ri}^{sux}$  - змінна адаптивного суматора.

Таким чином, для навчання нейронної мережі з критерієм навчання може бути застосована стандартна стратегія знаходження мінімуму функції багатьох змінних: для знаходження напрямки застосовуються градієнтні (метод Коші [25], метод Флетчера - Рівса [26] та ін.). Або квазіградієнтні методи (метод БРР [23], метод ВРС8, а для знаходження кроку оптимізації можуть застосовуватися ефективні методи одновимірного пошуку - метод квадратичної інтерполяції, метод кубічної інтерполяції та інші.

### **Висновки до розділу 3**

Розроблено структуру нейромережної моделі, яка адекватна складним багатоетапним технологічним процесам. Для аналізу одного етапу застосовна модель на основі двошарового перцептрона. Кілька таких моделей, побудованих для різних етапів технологічного процесу і об'єднаних в одну, складають нейромережеву модель, що описує наскрізну технологію. Така модель здатна досить адекватно відобразити повну інформацію про вплив технологічних режимів кожного з етапів на властивості готової продукції і проміжних напівфабрикатів. Відмінна особливість даної моделі - її гнучкість. Кожна зі складових або ділянки моделі можуть розглядатися незалежно від інших: у разі зміни умов виробництва на будь-якому етапі технології досить здійснити параметричну і (або) структурну адаптацію моделі, яка описує цей етап, і потім знову включити її в загальну схему.

Процес навчання нейронної мережі зведений до стандартної задачі оптимізації функції багатьох змінних, а отримані формули аналітичного перерахунку градієнта функції втрат дозволяють застосувати для навчання мережі ефективні методи теорії оптимізації.

## РОЗДІЛ 4

### ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОМЕРЕЖ

#### 4.1. Створення нейронної мережі регулятора

Схема підсистеми ідентифікації показана на рис.4.1 [35]. Вона включає модель керованого процесу у вигляді нейронної мережі, яка повинна бути навчена в автономному режимі так, щоб мінімізувати помилку між реакціями процесу низькотемпературної сепарації і моделі  $e = u_p - u_m$  на послідовність пробних сигналів  $i$ .

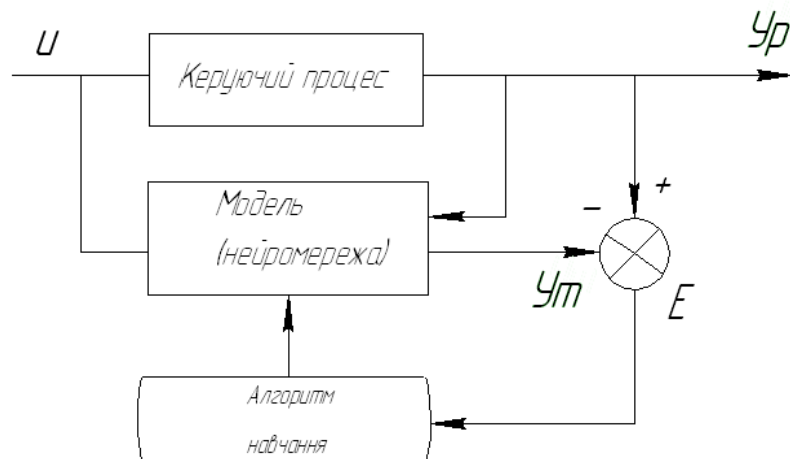
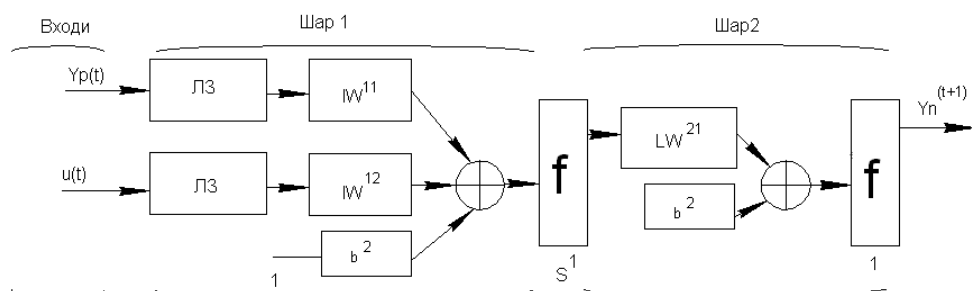


Рис. 4.1. Ідентифікація керованого процесу

Нейронна мережа регулятора керованого процесу показана на рис.4.2; вона має 2 шару нейронів і використовує лінії затримки (ЛЗ), щоб запам'ятати попередні значення входів і виходів процесу передбачити майбутні значення виходу.



### Рис. 4.2. Нейронна мережа регулятора

Настройка параметрів цієї мережі виконується автономно методом групового навчання, використовуючи дані, отримані при випробуваннях реального об'єкту. Для навчання мережі може бути використаний будь-якому з навчальних алгоритмів для нейронних мереж.

Управління з прогнозом використовує принцип горизонту коли нейромережева модель керованого процесу передбачає реакцію об'єкту управління на певному інтервалі часу в майбутньому. Прогнози використовуються програмою чисельної оптимізації для того, щоб обчислити сигнал, що управляє, який мінімізує наступний критерій якості управління:

$$J = \sum_{j=N_1}^{N_2} (y_r(t+j) - y_m(t+j))^2 + \rho \sum_{j=1}^{N_u} (u'(t+j-1) - u'(t+j-2))^2 \quad (4.1)$$

Де константи  $N_1$ ,  $N_2$  і  $N_u$  задають межі, усередині яких обчислюються помилка стеження і потужність сигналу, що управляється. Змінна  $u'$  описує пробний керуючий сигнал,  $y_r$  - бажаний,  $y_m$  - природня реакція моделі керованого процесу. Величина  $\rho$  визначає внесок, який вносить потужність управління в критерій якості.

### **4.2. Імітаційне моделювання в середовищі MATLAB з використанням нейромережевої моделі**

Імітаційне моделювання проводиться для того, щоб візуально побачити процес, проаналізувати його перехідні характеристики, визначити його показники якості, а також для подальшої імітації поведінки системи при дії на неї різноманітних збурюючих впливів.

Імітаційне моделювання дає можливість моделювати за допомогою ЕОМ технологічний процес, визначати вплив того чи іншого параметру, підтримувати їх на оптимальному рівні, а також прогнозувати поведінку системи. А цей результат досягається лише за допомогою високоефективних складних автоматичних систем керування на базі ЕОМ.

На основі отриманої нейромережевої моделі (4.1) проведемо імітаційне моделювання процесу низькотемпературної сепарації газу по основних та допоміжних каналах.

В результаті імітаційного моделювання отримано експериментальні дані для перехідних характеристик, що дало змогу синтезувати систему керування технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу

### **4.3. Обробка результатів експерименту з використанням нейромережевої моделі**

При дослідженні прийнято рішення зробити порівняльний аналіз одно-контурної та каскадної систем керування.

Усереднені результати по каналах регулювання приведені в табл. 4.1 і 4.2.

*Таблиця 4.1*

#### **Результати по каналу “витрата газу-температура низу сепаратора”**

| t, хв | $\Delta Q$ ,<br>m <sup>3</sup> /год | T, °C | t, хв | $\Delta Q$ ,<br>m <sup>3</sup> /год | T, °C | t, хв | $\Delta Q$ ,<br>m <sup>3</sup> /год | T, °C |
|-------|-------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-------------------------------------|-------|
| 0     | 14.3                                | 175.0 | 12    | 14.3                                | 167.0 | 24    | 14.3                                | 166.5 |
| 3     | 14.3                                | 171.3 | 15    | 14.3                                | 166.7 | 27    | 14.3                                | 166.5 |
| 6     | 14.3                                | 168.9 | 18    | 14.3                                | 166.6 | 30    | 14.3                                | 166.5 |
| 9     | 14.3                                | 167.7 | 21    | 14.3                                | 166.6 |       |                                     | 166.5 |

Таблиця 4.2

## Результати по каналу “витрата газу-якість сепарації”

| t, хв | $\Delta Q$ ,<br>$m^3/\text{год}$ | q, %   | t, хв | $\Delta Q$ ,<br>$m^3/\text{год}$ | q, %   | t, хв | $\Delta Q$ ,<br>$m^3/\text{год}$ | q, %   |
|-------|----------------------------------|--------|-------|----------------------------------|--------|-------|----------------------------------|--------|
| 0     | 14.3                             | 95.120 | 15    | 14.3                             | 97.912 | 30    | 14.3                             | 98.225 |
| 3     | 14.3                             | 95.536 | 18    | 14.3                             | 98.047 | 33    | 14.3                             | 98.234 |
| 6     | 14.3                             | 96.888 | 21    | 14.3                             | 98.128 | 36    | 14.3                             | 98.241 |
| 9     | 14.3                             | 97.361 | 24    | 14.3                             | 98.181 | 39    | 14.3                             | 98.248 |
| 12    | 14.3                             | 97.690 | 27    | 14.3                             | 98.206 | 42    | 14.3                             | 98.250 |

Згідно табл. 4.1 (значення перехідної характеристики по каналу регулювання “витрата газу-температура низу сепаратора”), значення даної характеристики приведемо до безрозмірних величин використавши формули:

$$X_{вх.i}^* = \frac{X_{вх.i} - X_{вх.0}}{X_{вх.max.} - X_{вх.0}} \quad (4.1)$$

$$Y_{вих.i}^* = \frac{Y_{вих.i} - Y_{вих.0}}{Y_{вих.max.} - Y_{вих.0}} \quad (4.2)$$

де  $X_{вх.i}$ ,  $Y_{вих.i}$  - біжуче значення вхідної вихідної величини в безрозмірних одиницях;

$X_{вх.0}$ ,  $Y_{вих.0}$  - значення вхідної і вихідної величин в розмірних одиницях до моменту нанесення збурення;

$X_{вх.max}$  - максимальне значення вихідної величини в розмірних одиницях;

$Y_{вих.(\infty)}$  - значення вихідної величини в розмірних одиницях після закінчення перехідного процесу.

