

Міністерство освіти і науки України  
Шосткинський інститут Сумського державного університету  
Факультет денної форми навчання  
Кафедра системотехніки та інформаційних технологій

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав. кафедри

Худолей Г.М.

«\_\_»\_\_\_\_\_2022р.

## **БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

Система управління технологічним процесом виробництва метанолу  
при тиску 5 МПа

Керівник проекту:  
(ст.викладач, к.т.н)

Худолей Г.М.

Дипломник:  
студент групи СУ-81ш

Юрченко Д.М.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ШОСТКИНСЬКИЙ ІНСТИТУТ СУМСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ  
КАФЕДРА СИСТЕМОТЕХНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
Спеціальність 6.151.00.05 «Комп'ютеризовані системи управління та  
робототехніка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри  
системотехніки та  
інформаційних  
технологій

Г. М. Худoley

« 03 » травня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
на бакалаврську роботу

студент **Юрченко Денис Миколайович**

1. Тема проекту Система управління технологічним процесом  
виробництва метанолу при тиску 5 МПа

директора інституту

Затверджено наказом

2022 р.

№ 36-ОД від « 03 » травня

2. Строк здачі студентом закінченої роботи «21» червня 2022 р.

3. Вихідні дані до виконання роботи:

\_ - завдання кафедри

---

4. Зміст пояснювальної записки:

4.1 Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта управління.

4.2 Вибір каналів управління, сигналізації та блокувань.

4.3 Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту та алгоритмів управління.

4.4 Розрахункова частина.

---

5. Перелік графічних матеріалів:

5.1 Функціональна схема автоматизації.

---

7. Календарний план:

№ етапу	Зміст етапу роботи	Строк виконання (початок-кінець)
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз джерел інформації. Відбір аналогів та прототипів Конструктивно-технологічний аналіз об'єкта керування.	08.05.2022 - 15.05.2022
2	Вибір каналів управління, сигналізації та блокувань. Вибір сучасних засобів автоматизації, розробка системи сигналізації та захисту, вибір алгоритмів управління. Схема автоматизації функціональна. Схеми електричні сигналізації.	16.05.2022 - 29.05.2022
3	Виконання розрахункової частини.	30.05.2022- 05.06.2022
4	Технічне оформлення проекту. Здача проекту керівнику.	07.06.2022 - 20.06.2022

## Реферат

Юрченко Денис Миколайович. Система управління технологічним процесом виробництва метанолу при тиску 5 МПа. Дипломний проект. Шосткинський інститут Сумського державного університета. Шостка, 2022 рік.

Дипломний проект містить 54 сторінок пояснювальної записки, з урахуванням 26 малюнків, 4 таблиць, 1 креслень.

Розроблене технічне завдання. Розроблена автоматизація технологічного процесу виробництва метанолу при 5 МПа на базі програмованого логічного контролера ПЛК160 . Зроблений розрахунок контуру управління температури в підігрівачі.

Ключові слова: Технологічний процес, система управління, мікропроцесорний контролер.

## Summary

Yurchenko Denis Nikolaevich. Automation of the technological process of methanol production at 5 MPa. Degree project. Shostka Institute of Sumy State University. Shostka, 2022.

The diploma project contains 54 pages of explanatory note, including 26 figures, 4 tables, 1 drawings.

The technical task is developed. Automation of technological process of methanol production at 5 MPa on the basis of programmable logic controller PLK160 is developed. The calculation of the temperature control circuit in the heater is made.

Keywords: Technological process, control system, microprocessor controller.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	4
1.1. Фізичні, хімічні та термодинамічні властивості метилового спирту.....	5
1.2. Використання каталізаторів при синтезі метанолу.....	9
1.3. Промислові методи отримання метилового спирту та його використання.....	10
1.4. Опис технологічного процесу.....	15
РОЗДІЛ 2. ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ І АЛГОРИТМУ.....	18
2.1. Вибір каналів контролю та управління.....	18
2.2. Вибір засобів автоматизації.....	26
2.3. Функціональна схема.....	40
2.4. Алгоритм роботи системи управління.....	42
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	43
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Вивчення даної теми є дуже актуальною, враховуючи важливість виробництва метилового спирту та доволі широкий спектр його застосування в промисловості.

Тривалий час, метанол могли отримати лише шляхом сухої перегонки деревени, але на сьогодні основним способом його отримання є синтез окису вуглецю та водню. Також доволі перспективним вважають неповне окислення метану.

Незалежно від обраного способу виробництва метилового спирту, його виготовляють зараз у великих кількостях і темпи його виробництва з кожним роком збільшуються. Це пояснюється тим, що його застосовують у багатьох хімічних процесах. При цьому, близько половини всього виробленого метилу йде на виготовлення формальдегіду.

Метою роботи

Об'єкт дослідження

Предметом дослідження

Завдання дослідження:

Методи дослідження

**Ступінь вивчення теми.** Дослідженням процесу одержання метанолу займалось багато вчених (М. Бойлер, Ж. Дюма, М. Гудман, М.І. Тьомкін, О.Б. Брагінський, В.Л. Кріменко, М.М. Караваєв, В.Є. Леонов, І.Г. Попов, Е.А. Караханов, А.Я. Розовський, А.Л. Соболев), а промислове виробництво втілене в життя багатьма фірмами-виробниками («ICI» (Великобританія), «BASF» (Німеччина), «Chemical Systems inc.» (США), «Haldor Topsøe» (Данія), «Lurgi», «ToyoEngineering», «PetroWorld» (Південна Африка). Також існують

розробки плавучих установок з виробництва метанолу в морських умовах (фірми «Swedyard development», «Haldor Topsoe», «ICI», норвезької фірми «Solco», «Davy Process Technology»).

**Обсяг роботи** складає \_\_ сторінок тексту і \_\_ сторінок загального тексту. Дипломна робота складається зі списку скорочень та умовних позначень, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, а також — \_\_ додатків.

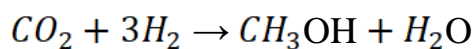
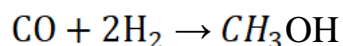
## РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Метиловий спирт є одним з найважливіших за значення там масштабах виробництва продуктом, який виробляється хімічною промисловістю.

Синтез метанолу під тиском 5МПа на мідному низькотемпературному каталізаторі було розроблено у 1960-х рр. в Англії.

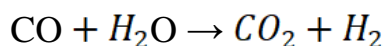
Тривалий час вважалося, що в основу синтезу метанолу складають каталітичні перетворення суміші оксиду (або двоокису) вуглецю з воднем, що протікають по рівняннях:

(1-1)



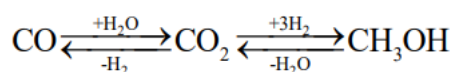
Розовський А.Я., Каган Ю.Б. та Башкіров А.Н. запропонували і експериментально довели принципово новий механізм синтезу метанолу в 1973-1975 рр. в Інституті нафтохімічного синтезу АН СРСР. Згідно нового механізму, на оксидних каталізаторах (у тому числі й на мідь-цинк-алюмінієвому) метанол утворюється з двоокису, який присутній у вихідній суміші або ж утворюється за наступною реакцією:

(1-2)



Враховуючи це, синтез метилового спирту з  $CO_2$  та  $H_2$  можна представити таким рівнянням:

(1-3)





Зараз єдиним виробником метанолу в Україні є ЗАТ Сєвєродонецьке об'єднання "Азот" (м. Сєвєродонецьк). "Азот" є найбільшим хімічним підприємством України, яке випускає: аміак, азотні мінеральні добрива, органічні спирти і кислоти, товари побутової хімії, вироби з полімерів та полімерних плівок. Технологічний процес виробництва метанолу на даному підприємстві було розроблено Сєвєродонецьким державним підприємством "Хімтехнологія".

На Сєвєродонецькому об'єднанні "Азот" основною сировиною для виробництва метанолу є:

- 1) конвертований газ, який отримується методом каталітичної конверсії природного газу з водяною парою та киснем;
- 2) газ, який є відходом виробництва оцтової кислоти;
- 3) синтез-газ, що є відходом виробництва ацетилену.

Технологічний процес виробництва метанолу засновується на здобутті метилового спирту з водню, оксиду та двооксиду вуглецю під тиском не більше 5,3 МПа і температурі не більше 300°C. Синтез метанолу здійснюють на мідь-цинк-алюмінієвому каталізаторі. Процес проходить без очищення початкового газу від ненасичених вуглеводнів (ацитилен, етилен), кисню та інших мікрочастинок. Отриманий метанол-сирець піддають ректифікації із здобуттям метанолу ректифікату та метанолу-сирця (як відходу).

### **1.1. Фізичні, хімічні та термодинамічні властивості метилового спирту**

Метиловий спирт (метанол,  $CH_3OH$ )— це один з представників граничних одноатомних спиртів. Рідко та дуже в невеликій кількості зустрічається у вільному стані в природі (наприклад, в ефірних

маслах). При цьому, похідні метилу містяться в багатьох рослинних оліях (складні ефіри), природних барвниках, алкалоїдах (прості ефіри) і т.д. За звичайних умов метиловому спирту притаманні такі характеристики: безбарвна, легко летюча, горюча рідина, інколи із запахом, який нагадує запах етилу. При вживанні метанолу людиною, з'являється п'яний ефект. Метиловий спирт є сильною отрутою, що може викликати втату зору і, в залежності від дози, смерть.

За стандартних умов метанол має незначний тиск насиченої пари, але при підвищенні температури тиск пари значно збільшується. Наприклад, при збільшенні температури з 10°C до 60°C тиск насиченої пари змінюється з 54.1 до 629.8 мм рт. ст., а при 100°C він досягає позначки 2640 мм рт. ст. Він добре поглинає пари води, двоокис вуглецю та деякі інші речовини.

Варто зазначити, що метанол добре розчиняє більшість відомих газів та парів. Наприклад, метанол за стандартних умов розчиняє гелій, неон, аргон та кисень краще, ніж ацетон, бензол, етиловий спирт, циклогексан і т.д. При розбавленні метилового спирту водою розчинність вищеназваних газів зменшується. Здатність метанолу розчиняти гази широко використовується в промисловій практиці (застосування метанолу та його розчинів у якості поглиначів для витягання домішок з технологічних газів).

У промислових масштабах синтез метанолу відбувається у присутності інертних до цього процесу газів (метан, азот). При цьому, вони не приймають участі у реакції та напряму не впливають на рівновагу реакції утворення метилового спирту. Проте наявність їх в газі знижує парціальний (ефективний) тиск реагуючих речовин, що призводить до зменшення рівноважного виходу метанолу, тому концентрація інертних компонентів має бути на мінімальному рівні.

Варто зазначити, що синтез метанолу на каталізаторі, який складається з цинку та хрому, що працює за температури 360-380°C, доцільно проводити при тиску не нижче 200 кгс/см<sup>2</sup>. При використанні низькотемпературних каталізаторів, які можна застосовувати в температурному інтервалі 220-280°C, можлива робота при тиску менше 10 кгс/см<sup>2</sup> (чим нижче температура, тим нижче може бути тиск синтезу).

Термодинамічні розрахунки показують, що за атмосферним тиском вихід метанолу складає лише 2%. При цьому, це значення помітно зростає з підвищенням тиску (наприклад, при 6,8 МПа й температурі 300°C вихід досягає 100%). Вихід на практиці суттєво відрізняється від розрахункових даних. На рис. 1.1. показана залежність рівноважного ступеня перетворення СО від тиску при синтезі метанолу на типових цинк-хромових каталізаторах. Варто зазначити, що утворення метанолу з синтез-газу є надзвичайно екзотермічною реакцією (110,8 кДж/моль), тому константа рівноваги падає з підвищенням температури.

