

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»**  
(повне найменування вищого навчального закладу)

**ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

**Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації**  
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Віталій ЦАПАР  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р

**Дипломний проект**  
на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Технічні та програмні засоби автоматизації»

з спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: Автоматизація процесу виробництва вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену

Виконав: студент 4 курсу, групи ЛА-03  
(шифр групи)

Виборний Віталій Арсенійович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ ст.вик. Жураковський Я.Ю.

( посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант Охорона праці к.т.н., ст. викл. Ковтун А. І.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що в цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Київ - 2024 року

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет  
(повна назва)

Кафедра технічних та програмних засобів автоматизації  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(код і назва)

Освітньо - професійна програма «Технічні та програмні засоби автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

—  
\_\_\_\_\_ Віталій ЦАПАР  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проект студенту  
Виборному Віталію Арсенійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація процесу виробництва вінілхлориду  
гідрохлоруванням ацетилену \_\_\_\_\_ ,

керівник проекту \_\_\_\_\_ ст.вик. Жураковський Я.Ю. \_\_\_\_\_ ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «17» травня 2024 р. № 1993-с

2. Термін подання студентом проекту \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проекту система регулювання має забезпечувати показники  
якості процесу керування на рівні встановленого значення часу перехідного  
процесу не більше 25 с та перерегулювання не більше 10%; параметри процесу, що  
регулюються: витрата холодоагенту на вході, температура газу на виході з  
холодильника; система аварійного захисту, що забезпечує автоматичну зупинку  
електродвигунів у випадку аварійної ситуації.

4. Зміст пояснювальної записки аналіз процесу виробництва вінілхлориду  
гідрохлоруванням ацетилену; автоматизація виробництва вінілхлориду  
гідрохлоруванням ацетилену; математичне моделювання апарату охолодження  
газу; синтез та налаштування системи регулювання процесом охолодження газу;

імітаційна модель об'єкту керування процесу охолодження газу з ПІД-регулятором; охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) схема автоматизації процесу виробництва вінілхлориду; принципова електрична схема системи аварійного захисту і технологічного блокування електромоторів; монтажно-комутаційна схема системи аварійного захисту електромотору.

6. Консультанти розділів проекту\*

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|---|----------------|------------------|
|               |   | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці | Ковтун А. І., ст. викл.                   |                |                  |
|               |   |                |                  |
|               |   |                |                  |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту                           | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|---|---------------------------------|----------|
| 1     | Аналіз процесу виготовлення вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену | 15.03.2024                      |          |
| 2     | Розробка схеми автоматизації  | 22.04.2024                      |          |
| 3     | Математичне моделювання статичного режиму холодильника              | 06.05.2024                      |          |
| 4     | Математичне моделювання динамічного режиму холодильника             | 13.05.2024                      |          |
| 5     | Синтез та налаштування системи керування                            | 24.05.2024                      |          |
| 6     | Створення імітаційної моделі керування процесу охолодження          | 27.05.2024                      |          |
| 7     | Розробка креслень   | 03.06.2024                      |          |
| 8     | Охорона праці   | 05.06.2024                      |          |

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Виборний В.А.

Керівник проекту

\_\_\_\_\_

(підпис)

Жураковський Я.Ю.

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

## РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається з пояснювальної записки обсягом 86 сторінок, 34 рисунка, 3 таблиці, 3 креслення, 2 додатка й 12 літературних джерел.

Метою проекту є підвищення ефективності виробництва вінілхлориду за рахунок автоматизації ключових процесів. Робота охоплює аналіз хімічних і фізичних властивостей вінілхлориду, розробку автоматизованих систем контролю та безпеки, математичне моделювання процесів охолодження газу та налаштування систем регулювання.

У проекті розроблені схема автоматизації процесу виробництва вінілхлориду, принципова електрична схема системи аварійного захисту і технологічного блокування електромоторів, монтажньо-комутаційна схема системи аварійного захисту електромотору.

У виробництві вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену основним апаратом, що забезпечує якість вихідної речовини є холодильник охолодження газу ацетилену. Для даного апарату виконано моделювання статичного та динамічного режимів роботи й побудовані відповідні статистичні й динамічні характеристики за каналом керування.

Для технологічного об'єкта керування процесу охолодження газу виконано синтез та налаштування системи регулювання у підпрограмі *SisoTool* та *PID Tuner* програмного середовища *MatLab*, методом М-кола програмним засобом *MathCAD*.

Створено імітаційну модель холодильника з ПІД-регулятором у програмному середовищі *LabVIEW*.

Надані рекомендації щодо зменшення факторів небезпеки на виробничому підприємстві з охорони праці, що відповідають чинному законодавству України.

*Ключові слова:* вінілхлорид, гідрохлорування, ацетилен, процес охолодження, схема автоматизації, об'єкт керування, математична модель, холодильник, перехідна характеристика, імітаційна модель, аварійний захист.

## ABSTRACT

The dissertation consists of an explanatory note of 86 pages, 34 figures, 3 tables, 3 drawings, 2 appendices, and 12 references.

The project's objective is to enhance the efficiency of vinyl chloride production through the automation of key processes. The work encompasses the analysis of the chemical and physical properties of vinyl chloride, the development of automated control and safety systems, mathematical modeling of gas cooling processes, and adjustment of control systems.

The project has developed an automation scheme for the vinyl chloride production process, a principal electrical diagram for the emergency protection system and technological locking of electric motors, and a wiring and connection diagram for the motor's emergency protection system.

In producing vinyl chloride by acetylene hydrochlorination, the main apparatus ensuring the quality of the final substance is the acetylene gas cooling refrigerator. For this apparatus, static and dynamic operating modes were simulated, and corresponding static and dynamic characteristics were constructed along the control channel.

For the technological control object of the gas cooling process, a control system was synthesized and adjusted using the SisoTool and PID Tuner sub-programs in the MatLab software environment, and by the M-circle method using the MatCAD software tool.

A simulation model of the refrigerator with a PID controller was created in the LabView software environment.

Recommendations have been provided to reduce hazard factors at the production enterprise following current Ukrainian labor protection legislation.

*Keywords:* vinyl chloride, hydrochlorination, acetylene, cooling process, automation scheme, control object, mathematical model, refrigerator, transient response, simulation model, emergency protection.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП .....  | 8  |
| 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ВІНІЛХЛОРИДУ<br>ГІДРОХЛОРУВАННЯМ АЦЕТИЛЕНУ .....                       | 9  |
| 1.1. Фізико-хімічні властивості вінілхлориду .....   | 9  |
| 1.2. Технології виробництва вінілхлориду .....   | 11 |
| 1.3. Опис схеми виробництва вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену.....                             | 13 |
| 1.4. Постановка задачі автоматизації у виробництві вінілхлориду<br>гідрохлоруванням ацетилену .....  | 16 |
| 2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ВІНІЛХЛОРИДУ<br>ГІДРОХЛОРУВАННЯМ АЦЕТИЛЕНУ .....                        | 17 |
| 2.1. Аналіз основних параметрів контролю та сигналізації.....  | 17 |
| 2.2. Опис схеми автоматизації виробництва.....   | 18 |
| 2.3. Розробка схеми аварійного захисту електродвигунів технологічних процесів<br>виробництва.....    | 25 |
| 2.4. Розробка монтажно-комутаційної схеми з'єднань системи аварійного<br>захисту електродвигуна..... | 27 |
| 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТУ ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЗУ ..   | 31 |
| 3.1. Дослідження параметричної схеми холодильника .....  | 31 |
| 3.2. Моделювання статичного режиму роботи об'єкту керування.....                                     | 34 |
| 3.3. Моделювання динамічного режиму роботи об'єкта керування .....                                   | 36 |
| 4. СИНТЕЗ ТА НАЛАШТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСОМ<br>ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЗУ .....                     | 40 |
| 4.1. Налаштування параметрів системи регулювання в підпрограмі PID Tuner .                           | 40 |
| 4.2. Налаштування параметрів системи регулювання в підпрограмі Sisotool .....                        | 45 |
| 4.3. Налаштування параметрів системи регулювання методом М-коло .....                                | 50 |
| 5. ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ<br>ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЗУ З ПІД-РЕГУЛЯТОРОМ .....          | 53 |
| 6. ОХОРОНА ПРАЦІ.....  | 58 |
| 6.1. Повітря робочої зони.....   | 59 |

|                |                     |                 |              |            |  |  |             |                |
|----------------|---------------------|-----------------|--------------|------------|--|--|-------------|----------------|
|                |                     |                 |              |            | <i>ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ</i>                       |  |             |                |
| <i>Зм</i>      | <i>Арк</i>          | <i>№ докум.</i> | <i>Підпи</i> | <i>Дат</i> | Автоматизація процесу<br>виробництва<br>вінілхлориду | <i>Літ.</i>                                  | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| <i>Розроб.</i> | <i>Виборний</i>     |                 |              |            |  |  | 2           | 31             |
| <i>Перев.</i>  | <i>Жураковськ</i>   |                 |              |            |  | НТУУ<br>«КПІ ім. Ігоря<br>Сікорського», ІХФ, |             |                |
| <i>Н.</i>      |                     |                 |              |            |  |  |             |                |
| <i>Затв.</i>   | <i>Жураковський</i> | <i>Н.Ю.</i>     |              |            |  |  |             |                |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 6.2. Електронбезпека .....   | 60 |
| 6.3. Пожежна небезпека ..... | 61 |
| 6.4. Вибухонебезпека .....   | 63 |
| 6.5. Шум від обладнання..... | 65 |
| 6.6. Освітлення.....         | 66 |
| ВИСНОВОК .....               | 68 |
| ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА.....     | 69 |
| ДОДАТОК 1 .....              | 72 |
| ДОДАТОК 2 .....              | 85 |

## ВСТУП

Вінілхлорид є безбарвним легкозаймистим та вибухонебезпечним газом. Вироби з вінілхлориду найпоширеніші у світі, що робить його одним з найважливіших продуктів органічного синтезу. Полівінілхлорид найбільш використовуваний матеріал, мономером якого є вінілхлорид. Продукція виготовлена з вінілхлориду має широкий спектр фізичних, механічних, хімічних та електричних властивостей, що робить його універсальним матеріалом для різних застосувань. Особливу увагу заслуговують властивості полівінілхлориду, що допомагають зменшувати його вплив на навколишнє середовище. ПВХ є одним з тих пластиків, які можуть бути успішно перероблені та повторно використані завдяки своїм термопластичним та механічним властивостям. Це значно знижує кількість відходів і дозволяє зберігати природні ресурси. З урахуванням зростаючої уваги до використання перероблюваних матеріалів тема «Автоматизація виробництва вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену» є актуальною за для зменшення екологічного впливу та збільшення життєвого циклу матеріалів.

В Україні виробництво вінілхлориду проходить у двох основних способах: гідрохлорування ацетилену та пряме хлорування етилену.

Метод гідрохлорування ацетилену є традиційним та застосовується з 1912 року. Враховуючи, що впровадження цього методу відбулося понад століття тому, запровадження систем автоматизації виробництва покликано на забезпечення підтримки ефективності, якості та безпеки, пов'язаної з особливостями виготовлення вінілхлориду.

|     |     |          |       |     |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП.ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |                        | 8   |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                        |     |

# 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ВІНІЛХЛОРИДУ ГІДРОХЛОРУВАННЯМ АЦЕТИЛЕНУ

## 1.1. Фізико-хімічні властивості вінілхлориду

Вінілхлорид - це органічна сполука, що має хімічну формулу  $C_2H_3Cl$  та входить до класу хлорорганічних сполук. При кімнатній температурі вінілхлорид є надзвичайно легкозаймистим та безбарвним газом із солодким запахом, проте в промисловості він найчастіше використовується у вигляді рідини. Вінілхлорид є основним хімічним продуктом і входить до двадцяти найбільших нафтохімічних продуктів у світовому виробництві.

Під тиском або при знижених температурах вінілхлорид перетворюється на рідину. Потенційно вибухонебезпечний газ при концентраціях від 3,6% до 33% вінілхлориду в повітрі. Прямий контакт з відкритим полум'ям або високоенергетичним джерелом тепла призведе до горіння. Вінілхлорид практично не розчиняється у воді.