Приведемо отримані експериментальні дані згідно вищевказаних формул до безрозмірних величин. [27]

Отримані значення зведемо в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

**Експериментальні дані по каналу “витрата газу-температура низу сепаратора” в безрозмірних одиницях**

| t, хв | X <sub>ВХ</sub> | Y <sub>ВИХ</sub> | t, хв | X <sub>ВХ</sub> | Y <sub>ВИХ</sub> | t, хв | X <sub>ВХ</sub> | Y <sub>ВИХ</sub> |
|-------|-----------------|------------------|-------|-----------------|------------------|-------|-----------------|------------------|
| 0     | 1               | 0                | 12    | 1               | 0.940            | 24    | 1               | 0.995            |
| 3     | 1               | 0.438            | 15    | 1               | 0.982            | 27    | 1               | 1                |
| 6     | 1               | 0.718            | 18    | 1               | 0.992            | 30    | 1               | 1                |
| 9     | 1               | 0.864            | 21    | 1               | 0.995            |       |                 |                  |

Тепер згідно табл. 4.3 побудуємо перехідну характеристику по каналу “витрата газу – температура низу сепаратора”.

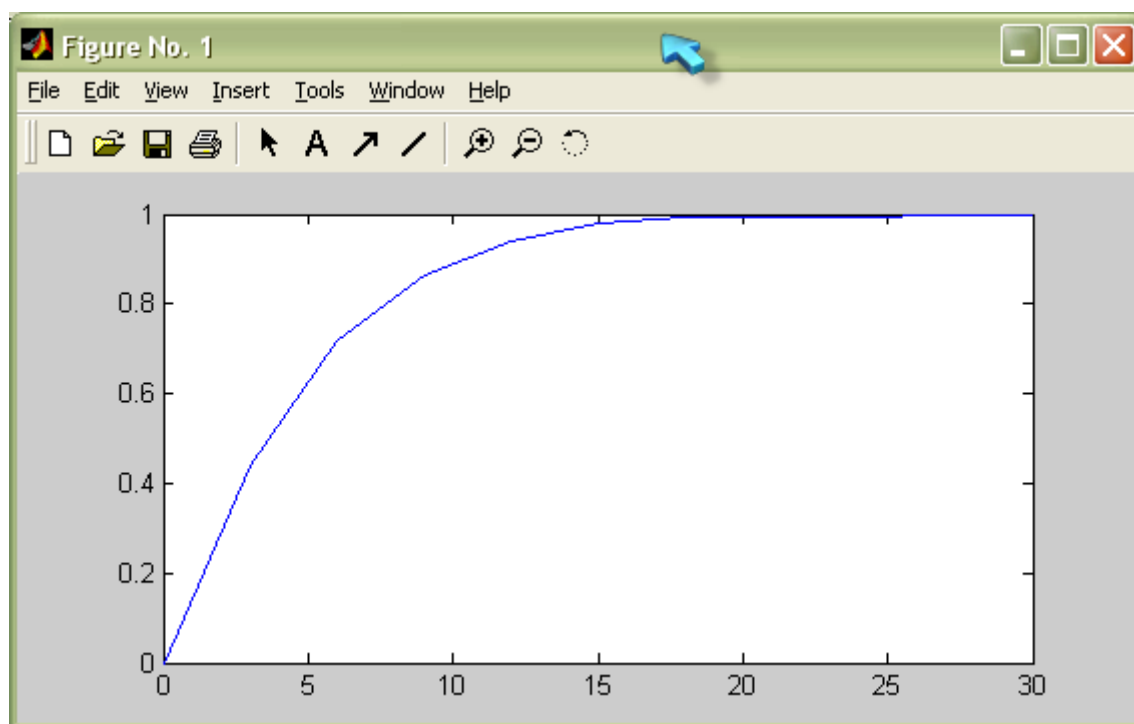


Рис. 4.3. Перехідна характеристика по каналу “витрата парів – температура низу сепаратора”

Після цього приведемо експериментальні дані каналу “витрата газу-якість вихідного продукту” до безрозмірних величин за допомогою формул (4.2) та (4.3).

Таблиця 4.4

**Дані по каналу “витрата газу-якість сепарації” в безрозмірних  
одиницях**

| t, хв | X <sub>ВХ</sub> | Y <sub>ВИХ</sub> | t, хв | X <sub>ВХ</sub> | Y <sub>ВИХ</sub> | t, хв | X <sub>ВХ</sub> | Y <sub>ВИХ</sub> |
|-------|-----------------|------------------|-------|-----------------|------------------|-------|-----------------|------------------|
| 0     | 1               | 0                | 12    | 1               | 0.8              | 24    | 1               | 0.995            |
| 3     | 1               | 0                | 15    | 1               | 0.86             | 27    | 1               | 1                |
| 6     | 1               | 0.2              | 18    | 1               | 0.96             | 30    | 1               | 1                |
| 9     | 1               | 0.6              | 21    | 1               | 0.99             |       |                 |                  |

Тепер згідно табл. 4.4 побудуємо перехідну характеристику по каналу “витрата газу – якість сепарації.”

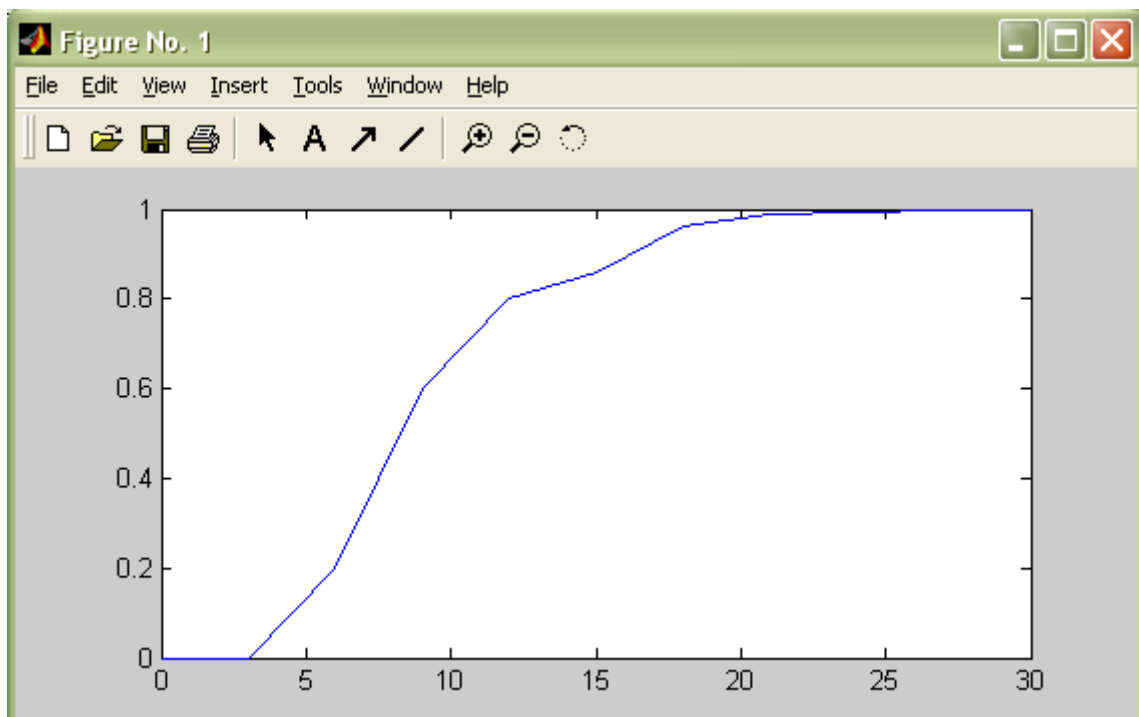


Рис. 4.4. Перехідна характеристика по каналу “витрата газу –  
якість сепарації”

Оскільки крива об'єкту по каналу “витрата парів - якість вихідного продукту” має S-подібну форму, то для її апроксимації використовуємо передавальну функцію третього порядку, а перехідну характеристику об'єкту по каналу “витрата парів - температура низу сепаратора” спробуємо апроксимувати аперіодичною ланкою другого порядку.

