СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

# Факультет інформаційних технологій та електроніки

# Кафедра комп’ютерно-інтегрованих систем управління

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до магістерської науково-дослідної роботи

освітній ступінь: магістр

спеціальність: 174 – Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка

(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(назва спеціалізації)

на тему «Розробка та дослідження інноваційної мехатронної комп'ютерно-інтегрованої системи управління сепаратором-дегазатором природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку»

Виконав: студент групи \_АТП-23дм\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.В. Толокнов

( підпис )

Керівник **\_\_\_\_\_\_\_\_\_** Т.Г. Сотнікова

( підпис )

Завідувачка кафедри **\_\_\_\_\_\_\_\_\_** М.Г. Лорія

( підпис )

Рецензент **\_\_\_\_\_\_\_\_\_** П.Й. Єлісєєв

( підпис )

Київ 2024

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

# **Факультет:** Інформаційних технологій та електроніки

# **Кафедра:** Комп’ютерно-інтегрованих систем управління

**Освітньо-кваліфікаційний рівень:** Магістр

**Напрям підготовки:** 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

# **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувачка каф. КІСУ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ М.Г. Лорія

«\_\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА МАГІСТЕРСЬКУ НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

**ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ ТІХВІНСЬКОМУ МИКИТІ СЕРГІЙОВИЧУ**

**1. Тема магістерської НДР:** «Розробка та дослідження інноваційної мехатронної комп'ютерно-інтегрованої системи управління сепаратором-дегазатором природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку»

2. **Керівник роботи**: доц. Сотнікова Т.Г.

Затверджені наказом вищого навчального закладу № 91/14.04 від 25.11.2024 р.

3. **Термін подання студентом роботи** 14 грудня 2024 р.

4. **Вихідні дані до роботи**:

4.1.Технологічний регламент виробництва.

4.2.Інструкція оператора по експлуатації АСК ТП.

4.4.Публікації по автоматизованому керуванню технологічними процесами у сепараторі-дегазаторі природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку.

4.5.Публікації по моделюванню складних систем контролю та керуванню технологічними процесами в сепараторі-дегазаторі природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку.

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

5.1.Вступ.

5.2.Аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів в котлі-утилізаторі у виробництві аміаку.

5.3.Аналіз автоматизованих систем контролю та керування технологічними процесами в сепараторі-дегазаторі природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку і розробка завдань для виконання магістерської науково-дослідної роботи.

5.4.Розробка та аналіз математичних моделей процесу в сепараторі-дегазаторі природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку.

5.5.Теоретичні дослідження математичних моделей сепаратора-дегазатора природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку.

5.6.Розробка мнемосхем мехатронної комп'ютерно-інтегрованої системи управління (КІСУ) процесом у сепараторі-дегазаторі природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку.

5.7.Розробка програмного забезпечення роботи мехатронної КІСУ ТП в динамічному режимі роботи.

5.8.Аналіз результатів теоретичних досліджень.

5.9. Висновки.

6. **Перелік графічного матеріалу** (з точним зазначенням обов’язкових креслень)

6.1. Мнемосхеми КІСУ процесом парової конверсії природного газу.

6.1.1.Основна мнемосхема контролю та керування сепаратором-дегазатором природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку.

6.1.2.Архітектура КІСУ ТП.

6.1.3.Мнемосхеми рапортів і повідомлень.

6.2.Мнемосхема роботи КІСУ ТП в динамічному режимі роботи.

6.4.Математичні моделі парової конверсії природного газу.

6.3.Статичні та динамічні характеристики сепаратора-дегазатора природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку.

6.5.Результати оптимального керування сепаратором-дегазатором природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку.

7. **Дата видачі завдання:** 20 жовтня 2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №  з/п | Назва етапів дипломного роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
| 1 | Аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів. | 1.11.2024 |  |
| 2. | Аналіз автоматизованих систем контролю та керування технологічними процесами у сепараторі-дегазаторі природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку і розробка завдань для виконання магістерської науково-дослідної роботи. | 1.11.2024 |  |
| 3. | Розробка математичних моделей сепаратора-дегазатора природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку. | 5.11.2024 |  |
| 4. | Розробка мнемосхем комп'ютерно-інтегрованої системи управління (КІСУ) сепаратором-дегазатором природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку. | 8.11.2024 |  |
| 5. | Розробка програмного забезпечення роботи КІСУ ТП в динамічному режимі роботи. | 15.11.2024 |  |
| 6. | Теоретичні дослідження математичних моделей сепаратора-дегазатора природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку. | 25.11.2024 |  |
| 7. | Аналіз результатів теоретичних досліджень. | 1.12.2024 |  |
| 9. | Оформлення пояснювальної записки дипломного проекту та презентації. | 14.12.2024 |  |

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ В.В. Толокнов

Керівник магістерської НДР \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Т.Г. Сотнікова

**Реферат**

Пояснювальна записка аркушів 95, рисунків 27, таблиць 5, джерел 34

ВИРОБНИЦТВО АМІАКУ, СЕПАРАТОР-ДЕГАЗАТОР, ПАРОПОВІТРЯНА КОНВЕРСІЯ, ПАРОПОВІТРЯНА СУМІШ, ТЕПЛООБМІННИК, СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА, МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС, , АВТОМАТИЗАЦІЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, СИНТЕЗ АСР, ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ.

**Об'єктом теоретичного дослідження** є технологічний процес сепарації та дегазації природного газу на етапі виробництва аміаку, зокрема, система управління сепаратором-дегазатором.

**Метою магістерської науково-дослідної роботи** є розробка інноваційної мехатронної комп'ютерно-інтегрованої системи управління сепаратором-дегазатором природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку. У рамках роботи передбачено виконання досліджень математичних моделей об'єкта управління та синтез алгоритмів управління технологічним процесом.

**Метод дослідження** – теоретичний з використанням методів математичного моделювання та числових методів для дослідження динаміки процесів сепарації та дегазації природного газу. Крім того, застосовуватимуться методи синтезу автоматичних систем регулювання (АСР) для оптимізації роботи системи управління.

У процесі роботи було виконано аналіз технологічного процесу сепарації та дегазації природного газу, що є критичним для забезпечення стабільності і ефективності виробництва аміаку. Розроблено математичні моделі для об'єкта управління, що дозволяє здійснювати гнучке налаштування системи під різні умови роботи. Було проведено синтез алгоритмів управління для забезпечення надійної роботи системи управління сепаратором-дегазатором.

**Результати дослідження** дозволяють запропонувати новий підхід до автоматизації процесу сепарації природного газу, що забезпечить підвищення ефективності і безпеки виробничих процесів в аміачному виробництві. Розроблені алгоритми та програмне забезпечення для управління технологічним процесом забезпечують стабільну роботу системи навіть при змінних умовах виробництва.

**Ключові результати:**

* Розроблено комп'ютерно-інтегровану систему управління для сепаратора-дегазатора природного газу.
* Побудовані математичні моделі об'єкта управління.
* Виконано оптимізацію алгоритмів управління для підвищення ефективності процесу.
* Проведено дослідження та оптимізація параметрів системи.

Робота передбачає практичну значущість для підвищення ефективності виробництва аміаку шляхом удосконалення автоматизованих систем управління, що є важливим кроком у розвитку хімічної промисловості.

**ЗМІСТ**

**ВСТУП…………………………………………………………………………….8**

**РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ АМІАКУ…………10**

**1.1. Аналіз технологічного процесу сепарації та дегазації природного газу………………………………………………………………………………..11**

**1.2. Основні характеристики продукції аміаку……………………………12**

**1.3. Область застосування автоматизації у виробництві аміаку………..14**

**1.4. Опис технологічного процесу сепарації та дегазації природного газу………………………………………………………………………………..16**

**1.5. Аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів у виробництві аміаку…………………………………………………………….18**

**РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ………………………………………………………………….23**

**2.1. Огляд існуючих систем контролю та управління у виробництві аміаку…………………………………………………………………………….24**

**2.2. Визначення недоліків існуючих рішень та постановка задач для виконання дослідження……………………………………………………….26**

**2.3. Розробка структурно-логічної схеми комп’ютерно-інтегрованої системи управління сепаратором-дегазатором природного газу……….28**

**РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОЇ МЕХАТРОННОЇ КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СЕПАРАТОРОМ-ДЕГАЗАТОРОМ ПРИРОДНОГО ГАЗУ……………...31**

**3.1. Розробка математичної моделі об’єкта управління сепаратором-дегазатором………………………………………………………………………32  
3.2. Параметричний синтез автоматичної системи регулювання………..41**

**3.3. Розробка алгоритмів управління та логіки роботи системи для сепарації та дегазації природного газу………………………………………61**

**РОЗДІЛ 4. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ……………………………………………………64**

**4.1. Аналіз динамічних характеристик розробленої системи управління..65**

**4.2. Розробка мнемосхем для системи управління сепаратором-дегазатором……………………………………………………………………..67  
4.3. Розробка програмного забезпечення для управління технологічним процесом сепарації та дегазації природного газу………………………….72**

**4.4. Аналіз результатів досліджень та оптимізація роботи системи управління………………………………………………………………………74**

**Висновки…………………………………………………………………………77**

**Список використаної літератури…………………………………………….79**

**ВСТУП**

Виробництво аміаку є однією з основних галузей хімічної промисловості, що займається виготовленням важливих хімічних сполук для сільського господарства, промисловості та інших галузей. Одним із ключових етапів у процесі виробництва аміаку є пароповітряна конверсія природного газу, що потребує високої ефективності й точності управління технологічними процесами. Для досягнення стабільності та оптимізації цих процесів, автоматизація є невід'ємною частиною сучасного виробництва. Однією з важливих ланок цього процесу є сепаратор-дегазатор природного газу, який забезпечує необхідні умови для стабільної роботи всієї системи. Ефективне управління роботою сепаратора-дегазатора має безпосередній вплив на якість продукту і ефективність усієї лінії виробництва аміаку.

На сьогоднішній день, автоматизація виробничих процесів у хімічній промисловості, зокрема у виробництві аміаку, залишається складною та високотехнологічною задачею, що потребує постійного вдосконалення. Існуючі системи управління, хоча й забезпечують певний рівень автоматизації, не завжди відповідають вимогам сучасних виробничих умов, які потребують швидкої адаптації до змінних параметрів технологічного процесу. Крім того, наявні рішення часто не враховують можливості для підвищення ефективності роботи за рахунок інтеграції сучасних технологій, таких як мехатроніка та комп'ютерно-інтегровані системи управління.

Одним із важливих аспектів оптимізації технологічних процесів є розробка інноваційних комп'ютерно-інтегрованих систем управління, що дозволяють здійснювати точне та швидке регулювання параметрів процесу в реальному часі. Це дозволяє значно підвищити ефективність та безпеку роботи виробничих установок, зменшити енергетичні витрати та збільшити стабільність виробництва.

Метою цієї магістерської роботи є розробка та дослідження інноваційної мехатронної комп'ютерно-інтегрованої системи управління сепаратором-дегазатором природного газу, що забезпечує підвищення ефективності процесу виробництва аміаку. В рамках цієї роботи буде розглянуто аналіз існуючих технологій та підходів до автоматизації, а також розроблено математичні моделі об'єкта управління та алгоритми для автоматизованого управління системою.

Одним із основних завдань є розробка структурно-логічної схеми мехатронної комп'ютерно-інтегрованої системи управління, що включатиме всі етапи роботи сепаратора-дегазатора. У межах роботи також буде виконано дослідження динаміки роботи системи, а також її оптимізація для забезпечення максимальної ефективності з допомогою мехатронних засобів. Програмне забезпечення для управління процесом буде розроблене з урахуванням необхідних параметрів і можливостей для інтеграції в існуючі системи автоматизації.

Завдяки розробленій системі управління планується підвищення ефективності виробництва аміаку через поліпшення контролю мехатронними складовими за процесами сепарації та дегазації природного газу, що є важливою частиною технологічної лінії. Розробка новітніх підходів до автоматизації цього процесу сприятиме не лише підвищенню економічної ефективності підприємства, а й зниженню впливу на навколишнє середовище завдяки оптимізації використання енергетичних ресурсів.

**РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ВИРОБНИЦТВІ АМІАКУ**

Виробництво аміаку є одним із основних елементів хімічної промисловості, адже аміак є ключовим сировинним матеріалом для виробництва добрив, різноманітних хімічних сполук, а також важливим компонентом у багатьох промислових процесах. Висока енергоємність та складність технологічних процесів, що застосовуються в аміачному виробництві, вимагають інтеграції сучасних автоматизованих систем для забезпечення ефективного та безпечного функціонування виробництва.

Автоматизація технологічних процесів в аміачному виробництві дозволяє значно підвищити ефективність, знизити ризики аварій та відмов, а також забезпечити стабільність усіх етапів виробничого процесу. Різноманітні автоматизовані системи регулювання, контролю та моніторингу використовуються для управління ключовими технологічними операціями, такими як конверсія природного газу, очищення газів, синтез аміаку та інші етапи виробництва. Впровадження таких систем сприяє оптимізації ресурсозбереження, зниженню витрат енергії та підвищенню якості продукції.

Однак, незважаючи на досягнуті успіхи, сучасні технології автоматизації в аміачному виробництві мають певні обмеження. Серед них – необхідність удосконалення методів управління та моніторингу для забезпечення більш точного контролю над динамічними параметрами процесів, а також інтеграції новітніх технологій, таких як мехатроніка та комп'ютерно-інтегровані системи управління, що забезпечують гнучкість і високу адаптивність систем до змінних умов роботи.

У цьому розділі буде здійснено аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів у виробництві аміаку, зокрема, в контексті використання існуючих автоматизованих систем і технологічних рішень, а також розглянуто перспективи впровадження нових інноваційних підходів, що дозволять покращити ефективність виробництва і зменшити енергетичні витрати. Крім того, буде здійснений огляд основних напрямків розвитку автоматизації в аміачній промисловості, що відкриває можливості для подальшого вдосконалення існуючих технологій.

**1.1. Аналіз технологічного процесу сепарації та дегазації природного газу**

Сепарація та дегазація природного газу є одними з ключових етапів його підготовки для подальшого використання у виробництві аміаку. Ці процеси забезпечують очищення газу від механічних домішок, водяної пари, вуглекислого газу, сірководню та інших небажаних компонентів, які можуть негативно впливати на ефективність та безпеку технологічних операцій. Мета цього аналізу — зрозуміти основні принципи та особливості технологічного процесу, виділити критичні моменти для їх подальшої автоматизації.

Процес сепарації природного газу спрямований на виділення з нього рідких і твердих домішок, таких як вода, конденсат і частки пилу. Для цього використовуються механічні, гравітаційні або відцентрові сепаратори. На першому етапі газ подається у сепаратор, де під дією сили тяжіння або відцентрових сил відбувається розділення суміші на легкі та важкі компоненти. Це дозволяє видалити вільну воду, яка може спричинити утворення корозії в трубопроводах або зниження ефективності подальших процесів.

Дегазація є наступним етапом підготовки природного газу, що передбачає видалення розчинених газоподібних домішок, таких як сірководень, вуглекислий газ, водяна пара та інші шкідливі речовини. Найпоширенішим методом дегазації є абсорбція — процес взаємодії газу з рідиною, яка поглинає домішки. Для цього використовуються спеціальні розчини, наприклад аміни для видалення H₂S та CO₂. Альтернативним методом є адсорбція, яка передбачає використання пористих матеріалів, таких як активоване вугілля, для видалення небажаних компонентів.

Важливою частиною процесу є осушення газу, яке проводиться для зменшення вмісту водяної пари, що може призвести до утворення гідратів у трубопроводах. Для цього застосовуються гліколеві осушувачі або низькотемпературні установки, які забезпечують ефективне видалення вологи.

Процес сепарації та дегазації має низку критичних параметрів, які впливають на його ефективність. Серед них — температура, тиск, швидкість потоку газу, концентрація домішок та інші фізико-хімічні властивості. Відхилення цих параметрів може призвести до зниження продуктивності та економічних втрат, а також до виходу газу, що не відповідає стандартам якості.

Автоматизація процесів сепарації та дегазації дозволяє значно підвищити їх ефективність і стабільність. Сучасні автоматизовані системи використовують інтелектуальні датчики для моніторингу параметрів у реальному часі, алгоритми оптимізації для забезпечення стабільної роботи системи та виконавчі механізми для регулювання ключових компонентів. Наприклад, автоматичне регулювання роботи клапанів та насосів на основі даних з датчиків дозволяє адаптувати систему до змінних умов роботи.

Таким чином, аналіз технологічного процесу сепарації та дегазації природного газу демонструє, що це складний і багатоступінчастий процес, який є критично важливим для забезпечення стабільності та ефективності виробництва аміаку. Розуміння цих процесів є основою для розробки інноваційних мехатронних систем управління, які забезпечать підвищення продуктивності, зниження енерговитрат і поліпшення екологічних показників.