Маючи високу реакційну здатність вінілхлорид може вступати в реакцію з окиснювачами та багатьма іншими органічними сполуками. Може полімеризуватися, вступаючи в реакції з іншими молекулами вінілхлориду для утворення довгих ланцюгів полівінілхлориду. Ця реакція є тепловою та може бути ініційована світлом або радикалами. До вінілхлориду часто додають інгібітори для запобігання полімеризації під час зберігання та транспортуванні на великі відстані. [9]

Вінілхлорид є летючою органічною сполукою. Він може легко перетворюватися з рідкого стану в газ при кімнатній температурі. Ця леткість вимагає особливих заходів обережності при зберіганні та транспортуванні, оскільки пари вінілхлориду можуть швидко утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям.

|     |     |          |       |     |  |  |  |  |                         |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|--|--|--|--|-------------------------|-----|
|     |     |          |       |     |  |  |  |  | ДП. ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |  |  |  |  |                         | 9   |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |  |  |  |  |                         |     |

Вінілхлорид важчий за повітря та має вищу щільність. У зв'язку з цим, вінілхлорид, будучи газоподібним при кімнатній температурі, має тенденцію осідати ближче до землі, ніж підніматися вгору. Це властивість важливо враховувати при його зберіганні та використанні, оскільки накопичення вінілхлориду в нижчих точках може призвести до небезпеки вибуху або отруєння при витоках.

Фізичні властивості вінілхлориду:

- Молекулярна маса: 62.5 г/моль
- Температура кипіння:  $-13^{\circ}\text{C}$
- Температура плавлення:  $-154^{\circ}\text{C}$
- Відносна щільність: 0.9 (рідина)
- Щільність (пара при  $15^{\circ}\text{C}$ ): 8 г/л
- Розчинність у воді, г/л при  $25^{\circ}\text{C}$ : 1.1 (слабка)
- Питома щільність пари: 2.2
- Тиск пари, при  $20^{\circ}\text{C}$ : 334 кПа
- Температура спалаху:  $-78^{\circ}\text{C}$
- Температура самозаймання:  $472^{\circ}\text{C}$
- Межа вибуховості, % обсягом повітря: 3.6-33 %. [7]

Молекулярна структура вінілхлориду зображена на рис. 1.1.

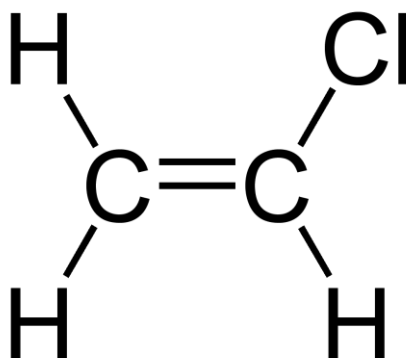


Рисунок 1.1 – Молекулярна структура вінілхлориду

Більша частина мономеру вінілхлориду використовується у виробництві полімеру ПВХ, які широко застосовуються в різних сферах, включаючи будівництво, споживчі товари, упаковку та ізоляції для дротів і кабелів.

У меншій мірі вінілхлорид використовується у виробництві меблевої та автомобільної оббивки, настінних покриттів; посуді та автомобільних деталях.

## 1.2. Технології виробництва вінілхлориду

Вінілхлорид вперше був отриманий за допомогою процесу дегідратації етилендихлориду (EDC) зі спиртовим їдким калієм. Однак перший ефективний промисловий процес був на основі гідрохлорування ацетилену. Цей процес використовувався до кінця 1940-х років майже виключно.

Традиційно ацетилен виробляють із карбіду кальцію. Висока енерговитратність цього методу для виробництва карбіду кальцію була значним недоліком, що стримував масове виробництво вінілхлориду цим шляхом. Проте, з початком 1950-х, коли стало доступно більше етилену, були розроблені комерційні процеси виробництва вінілхлориду з хлору та етилену через EDC, відомі як збалансований етиленовий шлях. Наразі цей метод становить понад 90% світового виробництва вінілхлориду. Процес було вдосконалено і масштаби виробництва значно зросли, але нові процеси, які могли б бути комерційно життєздатними, не були розроблені. Однак все ще важливо досліджувати альтернативні методи та визначити, чи можна їх ефективно використовувати.

Усі сучасні заводи, які виробляють вінілхлорид, використовують як сировину  $C_2$  вуглеводні, зокрема ацетилен, етилен або етан. Ці компоненти застосовуються в комерційних газофазних процесах. Виробництво з ацетилену є відносно простим одноетапним процесом, але ацетилен коштує

дорого. Наразі етан є найдешевшим з вуглеводнів, проте він не здатний перетворюватись на вінілхлорид з високою селективністю.

У процесі виробництва вінілхлориду з ацетилену застосовують каталізатор. Найчастіше використовується хлорид ртуті  $\text{HgCl}_2$ , який розміщують на активованому вугіллі. Технологічний процес включає очищення та сушіння вихідних газів, які потім змішуються на вході в реактор зі шаром активованого вугілля, покритим хлоридом ртуті. Зазвичай у процесі використовується невеликий надлишок  $\text{HCl}$  порівняно з стехіометрією. Конверсія ацетилену становить близько 99%, а  $\text{HCl}$  – 98%. Вибірковість до вінілхлориду висока – понад 98%, проте основна побічна реакція полягає у подальшому додаванні  $\text{HCl}$  до вінілхлориду, що призводить до утворення 1,1% – дихлоретану. Однак головна проблема полягає у використанні каталізатора хлориду ртуті, який є дуже летючою сполукою. [10]

Було проведено численні спроби розробити процес, що дозволить безпосередньо використовувати етан для виробництва вінілхлориду, через його відносно дешевизну. Основна проблема використання етану полягає в його молекулярній симетрії, що при додаванні хлору може призвести до виробництва широкого спектру продуктів. Найбільш обнадійливими є методи, засновані на оксихлоруванні за високої температури з використанням спеціальних каталізаторів для досягнення достойної селективності вінілхлориду та корисних побічних продуктів, таких як етилен, етилхлорид і EDC. Етилен можна додатково хлорувати до EDC та переробляти з етилхлоридом. Тим не менш, цей процес не перейшов за межі концептуальної стадії, частково через те, що конструкція реактора для оксихлорування ставить перед матеріалами конструкції серйозні виклики,

оскільки температура реакції може досягати 500°C, при якій хлор стає вкрай агресивним до більшості будівельних матеріалів.

Вінілхлорид може бути виготовлений шляхом перетворення етилену одноетапним методом, без створення проміжного етилендихлориду через хлорування або оксихлорування, як це відбувається у випадку збалансованого етиленового шляху. Прямі маршрути хлорування вимагають високої температури та значного надлишку етилену для зниження ризику утворення сажі. В оксихлорувальних реакторах значні обсяги вінілхлориду виробляються при температурі вище 350°C. Однією з основних проблем прямих методів є низька селективність до вінілхлориду та значне утворення хлорованих побічних продуктів, багато з яких не мають безпосередньої комерційної вартості. Це істотно обмежує промислове використання таких процесів прямого перетворення.

### **1.3. Опис схеми виробництва вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену**

Промисловий синтез вінілхлориду з ацетилену і хлориду водню є газофазним гетерогенно-каталітичним процесом. Каталізатор виготовляють шляхом просочування активного вугілля хлоридом ртуті ( $\text{HgCl}_2$ ) з наступним сушінням, при цьому в отриманому каталізаторі міститься 10 % (мас.)  $\text{HgCl}_2$ . Через високу токсичність сулеми та вибухонебезпечність ацетилену, висуваються суворі вимоги щодо техніки безпеки та охорони праці. Оскільки процес має високу екзотермічність, його проводять у трубчастих апаратах, де каталізатор розміщується всередині труб, через які проходить газова суміш, а в міжтрубному просторі циркулює охолоджувальний агент. Як холодоагент використовують органічні теплоносії, воду або водний конденсат, що кипить під певним тиском, що дозволяє утилізувати тепло реакції для отримання пари.

|     |     |          |       |     |  |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|--|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     |  | ДП.ЛАО3.0305.000.01.ПЗ | Арк |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |  |                        | 13  |

Вихідними речовинами є очищений ацетилен та хлорид водню. Ацетилен проходить вогнеперешкодник і осушується спочатку за рахунок конденсації вологи в холодильнику, а потім твердим лугом в осушувальній колоні. Далі у змішувачі утворюється суміш з сухим хлоридом водню і надходить в трубчастий реактор. Вихідні речовини мають бути сухими, щоб не відбувалося надмірного утворення ацетальдегіду та зайвої корозії апаратури.

Суміш ацетилену і хлориду водню пропускають через реакційний простір, заповнений твердим каталізатором. Хлорид водню беруть у невеликому надлишку щодо ацетилену (5 - 10 %), що збільшує ступінь конверсії ацетилену. Оптимальною температурою вважається 160-180 °С, коли процес відбувається досить швидко і водночас не відбувається надмірного виносу сулеми, що має значну летючість. При поступовій втраті сулеми і зниженні активності контакту підвищують температуру до 200 - 220 °С.

Ступінь конверсії ацетилену становить 97-98%, при цьому реакційні гази містять 93% вінілхлориду, 5% HCl, 0,5-1,0% C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> та по 0,3% ацетальдегіду і 1,1% – дихлоретану. Газові продукти забирають із собою пари сулеми. Газ охолоджується в холодильнику і проходить послідовне очищення від сулеми та HCl у скруберах, заповнених соляною кислотою (концентрація 20%), водою та циркулюючим лугом. Далі газ осушують у холодильнику та стискають компресором до 0,7-0,8 МПа. Отриману суміш послідовно поділяють у ректифікаційних колонах, спочатку відокремлюючи важкий залишок (1,1% – дихлоретан C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>), а потім легкий погон (ацетилен, залишки ацетальдегіду).

Схему технологічного процесу виробництва вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену наведено на рис. 1.2.

|     |     |          |       |     |                         |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|-------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП. ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |                         | 14  |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                         |     |

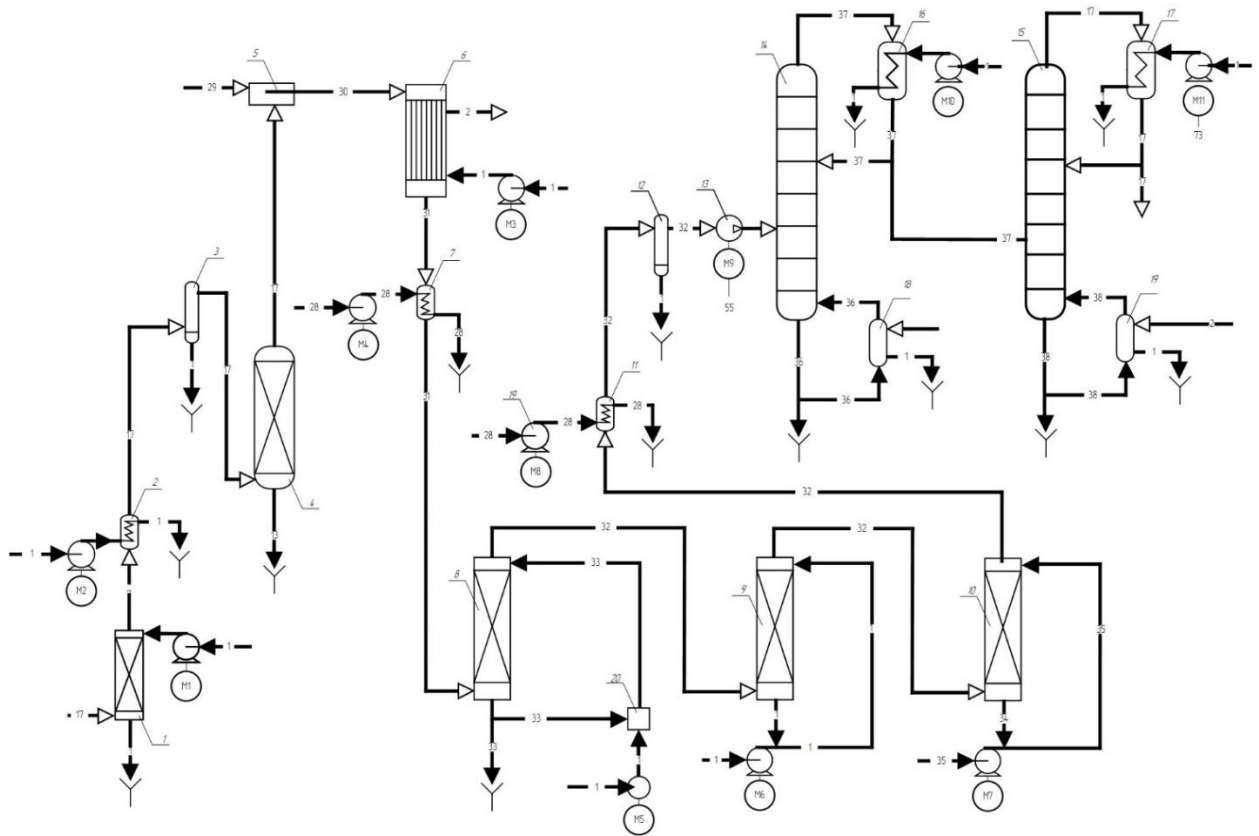


Рисунок 1.2 – Технологічна схема процесу виробництва вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену: 1 – вогнеперешкодник; 2, 7, 11 – холодильники; 4 – осушувальна колона; 3, 12 – сепаратори; 5, 20 – змішувачі; 6 – реактор; 8, 9, 10 – скрубери; 13 – компресор; 14, 15 – колони ректифікації; 16, 17 – дефлегматори; 18, 19 – кип'ятильники