З допомогою ЕОМ, використовуючи програму “APRS.BAS”, визначимо, що максимальна похибка апроксимації по першому каналу становить  $DM=0.69\%$  в точці  $T=1080$  с, по другому каналу  $DM=5.60\%$  в точці  $T=540$  с. Згідно результатів програми, передавальна функція по каналу “витрата парів-температура низу сепаратора” має вигляд

$$W(p) = \frac{92.471p + 1}{34895.054p^2 + 368.111p + 1}, \quad (4.3)$$

а передавальна функція по каналу “витрата газу-якість вихідного продукту”

$$W(p) = \frac{-93.246p + 1}{3266022.649p^3 + 72527.582p^2 + 464.154p + 1} \quad (4.4)$$

Як бачимо, отримані похибки апроксимації задовільняють поставленим вимогам.

### 4.3. Імітаційне моделювання процесу

Імітаційне моделювання будемо проводити з метою візуалізації процесу та отримання перехідних характеристик, визначення їх показників якості в середовищі програмного продукту MATLAB.

Структурну схему системи моделюємо в середовищі Simulink. Вона складається з наступних блоків:

Step – стрибкоподібний одиничний сигнал збурення;

Sumator – суматор;

Transfer Fcn – передавальна функція по каналу;

Scope – осцилограф для візуалізації процесу;

NCD Outport – блок налаштування параметрів регулятора і візуалізації перехідного процесу.

Оскільки передавальна функція по каналу “витрата газу-температура низу сепаратора” має вигляд (4.3), то проведемо моделювання системи по цьому каналу.

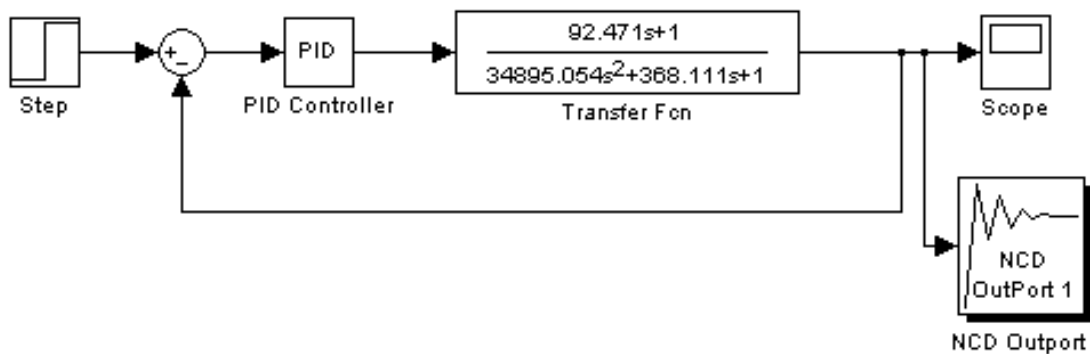


Рис. 4.5. Імітаційне моделювання системи по каналу „витрата газу-температура низу сепаратора”

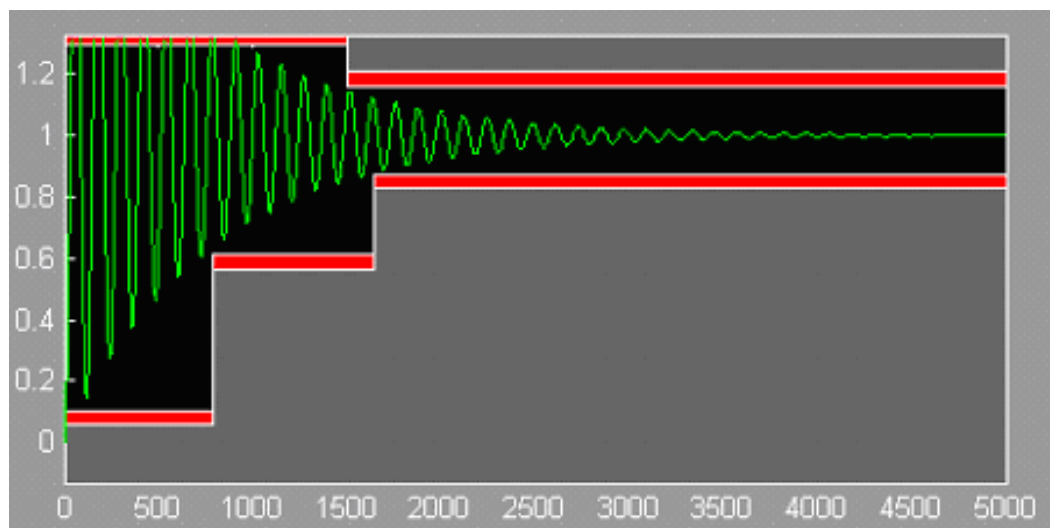


Рис. 4.6. Візуалізація блоку NCD

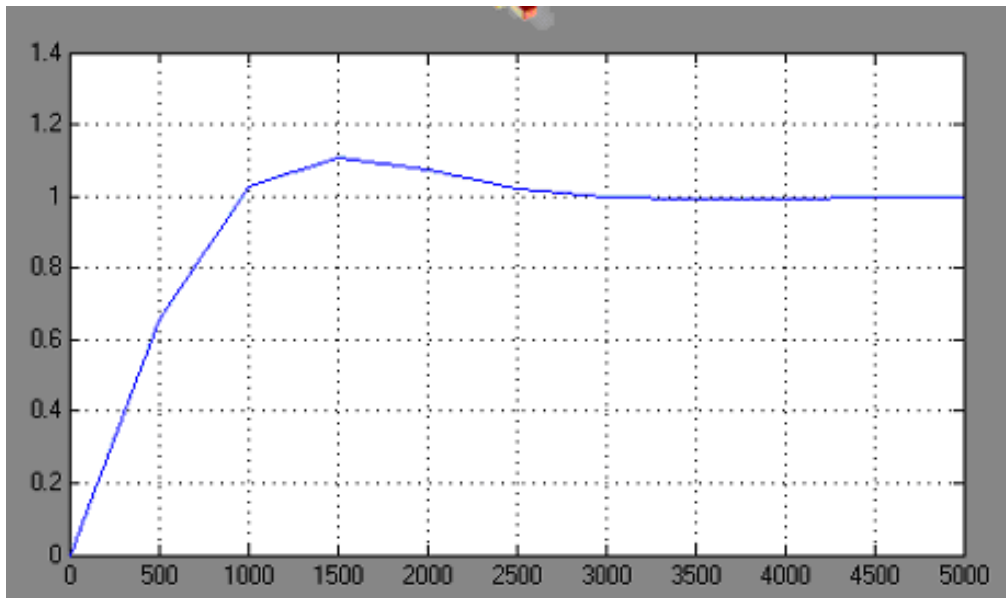


Рис. 4.7. Перехідний процес по каналу „витрата газу - температура низу сепаратора”

З графіка перехідного процесу по каналу „витрата газу-температура низу сепаратора” видно, що перерегулювання становить 10 % , а час перехідного процесу 2950 с.