**1.2. Основні характеристики продукції аміаку**

Аміак (NH₃) є важливою хімічною речовиною, яка використовується в багатьох галузях промисловості, зокрема у виробництві добрив, хімічних реагентів, очищення газів, холодильних установках і навіть у фармацевтичній промисловості. Завдяки своїм фізико-хімічним властивостям та високій концентрації азоту, аміак став незамінним компонентом у багатьох технологічних процесах.

За фізичними характеристиками аміак є безбарвним газом із характерним різким запахом, який легко розчиняється у воді, утворюючи амоніакальну воду. Ця властивість дозволяє використовувати аміак для виробництва рідких добрив і хімічних реагентів. У рідкому стані аміак має низьку температуру кипіння (-33,34 °C) та плавлення (-77,73 °C), що робить його зручним для транспортування та зберігання в рідкій фазі під високим тиском або при низьких температурах.

Хімічні властивості аміаку дозволяють використовувати його як сильний відновник та джерело азоту. Він активно взаємодіє з кислотами, утворюючи солі, зокрема аміачну селітру (NH₄NO₃), яка є одним із найпоширеніших азотних добрив. Також аміак є ключовим компонентом для синтезу сечовини (CO(NH₂)₂), яка використовується не лише як добриво, але і як компонент у виробництві клеїв, смол і пластмас.

Аміак має високу енергоємність, що дозволяє використовувати його як потенційне паливо, особливо в умовах переходу до екологічно чистих джерел енергії. Завдяки високому вмісту водню (17,6% масової частки) аміак розглядається як перспективне джерело водневого палива, яке можна зберігати і транспортувати у рідкій формі.

Однак через токсичність та летючість аміаку необхідно забезпечувати строгі заходи безпеки під час його зберігання, транспортування та використання. У високих концентраціях аміак є небезпечним для здоров’я людини, викликаючи подразнення слизових оболонок, органів дихання, шкіри та очей. Тому під час роботи з аміаком застосовуються герметичні системи, системи витяжної вентиляції та спеціальні засоби захисту.

Виробництво аміаку базується на технології Габера-Боша, яка включає синтез аміаку з азоту та водню під високим тиском і температурою. Це енергоємний процес, але завдяки високій ефективності використання каталізаторів забезпечується стабільний вихід продукції.

У промисловості аміак має широке застосування. Найбільш поширеною сферою використання є агропромисловий комплекс, де аміак служить основою для виробництва азотних добрив. Вони, своєю чергою, сприяють підвищенню врожайності культур, що робить аміак критично важливим для сільського господарства. У хімічній промисловості аміак використовується для синтезу азотної кислоти, сечовини, вибухових речовин і інших азотовмісних сполук. Також аміак застосовується у процесах очищення газів, наприклад, для видалення оксидів азоту (NOx) з вихлопних газів у теплоелектростанціях.

Аміак є також ефективним холодильним агентом. У промислових холодильниках його використовують через високу теплопровідність і низьку вартість. Ця властивість забезпечує високу продуктивність і енергоефективність систем охолодження.

Аміак є стратегічно важливим продуктом, який забезпечує функціонування багатьох галузей промисловості. Його фізико-хімічні властивості, широкий спектр застосування та економічна доцільність визначають його ключову роль у сучасному світі, незважаючи на виклики, пов’язані з його безпекою та екологічними аспектами.

**1.3. Область застосування автоматизації у виробництві аміаку**

Виробництво аміаку є одним із найбільш технологічно складних і енергоємних процесів хімічної промисловості. Етапи виробництва включають підготовку сировини, парову конверсію, синтез аміаку, очищення продукту та утилізацію тепла. Усі ці процеси потребують точного контролю за численними параметрами, такими як температура, тиск, склад газових сумішей, витрати реагентів тощо. Саме тому автоматизація технологічних процесів є ключовим елементом для забезпечення їхньої ефективності, стабільності та безпеки.

Основна сфера застосування автоматизації у виробництві аміаку — це контроль і управління параметрами технологічного процесу. Наприклад, у процесі парової конверсії природного газу, який здійснюється при високих температурах і тисках, автоматизовані системи забезпечують підтримку оптимальних умов для реакції. Це досягається за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК), які регулюють подачу газу, температуру в реакторі та інші параметри в режимі реального часу.

На етапі синтезу аміаку, де азот і водень реагують у присутності каталізатора, автоматизація дозволяє підтримувати стабільність температури (450–500°C) і тиску (150–300 атм). Відхилення від цих параметрів може призвести до зниження продуктивності або навіть аварійних ситуацій. Сучасні автоматизовані системи регулювання на основі PID-алгоритмів дозволяють з високою точністю управляти такими параметрами, запобігаючи збоям у роботі обладнання.

Автоматизація також активно застосовується на етапах очищення та сепарації. Наприклад, очищення синтез-газу від домішок (вуглекислого газу, сірководню та інших компонентів) здійснюється за допомогою абсорбційних установок, роботою яких керують автоматизовані системи. Вони дозволяють контролювати витрати абсорбента, температуру та тиск, що є критичними для ефективного очищення.

Особливу роль автоматизація відіграє в управлінні теплообмінними процесами. Виробництво аміаку є енергоємним, тому ефективна утилізація тепла є одним із головних факторів зниження витрат. Автоматизовані системи дозволяють регулювати теплообмінні процеси, забезпечуючи повторне використання тепла для інших технологічних потреб. Наприклад, автоматизація роботи котлів-утилізаторів забезпечує ефективне використання тепла відхідних газів для нагрівання сировини або виробництва пари.

Автоматизовані системи також забезпечують моніторинг і управління витратами енергоресурсів. Використання розподілених систем управління (РСУ) і SCADA-систем дозволяє збирати дані з усіх етапів виробництва, аналізувати їх у реальному часі та приймати оптимальні управлінські рішення. Наприклад, система може автоматично знижувати подачу сировини в періоди зниження продуктивності або перенаправляти тепло відхідних потоків для інших процесів.

Крім того, автоматизація грає важливу роль у забезпеченні безпеки виробництва. Установка датчиків контролю витоків аміаку, температури, тиску та інших критичних параметрів дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації. Автоматизовані системи аварійного відключення (ESD) запобігають катастрофічним наслідкам, автоматично зупиняючи роботу обладнання при виявленні небезпечних відхилень.

Автоматизація пронизує всі етапи виробництва аміаку — від підготовки сировини до кінцевої очистки продукту. Її використання дозволяє знизити собівартість продукції, підвищити якість аміаку, забезпечити стабільність і безпеку технологічних процесів, а також мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Удосконалення автоматизованих систем, впровадження мехатронних рішень та інтеграція новітніх технологій (наприклад, штучного інтелекту і великих даних) відкривають нові можливості для розвитку виробництва аміаку.

**1.4. Опис технологічного процесу сепарації та дегазації природного газу**

Сепарація та дегазація природного газу є ключовими етапами його підготовки до подальшого використання у виробництві аміаку. Основна мета цих процесів полягає у видаленні домішок, таких як механічні частинки, волога, вуглекислий газ, сірководень та важкі вуглеводні, які можуть негативно впливати на ефективність хімічних реакцій і стабільність роботи обладнання. Ретельне очищення газу на цих етапах гарантує високу якість сировини, зменшує ризик пошкодження технологічних установок та підвищує екологічну безпеку виробничого процесу.

Процес сепарації природного газу починається з видалення механічних домішок, таких як пісок, пил та рідини, що потрапляють у газ під час його транспортування або видобутку. Для цього використовуються механічні або гравітаційні сепаратори, які забезпечують розділення компонентів суміші за щільністю. У таких установках під дією сили тяжіння важкі частинки та краплі рідини осідають на дно сепаратора, тоді як очищений газ піднімається до верхніх шарів і продовжує рух у системі. Відцентрові сепаратори використовують принцип відцентрової сили для ефективного виділення рідин і твердих частинок із газової фази.

Дегазація природного газу є наступним етапом, під час якого видаляються газоподібні домішки, що не були усунуті на попередніх стадіях. Для цього застосовуються методи абсорбції, адсорбції або мембранної сепарації. Найпоширенішим методом є абсорбція, яка передбачає контакт газу з рідиною-абсорбентом, здатною поглинати домішки. Наприклад, розчини амінів ефективно видаляють сірководень (H₂S) і вуглекислий газ (CO₂). Мембранні методи використовуються для високоточної сепарації компонентів газової суміші, забезпечуючи мінімальні втрати цільового продукту.

Окремим етапом є осушення природного газу, яке має на меті видалення водяної пари для запобігання утворенню гідратів у трубопроводах і технологічних установках. Найчастіше використовуються гліколеві осушувачі або адсорбційні установки на основі силікагелю та цеолітів. Осушення є критично важливим для забезпечення довговічності обладнання та зменшення витрат на його обслуговування.

Процеси сепарації та дегазації потребують точного контролю за такими параметрами, як температура, тиск, витрати газу та склад газової суміші. Для цього активно застосовуються мехатронні рішення, що інтегрують сучасні сенсори, виконавчі механізми та програмні модулі управління. Наприклад, інтелектуальні сенсори дозволяють у реальному часі відстежувати стан газової суміші, а сервоприводи з високою швидкодією забезпечують точне регулювання клапанів та інших виконавчих елементів.

Мехатронні системи управління дозволяють досягти високої стабільності процесу за рахунок адаптивного налаштування параметрів залежно від змін у складі та характеристиках природного газу. Наприклад, при зміні вмісту вологи система автоматично налаштовує режими роботи осушувальних установок, мінімізуючи витрати енергії та абсорбенту.

Одним із сучасних підходів до автоматизації цих процесів є використання розподілених систем управління (РСУ) та SCADA-платформ. Ці системи забезпечують централізований контроль за всіма ключовими етапами сепарації та дегазації, а також інтеграцію з іншими компонентами технологічної лінії. Графічні інтерфейси, що надаються SCADA-системами, дозволяють операторам швидко отримувати інформацію про стан процесу, виявляти відхилення та вчасно вживати коригувальних заходів.

Результатом технологічного процесу сепарації та дегазації є очищений природний газ, який відповідає суворим стандартам якості. Це забезпечує стабільну роботу реакторів на подальших етапах виробництва аміаку, підвищує ефективність хімічних реакцій і зменшує енергетичні витрати.

Таким чином, технологічний процес сепарації та дегазації природного газу є складною багатоступеневою системою, яка залежить від точного налаштування параметрів і використання інноваційних мехатронних рішень. Інтеграція сенсорних технологій, виконавчих пристроїв та автоматизованих систем управління забезпечує високу ефективність, надійність і екологічність цих процесів.

**1.5. Аналіз сучасного стану автоматизації технологічних процесів у виробництві аміаку.**

Сучасний стан автоматизації технологічних процесів у виробництві аміаку характеризується широким використанням передових технологій, які забезпечують високу ефективність, стабільність і безпеку виробничих операцій. Враховуючи складність і енергоємність процесу, автоматизація охоплює всі ключові етапи виробництва, починаючи від підготовки сировини та закінчуючи утилізацією тепла та очищенням продукту.

Один із головних напрямів автоматизації полягає в інтеграції розподілених систем управління (РСУ), які дозволяють координувати всі етапи виробництва. РСУ забезпечують моніторинг і регулювання критичних параметрів, таких як температура, тиск, витрата сировини та склад газових сумішей. Дані збираються з численних сенсорів, які розташовані в ключових точках технологічного процесу, і передаються до центрального контролера, що забезпечує оперативне управління.

На етапі парової конверсії природного газу автоматизовані системи регулювання підтримують оптимальні температурні та тискові режими для забезпечення високої швидкості та ефективності реакцій. Це досягається за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК), які працюють за алгоритмами ПІД-регулювання та адаптивного управління. Зокрема, у випадках зміни властивостей сировини система автоматично налаштовує параметри роботи установок, мінімізуючи вплив зовнішніх факторів.

Сучасні SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) є ще одним важливим елементом автоматизації виробництва аміаку. Вони забезпечують централізований контроль і візуалізацію всіх технологічних процесів у реальному часі. Оператори отримують доступ до інформації про стан обладнання, можуть аналізувати тенденції змін параметрів та своєчасно реагувати на відхилення. SCADA-системи також інтегруються з базами даних, що дозволяє зберігати історичні дані для подальшого аналізу і вдосконалення процесів.

Однією з інноваційних тенденцій в автоматизації є впровадження мехатронних рішень. Мехатронні системи, які інтегрують механічні, електронні й програмні компоненти, активно використовуються для забезпечення точності й швидкодії в управлінні ключовими технологічними вузлами. Наприклад, інтелектуальні актуатори та сенсори дозволяють здійснювати високоточне регулювання подачі газів, роботи клапанів і насосів. У виробництві аміаку мехатроніка знаходить застосування в управлінні теплообмінниками, сепараторами-дегазаторами, а також у системах утилізації тепла.

Автоматизація також відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки виробництва. Установка датчиків для моніторингу витоків аміаку, тиску, температури та інших критичних параметрів дозволяє оперативно виявляти потенційно небезпечні ситуації. Автоматизовані системи аварійного відключення (Emergency Shutdown Systems, ESD) автоматично припиняють роботу обладнання у разі виявлення відхилень, що забезпечує захист персоналу й обладнання.

Незважаючи на досягнутий рівень автоматизації, існує низка викликів, які обмежують ефективність існуючих систем. По-перше, обмежена інтеграція систем управління з технологіями штучного інтелекту та машинного навчання. Використання цих інструментів могло б покращити точність прогнозування аварій та оптимізувати процеси в реальному часі. По-друге, необхідність підвищення кібербезпеки автоматизованих систем стає дедалі актуальнішою, адже промислові мережі часто стають об’єктами атак.

Крім того, багато сучасних систем автоматизації працюють ізольовано, що ускладнює інтеграцію всіх етапів виробництва в єдину платформу. Для вирішення цієї проблеми необхідно розробляти інтегровані комп’ютерно-інтегровані системи, які забезпечать взаємодію між усіма компонентами виробничого процесу, включаючи мехатронні елементи.

У світі існує багато хімічних підприємств, які успішно впроваджують передові системи автоматизації у виробництві аміаку. Зокрема, одним із лідерів у галузі є компанія *Yara International*, яка використовує інтелектуальні системи управління у своїх заводах у Європі та США. Автоматизація у Yara забезпечує централізований моніторинг усіх процесів виробництва, що дозволяє мінімізувати енергетичні витрати та забезпечити високу якість продукції.

В Україні прикладом сучасного виробництва аміаку є підприємство *Черкаський "Азот"*, що входить до групи компаній Ostchem. Завод активно впроваджує системи автоматизації на основі програмованих логічних контролерів (ПЛК) і розподілених систем управління (РСУ). Завдяки автоматизації процесів синтезу, очищення та транспортування аміаку вдалося значно підвищити ефективність роботи підприємства та знизити вплив людського фактора.

Ще одним прикладом є *Рівнеазот*, який також інтегрує сучасні SCADA-системи для моніторингу та управління технологічними процесами. На заводі впроваджуються мехатронні рішення, такі як інтелектуальні сенсори для контролю параметрів сировини та продукту, а також сервоприводи для точного регулювання подачі газу.

На міжнародному рівні *BASF* і *CF Industries* також відомі своїми інноваційними підходами до автоматизації виробництва аміаку. Вони використовують передові алгоритми штучного інтелекту для прогнозування несправностей обладнання та оптимізації енергетичних

Один із головних напрямів автоматизації полягає в інтеграції розподілених систем управління (РСУ), які дозволяють координувати всі етапи виробництва. РСУ забезпечують моніторинг і регулювання критичних параметрів, таких як температура, тиск, витрата сировини та склад газових сумішей. Дані збираються з численних сенсорів, які розташовані в ключових точках технологічного процесу, і передаються до центрального контролера, що забезпечує оперативне управління.

Сучасні SCADA-системи (Supervisory Control and Data Acquisition) є важливим елементом автоматизації. Вони забезпечують централізований контроль і візуалізацію всіх технологічних процесів у реальному часі. Оператори отримують доступ до інформації про стан обладнання, можуть аналізувати тенденції змін параметрів та своєчасно реагувати на відхилення. SCADA-системи інтегруються з базами даних, що дозволяє зберігати історичні дані для подальшого аналізу і вдосконалення процесів.

Мехатронні системи, які інтегрують механічні, електронні й програмні компоненти, активно використовуються для забезпечення точності й швидкодії в управлінні ключовими технологічними вузлами. Наприклад, інтелектуальні актуатори та сенсори дозволяють здійснювати високоточне регулювання подачі газів, роботи клапанів і насосів. У виробництві аміаку мехатроніка знаходить застосування в управлінні теплообмінниками, сепараторами-дегазаторами, а також у системах утилізації тепла.