Процес гідрохлорування ацетилену є поширеним методом синтезу вінілхлориду. Недоліком розглянутого методу є застосування дорогого ацетилену та каталізатора хлориду ртуті, який є дуже летючою сполукою та створює ризики для здоров'я, що вимагає додаткових заходів безпеки та ізоляції процесу.

|     |     |          |       |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|
|     |     |          |       |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |

#### 1.4. Постановка задачі автоматизації у виробництві вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену

Задача автоматизації процесу виготовлення вінілхлориду гідрохлорування ацетилену полягає у створенні системи, яка буде відповідати за контроль, регулювання, реєстрацію та сигналізацію ключових параметрів виробництва.

Для забезпечення безперебійної роботи та аварійної безпеки система має включати функції технологічного блокування та автоматичного захисту від можливих аварійних ситуацій. Автоматизація процесу не тільки зменшує ризики, пов'язані з людським фактором, але й підвищує загальну продуктивність виробництва, забезпечуючи стабільність та якість кінцевого продукту – вінілхлориду.

Отже, виникає необхідність розробити автоматизовану систему керування, яка включатиме:

- Контроль, регулювання та реєстрацію критичних параметрів процесу;
- Дистанційне керування, технологічний та аварійний захист електродвигунів;
- Отримання моделі об'єкту керування холодильника газу;
- Синтезувати систему керування для процесу охолодження ацетилену;
- Створити імітаційну модель процесу керування охолодження.

## 2. АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ВІНІЛХЛОРИДУ ГІДРОХЛОРУВАННЯМ АЦЕТИЛЕНУ

### 2.1. Аналіз основних параметрів контролю та сигналізації

Після розгляду технологічного процесу виготовлення вінілхлориду методом гідрохлорування ацетилену, схема якого зображена на рис. 1.2, було поставлено завдання забезпечити такий рівень автоматизації виробництва:

- контроль та регулювання рівня води у вогнеперешкоднику 1;
- контроль та регулювання температури ацетилену на виході з холодильнику 2;
- контроль та регулювання рівня ацетилену в осушувальній колоні 4;
- контроль та регулювання витрати ацетилену та хлороводню на вході до змішувача 5;
- контроль температури на поверхні реактору та регулювання подачі гарячої води на вході у реакторі 6;
- контроль та регулювання температури суміші газів в холодильнику 7;
- контроль та регулювання концентрації вінілхлориду на виході зі скрубєрів 8, 9, 10;
- контроль та регулювання температури суміші газів очищених від HCl в холодильнику 11;
- контроль та регулювання тиску у трубопроводі з компресором 13;
- контроль та сигналізація тиску у ректифікаційних колонах 14, 15;
- контроль та сигналізація температури у ректифікаційних колонах 14, 15;
- контроль та регулювання температури суміші газів на виході з дефлегматора 16;

|     |     |          |       |     |                         |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|-------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП. ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                         | 17  |

- контроль та регулювання температури ацетилену на виході з дефлегматора 17;
- контроль та регулювання температури дихлоретану на виході з кип'ятильника 18;
- контроль та регулювання температури вінілхлориду на виході з кип'ятильника 19;
- контроль та регулювання концентрації хлороводню на вході до скрубера 8;
- система аварійного захисту електромоторів М1-М11.

## **2.2. Опис схеми автоматизації виробництва**

Схема автоматизації виробництва вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену передбачає забезпечення постійного контролю, регулювання та сигналізації завдяки використанню наступних контурів.

Контур 1 виконує регулювання витрати ацетилену, що надходить до вогнеперешкодника 1 та складається з датчику масового витратоміру (поз. 1-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 1-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 1-3), блоку ручного управління (поз.1-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 1-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 1-6).

Контур 2 виконує регулювання рівня холодної води, що надходить до вогнеперешкодника 1 та складається з байпасного індикатора рівня (поз. 2-1), блоку нормування сигналу (поз. 2-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 2-3), блоку ручного управління (поз. 2-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 2-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 2-6).

|     |     |          |       |     |                         |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|-------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП. ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |                         | 18  |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                         |     |

Контури 3, 5, 11, 13, 16, 20, 23, 25, 27, 32, 38 виконують контроль та сигналізацію падіння тиску на виході насосів та складаються з датчиків тензоперетворювачів різниці тисків (поз. 3-1, 5-1, 11-1, 13-1, 16-1, 20-1, 23-1, 25-1, 27-1, 32-1, 38-1), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, перемикачів та блоком сигналізації(поз. 3-2, 5-2, 11-2, 13-2, 16-2, 20-2, 23-2, 25-2, 27-2, 32-2, 38-2), який видає сигнал на контакти реле:

- КМ1 та КМ2, що вмикають живлення лампочок HL3 червоного та HL4 жовтого кольору;
- КМ3 та КМ4, що вмикають живлення лампочок HL7 червоного та HL8 жовтого кольору;
- КМ5 та КМ6, що вмикають живлення лампочок HL11 червоного та HL12 жовтого кольору;
- КМ7 та КМ8, що вмикають живлення лампочок HL15 червоного та HL16 жовтого кольору;
- КМ9 та КМ10, що вмикають живлення лампочок HL19 червоного та HL20 жовтого кольору;
- КМ11 та КМ12, що вмикають живлення лампочок HL23 червоного та HL24 жовтого кольору;
- КМ13 та КМ14, що вмикають живлення лампочок HL27 червоного та HL28 жовтого кольору;
- КМ15 та КМ16, що вмикають живлення лампочок HL31 червоного та HL32 жовтого кольору;
- КМ17 та КМ18, що вмикають живлення лампочок HL35 червоного та HL36 жовтого кольору;
- КМ19 та КМ20, що вмикають живлення лампочок HL43 червоного та HL44 жовтого кольору;



пневматичний (поз. 7-5, 8-5), пневматичні регулювальні клапани (поз. 7-6, 8-6) та датчики положення цих клапанів (поз. 7-7, 8-7).

Контур 9 виконує регулювання температури реактору 8 зміною витрати води на вході в апарат та складається з датчика термоперетворювача опору, що має уніфікований вихідний сигнал (поз. 9-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 9-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 9-3), блоку ручного управління (поз. 9-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 9-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 9-6).

Контур 10 виконує регулювання концентрації вінілхлориду на виході з реактору 8 зміною потоку витрати вихідних речовин на вході в апарат та складається з газоаналітичної системи технологічного та екологічного моніторингу (поз. 10-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 10-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 10-3), блоку ручного управління (поз. 10-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 10-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 10-6).

Контур 12 виконує регулювання температури суміші газів на виході з холодильника 10 зміною витрати холодоагенту на вході в апарат та складається з датчика термоперетворювача опору, що має уніфікований вихідний сигнал (поз. 12-1) , електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 12-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 12-3), блоку ручного управління (поз. 12-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 12-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 12-6).

|     |     |          |       |     |                         |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|-------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП. ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |                         | 21  |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                         |     |

Контури 14, 18, 21 виконують регулювання концентрації вінілхлориду на виході зі скрубєрів 12, 16, 18 зміною потоку витрати суміші газів на вході в апарат відповідно. До складу контурів входить: газоаналітична система технологічного та екологічного моніторингу (поз. 14-1, 18-1, 21-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 14-2, 18-2, 21-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 14-3, 18-3, 21-3), блоку ручного управління (поз. 14-4, 18-4, 21-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 14-5, 18-5, 21-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 14-6, 18-6, 21-6).

Контур 15 виконує регулювання концентрації хлориду водню на виході зі змішувача 13 зміною витрати кислоти на вході в апарат та складається з газоаналітичної системи технологічного та екологічного моніторингу (поз. 15-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 15-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 15-3), блоку ручного управління (поз. 15-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 15-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 15-6).

Контур 17 виконує регулювання витрати води, що надходить до змішувача 13 та складається з вихрового витратоміру (поз. 17-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 17-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 17-3), блоку ручного управління (поз. 17-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 17-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 17-6).

Контур 19 виконує регулювання витрати води, що надходить до скрубєру 16 та складається з вихрового витратоміру (поз. 19-1),

|     |     |          |       |     |                         |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|-------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП. ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |                         | 22  |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                         |     |

електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 19-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 19-3), блоку ручного управління (поз. 19-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 19-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 19-6).

Контур 22 виконує регулювання витрати гідроксиду натрію, що надходить до скрубера 18 та складається з датчику масового витратоміру (поз. 22-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 22-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 22-3), блоку ручного управління (поз. 22-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 22-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 22-6).

Контур 24 виконує регулювання температури очищеної суміші газів на виході з холодильника 20 зміною витрати холодоагенту на вході в апарат та складається з датчика термоперетворювача опору, що має уніфікований вихідний сигнал (поз. 24-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 24-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 24-3), блоку ручного управління (поз. 24-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 24-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 24-6).

Контур 26 виконує регулювання тиску очищеної суміші газів на вході до колони ректифікації 23 та складається з датчика тензоперетворювача різниці тисків (поз. 26-1), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 26-2), блоку ручного управління (поз. 26-3), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 26-4), пневматичного клапану регулювання (поз. 26-5).

|     |     |          |       |     |  |  |  |  |                         |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|--|--|--|--|-------------------------|-----|
|     |     |          |       |     |  |  |  |  | ДП. ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |  |  |  |  |                         | 23  |

Контури 28, 34 виконують сигналізацію тиску у ректифікаційних колонах 23, 27 та складається з датчиків тензоперетворювача різниці тисків (поз. 28-1, 34-1), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації та блоком сигналізації (поз. 28-2, 34-2) верхнього і нижнього рівня у лампочках HL37, HL38 та HL45, HL46 відповідно.

Контур 29, 35 виконують сигналізацію температури у ректифікаційних колонах 23, 27 та складається з термоперетворювачів опору, що має уніфікований вихідний сигнал (поз. 29-1, 35-1), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації та блоком сигналізації (поз. 29-2, 35-2) верхнього і нижнього рівня у лампочках HL39, HL40 та HL47, HL48.

Контур 30 виконує регулювання температури дихлоретану на виході з кип'ятильника 26 зміною витрати пари на вході в апарат та складається з датчика термоперетворювача опору, що має уніфікований вихідний сигнал (поз. 30-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 30-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 30-3), блоку ручного управління (поз. 30-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 30-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 30-6).