Тепер проведемо моделювання системи по каналу “витрата газу-якість вихідного продукту”, враховуючи, що передавальна функція по цьому каналу має наступний вигляд

$$W(p) = \frac{-93.246p + 1}{3266022.649p^3 + 72527.582p^2 + 464.154p + 1} \quad (4.5)$$

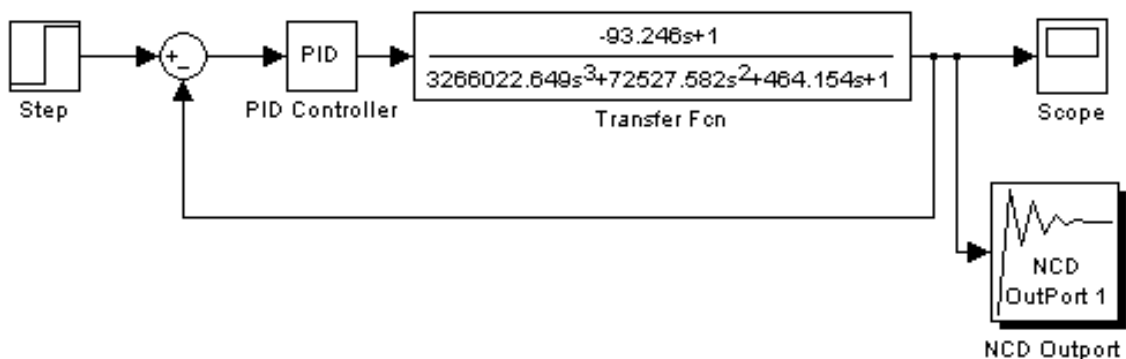


Рис. 4.8. Імітаційне моделювання системи по каналу „витрата газу – якість сепарації”

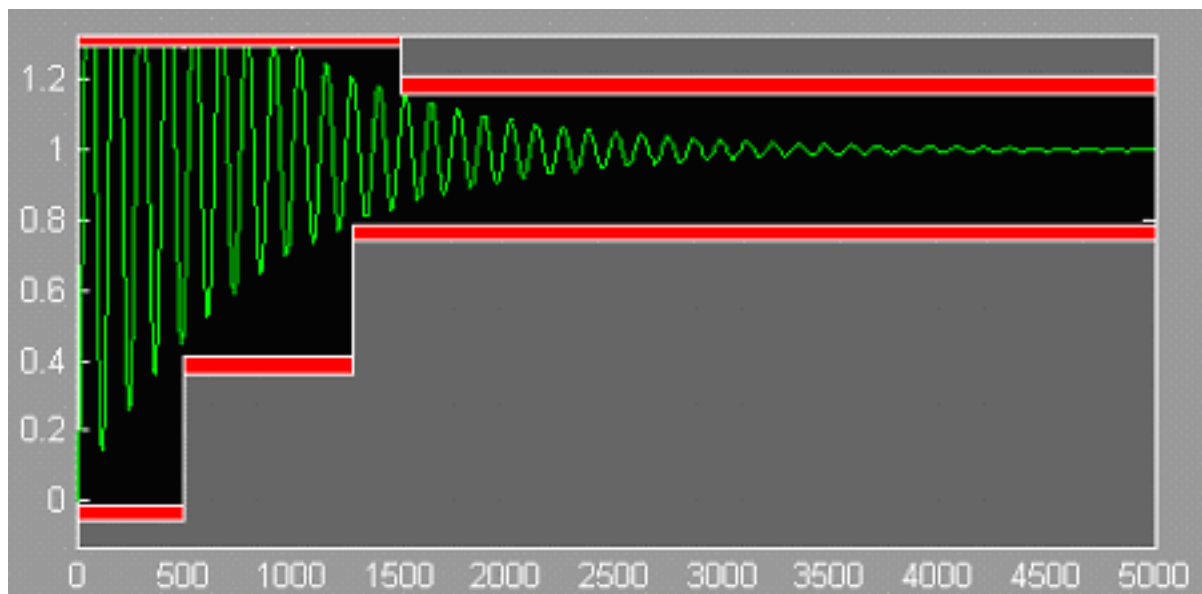


Рис. 4.9. Візуалізація блоку NCD

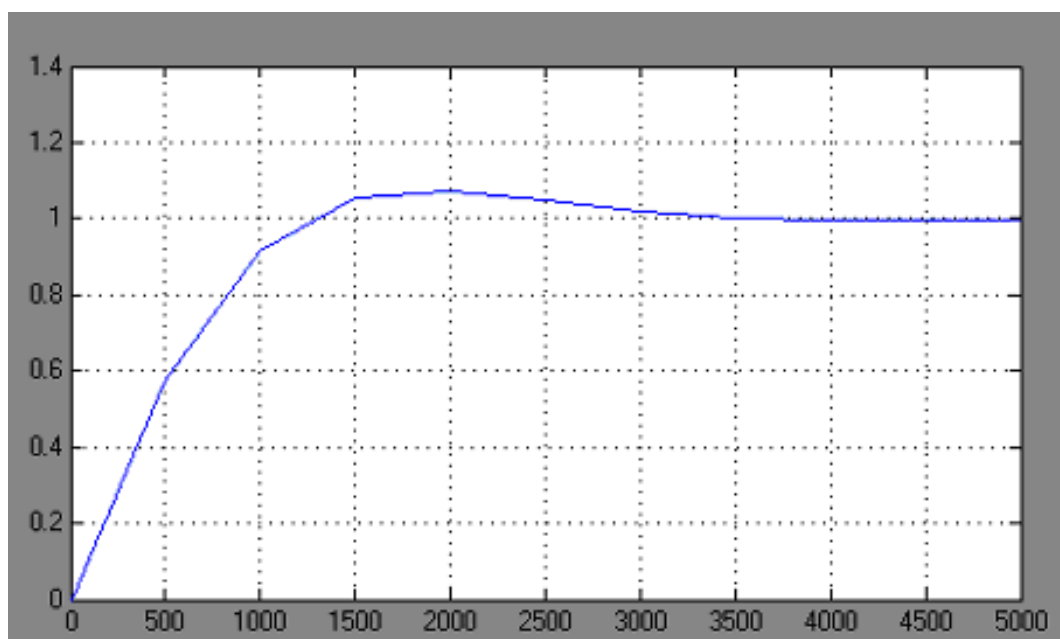


Рис 4.10. Перехідний процес по каналу „витрата газу – якість сепарації”

З графіка перехідного процесу по каналу „витрата газу – якість сепарації” видно, що перерегулювання становить близько 7.5 % , а час перехідного процесу 3400 с.[28]

З аналізу графіків перехідних процесів бачимо, що по каналу „витрата газу-температура низу сепаратора” перерегулювання трохи більше, але час перехідного процесу менший, а по каналу „витрата газу – якість сепарації” навпаки. Це, мабуть, пояснюється тим, що перший канал менш інерційний і тому перехідний процес менший, а по другому каналу перехідний процес більший через те, що вихідний продукт – осушений газ регулюється не прямо, а опосередковано. А різниця в перерегулюваннях незначна.

Оскільки ступінь сепарації (тобто якість сепарації) є основним параметром і переважно (в базовому варіанті) якість сепарації регулюється побічним параметром – температурою низу сепаратора, а вона, в свою чергу, - витратою газу та кількістю аерозолу на зрошення, що подається назад в сепаратор. Таким чином, якість вихідного продукту безпосередньо не контролюється.

Тому доцільно було б змоделювати каскадну систему регулювання якості вихідного продукту і провести порівняльний аналіз її показників якості і системи по каналу „витрата газу – якість сепарації.”

В даному випадку канал „витрата газу – якість сепарації” буде основним, більш інерційним, коректуючим, а канал „витрата газу-температура низу сепаратора” – допоміжним, менш інерційним, стабілізуючим.