Попри досягнутий високий рівень автоматизації, існують певні виклики. Наприклад, інтеграція штучного інтелекту та технологій машинного навчання у системи управління досі перебуває на початковому етапі. Використання цих інструментів могло б покращити точність прогнозування аварій та оптимізувати процеси в реальному часі.

Крім того, важливим напрямом залишається посилення кібербезпеки, адже промислові мережі стають потенційними об’єктами атак. Для вирішення цієї проблеми необхідно впроваджувати сучасні протоколи безпеки та використовувати хмарні технології для зберігання й обробки даних.

Сучасний стан автоматизації технологічних процесів у виробництві аміаку демонструє високий рівень розвитку завдяки впровадженню РСУ, SCADA, мехатронних систем і алгоритмів регулювання. Успішний досвід українських і міжнародних підприємств доводить, що інтеграція інноваційних рішень сприяє підвищенню ефективності, надійності та екологічності виробництва.

**РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

Виробництво аміаку є складним і багатоступеневим технологічним процесом, який потребує точного контролю та управління великою кількістю параметрів, таких як температура, тиск, склад газових сумішей, витрати сировини та енергоресурсів. Забезпечення стабільності та безперервності технологічного процесу вимагає впровадження ефективних автоматизованих систем контролю та управління (АСКУ), які є основою сучасного промислового виробництва.

Автоматизація дозволяє значно підвищити продуктивність, зменшити втрати сировини та енергії, а також забезпечити високу якість продукції. Сучасні автоматизовані системи охоплюють усі етапи виробництва аміаку, починаючи від підготовки сировини та парової конверсії природного газу до синтезу аміаку, утилізації тепла та очищення кінцевого продукту. Завдяки інтеграції інтелектуальних сенсорів, виконавчих механізмів і програмного забезпечення, АСКУ забезпечують високий рівень точності та адаптивності в управлінні складними процесами.

У цьому розділі буде здійснено аналіз сучасних систем автоматизації, які використовуються у виробництві аміаку, зокрема їхніх сильних і слабких сторін. Окрема увага приділяється мехатронним системам, які поєднують механічні, електронні та програмні компоненти для забезпечення швидкодії та точності управління. Важливим аспектом є інтеграція таких систем у загальну структуру виробництва, їх адаптивність до змінних умов роботи та вплив на економічну ефективність підприємства.

Цей аналіз дозволить виявити ключові недоліки існуючих рішень і визначити завдання для вдосконалення систем автоматизації у напрямі підвищення ефективності, екологічності та надійності виробництва.

**2.1. Огляд існуючих систем контролю та управління у виробництві аміаку**

Автоматизація технологічних процесів у виробництві аміаку є ключовою умовою ефективного функціонування хімічних підприємств. Завдяки впровадженню сучасних автоматизованих систем контролю та управління (АСКУ) забезпечується не лише стабільність і надійність роботи обладнання, але й підвищується якість кінцевої продукції, зменшуються втрати сировини та енергоресурсів. Виробництво аміаку, яке є одним із найбільш енергоємних і технологічно складних процесів, потребує інтеграції багатьох підсистем управління для забезпечення оптимальних умов на всіх етапах: від підготовки сировини до очищення та зберігання кінцевого продукту.

Сучасні автоматизовані системи у виробництві аміаку охоплюють широкий спектр завдань, зокрема моніторинг ключових параметрів, регулювання технологічних режимів, управління обладнанням, виявлення відхилень від нормативних значень і запобігання аварійним ситуаціям. Основною метою цих систем є забезпечення безперебійної роботи виробництва за мінімальних витрат ресурсів та високої продуктивності. Для цього автоматизовані системи оснащуються численними сенсорами, виконавчими механізмами та програмним забезпеченням, що дозволяє реалізовувати алгоритми оптимального управління в реальному часі.

На етапі підготовки сировини АСКУ забезпечують контроль за очищенням природного газу, видаленням домішок і регулюванням подачі сировини у реактори. У процесі парової конверсії природного газу, яка є основним джерелом водню для синтезу аміаку, автоматизовані системи здійснюють регулювання температури та тиску, що є критично важливим для забезпечення ефективності хімічних реакцій. Високоточні алгоритми управління дозволяють підтримувати оптимальні параметри навіть за змінних умов сировини або зовнішніх факторів.

Етап синтезу аміаку, що відбувається при високих температурах і тисках, також є об’єктом впровадження автоматизації. Тут системи контролюють параметри реакції, зокрема температуру, тиск і швидкість проходження газів через каталізатор. Завдяки автоматизації мінімізується вплив людського фактора, що забезпечує стабільність і безпечність процесу. У сучасних системах управління широко застосовуються програмовані логічні контролери (ПЛК) і розподілені системи управління (РСУ), які забезпечують гнучке налаштування процесу і його адаптацію до змінних умов.

Особливе місце у виробництві аміаку займають теплообмінні процеси, які є критично важливими для зниження енерговитрат. У цьому контексті автоматизовані системи управління забезпечують ефективну утилізацію тепла, що виділяється під час хімічних реакцій. Наприклад, котли-утилізатори оснащуються інтелектуальними сенсорами для моніторингу теплових потоків, а виконавчі механізми регулюють подачу теплоносія відповідно до потреб виробництва.

На етапі очищення аміаку від домішок автоматизовані системи виконують контроль якості продукту, регулювання витрат реагентів і моніторинг параметрів процесу. Використання сучасних SCADA-систем дозволяє операторам отримувати в реальному часі дані про стан обладнання та процесів, що дає можливість оперативно реагувати на будь-які відхилення.

Попри значний прогрес у галузі автоматизації, існуючі системи мають низку недоліків. Основними з них є недостатня інтеграція між окремими підсистемами, обмежена можливість прогнозування аварійних ситуацій і низький рівень адаптивності до змінних умов роботи. У багатьох випадках технологічні процеси управляються окремо, без єдиної координації, що призводить до втрат енергії та ресурсів. Крім того, недостатнє впровадження сучасних мехатронних систем обмежує можливості для підвищення точності та ефективності роботи обладнання.

У цьому розділі буде детально розглянуто сучасний стан існуючих автоматизованих систем контролю та управління, їхні сильні та слабкі сторони, а також перспективи розвитку. Зокрема, буде проаналізовано впровадження мехатронних рішень, використання розподілених систем управління, SCADA та програмного забезпечення для прогнозного управління. Такий аналіз дозволить визначити задачі для вдосконалення існуючих систем і розробки інноваційних підходів до автоматизації, які забезпечать підвищення ефективності та екологічності виробництва аміаку.

**2.2. Визначення недоліків існуючих рішень та постановка задач для виконання дослідження**

Попри високий рівень автоматизації у виробництві аміаку, існуючі системи контролю та управління мають низку недоліків, які обмежують їхню ефективність і знижують загальну продуктивність. Аналіз виявлених проблем дозволяє сформулювати ключові завдання для вдосконалення існуючих рішень та розробки інноваційних підходів, спрямованих на підвищення стабільності, безпеки та енергоефективності виробництва.

Одним із головних недоліків є недостатня інтеграція між окремими підсистемами управління. На багатьох підприємствах технологічні процеси контролюються локально, без належної взаємодії між різними етапами. Наприклад, підсистема контролю за сепарацією природного газу може не бути повністю інтегрованою з системою управління тепловими потоками. Це призводить до невиправданих втрат енергії, низької ефективності процесу та збільшення витрат на виробництво.

Ще одним викликом є обмежена адаптивність існуючих систем до змінних умов роботи. Виробництво аміаку є динамічним процесом, у якому параметри, такі як склад сировини, температура та тиск, можуть змінюватися залежно від зовнішніх і внутрішніх факторів. Проте багато сучасних систем автоматизації не враховують таких змін і не мають алгоритмів адаптивного управління. Наприклад, при зміні складу природного газу система не завжди може оперативно скоригувати режими сепарації та дегазації, що призводить до зниження якості сировини для подальших етапів виробництва.

Іншою важливою проблемою є недостатнє впровадження мехатронних рішень. Хоча мехатронні системи забезпечують високу точність і надійність, їх використання залишається обмеженим через складність інтеграції та високу вартість впровадження. Наприклад, багато підприємств продовжують використовувати традиційні механічні клапани й регулятори замість інтелектуальних актуаторів, що знижує точність регулювання параметрів, таких як тиск і витрата газу.

Окрім цього, існуючі автоматизовані системи часто мають обмежені можливості прогнозування аварійних ситуацій. Використання алгоритмів машинного навчання або штучного інтелекту для аналізу великих обсягів даних і прогнозування відмов обладнання досі перебуває на початковому етапі. Як результат, підприємства не завжди можуть запобігти позаштатним ситуаціям, що може призводити до втрат продукції та зупинок виробництва.

На основі виявлених недоліків у цьому дослідженні ставляться такі ключові завдання:

1. **Розробка інтегрованої системи управління.** Необхідно забезпечити єдину платформу, яка об’єднає всі етапи технологічного процесу, від підготовки сировини до утилізації тепла. Інтеграція підсистем дозволить знизити енерговитрати, покращити взаємодію між процесами та підвищити ефективність виробництва.
2. **Впровадження алгоритмів адаптивного управління.** Розробка моделей, які враховуватимуть змінні умови роботи, дозволить оперативно коригувати параметри процесу. Наприклад, система повинна автоматично змінювати режими роботи дегазаційної установки залежно від змін у складі сировини.
3. **Інтеграція мехатронних рішень.** Використання інтелектуальних сенсорів, актуаторів і виконавчих механізмів дозволить значно підвищити точність і швидкодію управління. Наприклад, впровадження сервоприводів у клапани регулювання тиску забезпечить стабільність роботи навіть за змінних умов.
4. **Використання прогнозного управління.** Необхідно впровадити системи, що базуються на машинному навчанні, для аналізу даних у реальному часі та прогнозування можливих відмов. Це дозволить знизити ризики аварій і мінімізувати втрати продукції.

Таким чином, аналіз існуючих рішень показує, що для підвищення ефективності та надійності виробництва аміаку необхідно вдосконалити інтеграцію систем, впровадити адаптивні алгоритми управління, розширити використання мехатронних технологій та реалізувати можливості прогнозного управління. Виконання цих завдань сприятиме створенню інноваційної системи, яка відповідатиме сучасним вимогам ефективності, екологічності та безпеки.

**2.3. Розробка структурно-логічної схеми комп’ютерно-інтегрованої системи управління сепаратором-дегазатором природного газу**

У цьому підрозділі представлено розробку структурно-логічної схеми комп’ютерно-інтегрованої системи управління сепаратором-дегазатором природного газу. Основною метою є створення інтегрованої системи, яка забезпечить ефективне та надійне управління процесами сепарації та дегазації природного газу, що гарантує безпечну та стабільну роботу обладнання на виробничому підприємстві. Розробка схеми відбувається в ручному режимі за допомогою графічного редактора, що дозволяє чітко та детально відобразити всі етапи роботи системи.

Комп’ютерно-інтегрована система управління складається з кількох основних компонентів, зокрема датчиків, виконавчих механізмів, контролерів і програмного забезпечення для обробки та візуалізації даних. Всі ці компоненти повинні бути скоординовані для забезпечення безперебійного контролю та моніторингу роботи сепаратора-дегазатора. Система автоматично регулює робочі параметри сепаратора-дегазатора, такі як температура, тиск і витрати газу, залежно від змін у вхідних даних. Алгоритм управління обробляє сигнали від датчиків і коригує параметри за допомогою виконавчих механізмів, таких як клапани та насоси.

Структурно-логічна схема побудована за принципом модульної організації, що забезпечує зручне підключення, налаштування та обслуговування кожного з компонентів. Центральним елементом системи є контролер, який здійснює збір даних від датчиків і передає керуючі сигнали на виконавчі механізми через промислову мережу. Зв'язок між компонентами здійснюється за допомогою сучасних комунікаційних протоколів, таких як Modbus або Ethernet. Для зручності операторів розробляється інтерфейс для візуалізації стану системи на базі комп'ютерного програмного забезпечення. Це дозволить оператору відстежувати параметри роботи сепаратора в режимі реального часу та вручну коригувати параметри за необхідності.

З точки зору автоматизації технологічних процесів сепаратор природного газу це ємність з рідиною. Їх відмінність полягає лише в тому, що сепаратор має ще один вихідний, але не регульований параметр, а саме витрату конденсату природного газу від вологи у паливну систему. Вхідним параметром цього апарату є витрата конденсату природного газу . Вихідним параметром є зміна рівня *L* паливного газу у відповідних межах та тиск. Збурювальними параметрами будуть: площа поперечного перетину регулювального органу ; температура всередині апарату *T*; густина газового конденсату *ρ,* та площа поперечного перетину регулювального органу на трубопроводі виводу паливного газу .*.* Усі ці параметри здійснюють безпосередній вплив на рівень рідини у апараті, а саме утворюють з ним деяку залежність. Наприклад, чим сильніше відкритий регулювальний орган, тобто зменшується його площа поперечного перетину, тим менше рівень рідини апарату. Структурно-логічна схема сепаратора природного газу зображена на рисунку 2.1.

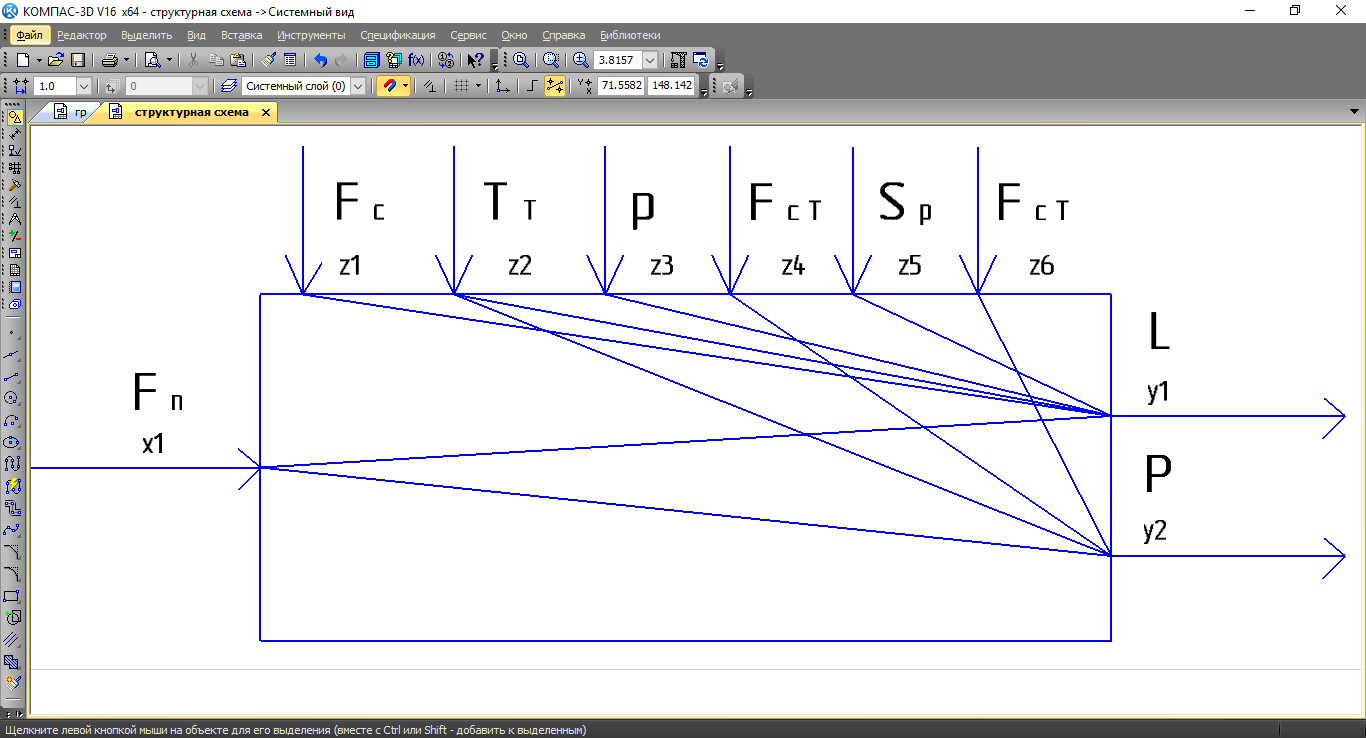


Рис. 2.1 Структурно-логічна схема апарату

Велика увага приділяється безпеці та надійності системи. Для цього передбачено використання резервних систем живлення та зв'язку, що забезпечить безперебійну роботу навіть у разі відмови основних елементів. Також розробляються алгоритми автоматичного вимкнення обладнання в разі критичних аварійних ситуацій, таких як перевищення допустимих рівнів тиску або температури. Після розробки схеми та налаштування всіх компонентів проводиться тестування, яке охоплює перевірку коректності роботи алгоритмів, стабільності зв'язку між компонентами та відповідність встановленим стандартам безпеки.

**РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОЇ МЕХАТРОННОЇ КОМП’ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СЕПАРАТОРОМ-ДЕГАЗАТОРОМ ПРИРОДНОГО ГАЗУ**

У цьому розділі буде розглянута розробка інноваційної мехатронної комп’ютерно-інтегрованої системи управління сепаратором-дегазатором природного газу. Враховуючи значну роль, яку відіграє ефективність та безпека процесів сепарації та дегазації природного газу у виробничих системах, важливо забезпечити не тільки оптимізацію технологічних параметрів, але й інтеграцію високих технологій, що підвищують надійність і знижують витрати енергоресурсів. У розробці даної системи буде застосовано мехатронний підхід, який об’єднує механічні, електричні та інформаційні компоненти в єдину автоматизовану систему, що дозволяє забезпечити точний контроль та моніторинг усіх важливих параметрів на всіх етапах роботи сепаратора-дегазатора.

Основна увага буде приділена вдосконаленню існуючих технологій за допомогою інноваційних рішень у галузі комп’ютерно-інтегрованих систем управління. Мехатронна система управління забезпечить не лише високу ефективність процесів, але й гнучкість у налаштуванні та адаптації до змінних умов експлуатації. Впровадження таких систем дозволить досягти значних покращень у стабільності роботи обладнання, підвищити точність керування і моніторингу, а також забезпечити максимальну безпеку при мінімальних енергетичних витратах.

Також буде розглянуто створення структурно-логічної схеми системи, що включатиме всі основні елементи, від датчиків та виконавчих механізмів до контролерів і програмного забезпечення для обробки та візуалізації даних. Важливим аспектом є інтеграція новітніх технологій для забезпечення зручного та ефективного управління процесами сепарації та дегазації природного газу в режимі реального часу.

Крім того, у розділі будуть представлені принципи побудови та тестування системи, а також оцінка її ефективності та безпеки. Враховуючи актуальність теми і високий рівень інноваційності розробки, цей розділ дозволить дати уявлення про перспективи впровадження мехатронних технологій у виробничі процеси, зокрема в галузі обробки природного газу.

**3.1. Розробка математичної моделі об’єкта управління сепаратором-дегазатором**

Сепаратор природного газу з точки зору об’єкта автоматизації при регулюванні рівня представляє собою ємність з рідиною, тому при створенні математичної моделі апарату я спирався на цей факт.

Рівняння матеріального балансу для апарата зі стоком має вигляд:

де – кількість рідини, яка накопичується в сепараторі;

– кількість речовини, яка надходить у сепаратор;

– кількість речовини, яка виходить з сепаратора;

– залежність витрати стоку від рівня речовини в сепараторі.

Після підстановки цих значень рівняння (3.1) набуде вигляду:

*,*

де – густина конденсату;

*S* – поперечний перетин сепаратора;

*L* – висота рівня рідини в сепараторі;

– витрата природного газу на притоці;

– поперечний перетин регулюючого органу на лінії стоку;

– коефіцієнт витрати регулюючого органу;

Розділимо ліву і праву частини отриманого рівняння на *dt* та отримаємо:

Відомо, що рідини можуть значно розширюватися від зміни температури. Враховуючи те, що конструктивні параметри апарата мало змінюються від температури і ними можна знехтувати, за сталого поперечного перетину апарата зміна температури може спричинити значне відхилення рівня. Залежність густини від зміни температури має вигляд:

де – густина конденсату при температурі відповідно; – коефіцієнт об`ємного розширення.

Враховуючи залежність (4.3) рівняння (4.2) набуде вигляду:

Змінними величинами рівняння (3.4) є:

– поперечний перетин регулюючого органу на лінії стоку;

– витрата природного газу на вході в сепаратор;

*T* – температура газу в апараті;

*L* – рівень конденсату в апараті;

Наведемо відхилення цих величин від їх номінальних значень:

;

;

Підставляємо ці значення в рівняння (3.4) та після відповідних перетворень та вилучення доданків малого ступеня важливості отримуємо лінеарізовану математичну модель вигляду:

З рівняння (3.5) вилучаємо статичну характеристику моделі:

Після цього отримуємо динамічну характеристику:

Переносимо доданки з параметром *L* у ліву частину рівняння, а всі інші у праву:

Множимо та ділимо змінні величини обох частин рівняння (3.8) на їх номінальні значення:

Нехай , тоді поділимо ліву і праву частини рівняння (3.9) на :

Запишемо рівняння (3.10) у відносній формі, для цього введемо наступні позначення:

Тоді отримуємо математичну модель сепаратора природного газу за стоком:

Запишемо рівняння (3.11) за допомогою визначників Лапласа:

Передавальні функції за каналами регулювання та збурення матимуть наступний вигляд:

Якщо при регулюванні за рівнем сепаратор природного газу, з точки зору математичного моделювання, являє собою ємність з рідиною, то при регулюванні за тиском він є резервуаром газу під тиском.

Матеріальний баланс визначається кількістю газу, що надходить та виходить, та має вигляд:

де – витрата природного газу на вході у сепаратор;

– кількість газу, яка накопичилася у сепараторі;

– кількість газу, яка виходить з апарату;

Підставимо ці значення у рівняння (3.13) і отримаємо:

де – витрата природного газу на вхід апарату;

– об’єм апарату;

– універсальна газова стала;

– температура природного газу;

– тиск природного газу;

– коефіцієнт витрати регулюючого органу;

– площа поперечного перетину регулюючого органу виходу газу;

– показник адіабати газу;

*–* прискорення вільного падіння.

Поділимо обидві частини отриманого рівняння на *dt* та, для зручності, поміняємо частини рівняння місцями:

Виконаємо перетворення рівняння (4.14) для оптимального запису математичної моделі:

Змінними величинами рівняння (3.15) є:

*P –* тиск природного газу;

*T* – температура газу у апараті;

– площа поперечного перетину регулюючого органу виходу газу;

– витрата природного газу на вхід апарату;

Наводемо відхилення змінних величин від їх номінальних значень:

Підставимо ці значення у рівняння (3.15):

Прибираємо доданки малого ступеня важливості та виділяю рівняння статики:

Отримуємо рівняння динаміки:

Наступним кроком доданки зі значенням *P* залишимо у лівій частині, а всі інші перенесемо у праву. Також у обох частинах розділимо та перемножимо змінні величини на їх номінальні значення:

Виконаємо заміну: нехай Ліву і праву частини рівняння (3.19) розділимо на це значення і у результаті отримаємо:

Записуємо рівняння (3.20) у відносній формі:

Записуємо рівняння (3.21) за допомогою визначників Лапласа:

Передавальні функції за каналами регулювання та збурення матимуть наступний вигляд:

За допомогою пакету для розрахунків MathCad виконаємо розрахунок параметрів математичної моделі за витратою конденсату в сепараторі природного газу. Вхідними даними для розрахунку є:

– густина конденсату;

– витрата природного газу на вході у апарат;

– коефіцієнт регулюючого органу на лінії витрати газового конденсату;

– коефіцієнт об’ємного розширення газового конденсату;

– діаметр регулюючого органу;

– діаметр апарата;

– початковий рівень конденсату в апараті;

– початкова температура в апараті;

– прискорення вільного падіння.

За цими даними розраховуємо:

- площу поперечного перетину регулюючого органу на виході паливного газу:

- площу поперечного перетину апарату:

- об’єм газового конденсату:

- час запізнення для апарату:

- коефіцієнт П:

- сталу часу для ТОК:

- коефіцієнт передачі за каналом регулювання (притоку природного газу):

- коефіцієнт передачі за каналом збурення від витрати стоку:

* коефіцієнт передачі за каналом збурення від температури:
* коефіцієнт передачі за каналом збурення від густини:

Отже, після розрахунку значень параметрів математичної моделі рівняння (3.13) набуде вигляду:

У результаті аналізу отриманих значень коефіцієнтів передачі можна зробити висновок, що найбільш впливовим каналом є канал збурення за витратою конденсату :

Каналом збурення буде, у свою чергу, канал температури конденсату в сепараторі

Виконуємо розрахунок параметрів математичної моделі за тиском газу сепаратора природного газу. Вхідними даними для розрахунку є:

– витрата природного газу на вході у апарат;

– коефіцієнт регулюючого органу на лінії витрати газового конденсату;

– діаметр регулюючого органу;

– діаметр апарата;

– початковий рівень конденсату в апараті;

– початкова температура в апараті;

– прискорення вільного падіння;

– показник адіабати природного газу;

– універсальна газова стала;

*–* тиск газу у апараті;

– об’єм сепаратора природного газу;

*–* висота апарату

Використовуючи розраховані у попередньому розділі значення для деяких технологічних параметрів (3.22 - 3.24) розраховуємо значення:

- сталої часу для ТОК:

- часу запізнення для апарату (за допомогою (3.24)):

- коефіцієнта передачі за каналом регулювання (притоку природного газу):

- коефіцієнта передачі за каналом збурення (температури природного газу):

- коефіцієнта передачі за каналом збурення (витрати газу з сепаратора):

Отримані значення підставляю у рівняння (3.22):

У результаті аналізу отриманих значень коефіцієнтів передачі можна зробити висновок, що найбільш впливовим збурюючим каналом є канал за температурою :

Канал регулювання (за витратою газу на притоці) :

**3.2. Параметричний синтез автоматичної системи регулювання.**

За умовою для регулювання технологічного процесу у сепараторі природного газу використовується ПІ-регулятор. Передавальна функція цього регулятора має вигляд:

де і - коефіцієнт підсилення та час інтегрування регулятора. Виконавчим механізмом, який є пов’язуючою ланкою між регулятором та регулюючим органом є електродвигун передавальна функція якого має вигляд:

де – коефіцієнт підсилення електродвигуна, який дорівнює 0,8; – стала часу електродвигуна, яка дорівнює 15 с. Передавальні функції регулюючого органу, давачів, підсилювачів струму і напруги, описуємо як динамічні ланки з наступними значеннями:

Передавальна функція технологічного об’єкта керування за каналом регулювання (ТОК1) має вигляд:

де – коефіцієнт передачі за каналом регулювання; – стала часу; – час чистого запізнення ТОК.

Передавальна функція технологічного об’єкта керування за каналом збурення (ТОК2) має вигляд:

де – коефіцієнт передачі за каналом збурення; – стала часу; – час чистого запізнення ТОК.

Передавальна функція регулятора має вигляд:

За допомогою значень усіх ланок системи (.1 – .7) отримаємо передавальну функцію двоконтурної каскадної системи регулювання рівня конденсату в сепараторі:

де передавальна функція внутрішнього контуру має вигляд:

З рівняння (.12) отримаємо еквівалентну передавальну функцію внутрішнього контуру:

Для розрахунку перехідного процесу еквівалентного об’єкта керування обираємо метод квадратур. Переходимо до уявних одиниць (), тоді рівняння (.13) матиме вигляд:

З теорії відомо, що:

За цією формулою перетворюємо рівняння (.15) попередньо перетворивши знаменник на поліноми «*A*» і «*jB*»:

де

З рівняння (.15) отримаємо дійсну частотну характеристику еквівалентного об’єкта керування внутрішнього контуру та створюю її графік (рисунок .2).

За графіком видно координати частоти переходу ДЧХ через частотну вісь:

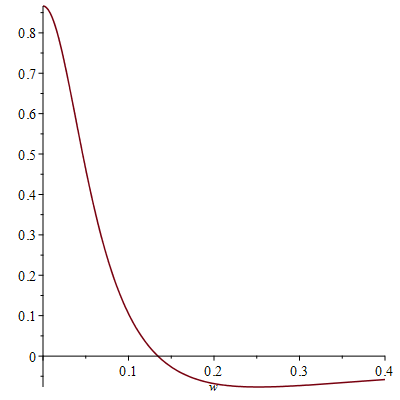


Рис 3.2.Графік ДЧХ еквівалентного об’єкта керування внутрішнього контуру

Для знаходження наступних параметрів треба перетворити рівняння дійсної частотної характеристики до наступного вигляду:

де

Співідношення поліномів у рівнянні (.18) перетворимо до наступного вигляду:

де – відношення поліномів ДЧХ.

Тоді ДЧХ приймає вигляд:

Далі відношення поліномів УЧХ приводимо до наступного вигляду:

де – відношення поліномів УЧХ.

Значення рівнянь (.20) і (.21) підставляємо у рівняння (.15):

З рівняння (.18) треба знайти множник при частоті переходу :

Значення множника отримаємо з рівняння УЧХ:

Зі значеннями параметрів і отримаємо характеристичне рівняння еквівалентного об’єкта внутрішнього контуру:

Отримаємо відношення параметрів характеристичного рівняння для визначення характеру процесу:

Отримане значення більше двох, а отже процес аперіодичний. Будуємо графік перехідного процесу за формулою:

де .

У результаті отримаємо графік перехідного процесу еквівалентного об’єкта керування (рис. 3.3):

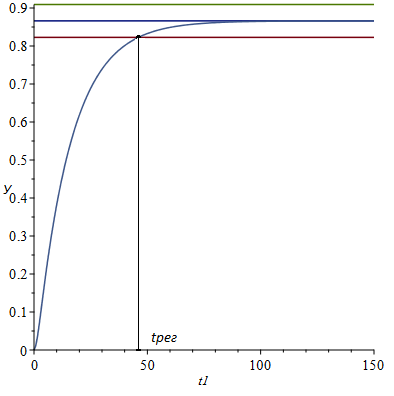


Рис. 3.3 Графік перехідного процесу еквівалентного об’єкта керування внутрішнього контуру

З графіка видно, що час перехідного процесу еквівалентного об’єкта внутрішнього контуру складає:

Далі потрібно визначити частотні характеристики еквівалентного об’єкта внутрішнього котнуру методом Нікольса-Циглера. Запишемо рівняння перехідного процесу еквівалентного об’єкта із отриманим вище характеристичним рівнянням та сталою запізнення:

Переходимо до уявних одиниць та за допомогою вбудованих функцій пакету Maple 16 знайдемо частотні характеристики об’єкта (рисунки 3.4 – 3.7)

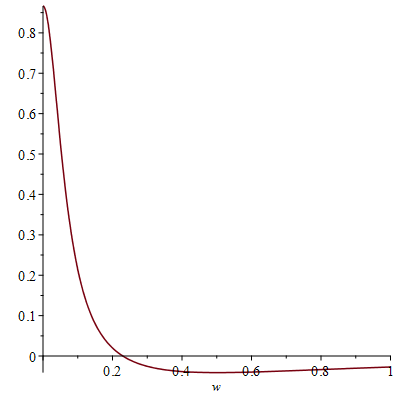


Рис.3.4 Графік ДЧХ еквівалентного об’єкта внутрішнього контуру

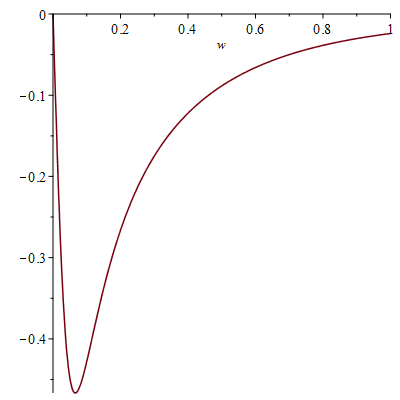


Рис. 3.5 Графік УЧХ еквівалентного об’єкта внутрішнього контуру

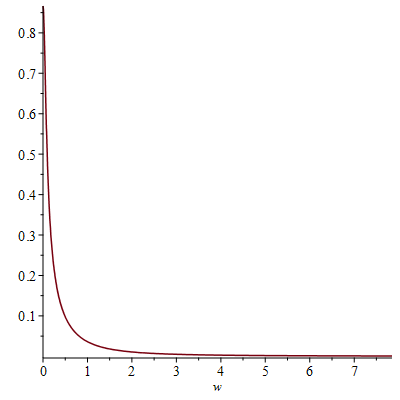


Рис.3.6 Графік АЧХ еквівалентного об’єкта внутрішнього контуру

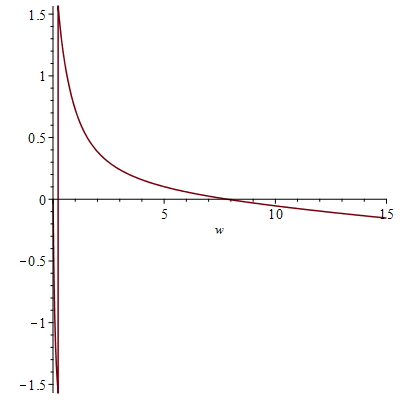


Рис. 3.7 Графік ФЧХ еквівалентного об’єкта внутрішнього контуру

З графіків АЧХ і ФЧХ (рисунок 3.6 і 3.7) визначаємо коефіцієнт і частоту За цими значеннями розрахуємо коефіцієнти оптимального налаштування для ПІ-регулятора, а саме коефіцієнт підсилення і час інтегрування :

Ці значення підставляємо у формулу регулятора (5.1):

Отримавши передавальну функцію регулятора внутрішнього контуру переходимо до отримання оптимальних налагоджень регулятора зовнішнього контуру таким точно методом.