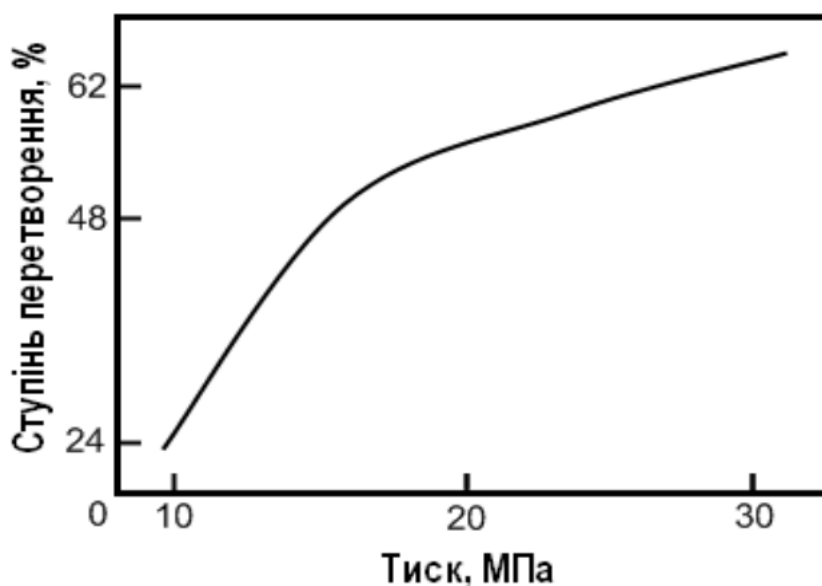


Рис. 1.1. Залежність рівноважного ступеня перетворення СО від тиску

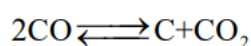
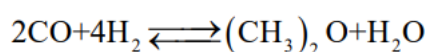
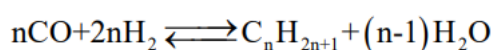
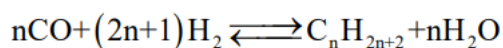
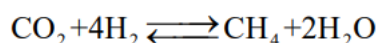
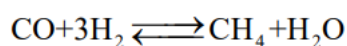
Якщо температура синтезу змінюється від 180°C до 300°C, а тиск складає 4,9 МПа, то рівноважна концентрація метанолу зменшується майже у сім разів, але найбільш різкі зміни відбуваються при температурі більше 240°C. Через ендотермічний ефект відновлення двоокису вуглецю та екзотермічний ефект реакції синтезу метанолу рівноважний вихід води за вказаних вище температурних показників проходить через мінімум, а двоокису вуглецю, навпаки, через максимум.

З підвищенням температури при тиску 29,4 МПа, рівноважна концентрація метанолу знижується, при чому найбільш різко за температури 340°C. Відповідно при цьому зменшується й ступінь перетворення оксидів вуглецю на метанол і воду.

При збільшенні тиску від 4,9 МПа до 49 МПа в інтервалі температур 200-400°C рівноважний метанол збільшується. Для низькотемпературного синтезу (200-260°C) найефективнішим є діапазон тисків 4,9-19,6 МПа, а для високотемпературного синтезу (300-400°C) найкращий рівноважний вихід метанолу досягається при тиску в діапазоні 20-40 МПа.

При синтезі метанолу поруч з основною реакцією протікають також і побічні (1.4.):

(1-4)



Зменшення утворення побічних продуктів можна досягнути

шляхом підбору високоефективних та селективних каталізаторів, але повністю усунути їх (особливо реакцію конверсії CO до C і CO<sub>2</sub>) можливості немає. Згідно результатам досліджень, утворення метану та вищих вуглеводнів можна звести до мінімуму, якщо до складу каталізатора не будуть входити такі елементи: Fe, Co, Ni. Проведення синтезу за низької температури також сприяє придушенню реакції утворення вищих вуглеводнів. Утворенню метилового ефіру сприяє наявність у каталізаторі оксиду алюмінію, а утворенню вищих спиртів — наявність лужних та лужноземельних металів. За низької температури синтезу утворення метилового ефіру майже не відбувається.

## **1.2. Використання каталізаторів при синтезі метанолу**

Наразі більшість заводів одержують метанол на оксидних цинк-хромових каталізаторах та цинк-мідних каталізаторах, які дозволяють проводити процес у більш м'яких умовах.

Цинк-хромові каталізатори використовують при температурі 360-380°C, тиску 25-32 МПа й об'ємній швидкості циркулюючого газу 10000-60000 год<sup>-1</sup> (мольне співвідношення CO : H<sub>2</sub> = 1:5 — 1:10). Доволі часто синтез метанолу сполучають із процесами деструктивної гідрогенізації та одержання аміаку, що позитивно впливає на його техніко-економічні показники. Активність цинк-хромових каталізаторів залежить від: способу готування; співвідношення хрому та цинку; способу обробки, у процесі якого формується активна структура.

Оптимальним вмістом оксиду хрому в цих контактах становить близько 20-30%. При цьому, наявність у каталізаторах важковідновлювального оксиду хрому перешкоджає спіканню

оксиду цинку й утворенню шпінелі, завдяки чому, активність та селективність каталізаторів тривалий час залишається на високому рівні.

Якщо відношення  $\text{H}_2$  до  $\text{CO}$  у циркуляційному газі більше 6, а об'ємна швидкість порядку  $25000 \text{ год}^{-1}$ , то активність цинк-хромових каталізаторів протягом року не зазнає суттєвих змін. Тепловий ефект реакції синтезу метанолу збільшується з підвищенням тиску. Найбільше помітний вплив температури в інтервалі тисків 10-30 МПа. У промислових умовах синтез метанолу протікає в присутності газів:  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ , що знижують ефективний тиск реагуючих компонентів, але не впливають на рівновагу реакції утворення метанолу.

Останнім часом промислового застосування набули мідь-цинк-хромові каталізатори, які наносять на оксид алюмінію та відновлюють при температурі 140-180°C. Подібні каталізатори мають високу активність за температури 260-280°C та тиску 4-5 МПа.

### **1.3. Промислові методи отримання метилового спирту та його використання**

Для синтезу метилового спирту підходить майже будь-який газ, що містить у своєму складі водень та оксид вуглецю. Перші виробництва метанолу були створені у 1930-ті роки та використовували у якості сировини тверде паливо (кокс та ка'мяне вугілля). По мірі освоєння хімічною промисловістю нафтових джерел сировини та природного газу, початковий газ для синтезу метанолу почали отримувати шляхом крекінгу нафтопродуктів (термічна або каталітична переробка нафтових фракцій, при якій

молекули важких вуглеводнів розщеплюються на простіші) та конверсії газів, що містять метан. У сучасній промисловій практиці отримання технічного газу для синтезу метанолу використовуються газоподібні, рідкі вуглеводні, тверде паливо (доволі рідко) та побутові відходи. Найчастіше використовують природний газ та газ нафтопереробки. На практиці встановлено, що газ для синтезу має містити компоненти у відношенні, яке близьке до стехіометричного, тобто:  $(\text{H}_2 - \text{CO}_2) : (\text{CO} + \text{CO}_2) = 2,01 \div 2,15$ .

Для отримання газу та його підготовки для синтезу метанолу використовується: пароповітряна, парова, парова з дозуванням двоокису вуглецю, високотемпературна та інші види конверсії (процес переробки газів з метою зміни складу початкової газової суміші).

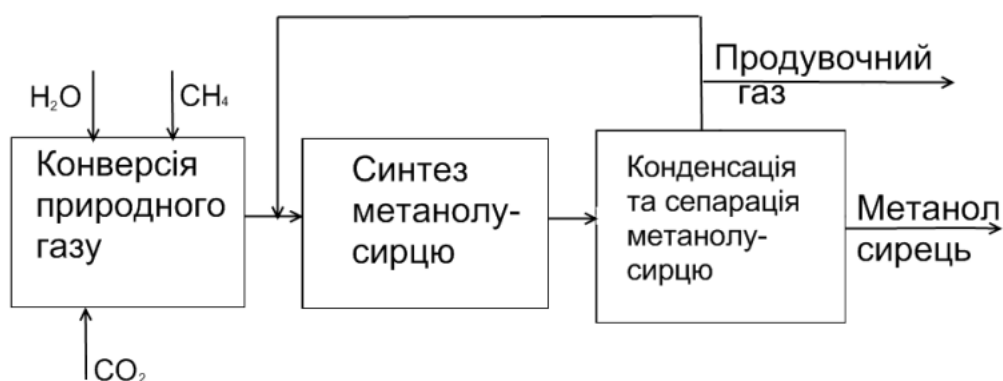


Рис. 1.2. Функціональна схема синтезу метанолу

Технологічний процес отримання метанолу з оксиду вуглецю та водню включає ряд операцій, обов'язкових для будь якої технологічної схеми синтезу. Газ спочатку очищується від карбонілу заліза  $\text{Fe}(\text{CO})_5$  та з'єднань які містять сірку, підігрівається до температури початку реакції та надходить в реактор синтезу метанолу. На виході з зони каталізатора з газів виділяють метанол що утворився, це досягається охолодженням суміші, котра потім

стискається до тиску синтезу та повертається у процес. На рис. 1.2. приведена функціональна схема виробництва метанолу.

В наш час в промисловості метанол отримують каталітичним гідруванням окису вуглецю у двофазній системі «газ – каталізатор».

В залежності від способу розміщення каталізатора, розподілення матеріальних потоків і методів регулювання температури реактора синтезу метанолу можна розділити на наступні:

1. шахтні з адіабатичними шарами каталізатора, розміщеного в одному або декількох послідовно розташованих реакторів;
2. трубчаті з відводом тепла реакції з зони каталізу постійним теплоносієм (вода, високо киплячі вуглеводні та ін.);
3. з радіальним ходом газу;
4. з псевдозрідженим шаром каталізатора.

Існує декілька методів отримання метанолу в промисловості:

1. Трифазний метод отримання метанолу. Сутність процесу полягає в тому, що взаємодія оксидів вуглецю та водню відбувається в реакторі з використанням подрібненого каталізатору, псевдозрідженого в циркулюючому потоці рідкого інертного вуглеводню, тобто синтез проводять в системі «газ – каталізатор – інертний розчин». Розроблений процес призначений в основному для виготовлення метанолу для енергетичних цілей з використанням синтез-газу, отриманого газифікацією вугілля. В ролі рідкої фази вибирають парафіни, циклопарафіни, ароматичні вуглеводні, мінеральні масла. Трифазний синтез метанолу характеризується рядом переваг: простота конструкції реактора, достатньо рівномірний розподіл рідини та газу по площі поперечного перерізу реактора, можливість вводу та виводу з системи каталізатора без зупинки її, порівняно низька осьова дифузія газу та ефективне використання тепла реакції з отриманням пари.



2. Отримання метанолу неповним окисленням природного газу. Реалізація процесу отримання метилового спирту неповним окисленням природного газу безпосередньо на газових промислах окрім технікоекономічних міркувань вирішує екологічну проблему: виключається транспортування токсичного, вибухонебезпечного метанолу на великі відстані.

3. Отримання метанолу з природного газу при низькому тиску в 5МПа. В результаті зниження температури синтезу при низькому тиску процес 21 проходить в умовах, близьких до рівноваги, що дозволяє підвищити продуктивність агрегату.

Метанол використовують в газовій промисловості для боротьби з утворенням гідратів (через низьку температуру замерзання та добру розчинність). Також метанол застосовується у органічному синтезі для випуску формальдегіду, формаліну, оцтової кислоти, ряду ефірів, ізопрену та іншого.

Найбільша кількість метилового спирту йде на виготовлення формальдегіду, який у подальшому використовується при виробництві фенол-формальдегідних смол. Значна кількість  $\text{CH}_3\text{OH}$  припадає й на лакофарбову промисловість, де його застосовують для виготовлення розчинників при виробництві лаків. Крім цього, метил використовують як добавку до рідкого палива для двигунів внутрішнього згорання, але обмежено через його гігроскопічність (властивість речовин поглинати водяні пари з повітря; відшаровування). Також його застосовують в паливних елементах.