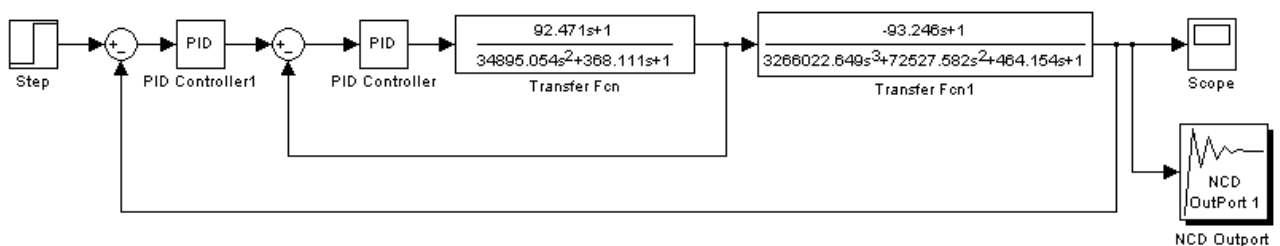


Рис. 4.11. Імітаційне моделювання каскадної системи регулювання якості сепарації

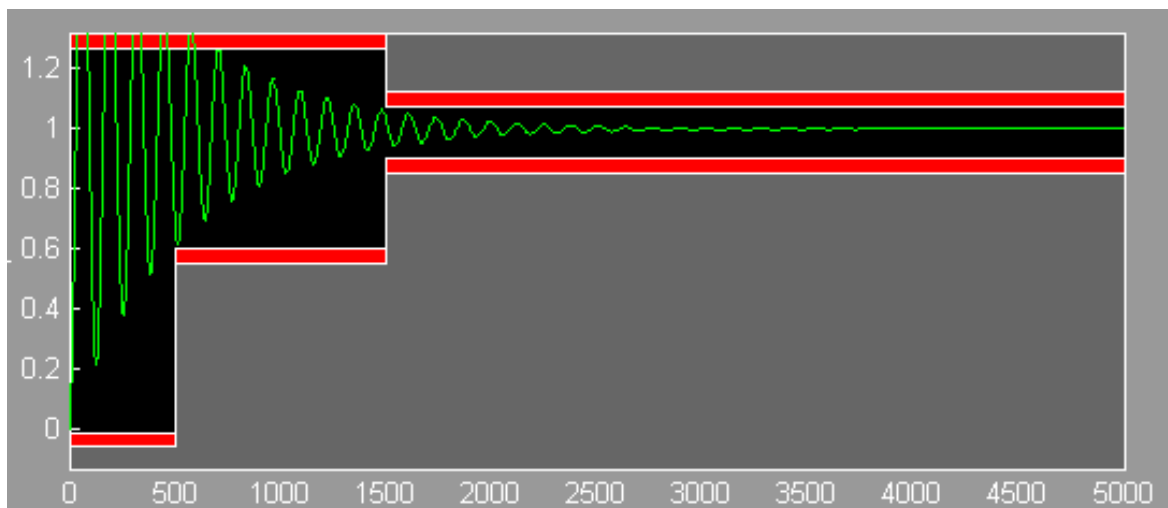


Рис. 4.12. Візуалізація блоку NCD для каскадної системи

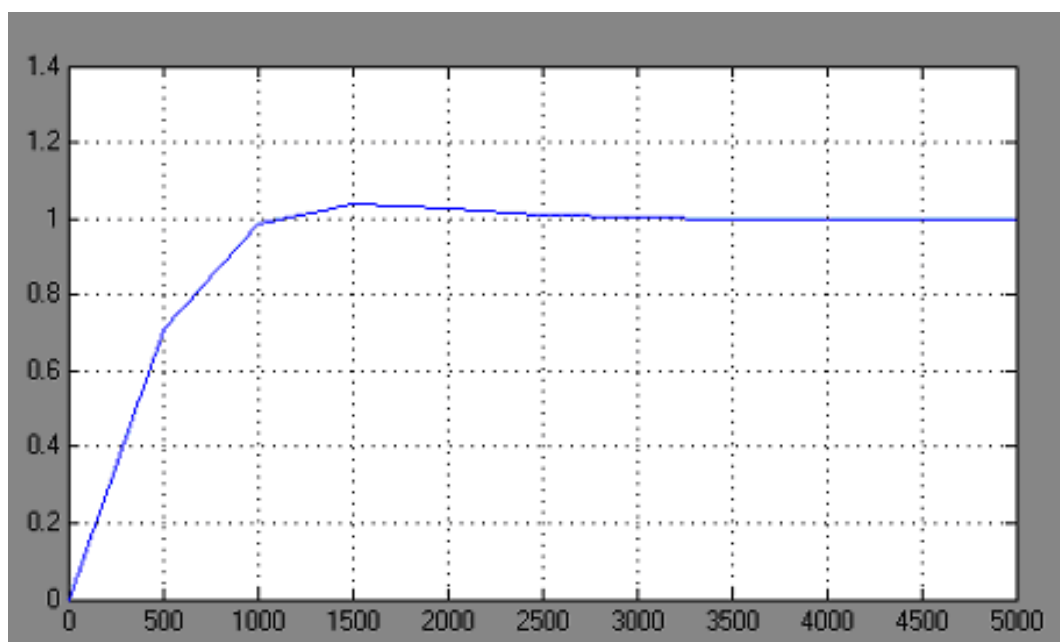


Рис. 4.13. Перехідний процес каскадної системи регулювання якості сепарації

З графіка перехідного процесу видно, що перерегулювання становить 3.8 %, а час перехідного процесу – 2400 с.

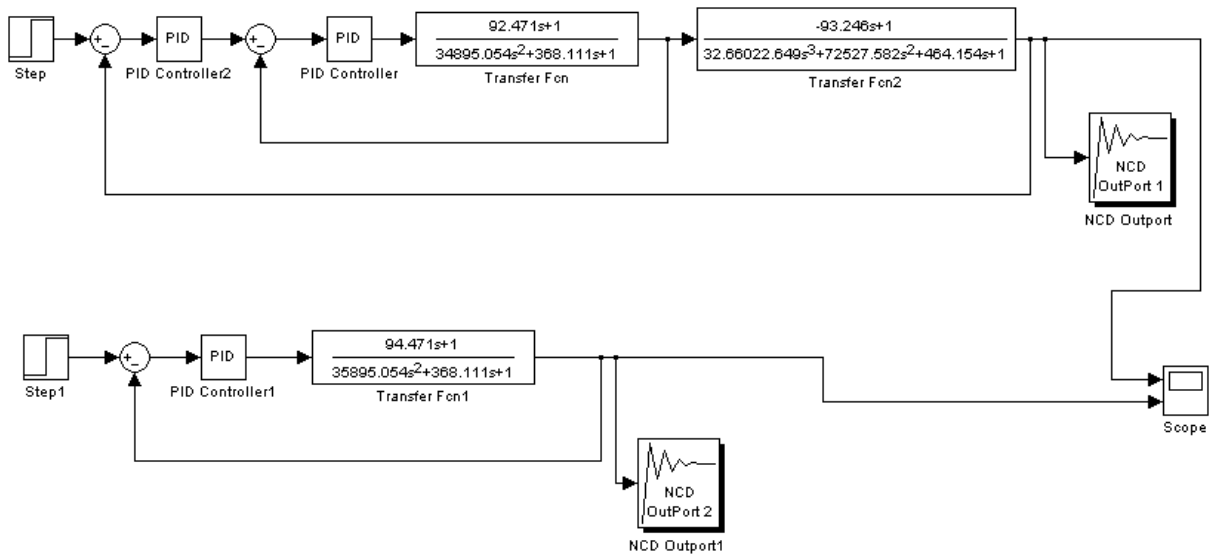


Рис. 4.14. Імітаційне моделювання каскадної системи регулювання

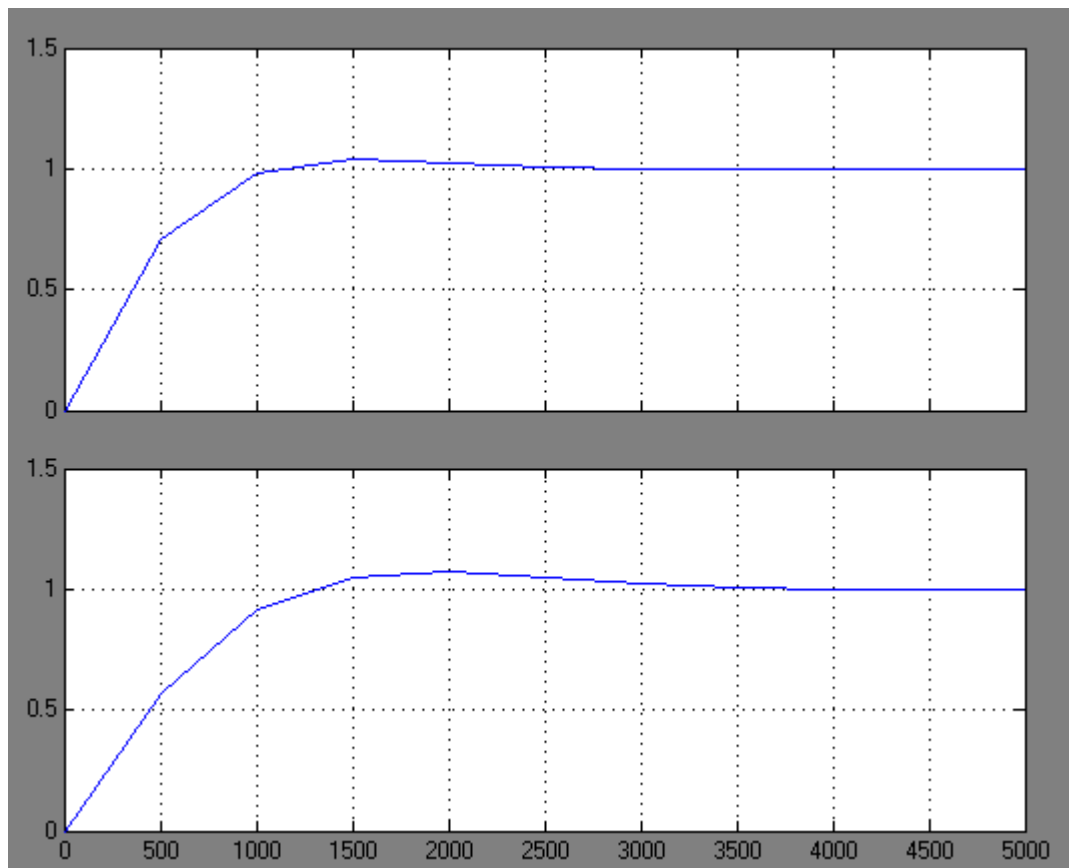


Рис. 4.15. Перехідні процеси каскадної системи регулювання якості сепарації і системи по каналу „витрата газу – якість сепарації”

З порівняльного аналізу графіків перехідних процесів можна зробити висновок, що в каскадній системі кращі показники якості, а саме,

перерегулювання становить 3.8 % (проти 7.5 %), час перехідного процесу – 2450 с. (проти 3400 с.).