З рівняння (5.11) отримуємо еквівалентну передавальну функцію зовнішнього контуру з вже передавальною функцією внутрішнього контуру контуру:

Для розрахування перехідного процесу еквівалентного об’єкта керування використаємо метод квадратур. Першим кроком переходимо до уявних одиниць (), тоді рівняння (.33) матиме вигляд:

З теорії відомо, що:

За цією формулою перетворюємо рівняння (.33) попередньо перетворивши знаменник на поліноми «*A*» і «*jB*»:

Де

З рівняння (.36) одержуємо дійсну частотну характеристику еквівалентного об’єкта керування зовнішнього контуру та побудуємо її графік (рисунок 5.8).

З графіку одержимо частоту переходу ДЧХ через частотну вісь:

Для знаходження наступних параметрів перетворимо рівняння дійсної частотної характеристики до такого вигляду:

Де,

Відношення поліномів у рівнянні (.38) запишемо наступним виглядом:

де – відношення поліномів ДЧХ.

Тоді ДЧХ матиме вигляд:

У свою чергу відношення поліномів УЧХ можна привести до наступного стану:

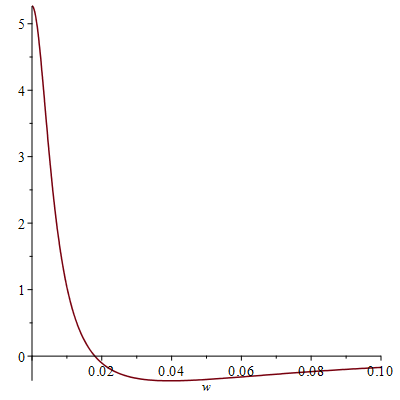


Рис. 3.8 Графік ДЧХ еквівалентного об’єкта керування зовнішнього контуру

де – відношення поліномів УЧХ.

Значення рівнянь (.40) і (.41) підставляємо у рівняння (.14):

З рівняння (.40) знайдемо множник при частоті переходу :

Значення множника знайдемо при з рівняння УЧХ:

Зі значеннями параметрів і отримуємо характеристичне рівняння еквівалентного об’єкта зовнішнього контуру:

Знаходимо відношення параметрів характеристичного рівняння для визначення характеру процесу:

Отримане значення більше двох, а отже процес аперіодичний. Будуємо графік перехідного процесу за формулою:

де .

У результаті отримаємо графік перехідного процесу еквівалентного об’єкта керування зовнішнього контуру (рисунок 3.9):

З графіка видно, що час перехідного процесу еквівалентного об’єкта складає зовнішнього контуру:

Наступним кроком буде визначення частотних характеристик еквівалентного об’єкта зовнішьного контуру.

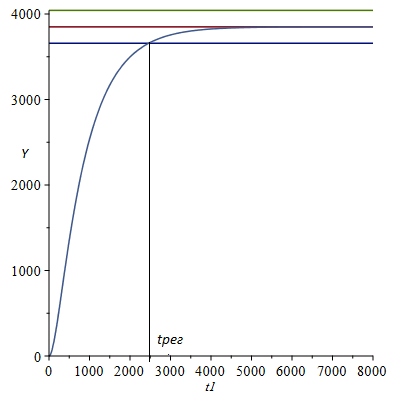


Рис. 3.9 Графік перехідного процесу еквівалентного об’єкта керування зовнішнього контуру

Запишемо рівняння перехідного процесу еквівалентного об’єкта зовнішнього контуру із отриманим вище характеристичним рівнянням та сталою запізнення:

Задамо уявні одиниці та за допомогою вбудованих функцій пакету Maple 16 знайдемо частотні характеристики об’єкта (рисунки 3.10 – 3.13)

З графіків АЧХ і ФЧХ (рисунок 3.12 і 3.13) отримаємо коефіцієнт і частоту За допомогою цих значень розрахуємо коефіцієнти оптимального налаштування для ПІ-регулятора зовнішнього контуру, а саме коефіцієнт підсилення і час інтегрування

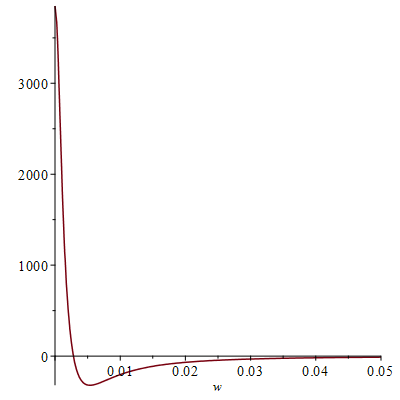


Рис. 3.10 Графік ДЧХ еквівалентного об’єкта зовнішнього контуру

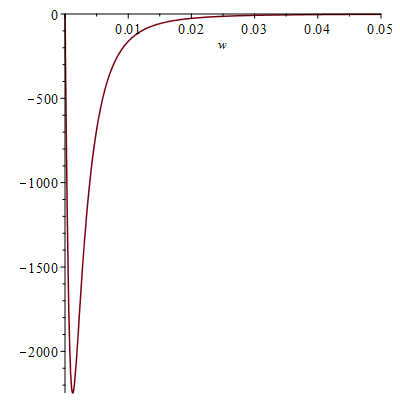


Рис. 3.11 Графік УЧХ еквівалентного об’єкта зовнішнього контуру

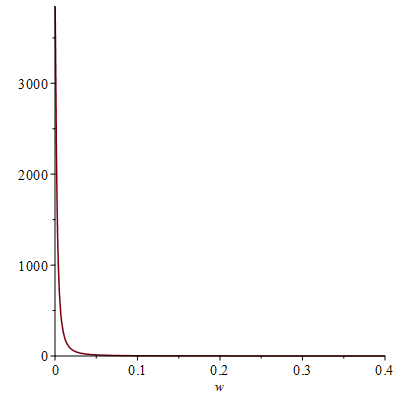


Рис.3.12 Графік АЧХ еквівалентного об’єкта зовнішнього контуру

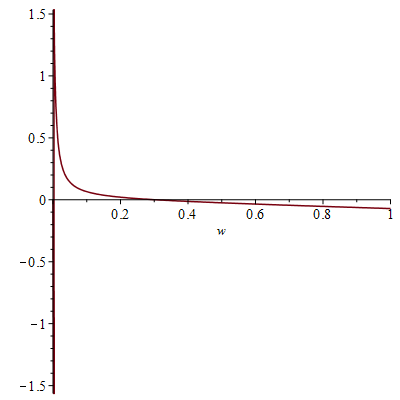


Рис. 3.13 Графік ФЧХ еквівалентного об’єкта зовнішнього контуру

Ці значення підставляємо у формулу регулятора (.1):

Після отримання передавальних функцій ПІ-регуляторів внутрішнього та зовнішнього контурів переходимо до синтезу АСР. Підставимо значення всіх передавальних функцій у рівняння (.13) та виконуємо перетворення для спрощення розрахунку та подальшого отримання частотних характеристик:

Перейдемо до уявних одиниць , при цьому запізнення буде дорівнювати:

де

Переходимо до уявних одиниць , при цьому запізнення буде дорівнювати:

де

Для одержання частотних характеристик двоконтурної каскадної АСР перетворимо рівняння (.54):

За одержаними формулами отримаю ДЧХ, УЧХ і АЧХ двоконтурної каскадної АСР (рисунки 3.14– 3.16).

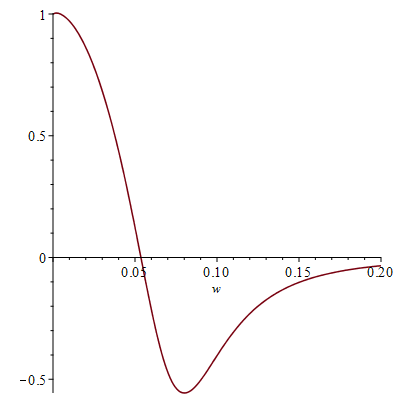


Рис.3.14 Графік ДЧХ двоконтурної каскадної АСР

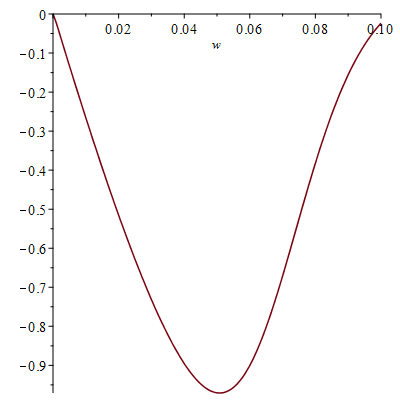


Рис. 3.15 Графік УЧХ двоконтурної каскадної АСР

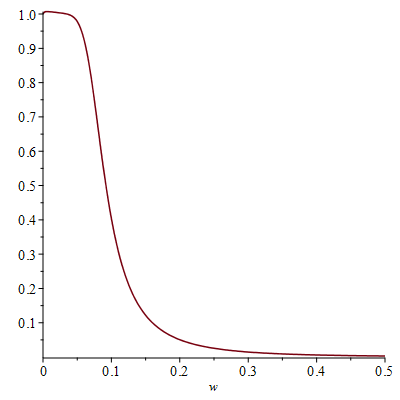


Рис. 3.16 Графік АЧХ двоконтурної каскадної АСР

З графіка ДЧХ (рисунок 3.14) визначаємо частоту переходу графіка через частотну вісь:

З дійсної частотної характеристики рівняння (.54) отримаємо доповнюючий поліном:

По тому ж принципу, як з еквівалентним об’єктом, отримаємо значення параметру :

Для знаходження постійної часу  скористаємось передавальною функцією системи регулювання без ланки чистого запізнення, яка має вигляд

Переходимо до уявних одиниць та виконаємо перетворення рівняння (.59):

де

Аналогічно з рівнянням (.59) отримаємо рівняння УЧХ та визначимо значення параметра :

Так само як і для еквівалентних об’єктів отримаємо відношення параметрів до для визначення типу перехідного процесу:

По результату видно, що співвідношення значно менше двох, тобто перехідний процес є коливальний.

Будуємо графік перехідного процесу АСР:

де ;

У результаті отримаємо графік перехідного процесу АСР

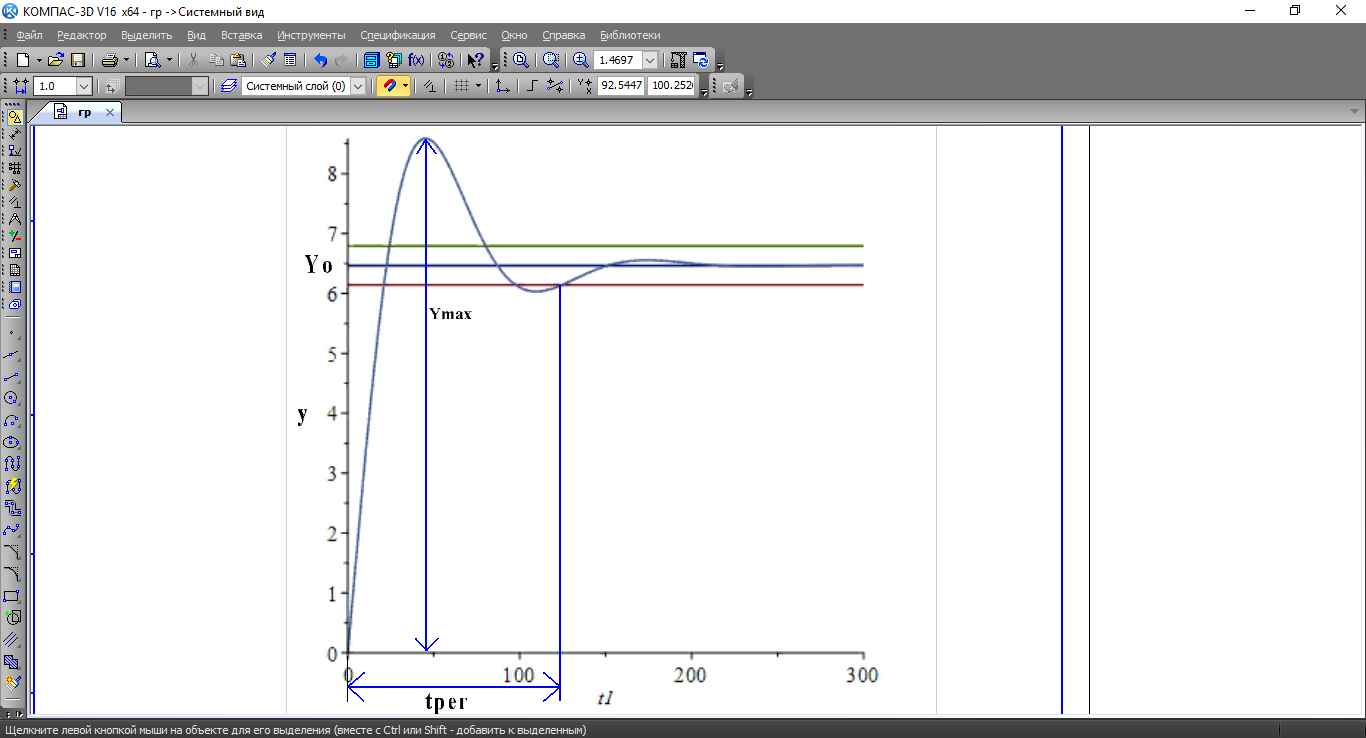


Рис. 3.17 Графік перехідного процесу каскадної АСР

З графіка видно, що час перехідного процесу складає:

а значення перерегулювання:

**3.3. Розробка алгоритмів управління та логіки роботи системи для сепарації та дегазації природного газу.**

У цьому підрозділі розглядається розробка алгоритмів управління та логіки роботи комп’ютерно-інтегрованої системи для процесів сепарації та дегазації природного газу. Алгоритми управління є основою для забезпечення стабільної і ефективної роботи сепаратора-дегазатора, оскільки вони визначають послідовність дій, які повинні виконувати всі компоненти системи для досягнення заданих технологічних параметрів.

Процес сепарації та дегазації природного газу передбачає багато етапів, таких як розподіл газу по різних фракціях, видалення газових домішок та регулювання рівня тиску і температури. Алгоритм управління повинен враховувати ці фактори та забезпечити оптимальну роботу кожного етапу процесу. Для цього розробляється модель, що базується на математичних рівняннях і фізичних характеристиках обладнання. Алгоритми враховують можливі варіації вхідних параметрів, таких як коливання тиску, температури або витрат газу, і забезпечують автоматичне коригування цих параметрів через виконавчі механізми, такі як клапани та насоси.

Один з прикладів алгоритму управління стосується контролю тиску на вході сепаратора. Алгоритм передбачає наступну логіку роботи:

1. **Збір даних:** Система отримує дані від датчика тиску на вході сепаратора, який вимірює поточний рівень тиску.
2. **Аналіз:** Якщо значення тиску перевищує задану норму (наприклад, 15 бар), система спрацьовує для коригування параметрів.
3. **Коригування:** Алгоритм дає команду на відкриття або закриття запірного клапана для зниження тиску до оптимального рівня, який має бути в межах 12–15 бар.
4. **Моніторинг:** Паралельно з коригуванням тиску система перевіряє роботу насосів та вентиляторів, щоб забезпечити стабільність цього параметра в межах заданих значень.
5. **Аварійна ситуація:** Якщо тиск не вдається нормалізувати впродовж встановленого часу (наприклад, 5 хвилин), система активує аварійну програму, яка передбачає вимкнення сепаратора і подачу сигналу про неполадки.

Алгоритм контролю тиску можна адаптувати для інших параметрів, таких як температура чи витрати газу, використовуючи схожі принципи управління. Такі алгоритми дозволяють системі діяти в реальному часі, коригуючи параметри без втручання оператора, що значно підвищує ефективність роботи та знижує ймовірність помилок, пов’язаних із людським фактором.

Особливу увагу потрібно приділити етапам дегазації, оскільки цей процес вимагає точно налаштованого контролю за концентрацією газів, їхньою температурою та тиском, щоб уникнути потенційно небезпечних ситуацій. Алгоритми управління повинні забезпечити правильну взаємодію між різними підсистемами, такими як вентиляція, сепарація та дегазація, для стабільної роботи всієї системи в цілому.

Для реалізації цих алгоритмів у системі використовуються мікроконтролери та промислові контролери, що дозволяють ефективно обробляти великі обсяги даних і реалізовувати складні обчислювальні задачі в реальному часі. Також важливим елементом є програмне забезпечення для візуалізації роботи системи, яке надає операторам зручний інтерфейс для моніторингу та налаштування параметрів, а також для оперативного реагування в разі необхідності.

Тестування та оптимізація алгоритмів є важливою частиною розробки, оскільки це дозволяє переконатися у правильності роботи системи та у її здатності адаптуватися до змінних умов виробничого процесу. Після завершення розробки алгоритмів буде проведено їхнє тестування в лабораторних умовах і на реальному обладнанні для оцінки їхньої ефективності та стабільності в різних режимах роботи.