Через велику швидкість поширення полум'я повітряної суміші та високу теплоту випару метил використовується для заправки гоночних мотоциклів і автомобілів. Метанол горить в повітряному середовищі, а при його окисленні утворюється  $\text{CO}_2$  та вода. Для того, щоб отримати біодизель, рослинна олія переетифікується

(хімічна реакція складного ефіру зі спиртом, кислотою або іншим складним ефіром, яка приводить до утворення складного ефіру, що відрізняється за складом від початкового) метанолом за температури 60°C та нормальному тиску наступним чином: 1 тонна олії, 200 кг метанолу, гідроксид калію або натрію.

Під час видобутку газу, гідрати можуть утворюватися в стволах свердловин, промислових комунікаціях та магістральних газопроводах. Через відкладання на стінках труб гідратів, різко зменшується їх пропускна спроможність. Для боротьби з утворенням гідратів на газових промислах вводять в свердловини та трубопроводи різноманітні інгібітори (метиловий спирт, гліколі).

Варто зазначити, що при використанні метанолу як паливо, об'ємна та масова теплота згорання (енергоємність) метанолу на 40-50% менша ніж у бензину. При цьому, теплопродуктивність сумішей зі спирту та повітря й і сумішей з бензину та повітря при їх згоранні в двигуні розрізняється тому, що високе значення теплоти випару метанолу сприяє поліпшенню наповнення циліндрів двигуна та зниженню його теплонапруги, яке призводить до підвищення повноти згорання суміші зі спирту та повітря.

В результаті відбувається зростання потужності двигуна на 10-15%. Двигуни гоночних автомобілів, які працюють на метанолі з вищим октановим числом, аніж бензин, мають ступінь стискування, що перевищує 15:1. При цьому, у звичайного карбюраторного ДВЗ ступінь стискування неетильованого бензину у більшості випадків не перевищує 10,1:1. Метанол можуть використовувати як у класичних двигунах внутрішнього згорання, так і в спеціальних паливних елементах для здобуття електрики.

Найбільше метанолу споживає азіатський регіон, на який припадає близько 42,3% від загальносвітового вжитку. При цьому,

21,4% з них споживається Китаєм. Далі йдуть країни Північної Америки — 25,1% та Європа — 20,5%. На долю Близького Сходу припадає 6,1%, а країни СНД споживають 5,4% від вироблюваного у світі метанолу. Провідними виробниками є США (31,8%), Близький Схід (21,9%) та Азія (24,5%). Країни-члени СНД виробляють близько 9,4%.

#### **1.4. Опис технологічного процесу**

Внаслідок зниження температури синтезу при низькому тиску процес здійснюється в умовах, близьких до рівноваги, що дозволяє збільшити продуктивність агрегату.

Конструкція та виготовлення реакторів для проведення процесу за низького тиску простіше завдяки більш м'яким умовам синтезу. Застосовують реактори як шахтні, і трубчасті. У реакторах для синтезу при низькому тиску особливу увагу приділяють теплозніманню, так як каталізатори, що містять мідь, порівняно з цинк-хромовими значно більш чутливі до коливань температури. У шахтних реакторах температурний режим регулюють байпасами, холодний газ вводять через розподільні пристрої. У трубчастих каталізатор знаходиться в трубках, що охолоджуються киплячою водою. Температуру каталізатора підтримують постійною по всій довжині реактора регуляторами тиску, причому перегрів каталізатора виключені. Вивантаження відпрацьованого каталізатора протікає теж досить просто – зняттям колосникових ґрат. Діаметр реакторів досягає 6 м за довжини 8-16 м.

Процес виробництва метанолу при низькому тиску включає ті самі стадії, але має деякі особливості(рис.1.3.). Розглянемо схему

агрегату синтезу метанолу при 5 МПа із газу потужністю 300 тис. т/год.

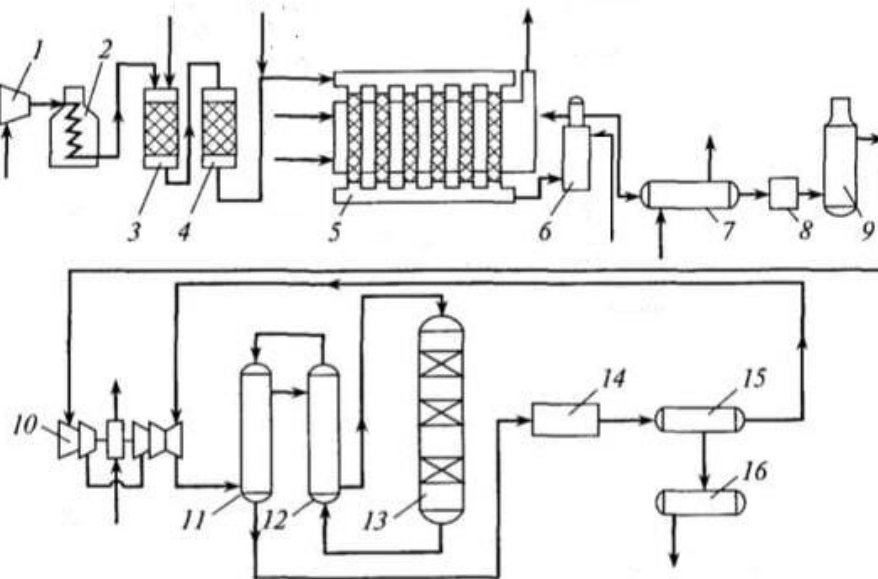


Рис. 1.3. Схема виробництва метанолу при тиску 5 МПа:

1,10 – турбокомпресори; 2 – підігрівач природного газу; 3 – реактор гідрування сірчистих сполук; 4 – адсорбер; 5 – трубчатий конвертор; 6 – котел-утилізатор; 7,11,13 – теплообмінники; 8, 14 – холодильники-конденсатори; 9,15 – сепаратори; 13 – колона синтезу; 14 – збірник

Природний газ стискається турбокомпресором 1 до тиску 3 МПа, підігрівається в підігрівачі 2 спалюваним в міжтрубному просторі природним газом і направляєть на сіркоочищення в реактор гідрування сірчистих сполук 3 і 4 в адсорбер, де послідовно здійснюється каталітичне гідрування органічних сполук оксиду цинку. Після цього газ змішується з водяною парю та діоксидом вуглецю у співвідношенні  $CH_4 : H_2O :$

$CO_2 = 1 : 3,3 : 0,24$ . Суміш направляють трубчатий конвертор 5, де на нікелевому каталізаторі відбувається пароуглекислотная конверсія при 850-870°C. Теплоту, необхідну для конверсії,

отримують при спалюванні природного газу спеціальних пальників. Конвертований газ надходить у котел-утилізатор 6, де охолоджується до 280-290°C. Потім теплоту газу використовують у теплообміннику 7 для підігріву поживної води, що спрямовується в котел-утилізатор. Пройшовши повітряний холодильник-конденсатор 8 та сепаратор 9, газ охолоджується до 35-40°C. Охолоджений конвертований газ стискають до 5 МПа в турбокомпресорі 10, змішують з циркуляційним газом і подають теплообмінники 11, 12, де він нагрівається до 220-230°C. Нагріта газова суміш надходить у колону синтезу 13, температурний режим якої регулюють холодними байпасами. Теплоту реакційної суміші використовують у теплообмінниках 11, 12 для підігріву газу, що надходить в колону. Далі газова суміш охолоджується в холодильнику-конденсаторі 14, метанол-сирець, що сконденсувався, відокремлюється в сепараторі 15 і надходить у збірник 16. Циркуляційний газ повертають на синтез, продувні і танкові гази передають на спалювання в трубчасту піч.

## **РОЗДІЛ 2. ВИБІР СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОЗРОБКА СИСТЕМИ СИГНАЛІЗАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ І АЛГОРИТМІВ УПРАВЛІННЯ**

### **2.1. Вибір каналів контролю та управління**

У процесі синтезу метанолу необхідно автоматизувати такі апарати: «Турбокомпресор для стискання природного газу», «Трубчатий конвертор», «Котел-утилізатор», «Холодильник-конденсатор», «Турбокомпресор для стискання газу», «Колона синтезу».

Детально розглянемо «Турбокомпресор для стискання природного газу»: в турбокомпресорі відбувається стискання природного газу до 3 МПа. Показником ефективності є тиск на виході з турбокомпресора. Мета управління — підтримання показника ефективності на заданому значенні. Найбільш сильним обурюючим впливом є зміни тиску по каналу подачі газу у турбокомпресор. Для досягнення мети управління і нормального ведення технологічного процесу регулюють подачу пари в турбокомпресор. Організована сигналізація по нижній межі тиску на виході з турбокомпресора.

Контур регулювання тиску на виході з турбокомпресора працює наступним чином: У ролі датчика виступає перетворювач тиску «ПД-100ДИ» позиція «1а», який вмонтовується в трубопровід. У разі зміни тиску, сигнал у вигляді 4-20мА надходить на мікропроцесорний регулятор «ТРМ-101» позиція «1б» з цифровою індикацією. Сигнал, який надходить з перетворювача, порівнюється

з заданими значеннями, та, у разі виходу параметра за задані значення, на виході регулятора утворюється сигнал 0-10В, який надходить на електропривід позиція «1в», який в свою чергу здійснює регулювання за допомогою клапана «H6 S BELIMO», який в залежності від сигналу відкриє або закриє клапан подачі пари.

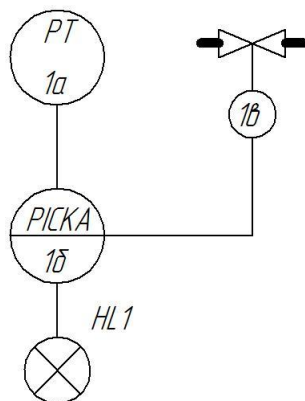


Рис. 2.1. Контур регулювання тиску; 1б — мікропроцесорний регулятор TRM101; 1в — електричний виконуючий механізм «H6 S BELIMO»; HL1 — сигнальна лампа

**Трубчатий конвертер.** Даний апарат підігрівання газової суміші і нагрівання її до заданої температури. Показником ефективності є температура газу на виході з конвертора. Мета управління — підтримання показника ефективності на заданому значенні. Найбільш сильний обурюючий вплив надходить по каналу подачі суміші газів. Для досягнення мети управління і нормального ведення технологічного процесу регулюється подача природного газу на спалювання.

Контур регулювання температури в трубчатому конверторі працює наступним чином: у ролі датчика температури виступає термоелектричний перетворювач ДТПК (ХА) позиція «2а», який вмонтовується в апарат. У разі зміни температури, сигнал у вигляді різниці потенціалів надходить на мікропроцесорний регулятор «TRM-101» позиція «2б» з цифровою індикацією. Сигнал, який

надходить з перетворювача, порівнюється з заданими значеннями, та, у разі виходу параметра за задані значення, на виході регулятора утворюється сигнал 0-10В, який надходить на електропривід позиція «2в», який в свою чергу здійснює регулювання подачі газу за допомогою клапана «H6 S BELIMO».

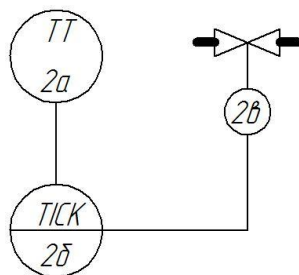


Рис. 2.2. Контур регулювання температури: 2а — Перетворювач температури ДТПК (ХА); 2б — мікропроцесорний регулятор TRM101; 2в — електричний виконуючий механізм «H6 S BELIMO»

**Котел-утилізатор.** Даний апарат охолодження газової суміші до заданої температури. Показником ефективності є температура газу на виході з котла. Мета управління — підтримання показника ефективності на заданому значенні. Найбільш сильний обурюючий вплив надходить по каналу подачі суміші газів. Для досягнення мети управління і нормального ведення технологічного процесу регулюється подача конденсату. Контур регулювання температури в котлі працює аналогічно до контура регулювання температури в трубчатому конвертері.