Це ще раз доказує те, що вихідний продукт – сухий газ регулюється не безпосередньо, а його якість сепарації залежить від впливу побічних параметрів, одним з яких є температура низу сепаратора.

#### **Висновки до розділу 4**

В результаті імітаційного моделювання по каналах „витрата газу – температура низу сепаратора” та „витрата газу – якість сепарації” визначено показники якості перехідних процесів. Здійснено експериментальне визначення динамічних характеристик, визначено вхідні і вихідні змінні, та проведено обробку його результатів.

За результатами моделювання встановлено, що перехідні характеристики по каналах відповідають фізичним основам процесу, а їхні показники якості в допустимих межах. Порівняльний аналіз перехідних процесів показав, за якісними показниками, що каскадна система регулювання є більш досконалою по відношенню до технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу. На основі даних показників видно, що вихідний продукт (газ) – регулюється не безпосередньо, а його якість сепарації залежить від впливу побічних параметрів, одним з яких є температура низу сепаратора.

## РОЗДІЛ 5

### ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРАЦЕСУ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОЇ СЕПАРАЦІЇ ГАЗУ

#### 5.1. Аналіз недоліків існуючих системи контролю і автоматичного керування процесом

При аналізі недоліків систем контролю і автоматики слід враховувати, що більшість обладнання є морально і фізично застарілим, тому не може відповідати сучасним вимогам до систем автоматизованого керування технологічними процесами. Звичними явищами є відмова обладнання, приладів і пристроїв систем автоматики (пневматика) і все більше застосування ручної праці, досвіду, знань, умінь і навиків обслуговуючого персоналу. Присутні ряд недоліків, серед яких можна виділити наступні:

1) відсутність єдиної системи збору і обробки інформації та централізованого дистанційного керування процесом осушування;

2) неможливість автоматичної самодіагностики стану керуючих та виконавчих механізмів;

3) недосконалість повітряного живлення пневматичних приладів (швидкий вихід з ладу елементів УСЕППА при відхиленні характеристик повітря від нормованих. Водночас незаперечною перевагою пневматичних приладів є їх надійність при роботі у вибухонебезпечному середовищі);

4) незручності при застосуванні буйкових рівнемірів для вимірювання рівня в'язких речовин (в'язкою речовиною є аерозоль, що призводить до заклинювання чутливого елемента рівнеміра, збільшує похибку вимірювання);

5) відсутність системи автоматичного регулювання вакууму в установці низькотемпературної сепарації газу (в існуючих системах тиск підтримується вручну за допомогою засувки).

Крім того, деякі види обладнання (зокрема рівнеміри буйкові типу УБ-П) зняті з виробництва через моральну застарілість, що ускладнює можливість їх ремонту, заміни та забезпечення запасними частинами.

Загалом для регуляторів тиску прямої дії, що використовуються для керування процесом, характерні недоліки (обмеження можливостей) двох типів (груп) [29]. Недоліки першої групи пов'язані з обмеженням потужності, яку можна відбирати регулятором, і з неможливістю в деяких випадках використовувати енергію транспортованого газу (корозійна здатність, висока вибуховість) для роботи регулятора. Недоліки другої групи пов'язані з неможливістю забезпечення високої точності підтримки тиску в статичних і динамічних режимах (наявність статичної похибки регулятора).

З вище написаного можна зробити висновок, що в більшості обладнання автоматики на блоках регенерації є морально і фізично застарілим і потребує негайного оновлення (модернізації) у відповідності з вимогами систем автоматики для технологічних установок з замкнутим циклом роботи, так як газотранспортна індустрія є важливою галуззю промисловості.

## **5.2. Модернізація системи автоматичного керування процесом низькотемпературної сепарації газу**

### **5. 2.1. Основні вимоги до модернізованої системи**

Система автоматизованого керування процесом низькотемпературної сепарації газу повинна забезпечувати вирішення завдань централізованого збору та обробки інформації, захисту, сигналізації і оперативно-диспетчерського керування як основним технологічним процесом сепарації, так і допоміжним технологічним обладнанням, яке підтримує нормальне функціонування процесу.

Основними завданнями модернізації систем контролю та автоматики є:

1) підвищення ефективності ведення технологічного процесу за рахунок оперативного видання змінному диспетчеру (оператору) відповідної поточної інформації та використання сучасних форм її представлення;

2) підвищення надійності експлуатації за рахунок використання сучасних функціональних вузлів та елементів та достатньо високого рівня їх уніфікації;

3) застосування централізованого контролю та керування шляхом використання розподілених мереж програмно-технічних засобів, виконаних на принципах відкритих стандартних протоколів зв'язку;

4) забезпечення систем верхнього рівня достовірною оперативною інформацією про стан технологічного процесу в реальному масштабі часу.

### **5. 2.2. Функції системи**

Системи контролю і автоматики блоку сепарації повинні функціонувати в режимі реального часу, забезпечуючи централізований контроль та виконання керуючих, інформаційних та сервісних функцій.

До керуючих функцій належать:

- дистанційне керування виконавчими механізмами як за допомогою локальних засобів автоматизації, так і з комп'ютеризованих засобів АРМ оператора;
- автоматичний захист обладнання в разі виникнення аварійних ситуацій;
- автоматичне регулювання технологічних параметрів.

До інформаційних функцій належать:

- збір, обробка інформації та її представлення на моніторі автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора;
- попереджувальна та аварійна сигналізація із світловим та мовним повідомленням про вихід технологічного параметра за встановлену межу;

- технологічна сигналізація стану виконавчих механізмів та мовне повідомлення про їх зміну;
- накопичення та зберігання вимірювальної інформації (архівування інформації – реєстрація в архіві повідомлень про параметри, що вийшли за межу попереджувальних та аварійних уставок, архів аварій);
- виведення по запити оператора за будь-який термін часу масивів інформації на екран чи принтер;
- можливість вводу з клавіатури значення уставок технологічних параметрів за допомогою відповідних екранних форм.

До сервісних функцій належать:

- діагностика стану елементів автоматики;
- контроль працездатності каналів зв'язку;
- перевірка інформації на достовірність;
- віддалений доступ до САК УОГ по локальних мережах або комунікаційних каналах зв'язку.

### **5. 2.3. Функціональна структура системи**

Для виконання покладених функцій потрібна система зі складною ієрархічною структурою, яка забезпечуватиме наступні рівні контролю та керування:

- перший (локальний) – складають давачі і виконавчі механізми (до них відносяться не тільки найпростіші перетворювачі фізичних величин в електричні сигнали, але й мікропроцесорні пристрої обробки вхідних команд та вихідних сигналів);
- другий рівень (агрегатний) займає програмований контролер (один або декілька), який оснащений програмою збору і обробки даних (на функціональних панелях та щитах автоматизації) зчитує інформацію з давачів (температури, тиску, розрідження), визначає положення виконавчих механізмів і надає цю інформацію іншим підсистемам САК, реалізує завдання

автоматизованого керування технологічним процесом завдяки видачі сигналів керування на виконавчі механізми;

- третій (централізований) – АРМ оператора, яке розташоване в операторській пункту очистки і заміру газу (ПОЗ) і обладнується робочою станцією (ПЕОМ) (з можливістю збереження архівів подій і технологічних параметрів протягом потрібного інтервалу часу), засобами відображення (дисплейні системи, екранні табло, мнемосхеми та ін.), відповідним програмним забезпеченням, комунікаційними засобами (модеми, адаптери, перетворювачі і т. д.) та джерелами безперебійними джерелами живлення.

В табл. 5.1 подано перелік обладнання, що пропонується, по кожному із каналів управління системи автоматичного керування процесом сепарації.