**РОЗДІЛ 4. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ**

У цьому розділі будуть представлені теоретичні та експериментальні дослідження комп’ютерно-інтегрованої мехатронної системи управління сепаратором-дегазатором природного газу. Метою цих досліджень є оцінка ефективності розробленої системи, перевірка її відповідності заданим параметрам, а також визначення оптимальних режимів роботи, що забезпечують стабільність і безпеку процесів сепарації та дегазації природного газу.

Теоретичні дослідження передбачають розробку математичних моделей, яку було виконано в попередньому розділі, які описують основні фізичні та технологічні процеси, що відбуваються в системі. За допомогою цих моделей буде здійснено аналіз роботи системи в різних умовах, визначено оптимальні значення ключових параметрів, таких як тиск, температура та витрати газу, а також розроблені рекомендації для налаштування системи в різних режимах роботи.

Експериментальні дослідження включатимуть проведення серії випробувань на прототипах системи або в умовах лабораторної установки. Це дозволить перевірити працездатність розробленої системи управління в реальних умовах, виявити потенційні проблеми та вдосконалити алгоритми управління, а також забезпечити надійність і ефективність роботи системи в межах заданих характеристик. Важливим етапом є порівняння теоретичних розрахунків і результатів експериментів для оцінки точності моделювання та виявлення можливих відхилень.

Розробка та впровадження ефективної системи управління вимагає не лише теоретичних обчислень, але й реального тестування під навантаженнями, що максимально наближені до умов експлуатації. У результаті досліджень будуть отримані дані, які дозволять підтвердити життєздатність розробленої системи та її здатність забезпечувати стабільну та безпечну роботу сепаратора-дегазатора природного газу в реальних умовах промислового виробництва.

**4.1. Аналіз динамічних характеристик розробленої системи управління.**

Аналіз динамічних характеристик є важливим етапом у розробці та оцінці ефективності системи управління, оскільки він дозволяє зрозуміти, як система реагує на зміни вхідних параметрів і як швидко вона адаптується до нових умов експлуатації. Для розробленої комп'ютерно-інтегрованої мехатронної системи управління сепаратором-дегазатором природного газу цей етап дозволяє оцінити її здатність до стабільної роботи в різноманітних умовах, визначити оптимальні налаштування та перевірити коректність обраних алгоритмів управління.

Перш за все, для аналізу динамічних характеристик необхідно побудувати математичну модель системи, яка б враховувала основні фізичні процеси, що відбуваються в системі. Моделювання проводиться з урахуванням таких змінних, як тиск, температура, витрати газу та робочі параметри обладнання. Створена модель є основою для подальших теоретичних досліджень, за допомогою яких можна здійснити розрахунки швидкості реакції системи на зміни вхідних параметрів і її здатність до стабілізації.

Аналіз динамічних характеристик починається з оцінки часу реакції системи на зміни зовнішніх впливів, таких як коливання тиску або температури вхідного газу. Важливою характеристикою є час встановлення системи, який показує, за який проміжок часу система досягне стабільного стану після впливу збурення. У випадку сепаратора-дегазатора природного газу час встановлення є критичним, оскільки надмірна затримка в регулюванні параметрів може призвести до порушення технологічного процесу та зниження ефективності системи.

Один з важливих аспектів динамічного аналізу — це вивчення амплітудно-частотних характеристик системи. Завдяки аналізу частотних характеристик можна оцінити, як система реагує на різні коливання параметрів у різних частотних діапазонах. Це дозволяє визначити, на яких частотах система може проявляти резонансні явища, що може призвести до непередбачуваних коливань або навіть пошкодження обладнання. Оцінка частотних характеристик також дозволяє коригувати налаштування алгоритмів управління, щоб уникнути таких небажаних ефектів.

Особливу увагу необхідно приділити аналізу стійкості системи. Стійкість є ключовим параметром, оскільки вона визначає здатність системи до підтримки стабільного стану при різних зовнішніх збуреннях або змінах внутрішніх параметрів. Для оцінки стійкості розробленої системи використовуються різні методи, такі як критерії Ляпунова або Боде-діаграми. Застосування таких методів дозволяє виявити можливі зони нестабільності та оптимізувати параметри регулятора для покращення стійкості.

Паралельно з теоретичними розрахунками проводяться експериментальні дослідження на прототипах системи. Це дозволяє порівняти теоретичні моделі з реальними даними, перевірити точність розрахунків і виявити можливі відхилення від ідеальних параметрів. Експериментальні дослідження включають в себе випробування системи під різними навантаженнями, зміну умов навколишнього середовища, а також перевірку роботи в аварійних ситуаціях.

У разі виявлення відхилень від теоретичних розрахунків, система піддається додатковій корекції на основі експериментальних результатів. Це дозволяє досягти оптимальної динаміки роботи системи, знижуючи час реакції на зміни параметрів і забезпечуючи швидку стабілізацію після будь-яких збурень. Аналіз динамічних характеристик не лише дозволяє оптимізувати систему, але й дає змогу визначити найбільш ефективні стратегії управління для забезпечення надійної та безпечної експлуатації.

Проведення аналізу динамічних характеристик є критичним етапом, який дозволяє впевнено оцінити готовність розробленої системи до експлуатації. Він дає змогу не тільки вдосконалити алгоритми управління, але й забезпечити стабільну і ефективну роботу системи в умовах змінних параметрів та збурень.

**4.2. Розробка мнемосхем для системи управління сепаратором-дегазатором.**

На основі даних з розділу 3 будуємо мнемосхему для візуалізації технологічного процесу у сепараторі-дегазаторі в пакеті Trace Mode 6.09 (Рис.4.1)

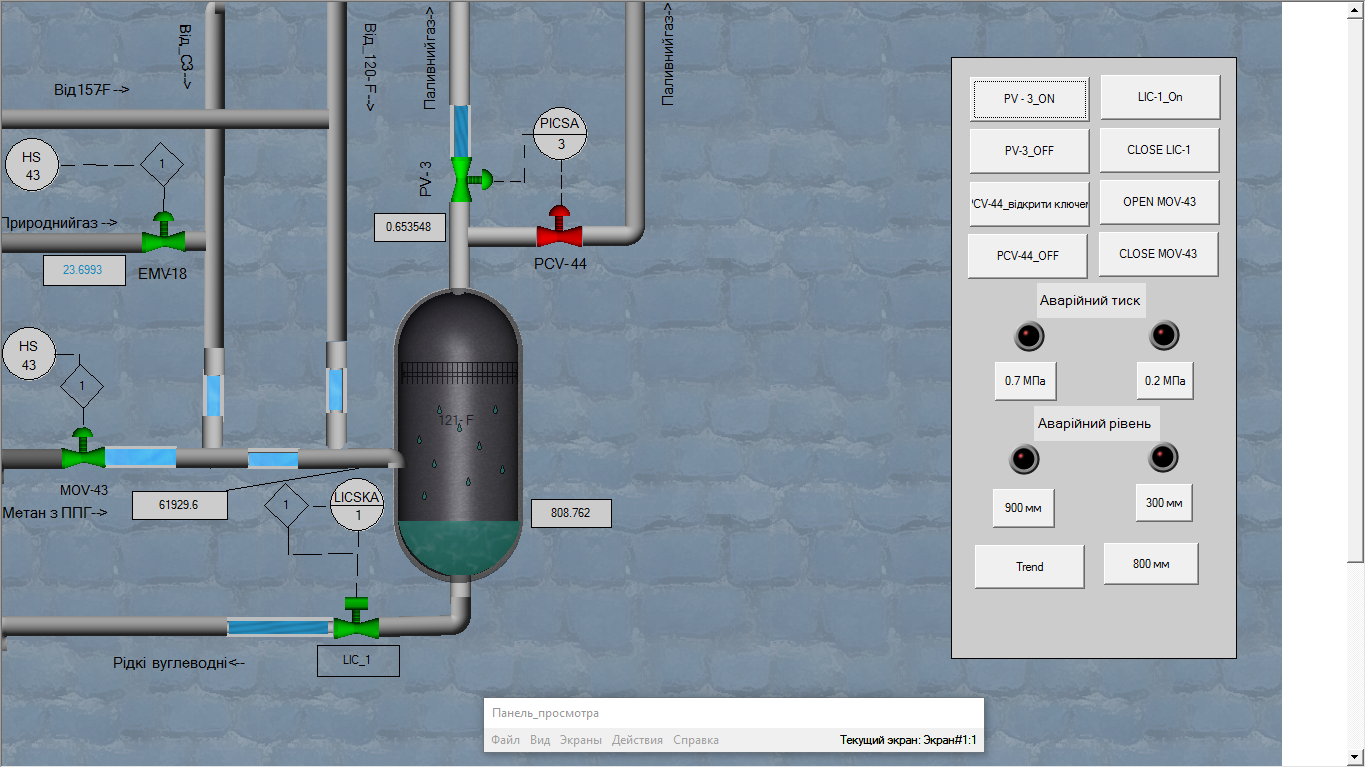


Рис. 4.1 Мнемосхема в динаміці сепаратора-дегазатора

Панель керування розташована праворуч. Розглянемо основні функції мнемосхеми:

- при натисканні на кнопку «OPEN MOV-43», виконується емуляція подавання газового конденсату у систему з апаратів які поряд, а також відкриває клапан MOV-43 та EMV-18 для подачі природного газу та метанової фракції . Припинення подачі газу та конденсату виконується натисканням кнопки «CLOSE MOV-43».

На мнемосемі зображені наступні параметри: витрата на вході в сепаратор-дегазатор, температура газу на вході, тиск паливного газу на виході, рівень в сепараторі-дегазаторі.

При високому тиску більш ніж 0.7МПа відкривається клапан PCV-44 для скидання паливного газу на факел та це сигналізується в ЦПУ. Ступінь відкриття клапану за лежить від тиску паливного газу, тобто чим більше тиск, тим більша ступінь відкриття клапану. Для емуляції цієї ситуації треба натиснути «0.7МПа»

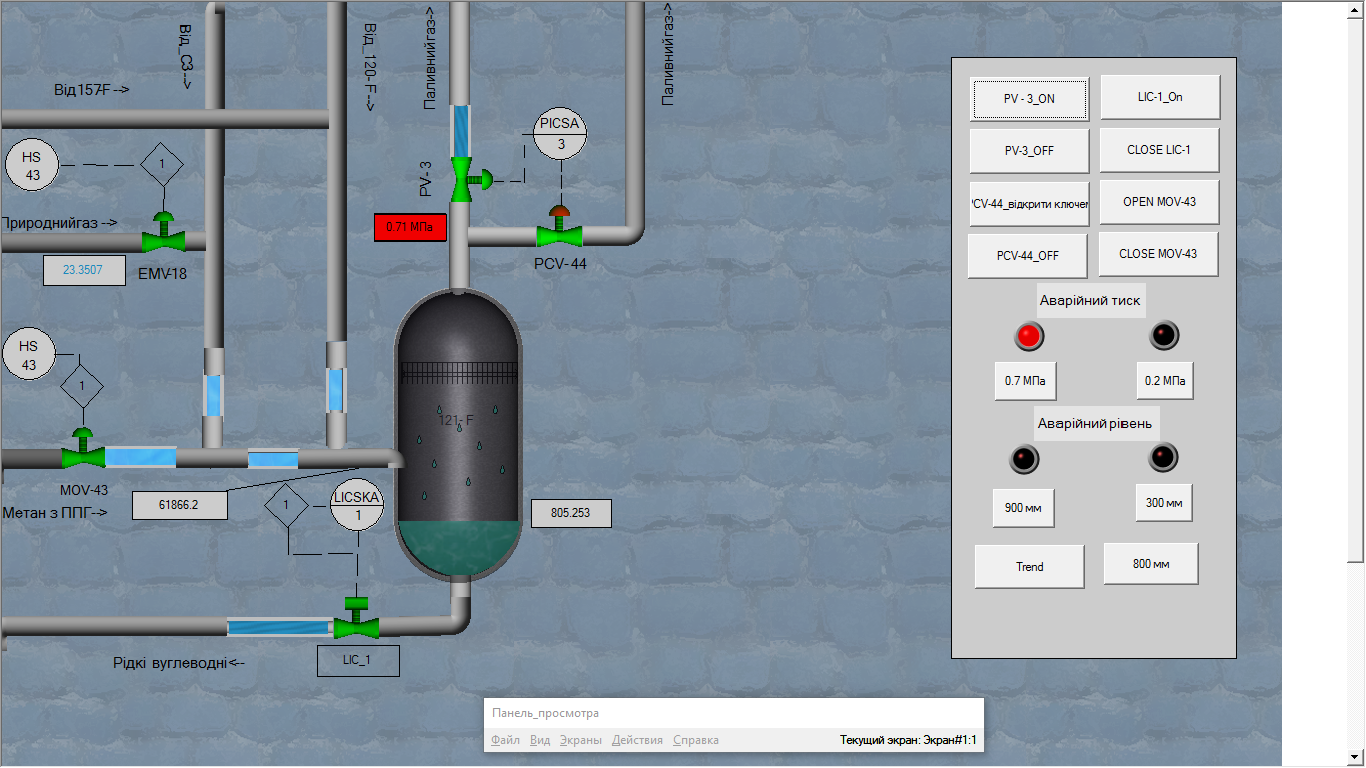


Рис.4.2 Мнемосхема під час натискання кнопки «0.7 МПа»

При натисканні кнопки «0.2МПа» буде показана емуляція занадто низького тиску паливного газу, що поступово закриває клапан PV-3 та спрацьовує сигналізація на ЦПУ.

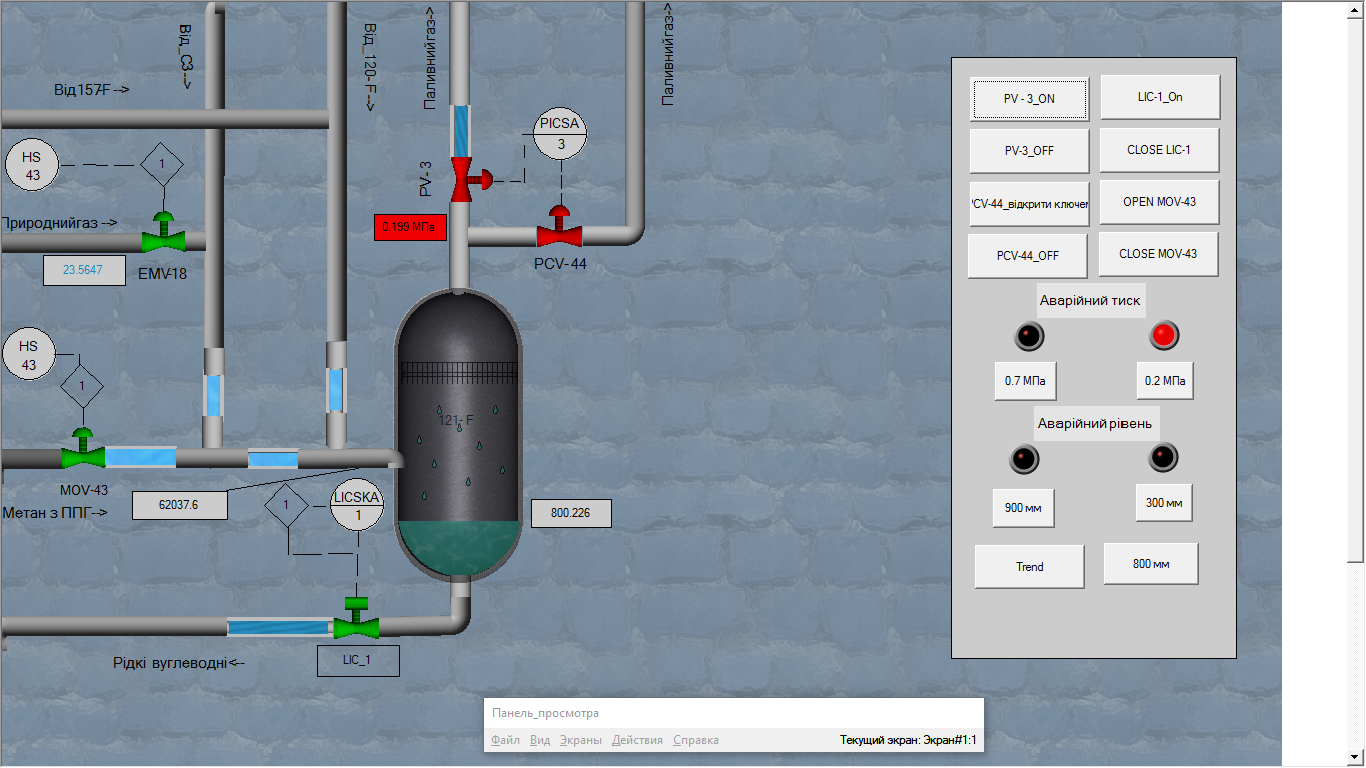


Рис. 4.3 Мнемосхема під час дії кнопки «0.2 МПа»