**Холодильник-конденсатор.** Даний апарат охолодження газової суміші до заданої температури. Показником ефективності є температура газу в холодильнику. Мета управління — підтримання показника ефективності на заданому значенні. Найбільш сильний обурюючий вплив надходить по каналу подачі суміші газів. Для досягнення мети управління і нормального ведення технологічного процесу регулюється подача холодної води. Контур регулювання



температури в холодильнику працює аналогічно до контура регулювання температури в трубчатому конвертері.

**Колона синтезу.** Даний апарат призначений для синтезу метанолу. Показником ефективності є температура газу в колоні. Мета управління — підтримання показника ефективності на заданому значенні. Найбільш сильний обурюючий вплив надходить по каналу подачі суміші газів. Для досягнення мети управління і нормального ведення технологічного процесу регулюється подача газу через байпас. Контур регулювання температури в колоні працює аналогічно до контура регулювання температури в трубчатому конвертері.

**Турбокомпресор для стискання газу.** В турбокомпресорі відбувається стискання природного газу до 5 МПа. Показником ефективності є тиск на виході з турбокомпресора. Мета управління — підтримання показника ефективності на заданому значенні. Найбільш сильним обурюючим впливом є зміни тиску по каналу подачі газу у турбокомпресор. Для досягнення мети управління і нормального ведення технологічного процесу регулюють подачу пари в турбокомпресор. Організована сигналізація по нижній межі тиску на виході з турбокомпресора. Контур регулювання тиску на виході з турбокомпресора працює аналогічно.

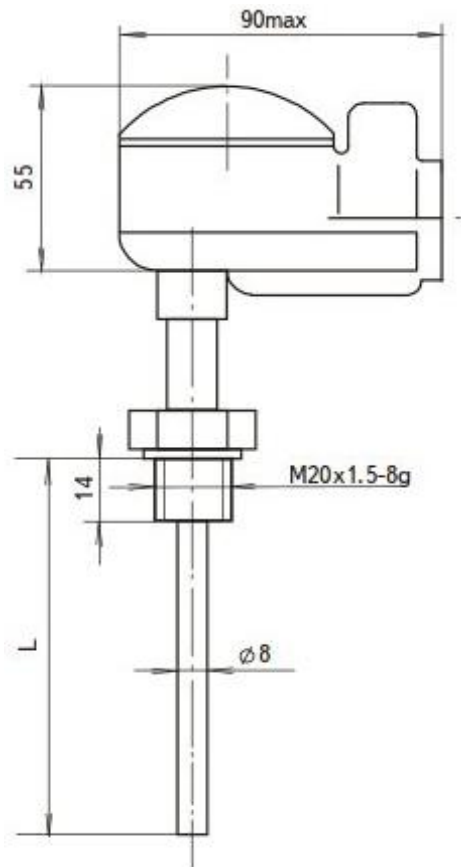


Рис. 2.3. Термопара ДТПК (ХА)

**Термопара ДТПК (ХА).** Призначена для вимірювання температури рідких і газоподібних середовищ у вибухонебезпечних зонах, в яких можуть міститися аміак, азотоводнева суміш, вуглекислий газ, природний або конвертований газ і його компоненти, а також агресивні домішки сірководню ( $H_2S$ ) і сірчистого ангідриду ( $SO_2$ ). Термопри мають вибухобезпечний рівень вибухозахисту "вибухонепроникна оболонка", маркування вибухозахисту "IEXdIICT6" знак "X" і високий ступінь механічної міцності.

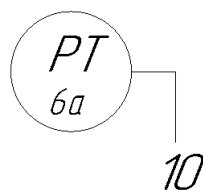


Рис.2.4. Контур регулювання тиску:

ба — перетворювач тиску

**Перетворювач тиску.** Перетворювачі тиску призначені для безперервного перетворення надлишкового тиску хімічно неагресивних по відношенню до матеріалу датчика рідких або газоподібних середовищ уніфікований сигнал 4 ... 20 мА постійного струму. Моделі датчиків стійкі до гідроударів.

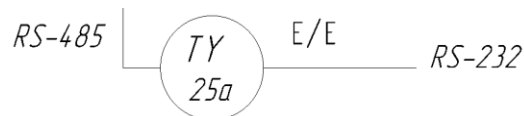


Рис.2.5. Контур перетворювача інтерфейсу:

25а — перетворювач інтерфейсу

**Перетворювач інтерфейсу.** Призначений для взаємного перетворення сигналів інтерфейсів. Дозволяє підмикати до промислової інформаційної мережі RS-485 пристрій з інтерфейсом RS-232 (персональний комп'ютер, зчитувач штрих-кодів, електроні ваги тощо).

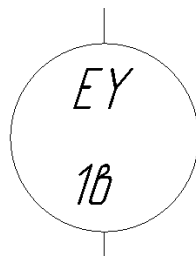


Рис.2.6. Контур частотного перетворювача:

1в — перетворювач частот

**Частотний перетворювач.** Електронний пристрій для зміни частоти електричного струму (напруги). Він перетворює вхідну синусоїдну напругу фіксованої частоти та амплітуди у вихідну імпульсну напругу змінної частоти та амплітуди за допомогою ШІМ (широтно-імпульсної модуляції). Таким чином, плавно збільшуючи частоту і амплітуду напруги, що подається на статорні обмотки

асинхронного електродвигуна, можна забезпечити плавне регулювання швидкості обертання валу електродвигуна.

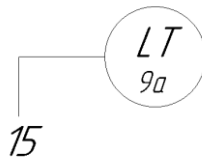


Рис.2.7. Контур поплавкового рівнеміра

**Поплавковий рівнемір.** Пристрій для вимірювання рівня рідини в будь-якій ємності. Такий вимір можна виконати у різний спосіб, у тому числі за допомогою поплавця. Саме так працює поплавковий рівнемір - поплавець частково занурюється в рідину, та його положення заміряється. Якщо рідина однорідна, то він занурюватиметься однаково незалежно від місцезнаходження і не вноситиме у вимірювання похибку.

## 2.2. Вибір засобів автоматизації

При виборі засобів автоматизації важливо враховувати значну кількість критеріїв. Необхідно підбирати обладнання як за кількістю, так і за типажем та якістю. При цьому, варто враховувати і вартість обладнання. Необхідно забезпечити раціональне використання технологічного обладнання. Першим кроком до цього стане обґрунтований вибір необхідного обладнання в тій кількості, якої буде достатньо для оптимізації та нормального функціонування підприємства.

Неправильний вибір обладнання може призвести до значного економічного збитку, а іноді й до аварій на виробництві. Через це вибір обладнання є найважливішим етапом розробки та реалізації заходів щодо автоматизації на кожному підприємстві.

Основними критеріями при виборі обладнання мають слугувати:

**1) ефективність та економічність:** при впровадженні у виробництво сучасних технологій підвищується його ефективність. Якість, обсяг і економічність виробленого продукту — основні критерії ефективності будь-якого виробничого процесу на сьогоднішній день. Для одночасного поліпшення ефективності за всіма цими показниками і, особливо, економічного параметра за рахунок скорочення годин роботи персоналу, витрат сировини і чисельного зменшення комунікаційних систем, необхідні якісні рішення на рівні програмного і апаратного забезпечення;

**2) надійність і безпека:** під надійністю й безпекою автоматизованої системи управління розуміється її захищеність від випадкових або навмисних втручань у нормальний процес її функціонування;

**3) вартість:** звісно, важливим критерієм є вартість приладів, щоб при оптимальних витратах можна було отримати якісне обладнання.

**Вимірювач-регулятор мікропроцесорний** спільно з первинними перетворювачами (датчиками) призначений для вимірювання та регулювання температури і інших фізичних параметрів, значення яких зовнішнім датчиком може бути перетворено в сигнали постійного струму або напруги. Прилад може бути використаний для вимірювання і регулювання технологічних параметрів в різних галузях промисловості, комунального і сільського господарства.



Рис. 2.8. Вимірювач-регулятор мікропроцесорний ОВЕН ТРМ-101

Прилади дозволяють здійснювати наступні функції:

- вимірювання температури і/або інших фізичних величин (тиску, вологості, витрати, рівня і т.п.) за допомогою стандартних датчиків, що підключаються до універсальних входів приладу;
- регулювання вимірюваних величин по двохпозиційному (Релейному) закону;
- регулювання вимірюваної величини по трьохпозиційному закону;
- обчислення квадратного кореня з значень уніфікованих вхідних сигналів;
- відображення поточного вимірювання на вбудованому світлодіодному цифровому індикаторі;
- формування вихідного струму 4...20мА або напруги 0...10В для реєстрації або управління виконавчими механізмами по ПІД-закону (при використанні в якості вихідного пристрою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП)).



Рис. 2.9. Вимірювач-регулятор мікропроцесорний Термодат-14Е5

Ми порівняли декілька моделей вимірювачей-регуляторів, а саме, ОВЕН ТРМ-101 та Термодат-14Е5 й прийшли до висновку, що вони здатні ефективно, надійно та безпечно виконувати свою роботу. При цьому, по вартості більш оптимальною є модель ОВЕН ТРМ-101, яку й рекомендуємо обрати для автоматизації виробництва метанолу.



Рис. 2.10. Клапан регулюючий Н6 S BELIMO

**Клапан регулюючий.** Застосовуються для зміни витрати робочого середовища, що проходить через певну ділянку системи або трубопроводу, з метою управління технологічним процесом, трубопроводах для рідких і газоподібних середовищ, нейтральних до матеріалів деталей, що стикаються з середовищем.

Технічні характеристики регулюючого клапана Н6 S BELIMO:

- робоче середовище: вода і пар;
- приєднання до трубопроводу: фланцеве;
- матеріал корпусу: чавун;
- герметичність затвора: по класу "А", "В" ГОСТ 9544-93;
- кліматичне виконання: У1 по ГОСТ 15150-69;
- робочий тиск: 16 кгс / см<sup>2</sup>;
- спосіб управління: електропривід.





Рис. 2.11. Електропривід регулюючого клапана H6 S BELIMO  
Технічні характеристики регулюючого клапана RV 111/F  
COMAR LDM:

- робоче середовище: вода і стиснене повітря;
- приєднання до трубопроводу: фланцеве;
- матеріал корпусу: чавун;
- регулюючий орган: сідельний клапан;
- регулювання: пропорційне;
- робочий тиск: 16 кгс / см<sup>2</sup>;
- спосіб управління: електропривід.



Рис. 2.12. Клапан регулюючий RV 111/F COMAR LDM

Проаналізувавши параметри та вартість регулюючих клапанів, ми дійшли висновку, що функціонал обох клапанів є на належному рівні, як і їх надійність. При цьому, по вартості вигідно вирізняється саме модель H6 S BELIMO.

**Перетворювачі тиску.** Ми розглянули декілька типів моделей загальнопромислових перетворювачей тиску, а саме, ОВЕН ПД100-ДИ-111/171/181 та ОВЕН ПД100И-111/171/181.

Датчики ПД100-ДИ призначені для безперервного перетворення надлишкового тиску хімічно неагресивних за відношенням до матеріалу датчика рідких або газоподібних середовищ в уніфікований сигнал 4...20 мА постійного струму. Ці моделі датчиків стійкі до гідроударів. Моделі 111, 171, 181 датчиків ПД100-ДИ оснащено сенсором з вимірювальною мембраною із нержавіючої сталі AISI 316L, що забезпечує високу точність вимірювань. Сенсор виконано за технологією КНК та являє собою тензорезистивний міст, який нанесено на монокристал кремнію методом дифузії. Матеріал штуцера - нержавіюча сталь AISI 304S. Електричний роз'єм датчиків відповідає стандарту EN175301-803 (DIN43650 A).