Контур 31 виконує регулювання температури очищеної суміші газів на виході з дефлегматору 24 зміною витрати холодоагенту на вході в апарат та складається з датчика термоперетворювача опору, що має уніфікований вихідний сигнал (поз. 31-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 31-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 31-3), блоку ручного управління (поз. 31-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 31-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 31-6).

|     |     |          |       |     |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП.ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |                        | 24  |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                        |     |

Контур 33 виконує регулювання витрати очищеної суміші газів, що надходить до колони ректифікації 27 та складається з датчику масового витратоміру (поз. 33-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 33-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 33-3), блоку ручного управління (поз. 33-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 33-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 33-6).

Контур 36 виконує регулювання температури вінілхлориду на виході з кип'ятильника 30 зміною витрати пари на вході в апарат та складається з датчика термоперетворювача опору, що має уніфікований вихідний сигнал (поз. 36-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 36-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 36-3), блоку ручного управління (поз. 36-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 36-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 36-6).

Контур 37 виконує регулювання температури ацетилену на виході з дефлегматору 28 зміною витрати холодоагенту на вході в апарат та складається з датчика термоперетворювача опору, що має уніфікований вихідний сигнал (поз. 37-1), електричного блоку конвертування та дистанційної передачі сигналу (поз. 37-2), вторинного автоматичного приладу з функцією індикації, реєстрації й регулювання (поз. 37-3), блоку ручного управління (поз. 37-4), перетворювача електричного сигналу у пневматичний (поз. 37-5), пневматичного клапану регулювання (поз. 37-6).

### **2.3. Розробка схеми аварійного захисту електродвигунів технологічних процесів виробництва**

В процесі виробництва вінілхлориду гідрохлоруванням ацетилену використовуються електромотори, що перекачують сировину та створюють

|     |     |          |       |     |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП.ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                        | 25  |

необхідний тиск у певних етапах виробництва. З метою збереження робочого стану двигунів була розроблена автоматична система аварійного захисту моторів (рис. 2.1), яка у випадку виникнення поломки приладу ідентифікує падіння тиску у трубопроводі з насосом та виконує аварійну зупинку електромотору.

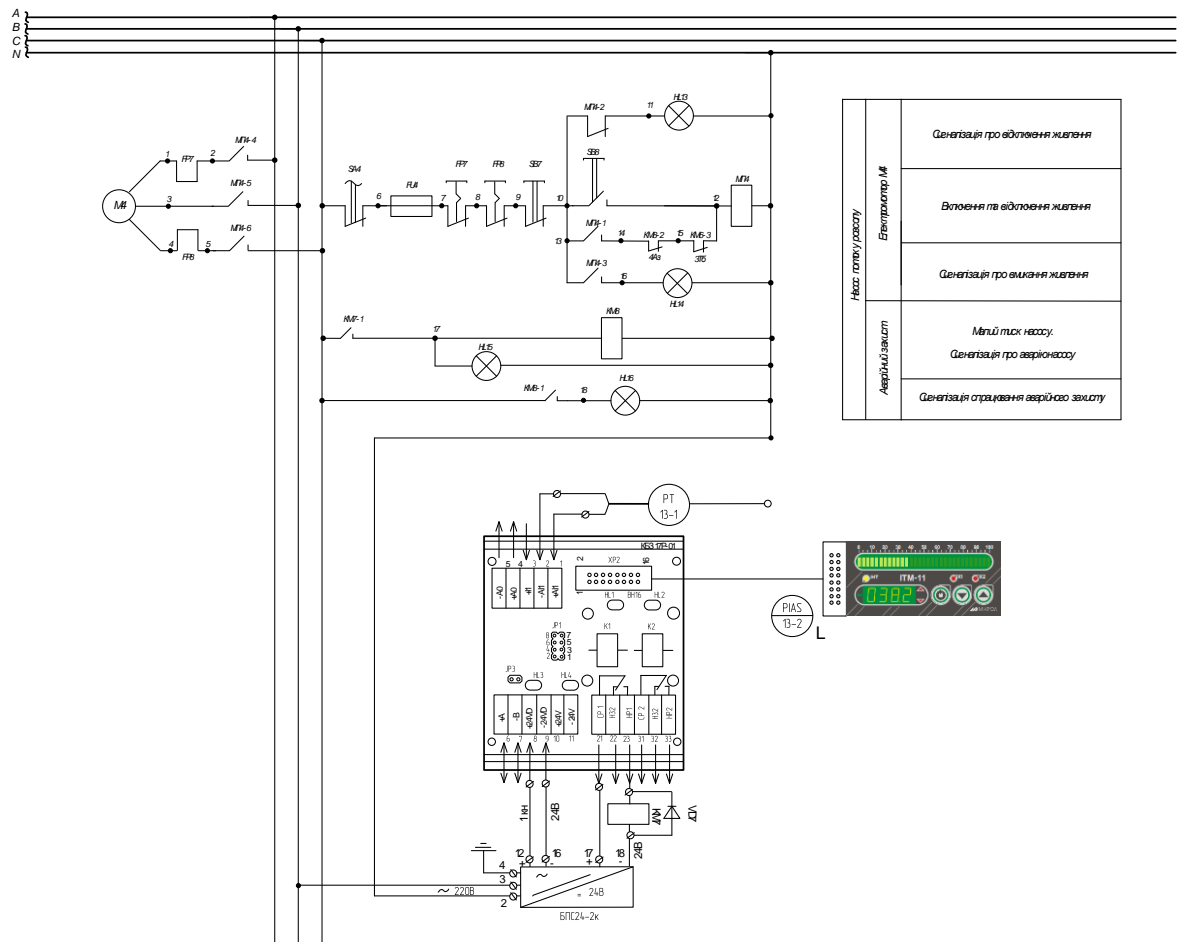


Рисунок 2.1 – Фрагмент принципової схеми системи аварійного захисту електродвигуна М4

Система автоматичного аварійного розроблена для електромоторів М1-М4. Прилад РТ (поз. 13-1) передає сигнал про величину тиску у трубопроводі на виході насосу і передає цей електричний сигнал на вхід до мікропроцесорного технологічного індикатора ІТМ11 МІКРОЛІ (поз. 13-2).

Блок панелі пристрою оснащений дисплеєм, який буде ілюструвати поточне значення тиску у трубопроводі, а блок сигналізації приладу формує дискретний сигнал постійного струму 24V на реле КМ7 у випадку пониження тиску після насосу. Замкнення контакту реле КМ7 призводить до вмикання сигнального індикатора НЛ15, що вказує про малий тиск насосу та сигналізацію про його аварію, подаючи струм на реле КМ8. Контакт КМ8-1 вмикає індикацію про спрацювання сигналізації, розмиканням контакту КМ8-2 вимикається живлення електромагніту МП4, що призведе до зупинки електродвигуна М4.

Також для електромотору М4 передбачено технологічне блокування у випадку спрацювання системи аварійного захисту електродвигуна М3. В такому випадку електромагнітне реле КМ6 розімкне контакт КМ6-3, що призведе вимкнення живлення електромотору М4.

#### **2.4. Розробка монтажно-комутаційної схеми з'єднань системи аварійного захисту електродвигуна**

Монтаж технічних приладів автоматизації повинен проводитись відповідно до монтажно-комутаційної схеми, на якій вказано відповідність під'єднання всіх складових принципової електричної схеми.

Відповідно до принципової електричної схеми дистанційного керування та аварійного захисту електромоторів було розроблено монтажну комутаційну схему з'єднань системи дистанційного керування та аварійного захисту електромотором М2, що ілюстрована на рис. 2.2.

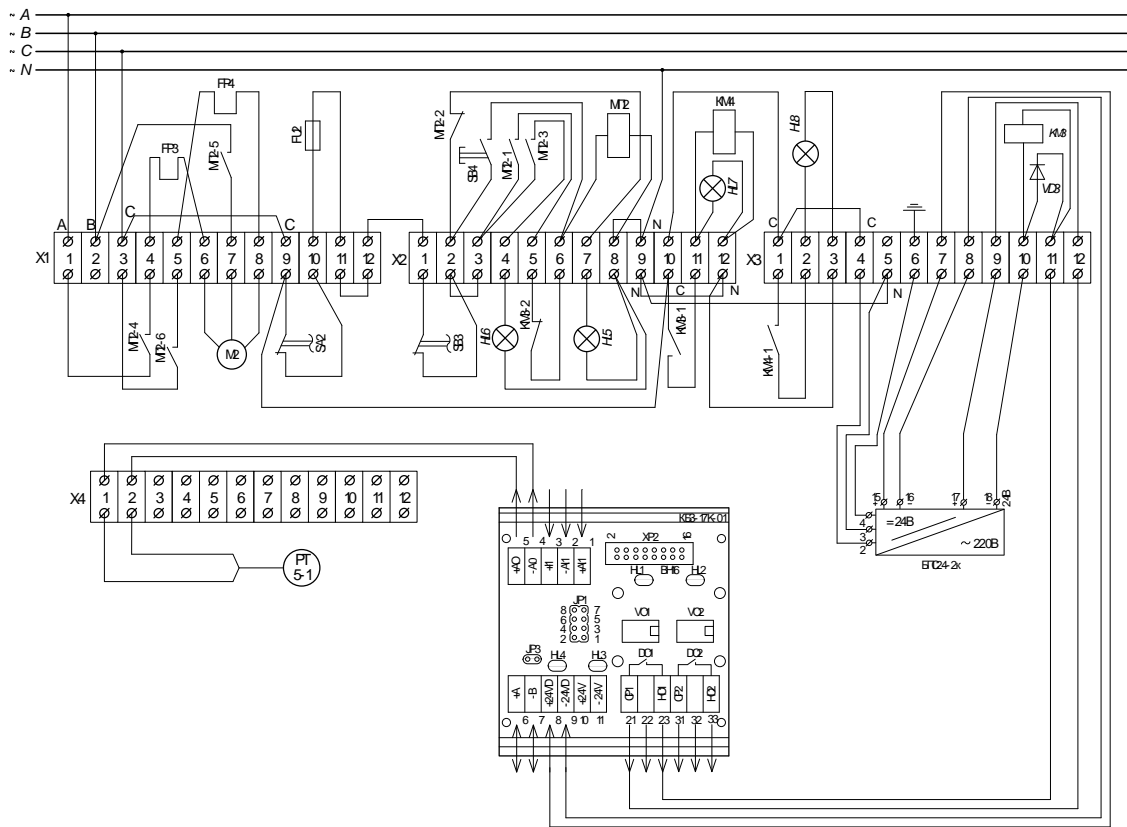


Рисунок 2.2 – Монтажно-комутаційна схема з'єднань системи аварійного захисту електродвигуна М2

Схема комутації та монтажу розроблена згідно з наступних правил до зображення монтажних комутаційних підключень елементів з принципової схеми:

- 1) Креслення монтажної комутаційної схеми рисується у не робочому стані;
- 2) До кожної клеми на клемній колодці необхідно показувати підключення тільки двох приєднувальних провідників між відповідними елементами схеми (при закріпленні провідників гвинтами та пружинними кріпленнями);
- 3) Для монтажної комутаційної схеми потрібно використовувати необхідну кількість відповідних клемних колодок. [11]

|     |     |          |       |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|
|     |     |          |       |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |

На схемі, представленій на рис. 2.2, використані та з'єднані такі компоненти:

- **Елементи захисту:**

- Автоматичні вимикачі FP3 та FP4, що розмикають контакт у випадку витоку струму;

- Плавкий запобіжник FU2.

- **Керування двигуном M2:**

- Перемикач SA2 підключення ланцюга живлення;

- Електромагнітний пускач МП2 з контактами: МП2-4, МП2-5 та МП2-6, що подають трьох фазне живлення для електродвигуна M2; нормально-замкнений контакт МП2-2 та червона лампочка HL5 індикації вимкненого двигуна M2; нормально-розімкнутий контакт МП2-1 та МП2-3 із зеленою лампочкою HL6 індикації подачі живлення на двигун M2;

- Кнопки зупинки "СТОП" SB3 та запуску "ПУСК" SB4 електродвигуна.