При натисканні кнопки «900 мм» показується імітація занадто виского аварійного тиску. Відсікається подача метанооловї фракції та природного газу в сепаратор-дегазатор, та повністю відкривається клапан LIC-1

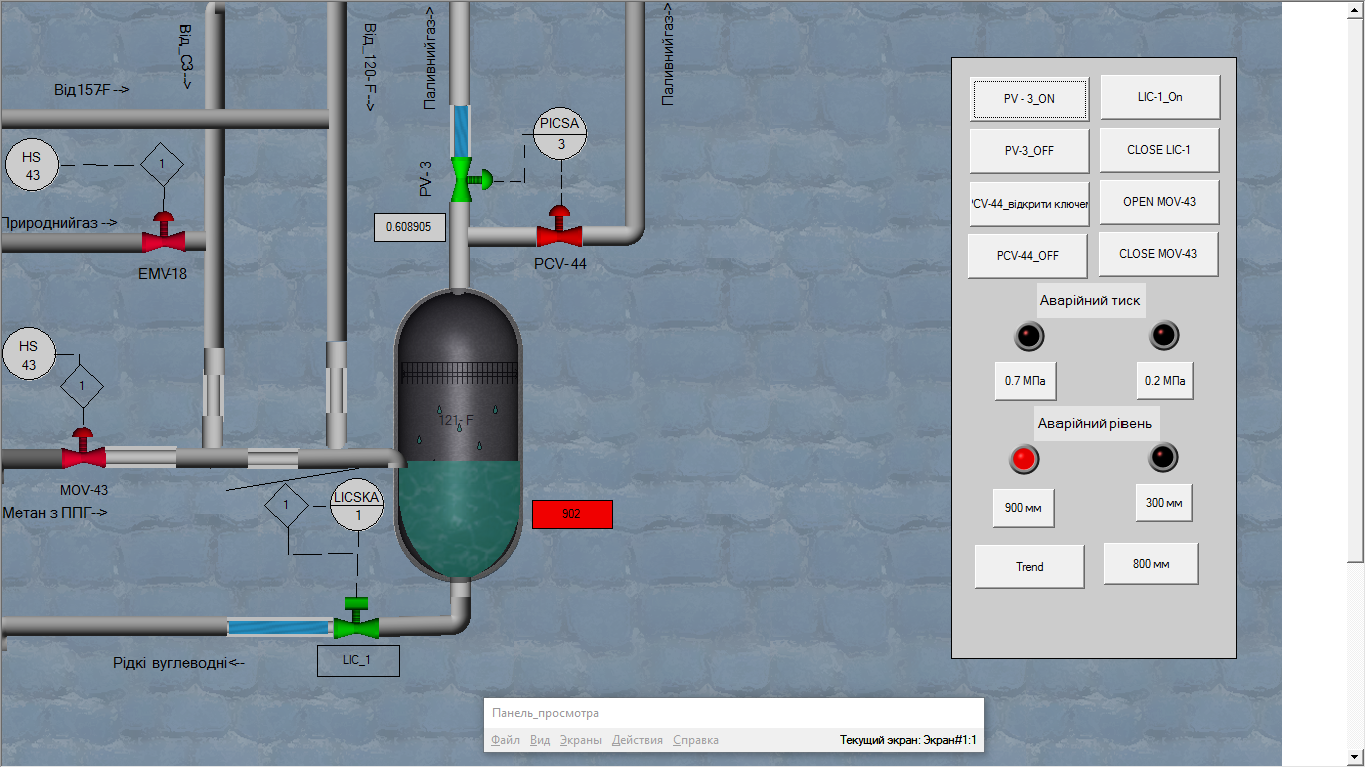


Рис. 4.4 Мнемосхема під час дії кнопки «900 мм»

Для емуляції занадто низького рівня в сепараторі-дегазаторі натискається кнопка «300 мм». Перекривається клапан LIC-1 та спрацьовує сигналізація на ЦПУ.

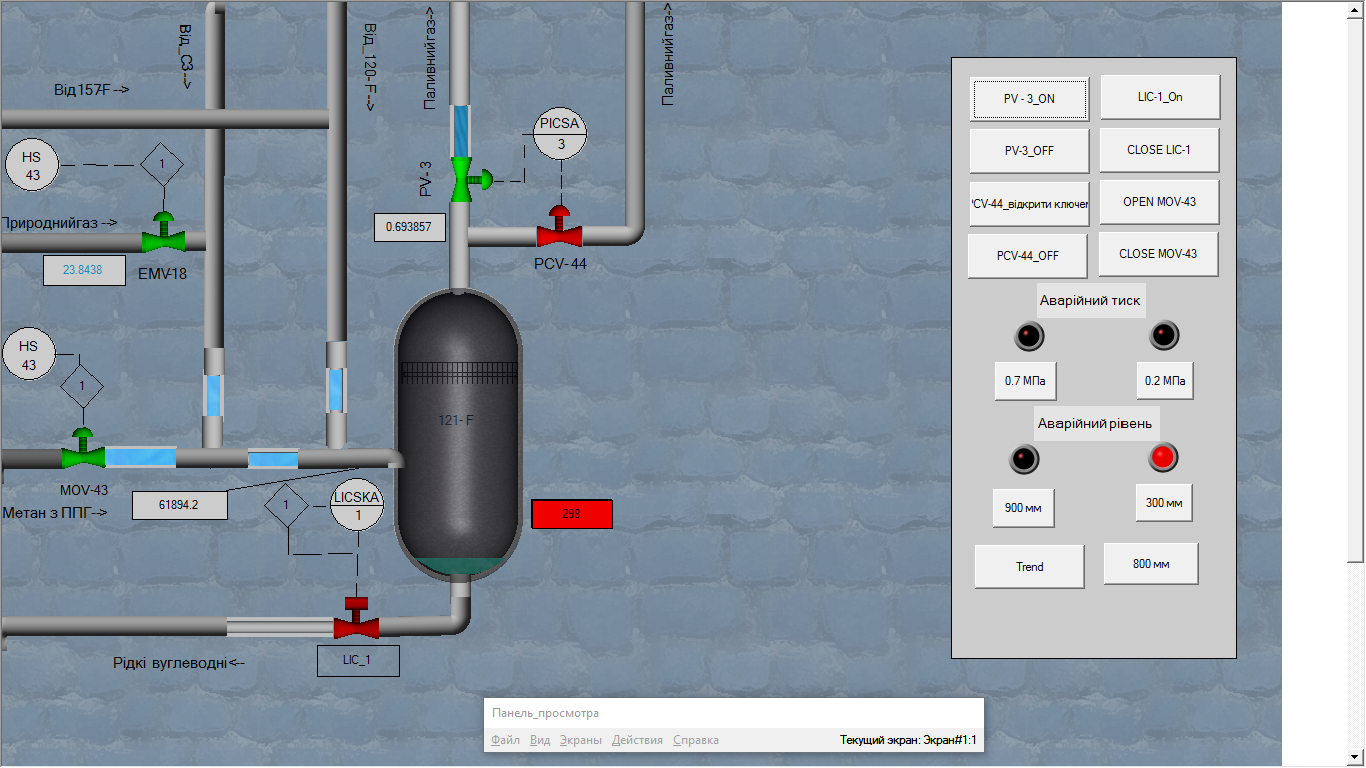


Рис. 4.5 Мнемосхема під час дії кнопки «300 мм»

Кнопка «Trend» відкриває вікно тренду, на якому зображений рівень в сепараторі-дегазаторі:

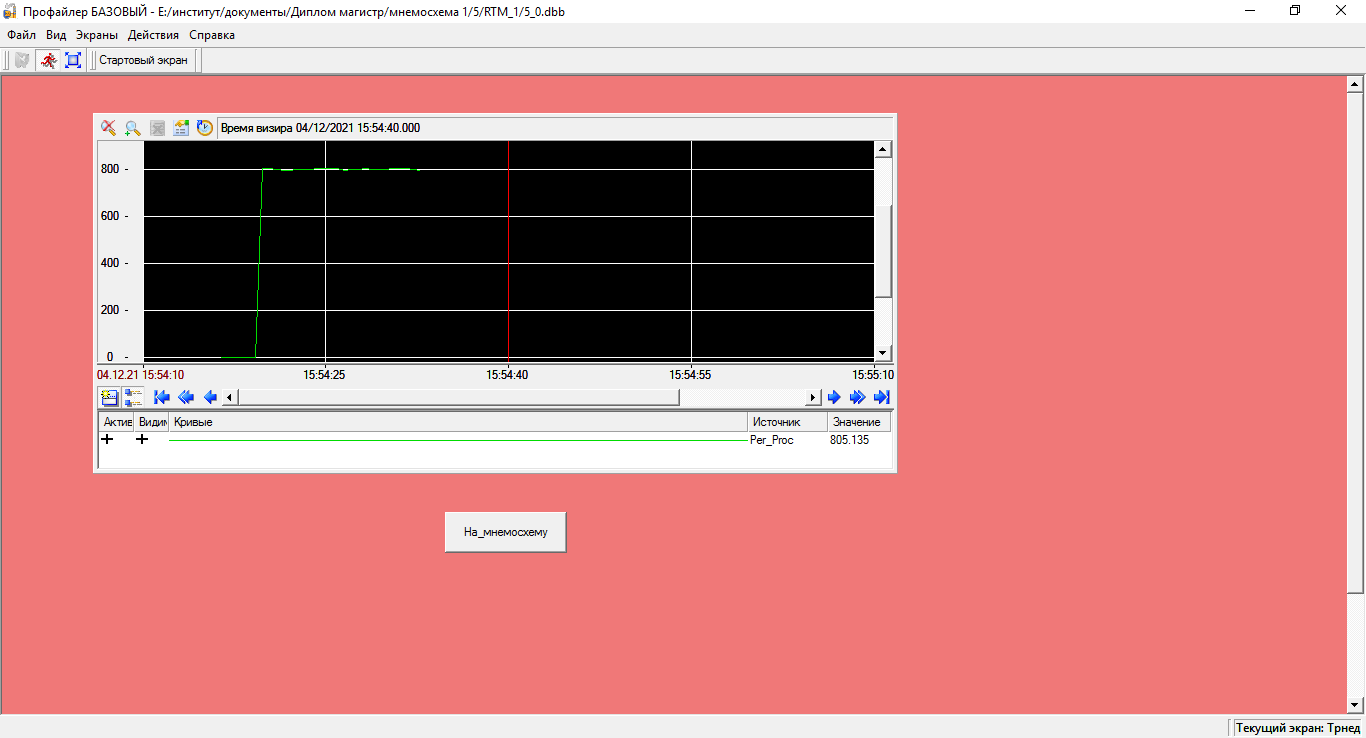
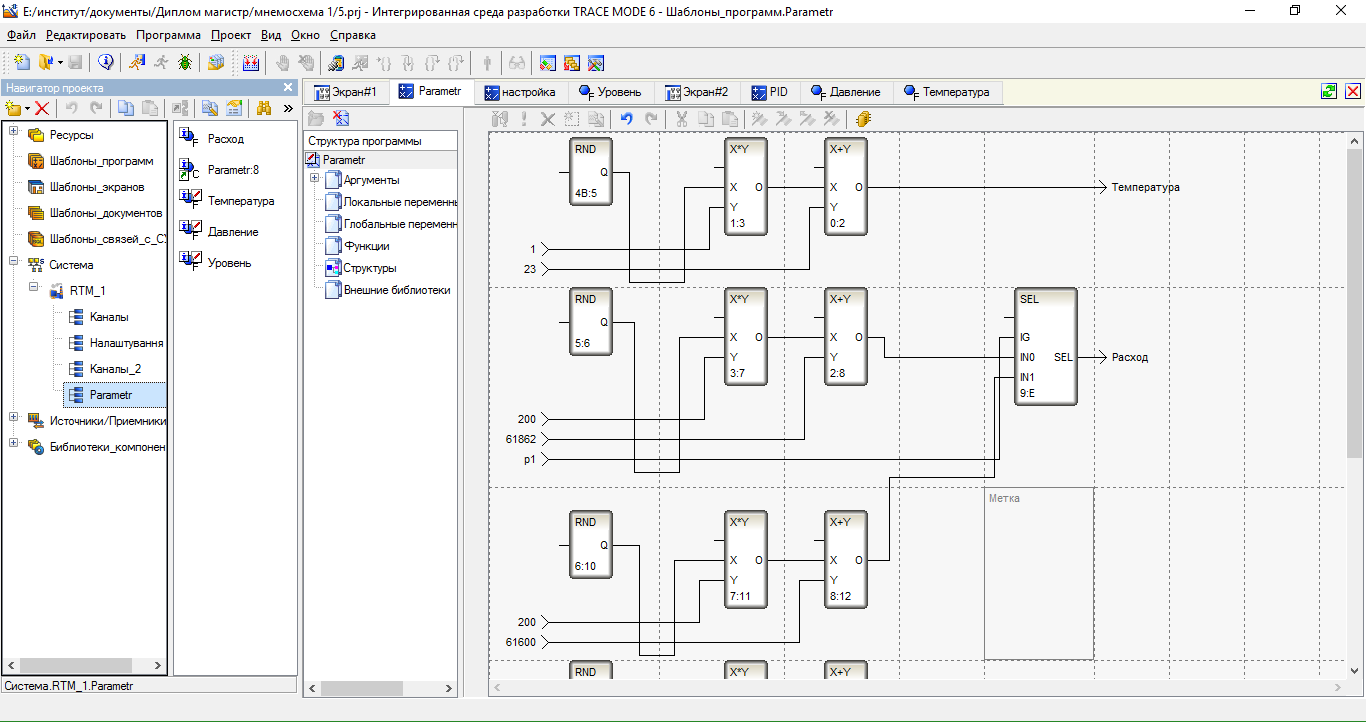


Рис.4.6 Тренд рівня в сепараторі-дегазаторі

Зміна значень усіх технологічних параметрів сепаратора–дегазатора реалізовані з допомогою програми у Trace Mode 6.09 мовою FBD – «Parametr8».



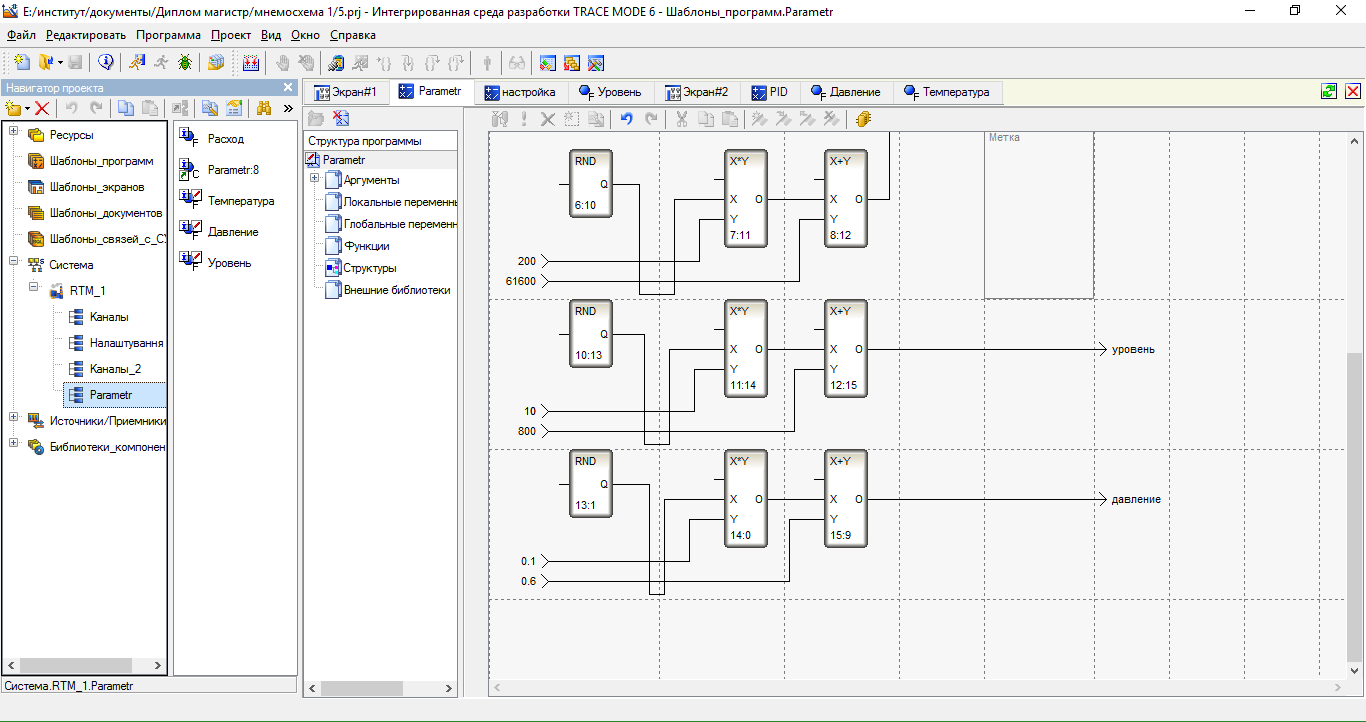


Рис.4.8 FBD програма усіх технологічних параметрів

На основі аналізу і розробки мнемосхеми для візуалізації технологічного процесу в сепараторі-дегазаторі природного газу, використовуючи пакет Trace Mode 6.09, можна зробити наступні висновки. Створена мнемосхема є ефективним інструментом для моніторингу та управління процесами, що відбуваються в системі сепарації та дегазації природного газу. Вона дозволяє оперативно відслідковувати та коригувати технологічні параметри, що критично важливо для забезпечення безпеки та стабільності роботи установки.