Рис. 2.13. Перетворювач тиску ПД-100ДИ

Моделі 111, 171 та 181 датчиків ПД100-ДИ призначені для визначення надлишкового тиску контрольованого середовища та

застосовуються у системах автоматичного керування та регулювання технологічних процесів у пневмо- та гідросистемах холодного та гарячого водопостачання (ХВП і ГВП), теплопостачання, автоматиці водоканалів, котельних, теплових пунктів (ІТП, ЦТП), об'єктів газового господарства, системах насосного обладнання тощо.

Основні характеристики перетворювача тиску ОВЕН ПД100-ДИ (моделі 111, 171, 181). Робоче середовище: хімічно нейтральні за відношенням до нержавіючої сталі AISI 316L (AISI 304S) газу, пара та слабоагресивні рідини. Тип тиску, що вимірюється: надлишковий. Основна зведена похибка: 0,5; 1,0 % ВМВ. Перетворення надлишкового тиску в уніфікований сигнал 4...20 мА постійного струму. Верхня межа тиску, що вимірюється (ВМВ): 16 кПа...40 МПа. Перевантажувальна здатність: не менше 200% ВМВ. Ступінь захисту корпусу та електророз'єму датчика IP65. Завадостійкість відповідає вимогам до обладнання класу А за ГОСТ Р МЭК 61326-1-2014.



Рис. 2.14. Перетворювач тиску ПД-100И

Датчики ОВЕН ПД100И призначені для безперервного вимірювання абсолютного, вакуумметричного та надлишково-вакуумметричного типів тиску та перетворення одержаних значень в уніфікований сигнал 4...20 мА постійного струму.

Датчики ОВЕН ПД100И моделей 111, 171, 181 призначені для безперервного вимірювання абсолютного, вакуумметричного та надлишково-вакуумметричного типів тиску та перетворення одержаних значень в уніфікований сигнал 4...20 мА постійного струму.

Основні області застосування ПД100И – системи обліку тепла в ЖКГ, а також нафтогазова галузь промисловості.

За рахунок компактності датчики цього типу можливо розміщувати у важкодоступних місцях, а також використовувати в системах, де критичні габарити перетворювача.

У датчику ПД100И застосовується високостабільний сенсор, який уварюється в штуцер із застосуванням лазерного зварювання. Для додаткового захисту від зовнішніх впливів плата перетворювача покривається неполімеризуючим компаундом.

Датчики ПД100И моделей 111, 171, 181 приєднуються до системи за допомогою штуцера з різью M20×1,5, G1/2, G1/4 відповідно.

Основні характеристики: верхня межа тиску, що вимірюється (ВМВ): 0,025...4,0 МПа; перевантажувальна здатність: не менше 200 % ВМВ; габаритний розмір за висотою: не більше 92 мм; ступінь захисту корпусу та електророз'єму перетворювача: IP65.

Проаналізувавши параметри декількох типів датчиків, ми прийшли до висновку, що обидва з них є ефективними та надійними. При тому, що перетворювач тиску ОВЕН ПД100-ДИ й має трошки менший функціонал, але він є більш ніж достатнім для виробництва метилового спирту й ціна є більш оптимальною.

**Перетворювач частоти** – це електронний пристрій, який призначений для зміни частоти електричного струму (напруги). Він перетворює вхідну синусоїдну напругу фіксованої частоти та амплітуди у вихідну імпульсну напругу змінної частоти та амплітуди за допомогою ШІМ (широтно-імпульсної модуляції).

Ми розглянули моделі перетворювачів частоти, які пропонують на ринку України й прийшли до висновку, що найбільш ефективним для виробництва метанолу та найбільш оптимальним за ціною є модель ОВЕН ПЧВ3.



Рис. 2.15. Перетворювач частоти векторний ОВЕН ПЧВ3

Перетворювач частоти ПЧВ3 має розширені можливості, менші масогабаритні характеристики, збільшений діапазон потужностей. Крім стандартного виконання ПЧВ3 зі ступенем захисту корпусу IP20, нова лінійка містить 17 модифікацій частотних перетворювачів у діапазоні потужностей від 0,75 до 90 кВт зі ступенем захисту IP54. Такі перетворювачі частоти можуть бути встановлені у приміщеннях з підвищеним пило-та вологоутворенням без використання шафи керування, що значно спрощує монтаж обладнання, не вимагає

створення системи примусової вентиляції та зменшує загальні витрати на систему автоматизації.

Нова лінійка ПЧВЗ має розширені можливості, менші масогабаритні характеристики, збільшений діапазон потужностей.

Функціонал лінійки ПЧВЗ заточений під найбільш популярні HVAC-застосування, забезпечуючи у тому числі:

- "сплячий" режим, який необхідний у системах зі змінним розбором рідини для насосів;
- спеціалізований протипожежний режим, який потрібний для частотних перетворювачів, які контролюють вентиляцію у сучасному приміщенні.

***Витратоміри газу з струмовим виходом.*** Проаналізувавши доступні на ринку моделі витратомірів газу, ми прийшли до висновку, що найнадійнішим та найкращим у відношенні “ціна – якість” є постійний витратомір газу для небезпечних ділянок FLUXUS G831.



Рис. 2.16. Постійний витратомір газу для небезпечних ділянок  
FLUXUS G831

Витратомір газу FLUXUS G831 – це високопродуктивний ультразвуковий датчик спеціально розроблений для вимірювання динамічних потоків в обробній промисловості. У цьому складному, універсальному та точному витратомірі газу є все, що потрібно – можливості більш швидкої обробки, розширена діагностика, протоколи двонаправленого зв'язку, цифрові виходи та технологічні входи. Модель FLUXUS G831 відрізняється простотою установки, можливістю модернізації, точністю та визначною продуктивністю.

Витратомір газу FLUXUS G831 – це високопродуктивний ультразвуковий датчик на витратомірі, спеціально розроблений для вимірювання динамічних потоків у вибухонебезпечних зонах (сертифікований за ATEX, IECEx, зона 1 і FM клас I, розділ 1) і ідеально підходить для вимогливих промислових і технологічних додатків нафтової та хімічної промисловості.

Вибухозахисний корпус, компактна конструкція та корозійна стійкість ATEX, IECEx Zone 1 – FM Class 1. Div. Перетворювачі з рейтингом 1, встановлені у міцних монтажних пристроях, придатних для використання за призначенням, гарантують механічну стабільність системи та постійний контакт із поверхнею труби.

Витратомір газу FLUXUS G831 дозволяє вимірювати робочу (брутто) об'ємну витрату газу у двох напрямках. Додавання іскробезпечних технологічних входів для тиску та температури в місці розташування витратоміра означає, що витратоміри FLUXUS G831 тепер можуть забезпечувати стандартні об'ємні витрати та масові витрати.

Завдяки двом вимірювальним каналам FLUXUS G831 пристрій ідеально підходить для складних точок вимірювання, і на нього не впливають щільність, в'язкість і склад газу, а також температура і тиск.

**Поплавковий рівнемір.** Поплавкові рівнеміри можуть використовуватись для регулювання рівня рідини в резервуарі. Поплавок з'єднаний через важельний пристрій з клапаном, який регулює постачання рідини з трубопроводу до резервуару. З підвищенням рівня рідини поплавок піднімається і діє на клапан, який зменшує постачання рідини.

Поплавкові магнітні рівнеміри ОВЕН ПДУ – це пристрої, які призначені для моніторингу поточного рівня рідини у резервуарі та перетворення виміряного значення в уніфікований вихідний сигнал 4...20 мА постійного струму.

Рівнеміри можуть застосовуватись у системах контролю рівня рідини у різних резервуарах, у тому числі тих, що знаходяться під тиском. Робочим середовищем для датчиків цього типу є хімічно нейтральні та агресивні рідини, що не проявляють корозійну активність до матеріалу датчика (нержавіючої сталі 12Х18Н10Т) та не утворюють летучих вибухонебезпечних сполук.



Рис. 2.17. Поплавкові датчики рівня з аналоговим вихідним сигналом 4...20 мА ОВЕН ПДУ-И

Характеристики ОВЕН ПДУ-И:

- довжина штоку: від 250 мм до 4000 мм (кратність 250 мм);



- дискретність перетворення: 5 або 10 мм;
- діапазон робочих температур вимірювального середовища: – 60...+125 °С;
- діапазон робочого тиску вимірювального середовища: від вакууму до 1 МПа (для датчиків з приєднанням CLAMP) і до 2 МПа (для датчиків з різьбовим і фланцевим приєднанням);
- густина робочого середовища:  $\geq 0,65$  г/см<sup>3</sup>.

**Термопара ДТПК.** Перетворювачі термоелектричні ОВЕН ДТПХхх5М-И оснащені вбудованим високоточним нормувальним перетворювачем та призначені для безперервного вимірювання температури та перетворення температури рідких, газоподібних, твердих та сипких середовищ в уніфікований вихідний сигнал 4...20 мА постійного струму.



Рис. 2.18. Термопари ОВЕН ДТПХхх5М-И

Перетворювачі термоелектричні ОВЕН ДТПХхх5М-И оснащені вбудованим високоточним нормувальним перетворювачем та призначені для безперервного вимірювання температури та

перетворення температури рідких, газоподібних, твердих та сипких середовищ в уніфікований вихідний сигнал 4...20 мА постійного струму.

ОВЕН ДТПХхх5М-И виготовляються на базі термопар ДТПЛхх5 (ХК), ДТПКхх5 (ХА), ДТПНхх5 (НН) та складаються із первинного перетворювача (термозонду) та вимірювального перетворювача ОВЕН НПТ-3, який встановлюється у головку датчика температури.

Високоточний мікропроцесорний нормувальний перетворювач ОВЕН НПТ-3, що входить до складу виробу, дозволяє встановлювати через USB-інтерфейс межі діапазону вимірювання температури (у межах діапазону вимірювання для відповідного термозонду).

Термопари з уніфікованим струмовим виходом 4...20 мА застосовуються для побудови ліній зв'язку довжиною до 800 м, які є завадозахищеними та надійними. Надійність ліній зв'язку зумовлюється мінімальним впливом електромагнітних завад на струмові сигнали. Крім того, застосування термопар зі струмовим виходом дає змогу використовувати для підмикання звичайні двожильні провідники замість термокомпенсаційних.

***Перетворювач інтерфейсу.*** Ми зупинили свій вибір на моделі ОВЕН АС3-М. Автоматичний перетворювач інтерфейсів RS-232/RS-485, так як при високій надійності та ефективності він має прийнятну вартість.

Адаптер інтерфейсів ОВЕН АС3-М призначений для взаємного перетворення сигналів інтерфейсів RS-232 та RS-485. Дозволяє підмикати до промислової інформаційної мережі RS-485 пристрій з інтерфейсом RS-232 (персональний комп'ютер, зчитувач штрих-кодів, електроні ваги тощо.)



Рис. 2.19. ОВЕН АС3-М. Автоматичний перетворювач інтерфейсів RS-232/RS-485

Основними функціями адаптеру інтерфейсів є:

- взаємне перетворення сигналів інтерфейсів RS-485 та RS-232;
- автоматичне визначення напрямку передавання даних;
- гальванічна ізоляція входів між собою та від живильної мережі;
- напруга живлення =24 В або ~220 В;
- вбудовані узгоджувальні резистори.