- **Система аварійного захисту:**

- Електромагнітне реле KM3 з контактами: KM3-1 нормально-розімкнутий, що активує лампочку HL7 червоного кольору, що сигналізує про малий тиск після насосу та його поломку;

- Електромагнітне реле KM4 з контактами: KM4-1 нормально-розімкнутий, що активує лампочку HL8 жовтого кольору сигналізації спрацювання аварійного захисту 2Az; KM4-2 нормально-замкнений контакт, який активує функцію 2Az (відключення живлення) у разі аварії двигуна M2.

- **Інші компоненти:**

- Блок живлення двоканалний БПС24-2К з ланцюгом заземлення;

- Діод VD3;

|     |     |          |       |     |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП.ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |                        | 29  |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                        |     |

- Вимірювальний тензоперетворювач різниці тисків РТ (поз. 5-1) до клем плати КБЗ-17К-01;
- Клемна колодка ХЗ.

Спроектована схема комутації та монтажу забезпечує коректне підключення всіх елементів блоку системи аварійного захисту та дистанційного керування електродвигуном М2.

В даному розділі було окреслено ряд контурів автоматизації для досягнення необхідного рівня контролю, регулювання та сигналізації. Ці контури забезпечують точний моніторинг і керування параметрами процесу на різних етапах виробництва, що є критично важливим для стабільного та безпечного функціонування технологічного процесу. Також було розроблено систему аварійного захисту електромоторів з технологічним блокуванням.

|     |     |          |       |     |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП.ЛАО3.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |                        | 30  |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                        |     |

### 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТУ ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЗУ

У процесі виробництва вінілхлориду з ацетилену значну роль відіграє якісне змішування ацетилену з хлоридом водню. Для якісного змішування ацетилен піддають осушенню та охолодженню в трубчатому холодильнику, що розміщений на позиції 2 на рис. 1.2. Охолодження газу до температури 5 °С (278.15 К) відбувається у холодильнику за допомогою холодної води. Підтримання регламентованого температурного режиму ацетилену є важливим за для зменшення утворення залишків ацетальдегіду та досягнення оптимальної якості продукції.

Необхідно забезпечити підтримання встановленої температури ацетилену на виході з холодильника за допомогою зміни витрати води, що крізь канали холодильника.

#### 3.1. Дослідження параметричної схеми холодильника

Розглянемо схему холодильника з вхідними та вихідними потоками, яку зображено на рис. 3.1. До вхідних трубопроводів належить потік газу ацетилену, що охолоджується в апараті, та холодна вода, яка виступає холодоагентом. Вихідними потоками є охолоджений газ ацетилен до температури 5 °С (278.15 К) та відпрацьована холодна вода.







|   |                   |        |      |
|---|-------------------|--------|------|
| 5 | $\theta_{в\ вх}$  | 275    | К    |
| 6 | $\theta_{в\ вих}$ | 283    | К    |
| 7 | $\theta_{а\ вих}$ | 278,15 | К    |
| 8 | $G_{\epsilon}$    | 4,332  | кг/с |

Виведемо рівняння статичного режиму для каналу «Витрата холодоагенту – температура газу на виході».

$$\theta_{а\ вих} = (G_a \theta_{а\ вх} C_a + C_{\epsilon} G_{\epsilon} \theta_{в\ вх} - G_{\epsilon} \theta_{в\ вих} C_{в}) / (G_a C_a).$$

Підставимо значення параметрів та виведемо залежність:

$$\theta_{а\ вих} = \frac{5,19 \times 309,15 \times 1,683 + G_{в} \times 4,182 \times 275 - G_{в} \times 4,182 \times 283}{5,19 \times 1,68} = 309,7 - 3,83 G_{в}.$$

Побудуємо статичну характеристику за каналом керування «витрата холодоагенту на вході – температура газу на виході» рис. 3.3. для:

$$\theta_{а\ вих} = f(G_{в}).$$

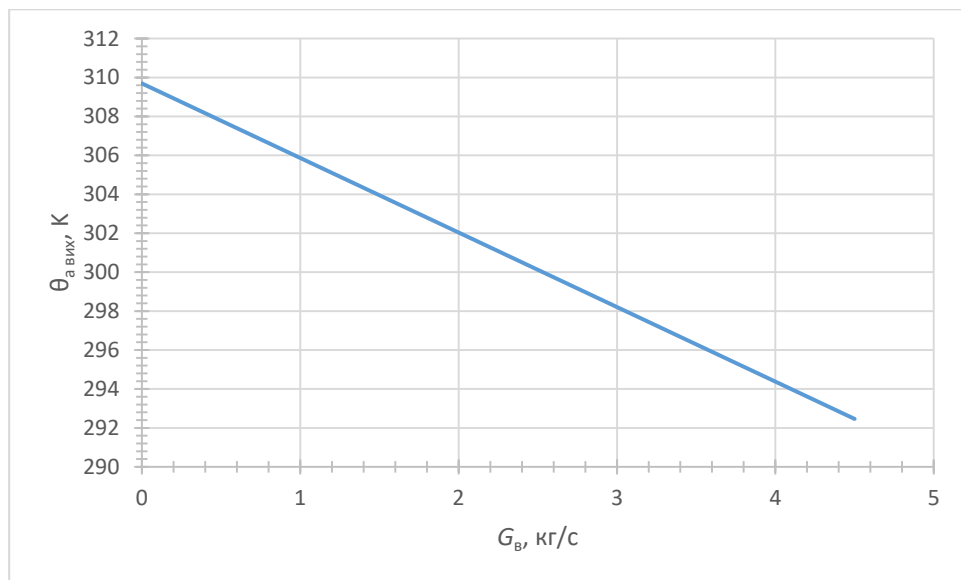


Рисунок 3.3 – Статична характеристика холодильника за каналом керування «витрата холодоагенту на вході – температура газу на виході»







У цьому розділі було виконано математичне моделювання апарату холодильника охолодження газу ацетилену. Здійснено аналіз параметрів, які впливають на ефективність охолодження газу, та розроблено статичні й динамічні моделі для керування процесом охолодження. Показано, що ефективне керування витратою холодоагенту дозволяє швидко стабілізувати температуру ацетилену. Ці моделі будуть використані для синтезу системи регулювання.

|     |     |          |       |     |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП.ЛАОЗ.0305.000.01.ПЗ | Арк |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                        | 39  |



```

1 num = -3.83;
2 den = [7.064 1];
3 Wp = tf(num, den);
4 Wp.Variable = 'p';
5 pidTuner(Wp);

```

Рисунок 4.1 – Програмний код запуску модулю *PID Tuner*

У результаті виконання програмного коду відкривається панель модулю налаштування *PID Tuner*, що зображено на рис. 4.2. Обравши потрібний тип регулятора та швидкість відгуку виконаємо автоматичний підбір параметрів системи регулювання.

Перехідні характеристики налаштованих П, ПІ та ПІД регуляторів викладені на рисунках 4.2, 4.4, 4.6. Параметри результату налаштування систем регулювання можна отримати відкривши вікно «*Show Parameters*», зображених на рисунках 4.3, 4.5, 4.7.

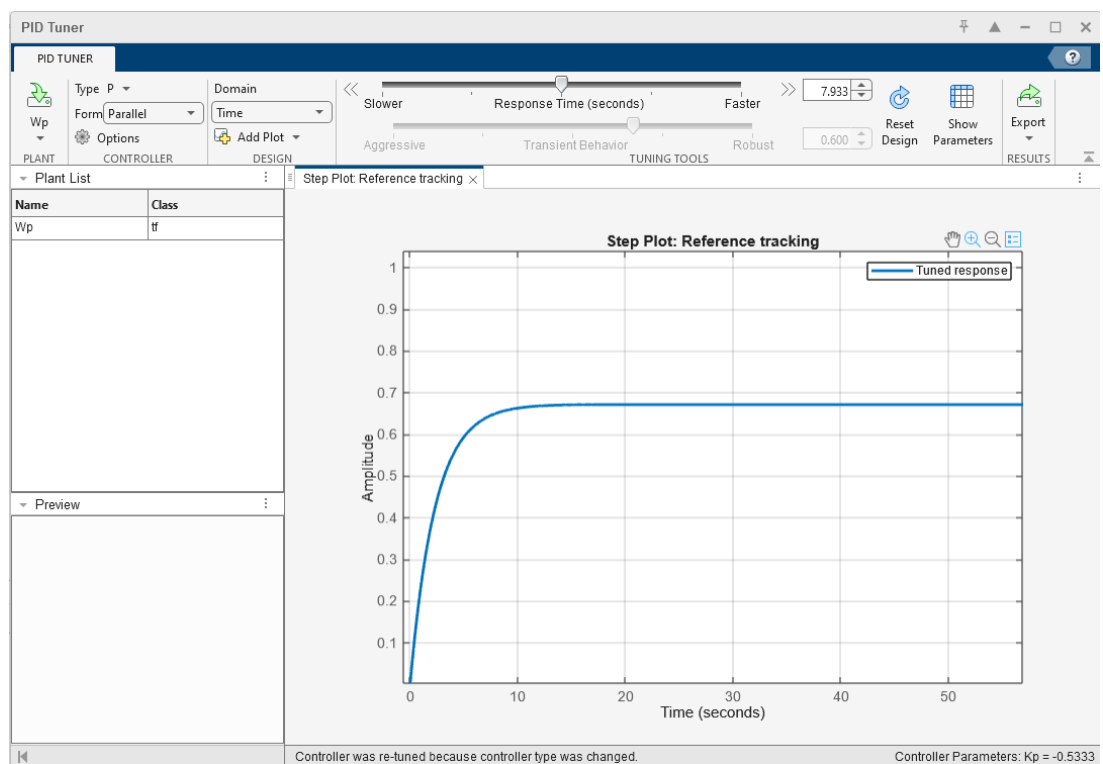


Рисунок 4.2 – Перехідна характеристика з налаштованим П-регулятором в модулі *PID Tuner*