Мнемосхема в динаміці дає змогу користувачам візуалізувати основні технологічні параметри, такі як витрата газу, температура на вході, тиск на виході та рівень в сепараторі-дегазаторі. Це забезпечує зручний доступ до оперативної інформації про стан установки та дозволяє швидко реагувати на зміни в параметрах.

Однією з ключових функцій є можливість емуляції різних ситуацій, що можуть виникнути в процесі роботи сепаратора-дегазатора. Наприклад, натискання кнопок, таких як «OPEN MOV-43», «0.7МПа», «0.2МПа» та «900 мм», дозволяє змоделювати подачу газового конденсату, високий або низький тиск, а також аварійні ситуації з надмірним тиском чи низьким рівнем. Це важливо для тестування роботи системи в умовах екстремальних параметрів та перевірки реакції на збої в системі.

Також важливою функцією є можливість перегляду трендів технологічних параметрів, зокрема рівня в сепараторі-дегазаторі, що дозволяє спостерігати за динамікою зміни параметрів у часі та здійснювати необхідну корекцію в режимі реального часу. Використання програми в Trace Mode 6.09 для програмування параметрів за допомогою мови FBD дає змогу забезпечити високий рівень автоматизації та точності у процесах управління.

Розроблена мнемосхема є потужним інструментом для ефективного керування технологічними процесами в сепараторі-дегазаторі, що забезпечує високий рівень безпеки, стабільності та гнучкості в управлінні установкою. Вона значно покращує процеси моніторингу та реагування на змінні параметри, а також сприяє оптимізації роботи системи в цілому.

**4.3. Розробка програмного забезпечення для управління технологічним процесом сепарації та дегазації природного газу.**

Розробка програмного забезпечення для управління технологічним процесом сепарації та дегазації природного газу є важливим етапом, який забезпечує автоматизацію, контроль та оптимізацію всіх основних функцій установки. Таке програмне забезпечення повинно не лише забезпечувати стабільну роботу системи, а й мати гнучкість для адаптації до змінюваних умов експлуатації та можливих аварійних ситуацій.

Для розробки програмного забезпечення було обрано платформу Trace Mode 6.09, що забезпечує можливість створення ефективних систем автоматизації за допомогою візуальних інтерфейсів і програмування за допомогою мови FBD. Одним із основних завдань програмного забезпечення є реалізація алгоритмів управління технологічними параметрами сепаратора-дегазатора, таких як витрата газу, температура, тиск, рівень у сепараторі та інші. Програма повинна забезпечувати їх моніторинг у реальному часі, а також здійснювати автоматичне коригування параметрів в залежності від зміни умов роботи установки.

Наприклад, одна з функцій програмного забезпечення полягає в автоматичному регулюванні клапанів для підтримки оптимальних значень тиску і рівня в сепараторі-дегазаторі. Якщо виявляється перевищення заданого порогу тиску, система повинна автоматично активувати клапан для скидання газу, щоб уникнути надмірного тиску і забезпечити безпеку. Це досягається через реалізацію в програмі алгоритму, що аналізує дані з датчиків тиску і, при досягненні певного значення, відкриває відповідний клапан для виведення зайвого газу на факел.

Крім того, програма повинна враховувати різні сценарії аварійних ситуацій. Наприклад, при зниженні рівня в сепараторі-дегазаторі нижче критичного порогу, система повинна заблокувати подачу газу і миттєво сигналізувати на центральний пульт управління (ЦПУ), що дозволить оперативно вжити заходів для усунення проблеми.

Однією з важливих складових програмного забезпечення є створення інтерфейсу для оператора, що дозволяє візуалізувати всі необхідні параметри на панелі керування. Це включає в себе не тільки поточні значення параметрів, але й можливість відображення трендів, що дають змогу бачити зміну рівня, тиску чи температури у динаміці. Таким чином, оператор отримує повне уявлення про стан процесу в реальному часі і може оперативно реагувати на будь-які зміни.

У рамках цієї розробки також реалізовано можливість емуляції різних ситуацій, наприклад, зміни тиску чи рівня, що дозволяє тестувати систему без реального впливу на фізичне обладнання. Це знижує ризики для установки та дає змогу відточити програмне забезпечення до максимально ефективного та безпечного функціонування.

Завдяки використанню мови програмування FBD у Trace Mode 6.09, програмне забезпечення має високу надійність і адаптивність до різних умов роботи. Зокрема, реалізація всіх технологічних процесів через логічні блоки дозволяє забезпечити прозорість алгоритмів, легкість у модифікаціях і можливість швидкої діагностики в разі неполадок.

Таким чином, розробка програмного забезпечення для управління технологічним процесом сепарації та дегазації природного газу є основою для забезпечення ефективної та безпечної роботи установки. Використання сучасних програмних засобів дозволяє не тільки автоматизувати процеси, але й забезпечити зручний інтерфейс для оператора, що покращує управління та підвищує надійність роботи всієї системи.

**4.4. Аналіз результатів досліджень та оптимізація роботи системи управління.**

Аналіз результатів досліджень та оптимізація роботи системи управління є важливим етапом у розробці та впровадженні ефективної системи автоматизації технологічного процесу сепарації та дегазації природного газу. Він включає в себе оцінку ефективності алгоритмів управління, перевірку точності роботи системи, а також виявлення можливих недоліків та визначення шляхів їх усунення.

У ході досліджень було проведено тестування роботи розробленої системи управління в різних режимах експлуатації, що дозволило оцінити реакцію системи на зміни технологічних параметрів, таких як тиск, температура, рівень в сепараторі-дегазаторі та витрати газу. Результати показали, що система успішно реагує на зміну параметрів і здатна автоматично коригувати налаштування для підтримки оптимальних умов роботи установки. Однак, у ході досліджень також були виявлені деякі моменти, що потребують подальшого вдосконалення.

Одним з основних аспектів, на який зверталася увага, є час реакції системи на зміни в технологічних параметрах. У випадку різких коливань тиску чи рівня, система іноді реагувала не так швидко, як очікувалося, що могло призвести до тимчасових відхилень від оптимальних значень. Це, в свою чергу, вимагало додаткової корекції алгоритмів управління, щоб забезпечити більш швидку та точну реакцію на зміни.

Для оптимізації роботи системи управління було запропоновано кілька кроків. Першим з них стала доопрацювання алгоритмів регулювання клапанів, що дозволило зменшити час затримки при відкритті та закритті клапанів, а також підвищити точність контролю параметрів. Для цього було введено додаткові фільтри для згладжування різких змін і досягнення більш плавного регулювання в системі.

Іншим важливим кроком була оптимізація алгоритмів виявлення аварійних ситуацій. Під час досліджень було виявлено, що система дещо повільно реагує на різкі коливання рівня в сепараторі-дегазаторі, що могло призвести до виникнення аварійної ситуації. З метою поліпшення ситуації було вирішено скоротити час спрацьовування сигналізації та зменшити час для вжиття оперативних заходів.

Також для підвищення надійності та ефективності роботи системи було рекомендовано впровадження додаткових модулів для збору та аналізу даних, що дозволяють моніторити довгострокові зміни в технологічних параметрах. Це дає змогу проводити попереджувальні заходи ще до того, як система досягне критичних значень.

Після внесення змін та оптимізації системи управління було проведено повторне тестування, яке показало значне покращення в точності та швидкості реагування. Система тепер здатна забезпечувати більш стабільну роботу установки, знижуючи ймовірність виникнення аварійних ситуацій та покращуючи ефективність процесу сепарації та дегазації природного газу.

Таким чином, аналіз результатів досліджень і проведена оптимізація роботи системи управління дозволили значно підвищити її ефективність та надійність. Одержані результати підтверджують правильність обраного підходу до розробки системи, а також відкривають можливості для подальшого вдосконалення та адаптації під нові умови експлуатації.

**ВИСНОВКИ**

У результаті виконаної роботи з розробки та дослідження інноваційної мехатронної комп'ютерно-інтегрованої системи управління сепаратором-дегазатором природного газу для підвищення ефективності виробництва аміаку були досягнуті значні результати. Створена система, яка поєднує механічні, електронні та програмні компоненти, забезпечує високу ефективність управління технологічним процесом сепарації та дегазації природного газу. У ході роботи було не тільки розроблено новітнє програмне забезпечення для контролю та автоматизації процесів, але й створено математичні моделі, що дозволяють більш точно прогнозувати параметри роботи установки, а також здійснювати їх корекцію в реальному часі.

Особливу увагу було приділено аспектам мехатроніки, яка є основною технологією, що забезпечує інтеграцію механічних, електронних та програмних систем в єдину функціональну одиницю. Мехатронна система управління дозволяє забезпечити високу точність регулювання технологічних параметрів, зокрема тиску, рівня та витрат газу в процесах сепарації та дегазації. Впровадження таких систем дає змогу досягти значного підвищення надійності та стабільності роботи установки, а також знизити енергетичні витрати та зменшити ризик аварій.

Розроблена комп'ютерно-інтегрована система управління базується на застосуванні сучасних технологій автоматизації, що включають в себе використання сенсорних та аксіальних систем, а також високотехнологічних програмних платформ, як, наприклад, Trace Mode 6.09. Це дозволяє в реальному часі моніторити стан установки, а також здійснювати необхідні коригування для підтримки оптимальних умов роботи.

Досягнуті результати досліджень показали, що механізми автоматичного регулювання, побудовані на основі мехатронних принципів, дозволяють оперативно реагувати на зміни технологічних параметрів і забезпечити стабільну та безпечну роботу процесів сепарації та дегазації. Крім того, застосування мехатроніки дозволяє зменшити час на налаштування та усунення неполадок, що є важливим аспектом для оптимізації виробничих процесів, зокрема у виробництві аміаку, де необхідно забезпечити високу стабільність і безперервність технологічних процесів.

Важливою складовою роботи стало також розроблення математичних моделей для аналізу та прогнозування роботи системи. Це дозволяє отримати точні дані про поведінку установки в різних умовах експлуатації, а також заздалегідь виявляти потенційні проблеми, що може запобігти аварійним ситуаціям.

Таким чином, розробка та впровадження інноваційної мехатронної комп'ютерно-інтегрованої системи управління сепаратором-дегазатором природного газу є важливим кроком у підвищенні ефективності виробництва аміаку. Використання мехатроніки дозволяє забезпечити більш точне та оперативне регулювання всіх процесів, що сприяє підвищенню надійності і стабільності роботи установки, а також оптимізації витрат і зменшенню ризиків для експлуатації обладнання.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

* 1. Жуков А. П. Основи мехатроніки: навч. посіб. / А. П. Жуков, С. В. Лубенець. – К.: Вища школа, 2014. – 380 с.
  2. Мельник В. М. Комп'ютерно-інтегровані системи управління на підприємствах хімічної промисловості / В. М. Мельник, О. І. Дьяків. – Харків: ХНУ, 2015. – 290 с.
  3. Ткаченко О. І. Мехатронні системи: теорія та практика / О. І. Ткаченко, І. Ю. Іванова. – К.: Наукова думка, 2016. – 350 с.
  4. Дьяків О. І. Системи автоматизованого управління технологічними процесами / О. І. Дьяків. – Харків: ХНУ, 2017. – 320 с.
  5. Новікова В. А. Основи промислової автоматизації / В. А. Новікова. – К.: Вища школа, 2018. – 220 с.
  6. Сидоренко М. М. Технічна діагностика систем автоматизації / М. М. Сидоренко, А. І. Павленко. – К.: НТУ, 2019. – 280 с.
  7. Шевченко І. В. Інтелектуальні системи управління: теорія та методи / І. В. Шевченко. – К.: Наукова думка, 2020. – 340 с.
  8. Кузьменко І. В. Мехатроніка та автоматизація: підручник для студентів ВНЗ / І. В. Кузьменко, М. В. Черниш. – К.: ІНСІТ, 2021. – 280 с.
  9. Лобанов І. С. Теорія автоматичних систем: підручник / І. С. Лобанов. – Х.: ХНУ, 2014. – 400 с.
  10. Гребінь Ю. О. Моделювання та оптимізація технологічних процесів / Ю. О. Гребінь. – Львів: ЛНУ, 2018. – 310 с.
  11. Шуляк В. І. Підвищення енергоефективності у промислових процесах / В. І. Шуляк, Л. Ю. Гавриленко. – К.: Техніка, 2016. – 350 с.
  12. Системи управління технологічними процесами: підручник / О. П. Коваль, О. М. Гуменюк. – К.: Наукова думка, 2015. – 290 с.
  13. Вітченко І. І. Розробка автоматизованих систем управління на базі новітніх технологій / І. І. Вітченко. – Х.: ХНУ, 2017. – 260 с.
  14. Бабич В. Л. Мехатронні системи в індустрії / В. Л. Бабич. – Дніпро: ДНУ, 2014. – 180 с.
  15. Харченко А. В. Стратегії та методи оптимізації технологічних процесів / А. В. Харченко, Т. О. Дорошенко. – К.: НТУ, 2019. – 290 с.
  16. Розвиток мехатронних систем: теоретичні основи та практичні застосування / О. М. Сидоренко, В. В. Власенко. – Київ: Вища школа, 2015. – 310 с.
  17. Основи автоматизації технологічних процесів / М. І. Скакун, І. В. Лисенко. – Харків: ХДУ, 2017. – 370 с.
  18. Швидкий П. В. Інтелектуальні системи та методи управління / П. В. Швидкий. – К.: Наука, 2021. – 340 с.
  19. Писаренко О. В. Теорія та практика автоматизації виробництва аміаку / О. В. Писаренко. – Львів: ЛНУ, 2016. – 260 с.
  20. Білоус В. П. Проектування автоматизованих систем управління технологічними процесами / В. П. Білоус. – Х.: ХНУ, 2014. – 230 с.
  21. Федоренко М. О. Технології автоматизації та управління в промисловості / М. О. Федоренко, В. С. Коваль. – К.: НТУ, 2020. – 310 с.
  22. Руденко О. В. Методи аналізу та оптимізації роботи автоматизованих систем / О. В. Руденко. – Харків: ХНУ, 2019. – 300 с.
  23. Никифоров О. М. Управління технологічними процесами в хімічній промисловості / О. М. Никифоров, Ю. О. Дубовик. – Дніпро: ДНУ, 2018. – 340 с.
  24. Нечипоренко В. В. Автоматизація виробничих процесів в умовах сучасних технологій / В. В. Нечипоренко. – К.: Вища школа, 2021. – 280 с.
  25. Технології автоматизованого контролю та управління / М. П. Соловйов, А. О. Пархоменко. – Київ: НТУ, 2017. – 250 с.
  26. Єрмак В. С. Системи управління в промисловості: теоретичні основи та практичні аспекти / В. С. Єрмак, А. М. Шевченко. – Харків: ХДУ, 2016. – 330 с.
  27. Сидоров І. І. Мехатронні технології в автоматизації виробництва / І. І. Сидоров, О. С. Іванова. – Дніпро: ДНУ, 2017. – 240 с.
  28. Методи та засоби автоматизації виробничих процесів / Л. В. Коваленко, В. П. Кузьменко. – К.: ІНСІТ, 2015. – 290 с.
  29. Петров О. І. Теорія автоматичних систем / О. І. Петров. – Харків: ХНУ, 2020. – 250 с.
  30. Писаренко І. С. Основи розробки систем автоматизації для хімічної промисловості / І. С. Писаренко. – Львів: ЛНУ, 2019. – 220 с.
  31. Ларін В. А. Основи інженерії мехатронних систем / В. А. Ларін. – К.: НТУ, 2014. – 270 с.
  32. Дмитренко А. С. Мехатроніка у виробничих процесах / А. С. Дмитренко. – Харків: ХНУ, 2018. – 260 с.
  33. Чижик І. В. Системи управління в промисловості: наукові дослідження та розробки / І. В. Чижик, С. Л. Гайдай. – Київ: Вища школа, 2021. – 310 с.
  34. Дубовик П. О. Адаптивні методи управління в технологічних процесах / П. О. Дубовик, О. О. Пісочин. – К.: Наукова думка, 2017. – 330 с.