*На основі наших критеріїв виберемо такі засоби автоматизації:*

*Вимірювач-регулятор мікропроцесорний ОВЕН ТРМ-101 (Рис. 2.8.)*

*Клапан регулюючий Н6 S BELIMO (Рис. 2.10)*

*Електропривід регулюючого клапана Н6 S BELIMO (Рис. 2.11.)*

*Перетворювач тиску ПД-100ДИ (Рис. 2.13.)*

*Перетворювач частоти векторний ОВЕН ПЧВ3 (Рис. 2.15.)*

*Постійний витратомір газу для небезпечних ділянок FLUXUS  
G831(Рис. 2.16.)*

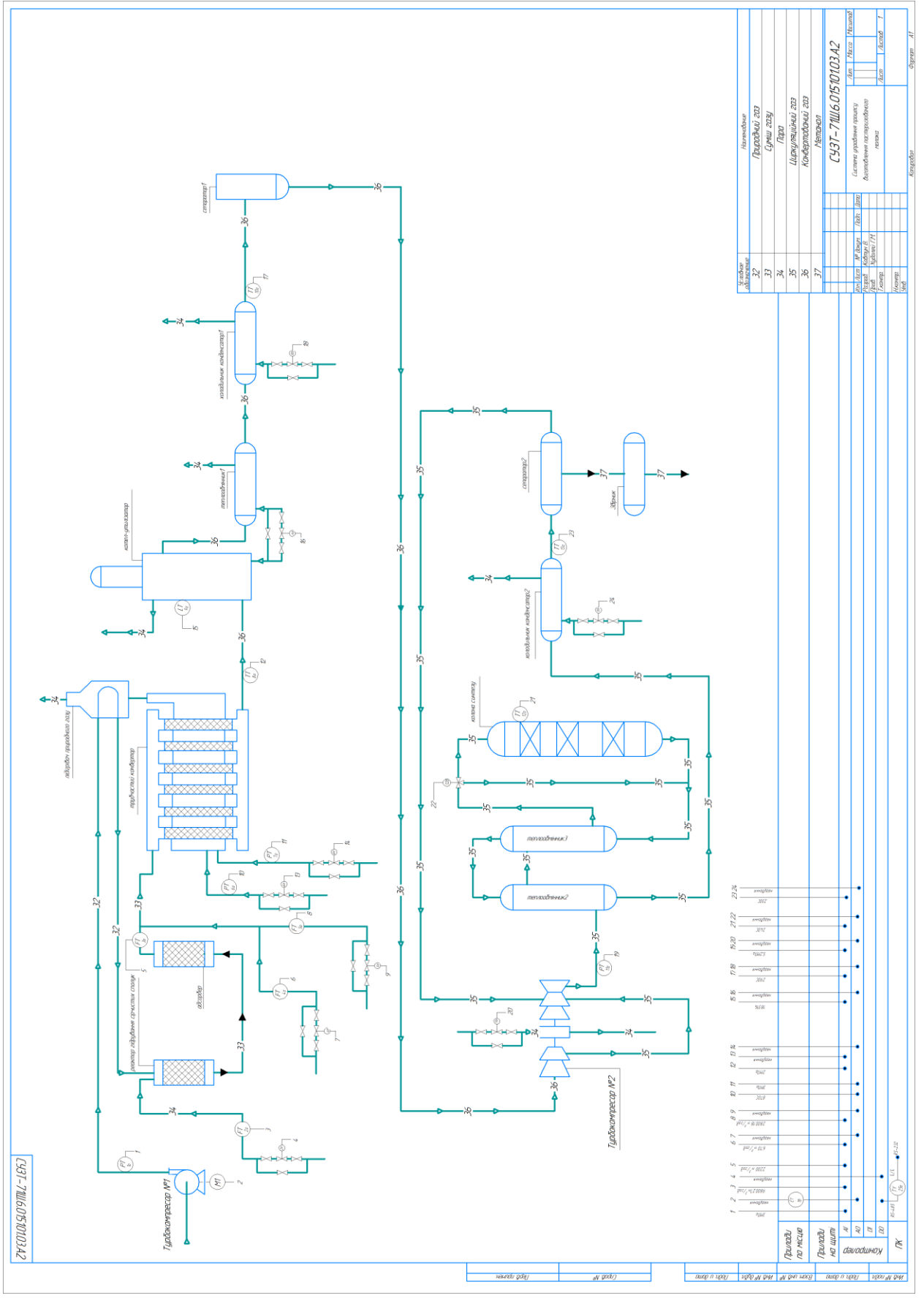
*Поплавкові датчики рівня з аналоговим вихідним сигналом 4...20  
мА ОВЕН ПДУ-И(Рис. 2.17.)*

*Термомари ОВЕН ДТПХхх5М-И(Рис. 2.18.)*

*ОВЕН АС3-М. Автоматичний перетворювач інтерфейсів RS-  
232/RS-485.(Рис. 2.19)*

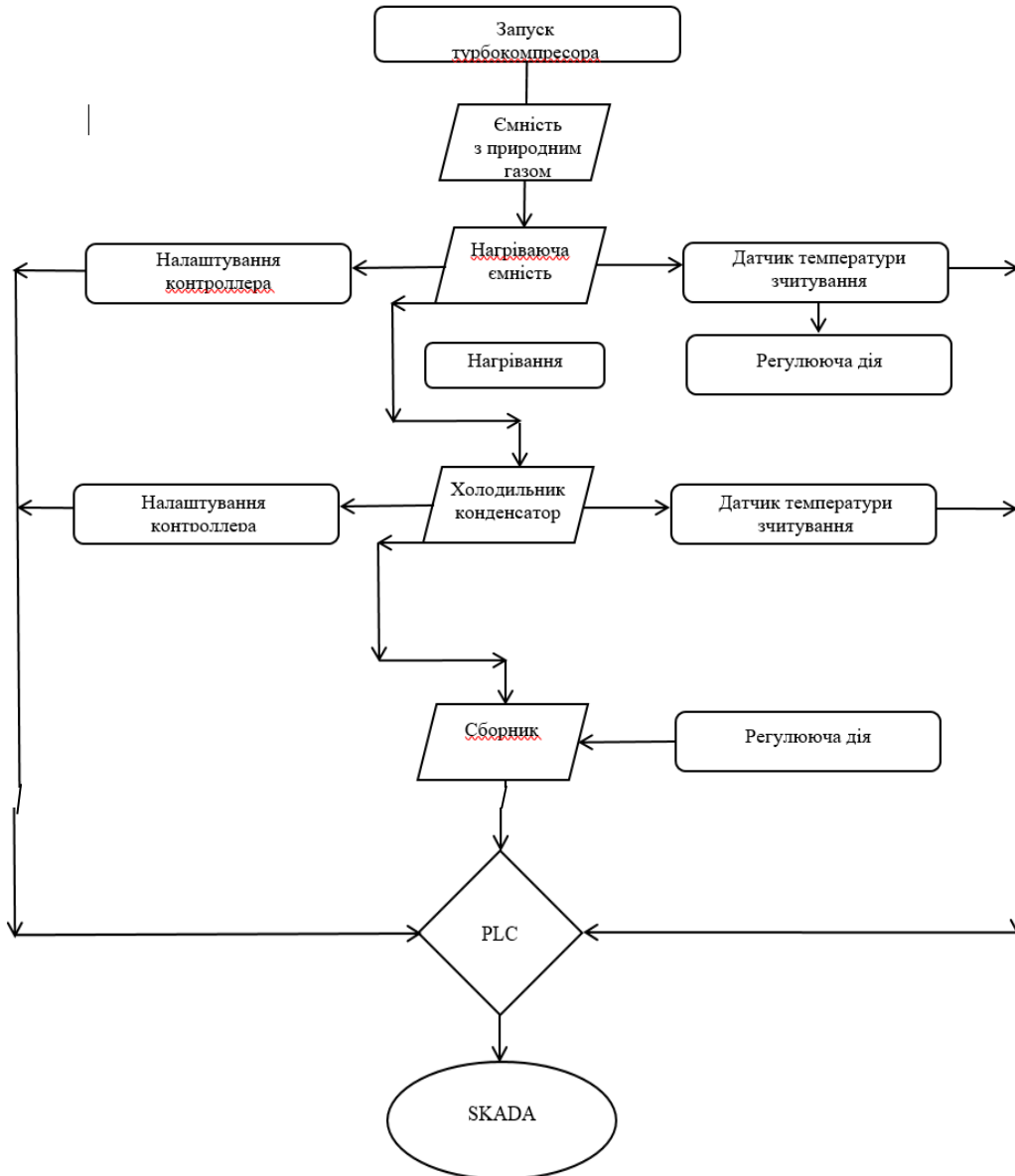
### **2.3. Функціональна схема**

На основі вибраних нами контурів і засобів автоматизації робимо функціональну схему



## 2.4. Алгоритм роботи системи управління

На основі даних схеми будуюмо алгоритм роботи системи управління



## РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 1 Отримання математичного опису об'єкту управління аналітичним методом

#### 1.1 Отримаємо передаточну функцію об'єкту управління

(1-1)

$$W(s) = \frac{R(s)}{Q(s)} = K \cdot e^{-\tau \cdot s} \cdot \frac{b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \dots + 1}{a_n \cdot s^n + a_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + 1}$$

На основі апроксимації кривої розгону з використанням методу Сімою. З ординат ненормованої кривої розгону формуємо вектор-рядок початкових даних

$y := (18 \ 22 \ 27 \ 31 \ 40 \ 49 \ 60 \ 72 \ 89 \ 95 \ 110 \ 121 \ 134 \ 140 \ 157 \ 162 \ 170 \ 178 \ 181 \ 197 \ 200)$

Тепер отримаємо криву розгону з урахуванням зовнішнього

впливу  $Q1 = 0.17$ ,  $\Delta t := 5$ .

Для цього вектор-рядок початкових даних ділимо на  $Q1 = 0.17$  і отримуємо вектор-рядок  $y2$

$y2 := (105.882 \ 129.412 \ 158.824 \ 182.353 \ 235.294 \ 288.235 \ 352.941 \ 423.529 \ 523.529 \ 558.824 \ 647.059 \ 711.765 \ 788.235 \ 823.529 \ 923.529 \ 952.941 \ 1000 \ 1047.05 \ 1064.705 \ 1158.823 \ 1176.000)$

Потім від отриманих значень віднімаємо 105.5 і отримуємо вектор-рядок  $y4$

$y4 := (0 \ 23.53 \ 52.942 \ 76.471 \ 129.412 \ 182.353 \ 247.059 \ 317.647 \ 417.647 \ 452.942 \ 541.177 \ 605.883 \ 682.353 \ 717.647 \ 817.647 \ 847.059 \ 894.118 \ 941.176 \ 958.823 \ 1052.941 \ 1070.588)$

1.2 Транспонуємо вектор-рядок у вектор-стовпчик, нормуємо отриману криву розгону (ділимо усі значення на усталене значення кривої  $y_{уст} = 1070.588$ ) та визначаємо розмірність вектору  $N$  за допомогою математичного пакету MathCad

$$h := \left( \frac{y4}{1070.588} \right)^T$$

$$N := \text{length}(h) - 1$$

$$N=20$$

За умовою крок розрахунку за часом  $\Delta t := 5$ . Встановлюємо значення коефіцієнта  $S_0 := 0$  для забезпечення можливості автоматизації розрахунків.

Запускаємо функцію в MathCad, яка описує підінтегральний вираз рівняння для знаходження коефіцієнтів  $S_k$  в загальному вигляді в дискретній формі:

$$u(S, i, k) := (1 - h_i) \cdot \sum_{j=0}^{k-1} \left[ S_{k-1-j} \cdot \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^j}{j!} + \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^{k-1}}{(k-1)!} \right], \quad (1-2)$$

де  $k$  — номер обчислюваного коефіцієнта;

$i$  — номер кроку розрахунку за часом.

1.2 За допомогою пакету MathCad проводимо розрахунок перших коефіцієнтів  $S$

$$u(S, i, k) := (1 - h_i) \cdot \sum_{j=0}^{k-1} \left[ S_{k-1-j} \cdot \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^j}{j!} + \frac{(-1 \cdot i \cdot \Delta t)^{k-1}}{(k-1)!} \right],$$

$$S_k := \Delta t \cdot \sum_{i=1}^{N-1} \left( u(S, i, k) + \frac{u(S, 0, k) + u(S, N, k)}{2} \right). \quad (1-3)$$

Отримуємо такі результати розрахунку

$$S1=9.599$$

$$S2=59.831$$

$$S3=-5.61$$

$$S4=-17.35$$

$$S5=324$$

Оскільки коефіцієнт  $S3$  від'ємний, то для розрахунків обмежимося першими двома, які відповідають коефіцієнтам передаточної функції  $a1$  та  $a2$



$$a1 = S1 = 9.599$$

$$a1 = s2 = 59.828$$

За зовнішнім виглядом кривої розгону знаходимо, що при  $t=0$   $y=0$  та  $dy/dt < 0$ , а значить [202.2]

$$n-m=1.$$

Уданому випадку  $m=2$ , а отже,  $n=1$ .