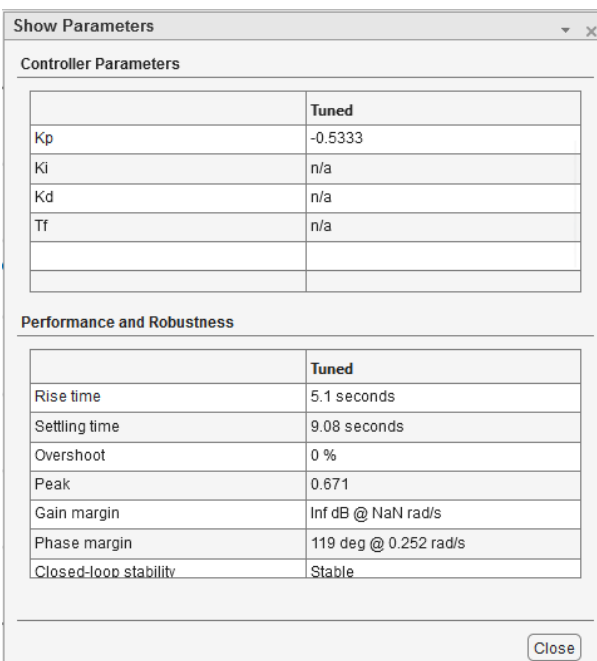


Рисунок 4.3 – Вікно «*Show Parameters*» з результатами налаштування П-регулятора

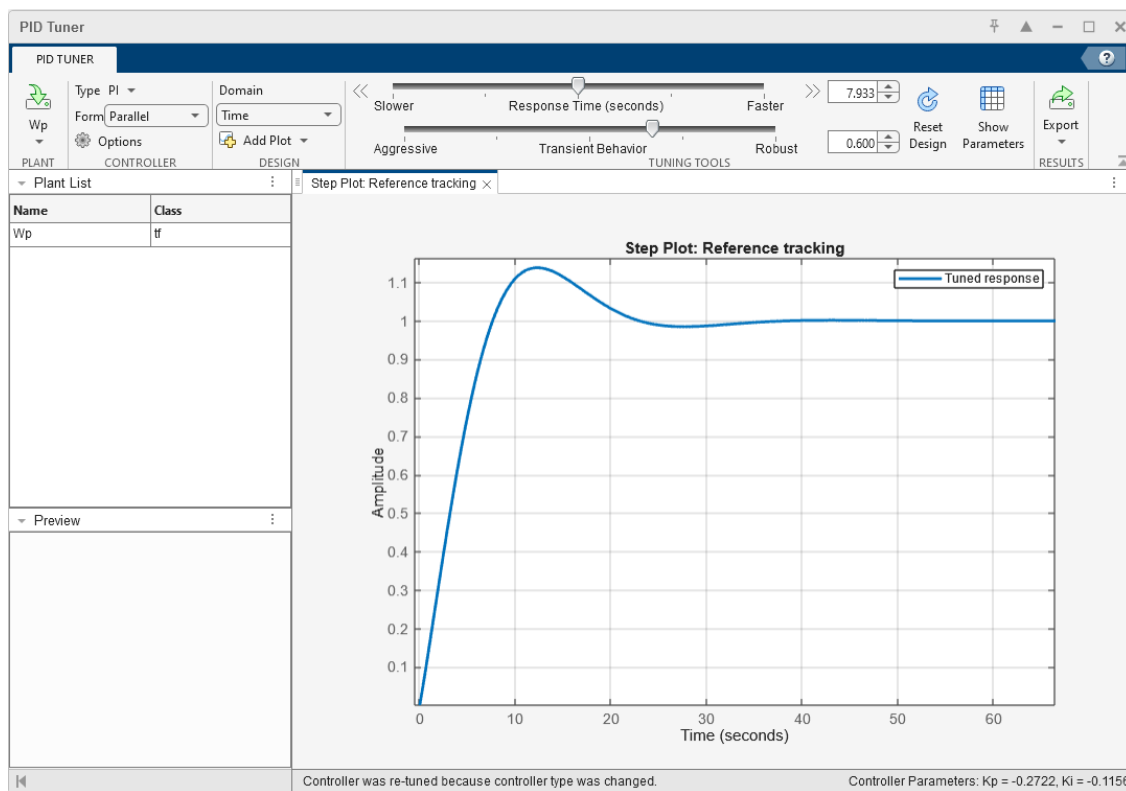


Рисунок 4.4 – Перехідна характеристика з налаштованим ПІ-регулятором в модулі *PID Tuner*

| Controller Parameters      |                      |
|----------------------------|----------------------|
|                            | Tuned                |
| Kp                         | -0.27217             |
| Ki                         | -0.11563             |
| Kd                         | n/a                  |
| Tf                         | n/a                  |
|                            |                      |
| Performance and Robustness |                      |
|                            | Tuned                |
| Rise time                  | 5.72 seconds         |
| Settling time              | 20.9 seconds         |
| Overshoot                  | 13.8 %               |
| Peak                       | 1.14                 |
| Gain margin                | Inf dB @ NaN rad/s   |
| Phase margin               | 60 deg @ 0.252 rad/s |
| Closed-loop stability      | Stable               |

Рисунок 4.5 – Вікно «*Show Parameters*» з результатами налаштування ПІ-регулятора

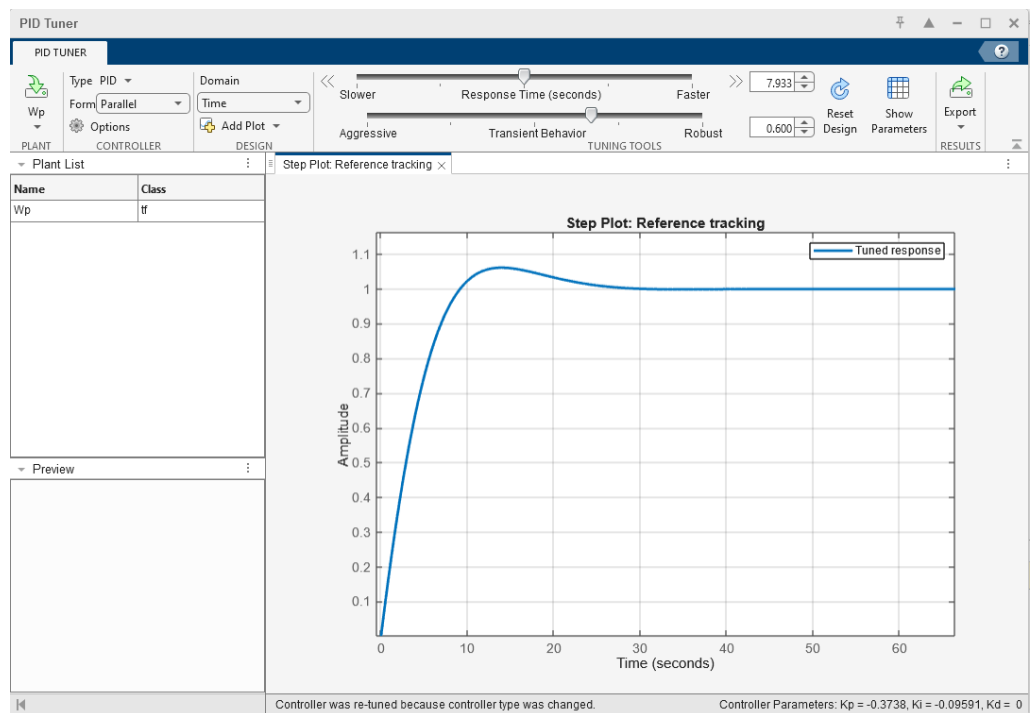


Рисунок 4.6 – Перехідна характеристика з налаштованим ПІД-регулятором в модулі *PID Tuner*





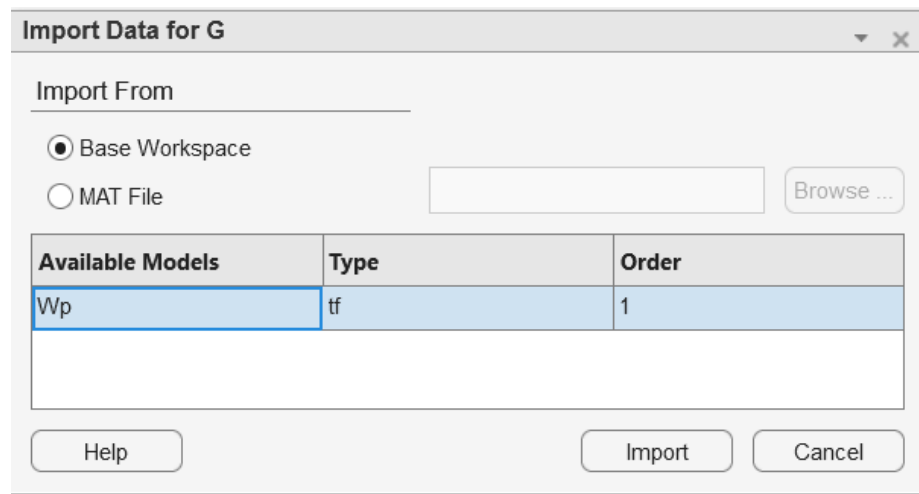


Рисунок 4.10 – Вікно вибору передавальної функції об'єкту керування

Налагодження регуляторів системи будемо проводити на панелі «*Automated Tuning – PID Tuning*» для П-регулятора (рис. 4.11), ПІ-регулятора (рис. 4.13) та ПІД-регулятора (рис. 4.11). Результати налаштування подані у вигляді зображення перехідної характеристики на рисунках 4.12, 4.14, 4.15.