Таблиця 5.1

### Канали регулювання процесу сепарації

| Канал регулювання   | Місце установки                                    | Тип, модель приладу, характеристика  |
|---|--|--|
| Регулювання тиску в сепараторі                                      | Сепаратор  | Датчик тиску з виходом 4-20 мА, шкала: 0-25 кгс/см <sup>2</sup>  |
|   | Шафа сепаратора                                    | Контролер-регулятор МІК-25   |
|   | На трубопроводі вилученого компоненту з сепаратора | Клапан регулюючий РК типу V41113540, D <sub>y</sub> =80 мм, p <sub>y</sub> =40 кгс/см <sup>2</sup> , K=100     |
| Регулювання і сигналізація рівня конденсату в проміжній ємності Е-3 | Проміжна ємність Е-3                               | Рівнемір радіохвильовий БАРС 341И, межі вимірювань: 400 мм, p <sub>y</sub> =100 кгс/см <sup>2</sup>            |
|   | Трубопровід скиду в каналізацію                    | Клапан регулюючий РК типу V41113540, D <sub>y</sub> =15 мм, p <sub>y</sub> =40 кгс/см <sup>2</sup> , “НЗ”, K=1 |
|   | Шафа ємності Е-3                                   | Контролер-регулятор МІК-25   |
| Регулювання і сигналізація рівня аерозолі у сепараторі              | Сепаратор  | Рівнемір радіохвильовий БАРС 341И, межі вимірювань: 400 мм, p <sub>y</sub> =100 кгс/см <sup>2</sup>            |
|   | Шафа сепаратора                                    | Контролер-регулятор МІК-25   |

Ядром системи автоматики та контролю являються універсальні мікропроцесорні ПІД-регулятори МІК-25 підприємства МІКРОЛ (адреса: УКРАЇНА, 76000, м.Івано-Франківськ, вул. Грюнвальдська, 17/19,

Регулятори МІК-25 представляють собою новий клас сучасних цифрових регуляторів неперервної дії з аналоговим, імпульсним чи двопозиційним виходом. Регулятори використовуються для управління технологічними процесами в промисловості. Регулятор МІК-25 дозволяє забезпечити високу точність підтримки значення вимірюваного параметру. Зовнішній вигляд МІК-25 представлено на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Мікропроцесорний керуючий комплекс МІК-25.

Відмінною особливістю регулятора МІК-25 являється наявність тривірневої гальванічної ізоляції між входами, виходами і мережею живлення.

Регулятор МІК-25 призначений:

- для вимірювання контрольованого входного фізичного параметру (температура, тиск, витрата, рівень і т. п.), обробки, перетворення і відображення його поточного значення на вбудованому чотирирозрядному цифровому індикаторі;

- регулятор формує вихідний аналоговий чи імпульсний сигнал керування зовнішнім виконавчим механізмом, забезпечуючи аналогове,

імпульсне чи позиційне регулювання вхідного параметра по П, ПІ, ПД чи ПІД закону у відповідності із заданою користувачем логікою роботи і параметрами регулювання;

– регулятор формує вихідні сигнали технологічної сигналізації, на передній панелі розміщені індикатори для сигналізації технологічно небезпечних зон, сигнали перевищення (зниження) регульованого чи вимірюваного параметра.

Внутрішня програмна пам'ять регулятора МІК-25 має велику кількість стандартних функцій необхідних для управління технологічними процесами більшості інженерних прикладних завдань, наприклад, таких як:

– можливість підключення різних типів датчиків,  
– порівняння результату перетворення з уставками мінімум і максимум,  
– програмне калібрування каналів за зовнішнім зразковим джерелом аналогового сигналу,  
– режими статичного і динамічного балансування,  
– моніторинг справності датчиків (їх ліній зв'язку чи вимірювального каналу) із системою безпечного керування виконавчими механізмами та ін.

Регулятори МІК-25 конфігуруються через передню панель приладу чи через гальванічно розділений інтерфейс RS-485 (протокол ModBus), що дозволяє контролювати і модифікувати їх параметри за допомогою зовнішнього пристрою (комп'ютера, мікропроцесорної системи керування) та використовувати прилад в якості віддаленого контролера при роботі в сучасних мережах управління і збору інформації (прийому-передачі команд і даних), SCADA системах і т.п.

Протоколом зв'язку по інтерфейсу RS-485 є протокол Modbus режим RTU (Remote Terminal Unit).

Технічні характеристики інтерфейсу:

- конфігурація мережі – багатоточкова;
- кількість прийомопередавачів – 32 на одному сегменті;

- максимальна довжина лінії в межах одного сегмента – 1200 метрів;
- максимальна кількість вузлів мережі – 250;
- гальванічна розв’язка від входів/виходів та інших кіл;
- характеристика “швидкість обміну/довжина лінії”:

|              |        |                  |
|--------------|--------|------------------|
| 62,5 кбіт/с  | 1200 м | (одна вита пара) |
| 375 кбіт/с   | 300 м  | (одна вита пара) |
| 2400 кбіт/с  | 100 м  | (дві виті пари)  |
| 10000 кбіт/с | 10 м   | (дві виті пари). |

Параметри конфігурації регулятора МІК-25 зберігаються в енергонезалежній пам’яті і прилад здатний відновити виконання завдань керування після переривання напруги живлення. Батарея резервного живлення не використовується.

Високоєфективні можливості роботи з мікроконтролерами МІК-25 досягаються при використанні програмного пакета-конфігуратора "МІК-Інтелект". Вигляд вікна програми в режимі початкового конфігурування контролерів.

Функціональні можливості пакету:

#### 1. Віддалене (по мережі) конфігурування приладів.

Можливість зчитувати конфігураційну інформацію з приладів, редагувати її на комп’ютері, записувати конфігураційну інформацію в прилад чи зберігати в файлі.

Ця можливість дозволяє полегшити роботу при конфігуруванні приладу в цілому, структури і параметрів регулятора, каналів вводу-виводу, а також можливість оперативного внесення змін в структуру приладу.

#### 2. Автокалібрування вимірювальних каналів.

Дана функція дозволяє в напівавтоматичному режимі швидше і точніше відкалібрувати вимірювальний канал за зразковим джерелом сигналу.

3. Автоматичне визначення пристроїв, що знаходяться в мережі.

Дозволяє опитати мережу приладів на предмет: які прилади, за якими мережевими адресами, знаходяться в мережі.

4. Збір інформації отриманої від контролерів.

Отримані дані використовуються для систем: візуалізації, вимірювання, аналізу, контролю і управління технологічним процесом і обладнанням.

5. Відображення цифрових значень до 8-ми вимірювальних каналів (отриманих при опитуванні приладів) у вигляді динамічних трендів, з можливістю пролистування, масштабування.

Дана можливість дозволяє проводити комплексний аналіз ходу технологічного процесу, дозволяє проаналізувати роботу регуляторів на предмет якості роботи контурів регулювання та ін.

Регулюючі клапани з електричним виконавчим механізмом застосовуються в технологічних процесах в якості регулюючого пристрою для рідких і газоподібних середовищ, нейтральних стосовно матеріалів деталей, що стикаються із середовищем, при температурі навколишнього середовища -20 до +50 °С, при відносній вологості 80%.

Клапани цього типу реалізують простішу і надійнішу систему регулювання за рахунок видалення електропневмоперетворювача і необхідної йому системи газопостачання, що дозволяє покращити їх роботу, знизити експлуатаційні витрати і скоротити витрати газу в навколишнє середовище.

Рівнемір радіохвильовий БАРС 341И виробництва приладобудівного підприємства “Контакт-1” призначений для високоточного безконтактного вимірювання рівня нафти, нафтопродуктів, мазуту та інших рідких середовищ (в т.ч., агресивних і високов’язких) в технологічних і товарних резервуарах, танках, бункерах, стаціонарних ємностях, а також для передачі вимірювальної інформації пристроям автоматизованих систем управління (АСУ) чи вторинним приладам.

У склад вимірювальної системи входять радіохвильовий датчик рівня, адаптер інтерфейсів RS 485 / RS 232 та джерело живлення.

Датчик випромінює радіохвилі в напрямі поверхні контрольованого середовища. В результаті обробки параметрів відбитої радіохвилі виділяється сигнал, пропорційний відстані від датчика до поверхні продукту. Мікропроцесорний модуль опрацьовує виділений сигнал і визначає відстань до поверхні продукту та рівень продукту в ємності. Виміряні значення відстані та рівня передаються по лінії зв'язку у вигляді кодової посилки і у вигляді струмового сигналу (4 - 20 мА).

Переваги:

- Висока точність вимірювань.
- Надійність роботи незалежно від впливу дестабілізуючих факторів (широкий діапазон температур, агресивний характер вимірюваного середовища, випаровувань).
- Повірка без застосування спеціальних технічних засобів.
- Використання як змінної, так і постійної (незалежно від полярності) низької напруги живлення (24 В).
- Можливість використання приладу у вибухонебезпечних зонах.
- Наявність струмового та інтерфейсного виходів (RS-485). Довжина гальванічно розв'язаних вихідних ліній зв'язку - до 1000 м.
- Захист від перенапруг і грозорозрядів по колу живлення і виходу інтерфейсу.
- Вибростійке виконання.
- Самодіагностика і сигналізація внутрішнього перегріву, відмов модуля НВЧ, мікропроцесорної частини, схеми калібрування приладу, зміни характеристик антенної системи.
- Відсутність необхідності калібрування при встановленні і введенні приладу в роботу.
- Можливість демонтажу приладу без розгерметизації резервуару.

Прилад виконаний з видом вибухозахисту “вибухонепроникна оболонка”, має маркування “1ExdIIВТ4” і може встановлюватися у вибухонебезпечних

зонах приміщень і зовнішніх установок відповідно до вимог гл.7.3. ПУЭ та інших відповідних нормативних документів [30].