За умовою  $\tau = 5$  отже, передаточна функція може бути представлена у вигляді

$$W(s) := \frac{1070.588e^{-5s}}{59.828s^2 + (9.599 \cdot s + 1)} \quad (1-4)$$

Побудуємо перехідну характеристику передаточної функції  $h(t)$  та криву розгону нормованого вектора-рядку  $y(t)$  (див. Рис. 1)

$$W(s) := \frac{1070.588e^{-5s}}{59.828s^2 + (9.599 \cdot s + 1)}$$

$$h(t) := \frac{W(s)}{s} \Big|_{\text{float,3}}^{\text{invlaplace, s}} \rightarrow 1.07 \cdot 10^3 \cdot \Phi(t-5) - 1.07 \cdot 10^3 \cdot \Phi(t-5) \cdot \exp(-8.02 \cdot 10^{-2} \cdot t + .401) \cdot \cos(.101 \cdot t - .507) - 847 \cdot \Phi(t-5) \cdot \exp(-8.02 \cdot 10^{-2} \cdot t + .401) \cdot \sin(.101 \cdot t - .507)$$

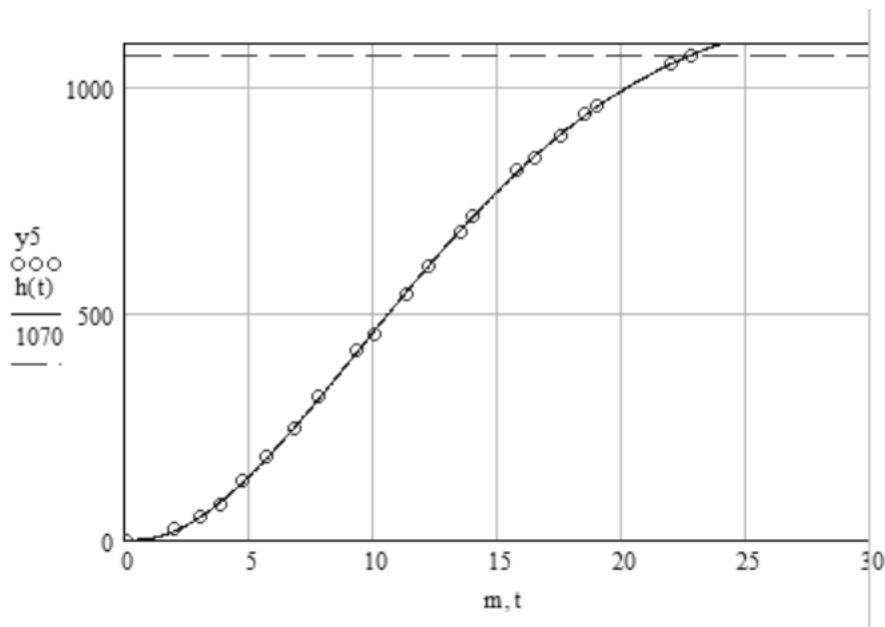


Рисунок 1 — Перехідна та розгінна характеристика

## 2 Аналіз стійкості САУ без наявності регулятора (корегуючого пристрою) за критерієм Гурвіца

### 2.1 Аналіз стійкості САУ без наявності регулятора

Замкнемо об'єкт керування одиничним зворотним зв'язком [2]

(2-1)

$$W_3(s) = \frac{1070.588e^{-5s}}{59.828s^2 + (9.599)s + 1}$$

Характеристичний поліном системи (вираз у знаменнику)

$$D(s) = 59.828s^2 + 9.599s + 1071.58$$

Необхідна умова стійкості системи виконується, так як усі коефіцієнти її характеристичного полінома (2-2) додатні (однакові). Проте ця умова є водночас і достатньою для стійкості системи, так як дана система є системою 2-го порядку. Отже, система стійка.

Для підтвердження цього виконаємо перевірку системи на стійкість за допомогою критерія Гурвіца.

Задля полегшення процесу складення головного визначника Гурвіца випишемо коефіцієнти характеристичного рівняння у порядку зростання, починаючи з нульового індексу:  $a_1=9.599; a_2=59.828$ .

Складаємо головний визначник Гурвіца [1], індекс якого дорівнює старшій ступені характеристичного полінома досліджуваної системи:

(2-3)

$$\Delta_2 = \begin{pmatrix} a_1 & 0 \\ a_0 & a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 9.599 & 0 \\ 59.828 & 1 \end{pmatrix}$$

Розрахуємо визначник Гурвіца (головний і нижчих рядків):

$$\Delta_1 = a_1 = 9.599 > 0$$

$$\Delta_2 = a_2 \cdot \Delta_1 = 9.599 \cdot 1070.588 > 0$$

Так як усі визначники додатні і співпадають за знаком із знаком коефіцієнта  $a_0=59.828>0$ , то родимо остаточний висновок про стійкість досліджуваної системи.

## 2.2 Побудова перехідної характеристики замкнутої системи та визначення основних показників якості

Для побудови перехідної характеристики замкнутої системи управління подамо на її вхід одиничний ступінчатий вплив, зображення якого

(2-4)

Так як передаточна функція визначається як відношення зображень по Лапласу вихідного сигналу до вхідного, тобто  $W_3(s)=Y(s)/U(s)$ , то можемо записати

$$Y(s)=W_3(s)U(s)$$

За допомогою математичного пакету MathCad будемо графіц перехідної функції, який поданий на рисунку 2.

$$Y(s) := \frac{1070.588e^{-0.7s}}{59.828s^2 + (9.599 \cdot s + 1)}$$

$$\frac{Y(s)}{s} \left| \begin{array}{l} \text{invlaplace, s} \\ \text{float, 3} \end{array} \right. \rightarrow 1.07 \cdot 10^3 \cdot \Phi(t - .700) - 1.07 \cdot 10^3 \cdot \Phi(t - .700) \cdot \exp(-8.02 \cdot 10^{-2} \cdot t + 5.62 \cdot 10^{-2}) \cdot \cos(.101 \cdot t - 7.10 \cdot 10^{-2}) - 847 \cdot \Phi(t - .700) \cdot \exp(-8.02 \cdot 10^{-2} \cdot t + 5.62 \cdot 10^{-2}) \cdot \sin(.101 \cdot t - 7.10 \cdot 10^{-2})$$

$$h(t) := 1.07 \cdot 10^3 \cdot \Phi(t - .700) - 1.07 \cdot 10^3 \cdot \Phi(t - .700) \cdot \exp(-8.02 \cdot 10^{-2} \cdot t + 5.62 \cdot 10^{-2}) \cdot \cos(.101 \cdot t - 7.10 \cdot 10^{-2}) - 847 \cdot \Phi(t - .700) \cdot \exp(-8.02 \cdot 10^{-2} \cdot t + 5.62 \cdot 10^{-2}) \cdot \sin(.101 \cdot t - 7.10 \cdot 10^{-2})$$

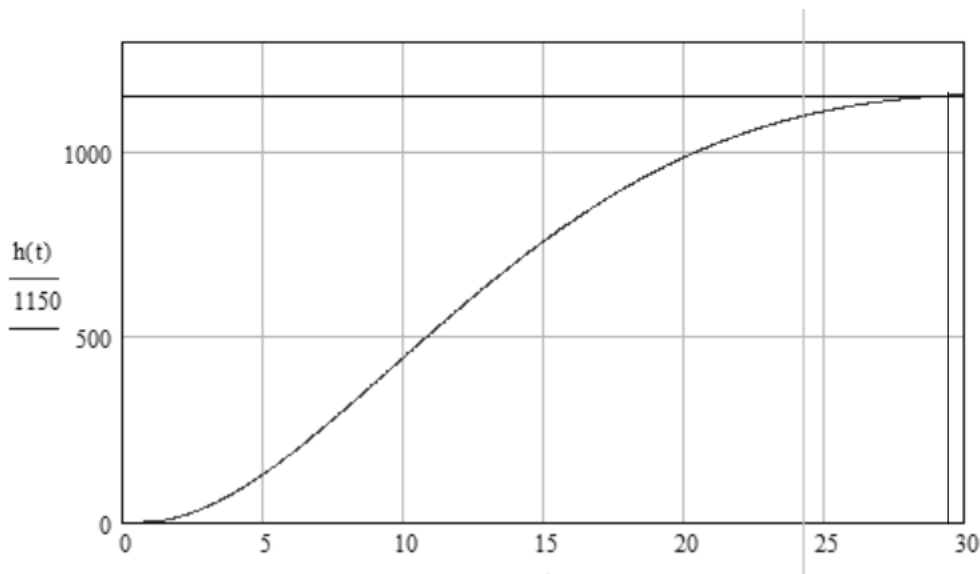


Рисунок 2 — Перехідна характеристика замкнутої системи

За графіком (рис. 1) знаходимо основні показники якості перехідного процесу:

- а) перерегулювання відсутнє, так як процес монотонний;
- б) час перехідного процесу  $t_p = 29.9$  хв.

### 3 Синтез системи управління по каналу завдання методом розширених частотних характеристик (методом Дуднікова)

Отримуємо вираз для розширеної АФЧХ об'єкту керування  $W_0(\omega)$  в залежності від значення показника степені коливання  $m = 0.336$ , який пов'язаний з заданим показником степені загасання перехідного процесу  $\psi = 0.9$  виразом  $\psi = 1 - e^{-2\pi m}$ , частоти  $\omega$  та параметрів об'єкту управління. Для цього виконуємо формальну заміну  $p = \omega \cdot (j - m)$

Одержуємо передаточну функцію і використовуючи математичний пакет MathCad отримуємо лінію рівного загасання

$$W(s) := \frac{1070.588 \cdot e^{-5s}}{59.828 \cdot s^2 + (9.599) \cdot s + 1}$$

$$WF(m, \omega) := 1070.588 \cdot \frac{\exp[-5 \cdot \omega \cdot (i - m)]}{59.828 \cdot \omega^2 \cdot (i - m)^2 + 9.599 \cdot \omega \cdot (i - m) + 1}$$

$$RW(m, \omega) := \operatorname{Re}\left(\frac{1}{WF(m, \omega)}\right) IW(m, \omega) := \operatorname{Im}\left(\frac{1}{WF(m, \omega)}\right)$$

$$K0(m, \omega) := (m^2 + 1) \cdot IW(m, \omega) \cdot \omega \quad K1(m, \omega) := m \cdot IW(m, \omega) - RW(m, \omega)$$

(3-8a)

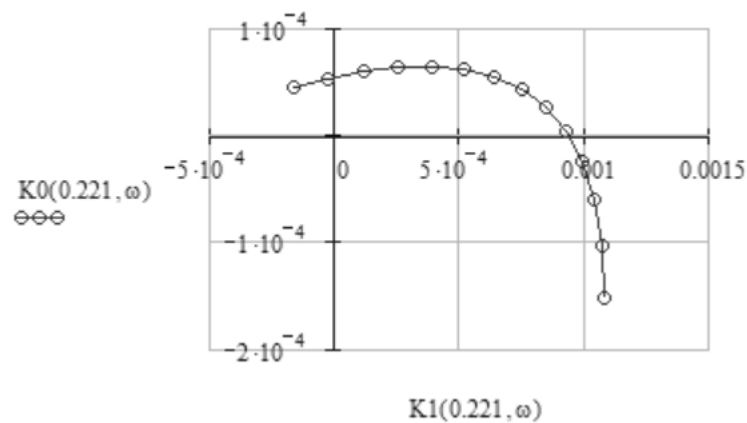


Рисунок 3 — Лінія рівного згасання при

Використовуючи вираз передаточної функції скоригованої розімкненої системи (3-10), одержуємо перехідну характеристику замкненої системи (рис. 4) за методикою, що була використана у п.2. Для цього використаємо математичний пакет MathCad.