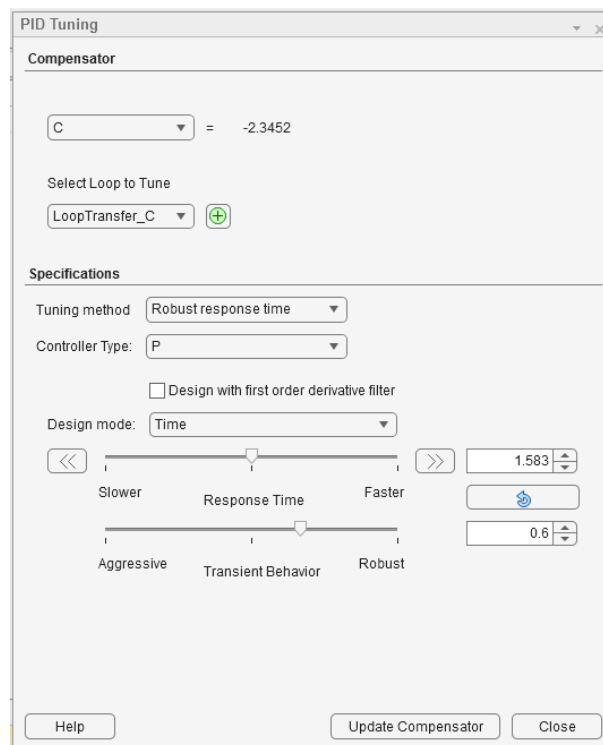


Рисунок 4.11 – Панель *PID Tuning* для налагодження П-регулятора

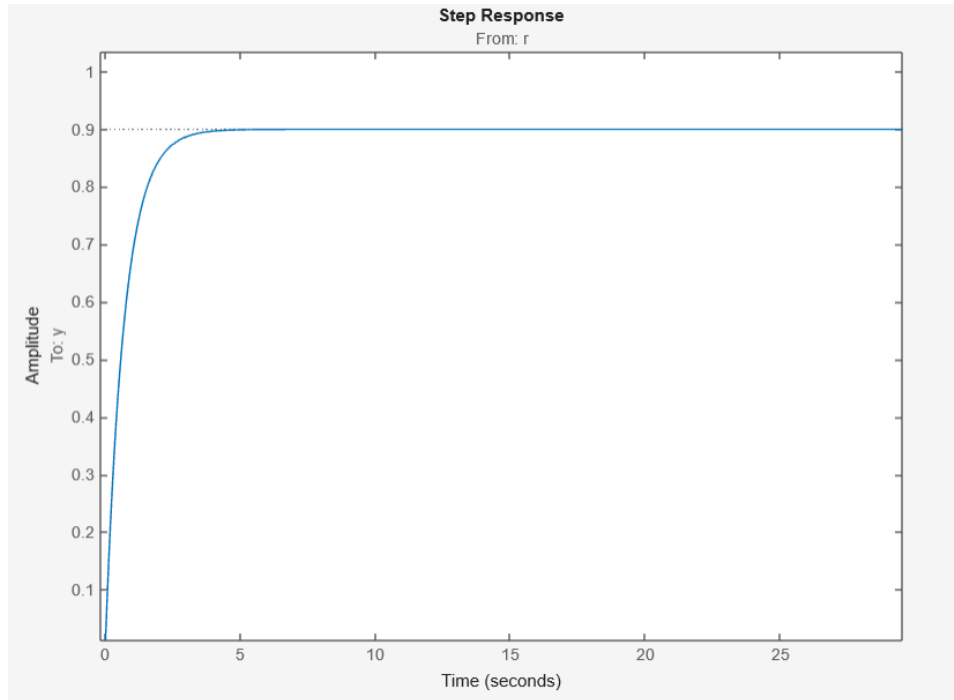


Рисунок 4.12 – Зображення перехідної характеристики з налагодженим П-регулятором

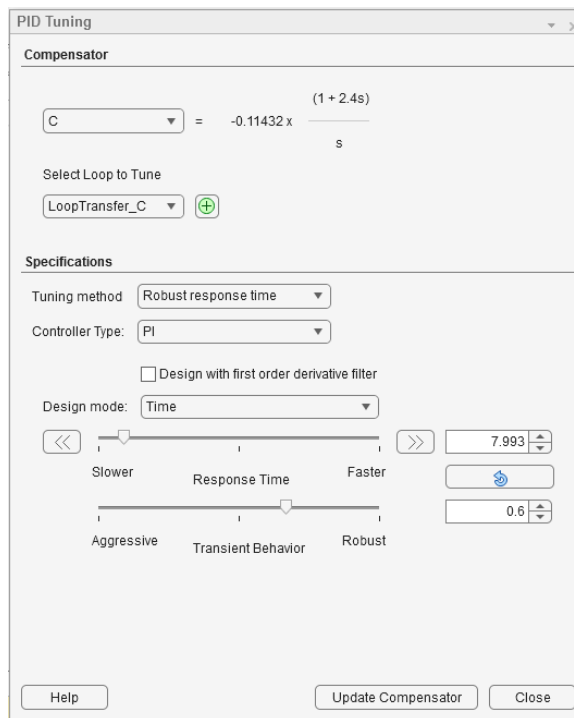


Рисунок 4.13 – Панель *PID Tuning* для налагодження ПІ-регулятора

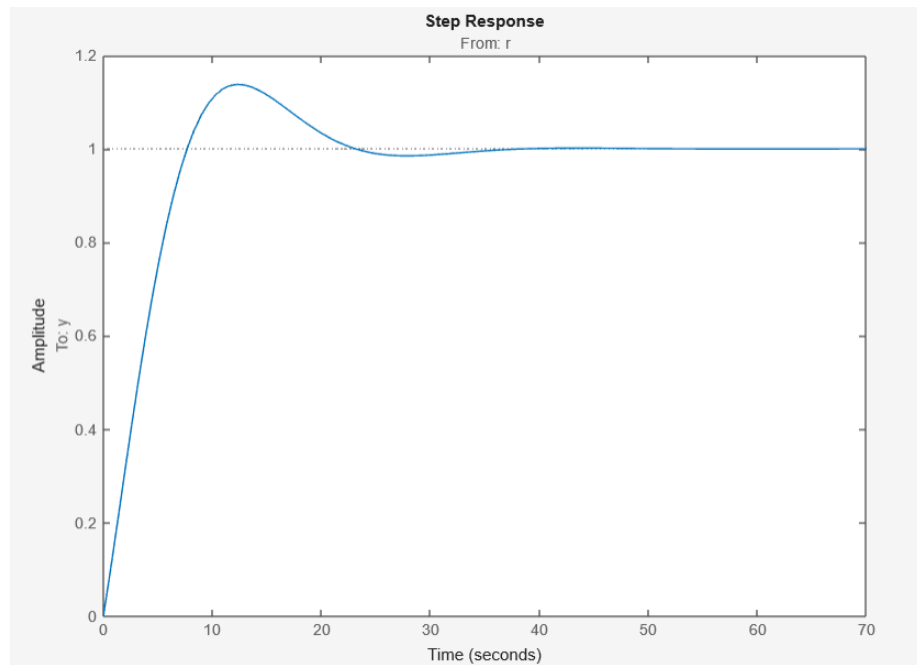


Рисунок 4.14 – Зображення перехідної характеристики з налагодженим ПІ-регулятором

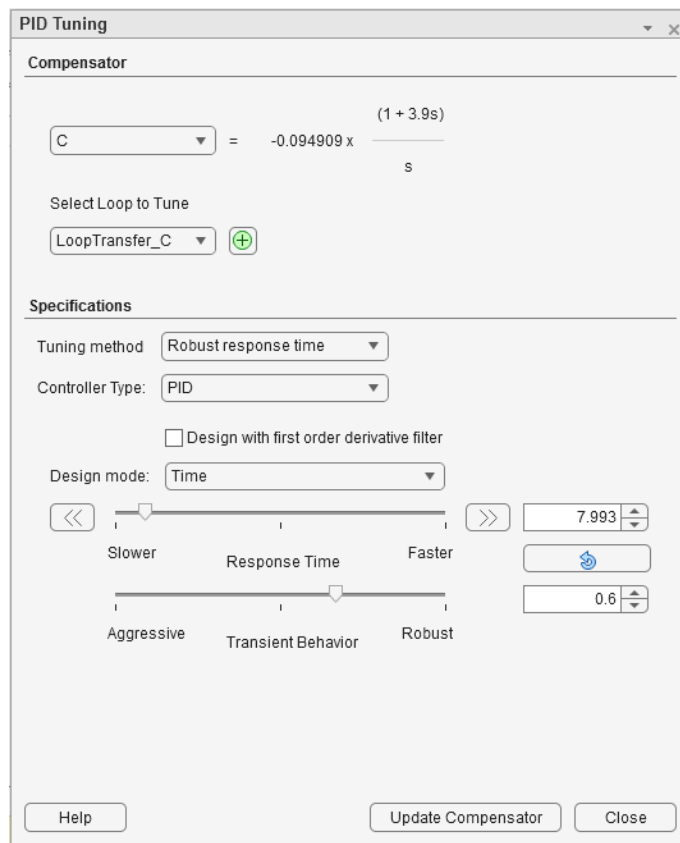


Рисунок 4.15 – Панель *PID Tuning* для налагодження ПІД-регулятора

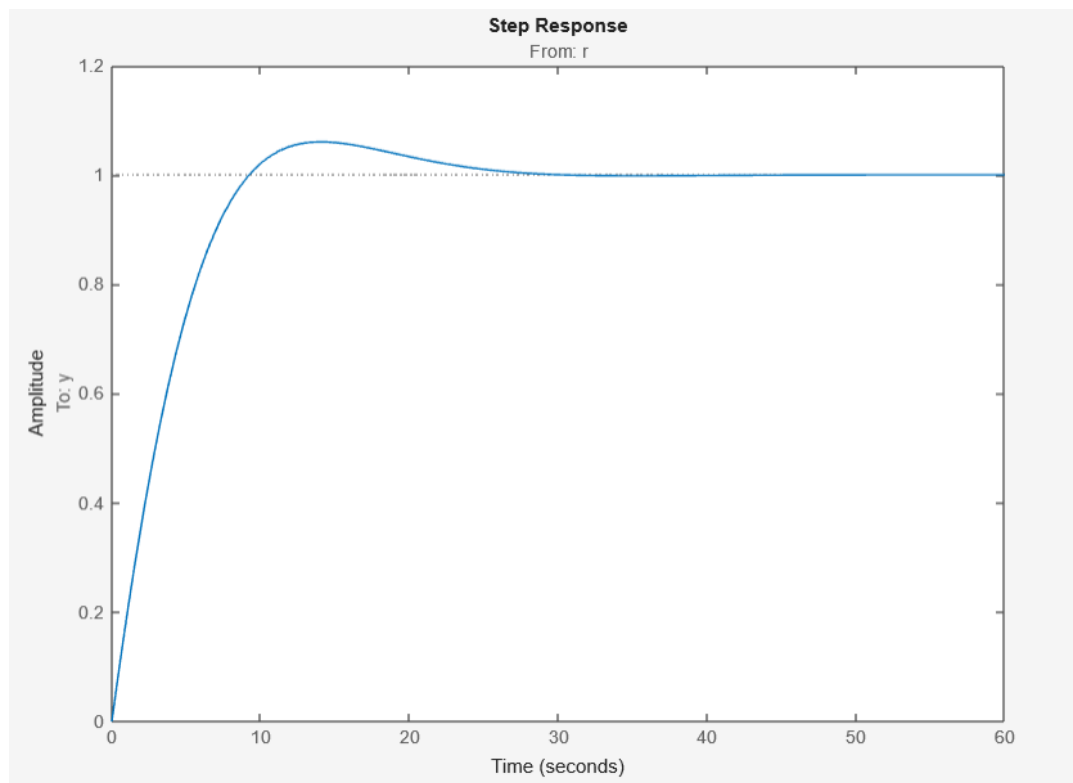


Рисунок 4.16 – Зображення перехідної характеристики з налагодженим ПД-регулятором

Згідно з отриманих зображень перехідних характеристик, робимо висновок, що П-регулятор не виходить на задане значення, надалі не беремо його до уваги. ПІ-регулятор має перерегулювання у 13.7% з виходом на усталене значення 21 секунда, а ПІД-регулятор з перерегулювання у 6% та часом виходу системи 22.4 секунди. Не дивлячись на те, що ПІ-регулятор досягає усталеного значення швидше на 1.3 секунди за ПІД-регулятор, його перерегулювання складає 13.7%, що майже вдвічі більше, порівняно з ПІД-регулятором. За результатами проведеного аналізу визначено ПІД-регулятор для керування процесу охолодження.

|     |     |          |       |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|
|     |     |          |       |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |



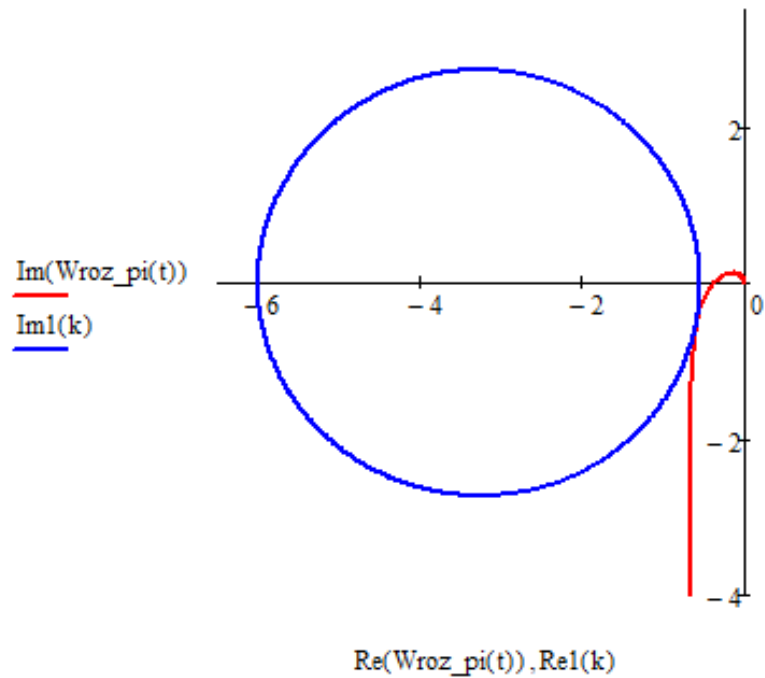


Рисунок 4.17 – Годограф АФХ розімкненої системи та М-коло

Параметри настройки ПІ-регулятора визначені за методом М-кола:  $Kp = 0.1$  та  $Ti = -9$ . Побудуємо графік характеристики перехідного процесу замкненої системи керування з налагодженим ПІ-регулятором (рис. 4.18).

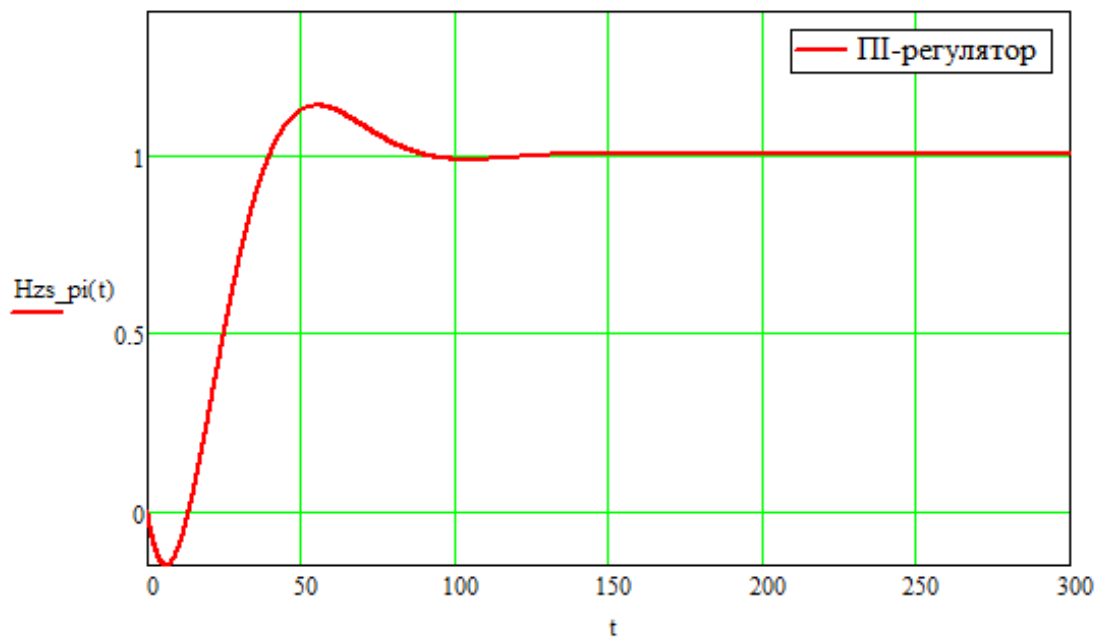


Рисунок 4.18 – Характеристика перехідного процесу з ПІ-регулятором

Так як для П-регулятора не вдалося підібрати відповідні параметри за методом М-кола, що свідчить про його недостатню ефективність для даної задачі. Натомість, використане значення коливності  $M = 1,2$  для ПІ регулятора забезпечує вихід на режим стабільності без зайвих коливань та перерегулювань. Отже, ПІ регулятор краще задовольняє вимогам до нашої системи охолодження.