Лінія зв'язку виконується двопровідним екранованим кабелем з хвильовим опором 100 Ом. Перерізи жил всіх проводів від 0.75 до 2,5 мм<sup>2</sup>, довжина - до 1000 м.

Структурна схема модернізованої системи автоматизованого керування процесом низькотемпературної сепарації газу наведена на рис. 5.2.

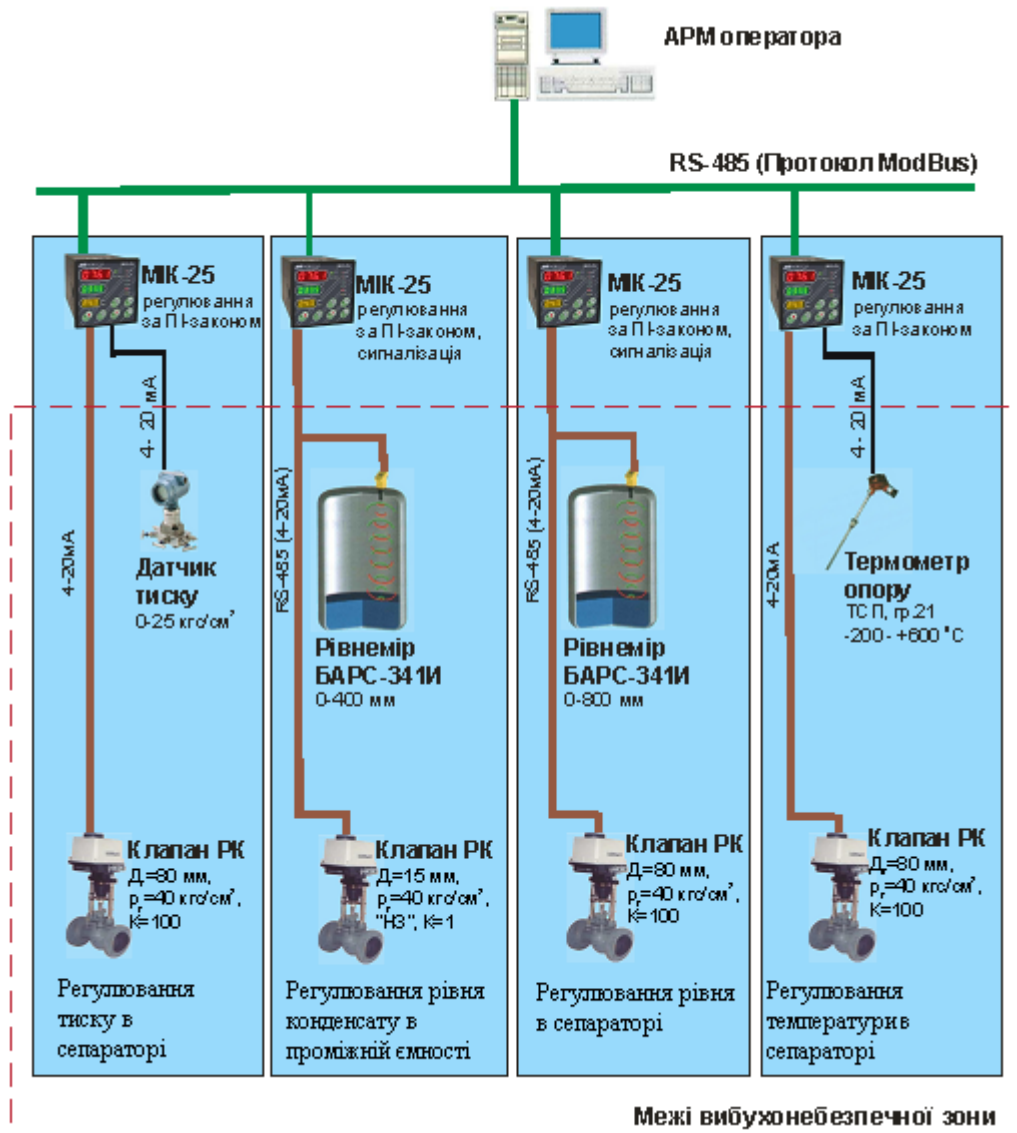


Рис. 5.2. Функціональна структура системи автоматичного керування процесом низькотемпературної сепарації газу

## Висновки до розділу 5

В даному розділі здійснено аналіз недоліків існуючих систем контролю і автоматичного керування процесом низькотемпературної сепарації газу і встановлено, що більшість обладнання є морально і фізично застарілим і тому не може відповідати сучасним вимогам до систем автоматизованого керування технологічними процесами.

Сформульовано основні вимоги до модернізованої системи контролю і автоматики, завдання, які повинна вона вирішувати, функції, які повинна вона забезпечувати. Показано функціональну ієрархічну структуру, яка охоплює три рівні: локальний, агрегатний і централізований.

Приведено ряд технічних засобів автоматизації, що використовуються для реалізації систем оперативно-диспетчерського управління і визначено, що для керування процесом регенерації найбільше підходить система управління на персональному комп'ютері.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі розглянуто такий важливий елемент газотранспортної індустрії як низькотемпературна сепарація природного газу.

Проведено огляд літературних джерел, щодо застосування штучних нейромереж при управлінні технологічним процесом низькотемпературної сепарації газу.

Точність і якість регулювання процесу сепарації дуже важлива на установці підготовки газу, призводить до зменшення концентрації аерозолу, а відтак до неефективної сепарації природного газу. В даній магістерській роботі запропоновано вдосконалити систему автоматичного керування технологічним процесом низькотемпературної сепарації природного шляхом створенням нейромережевої моделі.

Узагальнено та побудовано математичні та структурні схеми моделі технологічного процесу низькотемпературної сепарації газу та сепаратора, які включають математичну модель статички та математичну модель сепаратора, і створюють основу для моделювання на ЕОМ і розробки системи автоматизованого управління технологічним процесом низькотемпературної сепарації газу.

Розроблено математичну модель низькотемпературної сепарації газу. Модель адекватно відображає процес низькотемпературної сепарації газу, так як результати на виходах моделі відповідають фізичним основам процесу сепарації.

Розроблено структуру нейромережної моделі, яка адекватна складним багатоетапним технологічним процесам. Для аналізу одного етапу застосовна модель на основі двошарового перцептрона. Кілька таких моделей, побудованих для різних етапів технологічного процесу і об'єднаних в одну, складають нейромережеву модель, що описує наскрізну технологію.

Значна увага приділена імітаційному моделюванню, а саме здійснено експериментальне визначення динамічних характеристик по заданих каналах

та проведено імітаційне моделювання системи. За його результатами встановлено, що перехідні характеристики по каналах відповідають фізичним основам процесу. Проведено порівняльний аналіз перехідних процесів і визначено, що в каскадній системі регулювання показники якості кращі.

Сформульовано основні вимоги до модернізованої системи контролю і автоматики, завдання, які повинна вона вирішувати, функції, які повинна вона забезпечувати. Показано функціональну ієрархічну структуру, яка охоплює три рівні: локальний, агрегатний і централізований.

Приведено ряд технічних засобів автоматизації, що використовуються для реалізації систем оперативно-диспетчерського управління і визначено, що для керування процесом сепарації найбільше підходить система управління на персональному комп'ютері.

## 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] / А.Р. 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  $H_{\infty}$ -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 нестаціонарності / 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. - 240 с.

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. - 226 с.

18. Фазі-логіка в системах керування: навч. посіб. / Г.Н.Семенов, І.І.Чигур, М.В.Шавранський, В.С.Борин. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2002. - 64 с.
19. Фазі-логіка в системах контролю: навч. посіб. / Г.Н.Семенов, І.І.Чигур, М.В.Шавранський, В.С.Борин. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2002. - 70 с.
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 CO<sub>2</sub>-emissions," Energy, Elsevier, vol. 36(4), pages 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. 497 с.
22. Шаруда, В. Г. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра [Текст]: навч. посіб. / В. Г. Шаруда, В. В. Ткачов, А. В. Бубликов; Держ. ВНЗ "Нац. гірн. ун-т". - Дніпропетровськ: НГУ, 2015. - 489 с.
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 – 148 с.
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. - 222 с.
28. Семенцов Г.Н. Теорія автоматичного управління (нелінійні та дискретні системи): навч. посіб. / Г.Н.Семенцов, І.І.Чигур. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. - 96 с.
29. Aidan O`Dwyer Handbook PI and PID Controller Tuning Rules.–2nd Edition.–Ireland: Imperial College Press.– 545 p
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](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. – 30 с.
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., Chobaniuk P.S. Intelligent gas production process control system based on artificial intelligence technologies. Modern aspects of modernization of science: status, problems, development trends. Materials of the 63th International Scientific and Practical Conference. December 7, 2025, Olomouc (Czech Republic). Pp. 240-243. DOI: <https://doi.org/10.52058/63>