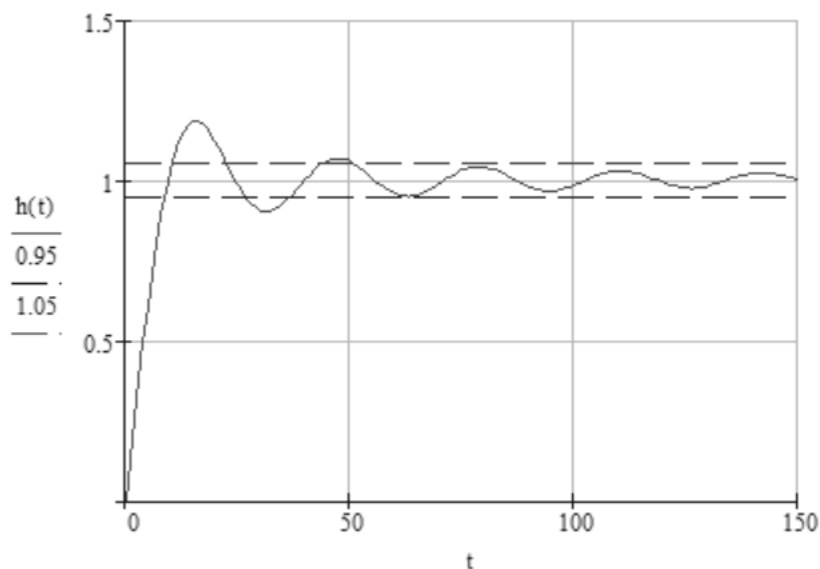


Рисунок 4 — Перехідний процес у скоригованій системі

Так як характеристика (рис. 4) мають однаковий вигляд, то відповідно будуть мати однакові показники якості.

Аналізуючи перехідний процес, одержуємо такі показники якості:

а) час перехідного процесу

$$t_p=49$$

б) перерегулювання

$$\sigma = \frac{h_{\max}(t) - h_{\text{уст}}(t)}{h_{\text{уст}}(t)} = \frac{1.2 - 1}{1} \cdot 100\% = 20\%$$

(3-11)

в) ступінь затухання

$$\psi = 1 - \frac{0.01}{0.2} = 0.95$$

(3-12)

де — перше максимальне відхилення, — третє максимальне відхилення.

За формулою (3-12) розраховуємо

Інтенсивність затухання  $0.75 < \psi \leq 0.95$ , що вважається задовільним.

#### **4 Розрахунок параметрів настроювання стандартного регулятора**

##### **4.1 Апроксимація передаточної функції об'єкту управління аперіодичною ланкою першого порядку з запізненням**

Передаточна функція об'єкту управління (1-1) і його експериментальна перехідна характеристика вказують на те, що об'єкт є статичним із самовирівнюванням, а отже, його можна апроксимувати передаточною функцією вигляду

(4-1)

де,  $K_{ou}$  —  $T_{ou}$  коефіцієнт підсилення та стала часу об'єкта управління;  $\tau$  — чисте транспортне запізнення.

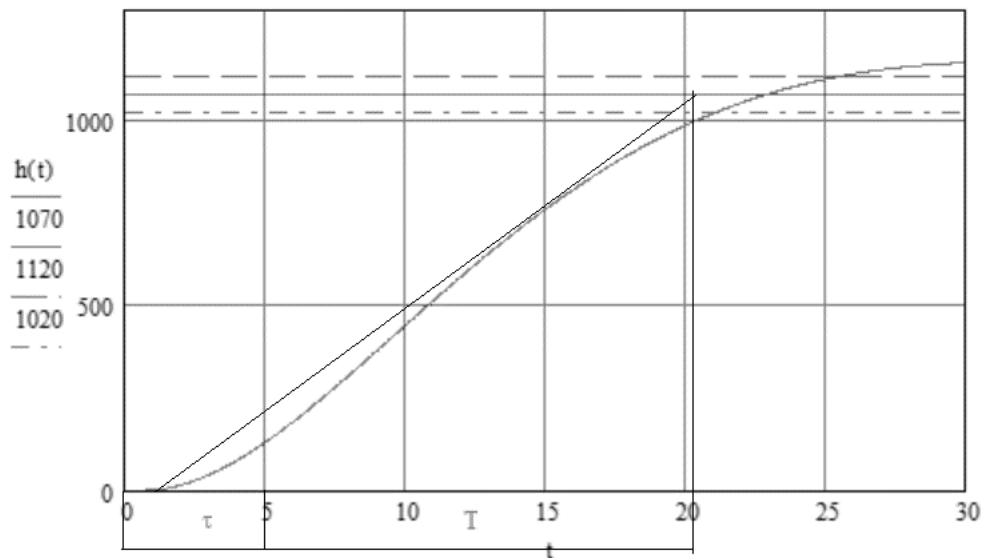


Рисунок 5 — Перехідна характеристика об'єкту управління

За графіком експериментальної кривої розгону визначаємо вищезгадані сталі

$$K_{ou} := 1070$$

$$T_{ou} := 20.1$$

$$\tau := 2$$

Таким чином, апроксимована передаточна функція об'єкту управління має вигляд

(4-2)

#### 4.2 Знаходження параметрів настроювань стандартного регулятора формульним методом

Використовуючи формульний метод [3], знаходимо параметри настроювань стандартного ПІД-регулятора. Для цього застосовуємо формули настроювань ПІД-регулятора для статичного об'єкту, типовий процес регулювання — аперіодичний.

$$k_p := \frac{0.95}{\left(\frac{K_{ou}}{T_{ou}}\right)}$$

$$T_i := 2.4 \cdot 5$$

$$T_d := 0.4 \cdot 5$$
(4-3)

Таким чином, отримуємо наступну передаточну функцію регулятора

$$W_p(s) := k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right)$$
(4-4)

#### 4.3 Визначення перехідної функції замкнутої системи та побудова перехідної характеристики

Використовуючи визначені в п.4.2 параметри регулятора і отриману в п.4.1 апроксимовану передаточну функцію об'єкту управління (4-2), знаходимо передаточну функцію замкнутої системи. Одержуємо перехідну характеристику замкненої системи (рис. 6). Для цього використаємо математичний пакет MathCad.

$$W(s) := \frac{1070 \cdot e^{-2 \cdot s}}{18.1 \cdot s + 1} \quad W_{rg}(s) := k_1 + \frac{k_0}{s}$$

$$W_p(s) := W_{rg}(s) \cdot W(s) \quad W_z(s) := \frac{W_p(s)}{1 + W_p(s)}$$

$$h(t) := 0.637 \int_0^{0.2} \operatorname{Re}(W_z(j \cdot \omega)) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot t)}{\omega} d\omega$$



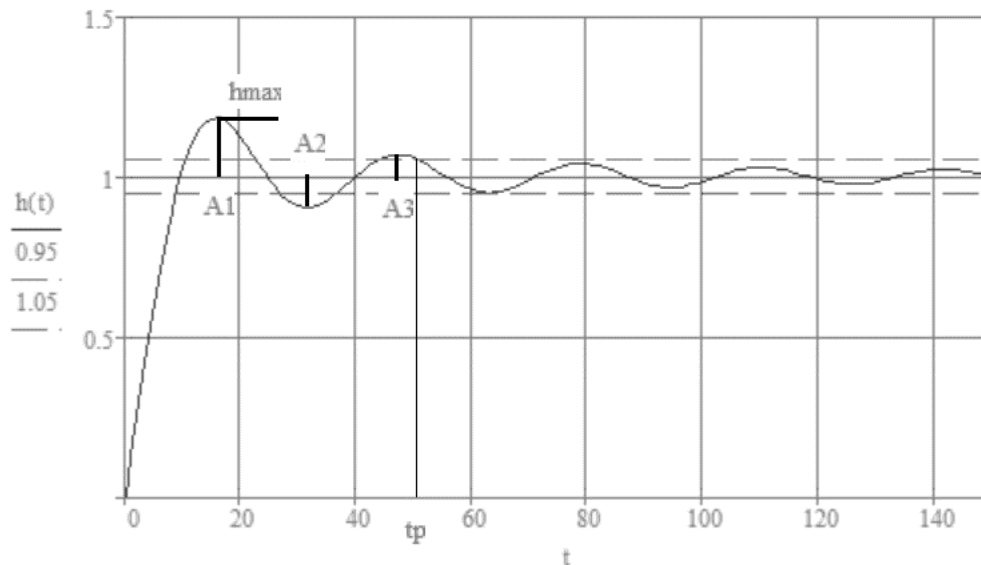


Рисунок 6 — Перехідна характеристика замкненої системи управління з ПІД-регулятором

За графіком (рис. 6) знаходимо основні показники якості перехідного процесу:

а) перерегулювання згідно із (3-11)

$$\sigma := \frac{1.21 - 1}{1} \quad \sigma = 0.21$$

б) час перехідного процесу

$$t_p = 48$$

в) ступінь затухання згідно (3-12)

$$\psi := 1 - \frac{0.01}{0.21} \quad \psi = 0.952$$

Інтенсивність затухання не лежить в межах, що вважається незадовільним, тому що формульний метод є наближеним методом настроювання регуляторів.

Таблиця 2 — Порівняльний аналіз

Метод Дуднікова	Формульний метод
$\sigma = 20$	$\sigma = 0.21$
$t_p = 49$	$t_p = 48$
$\psi = 0.95$	$\psi = 0.952$

## ВИСНОВОК

Я зробив висновок в виді аналізу сильних і слабких сторін

Зовнішня середа  Внутрішня середа	<b>Можливості</b> 1. Відсутність конкурентів 2. Гарна репутація серед споживачів так і у простого населення 3. Підтримка з боку державних органів влади 4. Наявність стабільного ринку збуту	<b>Загрози</b> 1. Зміна цін на газ 2. Зміна законодавства 3. Природні катастрофи 4. Зміна політики місцевих органів влади 5. Переманювання фахівців іншими підприємствами
<b>Сильні сторони</b> 1. Досвід розробки складних малих та середніх родовищ природного газу. 2. Високий професіоналізм співробітників 3. Чітка організаційна структура 4. Високотехнологічне обладнання	1. Збільшення обсягів видобутку природного газу 2. Підтримка репутації соціально відповідальної компанії 3. Географічне розширення ринку збуту 4. Поліпшення корпоративної культури	1. Спеціальні програми з навчання співробітників та підвищення кваліфікації 2. Купівля нових родовищ 3. Підтримка місцевої влади з фінансування соціальних проектів
<b>Слабкі сторони</b> 1. Великий кредитний портфель 2. Немає коштів на освоєння та розвиток нових родовищ 3. Нечітке розподілення обов'язків співробітників	1. Встановлення чіткої системи обов'язків всередині компанії 2. Встановлення та підтримка тісного взаємодії між вищим рівнем управління та співробітниками 3. Проведення опитувань у співробітників компанії	1. Залучення молодих фахівців 2. Проведення реорганізації в компанії 3. Залучення інвестицій. 4. Вивчення та опрацювання всіх можливих кризових ситуацій

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Технологія синтетичного метанолу(Автор(и): Караваєв М. М., Леонов В. Є., Попов І. Г., Шепелєв Є. Т.)

Комплекс отримання синтез-газу(автор: Ю.А. Загашвілі)

Загальна хімічна технологія(автор: А.Е. Кутепов)

Сайти: <https://owen.ua> <https://uk.wikipedia.org/wiki/Метанол>