В даному розділі було проведено синтез та налаштування системи автоматичного регулювання процесом охолодження газу з використанням програмних модулів *Matlab PID Tuner*, *Sisotool* та методу М-кола. Аналіз налаштування параметрів різних типів регуляторів показав, що ПІД-регулятор забезпечує кращі показники стійкості та прийняте перерегулювання. Метод М-кола виявився менш ефективним для П-регулятора, однак ПІ-регулятор з використанням цього методу продемонстрував достатню стабільність. Загалом, для процесу охолодження газу найефективнішим регулятором серед розглянутих є ПІД-регулятор, завдяки кращим показникам якості перехідного процесу.

## 5. ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЗУ З ПІД-РЕГУЛЯТОРОМ

Створення імітаційної моделі було проведено для об'єкту керування трубчатого холодильника у програмному середовищі *LabVIEW*. В цьому програмному середовищі було розроблену панель інтерфейсу оператора, ілюстровану на рис. 5.1, до складу якого входить мнемосхема охолоджувального апарату з візуалізацією стану клапанів, екран графіків, індикатор температури газу на виході з апарату, перемикач автоматичного та ручного регулювання, сигналізація параметрів температури та кнопка вимикання імітації.

Програмний код у вигляді блок діаграми панелі інтерфейсу оператора викладений у додатку 2.

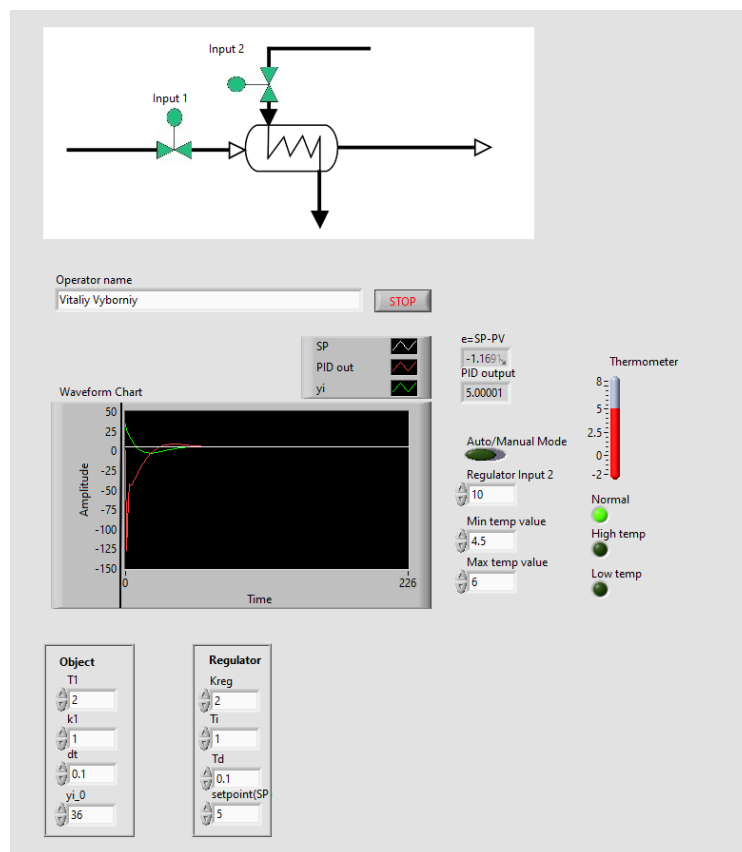


Рисунок 5.1 – Панель програмного інтерфейсу керування апаратом  
холодильної установки у середовищі *LabVIEW*

Розглянемо кожний елемент на інтерфейсі оператора та його функціональні можливості.

Мнемосхема представляє собою холодильну установку для охолодження газу ацетилену з двома вхідними та вихідними потоками (рис. 5.2.). На вхід подається газ ацетилен та холодна вода, що виступає у ролі холодоагенту, на виході охолоджений газ та відпрацьований холодоагент. Вхідні трубопроводи мають встановлені клапани для регулювання потоків речовин з візуалізацією стану роботи для оператора (клапан відкритий - зелений колір, закритий – червоний). Вони відкриваються при запуску програми (колір клапану зелений) та закриваються при зупинці виконання імітації (колір клапану червоний).

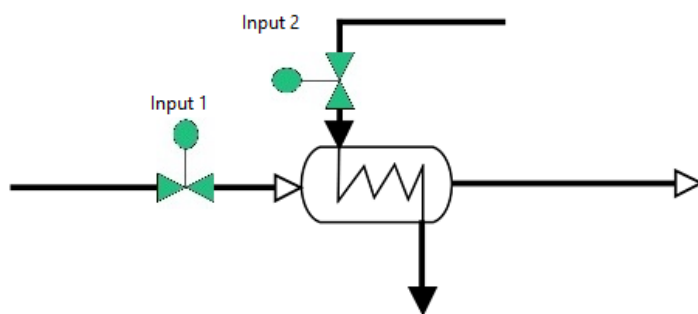


Рисунок 5.2 – Мнемосхема холодильного апарату

Перед запуском програми оператор вводить своє ім'я в поле «*Operator name*» (рис. 5.3.), яке буде використане при формуванні автоматичної звітності після завершення роботи програми. Завершити роботу імітації можна натиснувши кнопку «*STOP*».



Рисунок 5.3 – Блок вводу ім'я оператора та кнопка «*STOP*» зупинки імітації



необхідно натиснути перемикач «*Auto/Manual Mode*» та власноруч виставити значення у полі «*Regulator Input 2*».

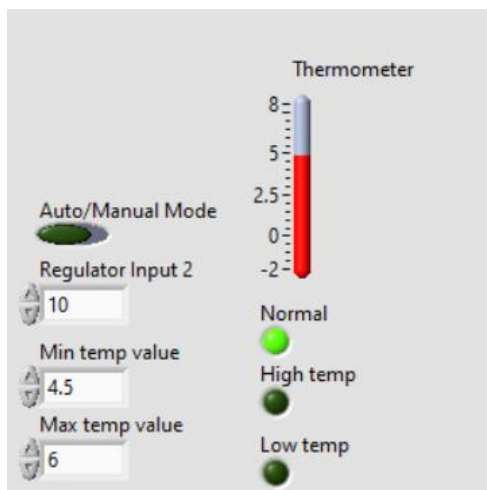


Рисунок 5.6 – Блок сигналізації та ручного керування

Візуальна система сигналізації складається з 3 лампочок та вертикального індикатору температури «*Thermometer*» (рис. 5.6). Якщо температура газу на виході з апарату нижча за встановлену, то вмикається червона лампочка «*Low temp*». У випадку перевищення температури газу на виході вмикається червона лампочка «*High temp*». Якщо значення технологічного параметру знаходиться у вказаних межах, то апарат працює в нормальному режимі та горить зелена лампочка «*Normal*».

Після завершення виконання імітації програма формує звіт у вигляді *HTML* сторінки. Вміст звіту наведений на рис. 5.7.







Обов'язковим є впровадження системи контрольної-вимірювальної апаратури, яка дозволяє постійно моніторити концентрацію шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Це забезпечує можливість своєчасного реагування на будь-які відхилення від норми.

*Організаційні заходи:*

Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, зокрема респіраторами, захисним одягом, спеціальним взуттям та окулярами, є обов'язковим. Законодавчо передбачені додаткові відпустки, скорочення робочого дня та підвищення заробітної плати за роботу в шкідливих умовах.

Завдяки ретельному виконанню вимог нормативного документу ДСН 3.3.6.042-99, який встановлює строгі стандарти щодо якості повітря в робочих зонах, на підприємстві з виробництва вінілхлориду успішно реалізовані заходи, спрямовані на зниження рівню забруднення повітря до безпечних норм.

## **6.2. Електробезпека**

У процесі виробництва вінілхлориду особлива увага приділяється забезпеченню електробезпеки, оскільки виробничі установки використовують велику кількість електричного обладнання, яке функціонує при високих напругах. Згідно з правилами улаштування електроустановок, цех класифікується як приміщення без підвищеної небезпеки. Однак, незважаючи на це, прийнято комплекс заходів для забезпечення максимальної безпеки працівників.

*Заходи забезпечення електробезпеки:*

|     |     |          |       |     |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП.ЛАО3.0305.000.01.ПЗ | Арк |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                        | 60  |

1. Електрична мережа: Використовується трифазна чотирипровідна мережа напругою 380 В з заземленням. Важливим є занулення – навмисне з'єднання елементів, що можуть опинитися під напругою, з нульовим проводом для уникнення ураження струмом у разі його витoku.

2. Ізоляція та доступність струмовідних частин: Ефективна ізоляція струмовідних частин зменшує ризик дотику до них та захисні огороження, що обмежують доступ до цих частин.

3. Використання диференціальних автоматичних вимикачів: Ці пристрої відіграють ключову роль у захисті від поразок електричним струмом, виявляючи витoki струму на землю і автоматично відключаючи енергію.

4. Особисті засоби захисту: До обов'язкових засобів захисту належать діелектричні рукавички та килимки, гумове взуття, що захищають працівників під час роботи безпосередньо з електричними установками.

Завдяки цим заходам, що відповідають вимогам ДСТУ 7237:2011 та ДСТУ Б В.2.5-82:2016, виробництво вінілхлориду ведеться з дотриманням високих стандартів безпеки, що мінімізує ризики для здоров'я та життя працівників пов'язаних з експлуатацією електрообладнання.

### **6.3. Пожежна небезпека**

Виробництво вінілхлориду, що включає гідрохлорування ацетилену згідно з ДБН В.1.1.7-2016, належить до категорії А (вибухопожежонебезпечне), оскільки кінцевий продукт і вихідні матеріали мають високу вогнебезпеку. Тому, забезпечення пожежної безпеки на такому виробництві має критичне значення для захисту життя і здоров'я працівників, а також збереження обладнання і матеріалів.

*Заходи забезпечення пожежної безпеки:*

|     |     |          |       |     |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП.ЛАО3.0305.000.01.ПЗ | Арк |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                        | 61  |









## 6.6. Освітлення

На виробництві вінілхлориду освітлення відіграє ключову роль у забезпеченні безпечних і комфортних умов праці, особливо в контексті операторських приміщень, де виконується зорovo вимоглива робота з контрольно-вимірювальною апаратурою. Ці роботи класифікуються як роботи III розряду зорових робіт, що вимагають особливої уваги до якості та ефективності освітлення.

Системи штучного освітлення:

Загальне і комбіноване освітлення:

- Проект передбачає інсталяцію системи загального та комбінованого освітлення, яка забезпечує адекватне покриття всіх робочих зон.
- Освітленість для III розряду зорових робіт згідно з ДБН В.2.5-28:2018 становить необхідні 250 лк.

Специфікації освітлювальних приладів:

- Для загального освітлення використовуються лінійні LED світильники *Biom LN-3-36-1200-6* потужністю 36 Вт, напругою 220 В, які забезпечують світловий потік  $\Phi = 2850$  лм.
- Для досягнення освітленості близько 300 лк у приміщенні з висотою 3 м та площею 23 м<sup>2</sup> потрібно встановити приблизно 5 світлодіодних ламп потужністю 36 Вт.

Освітлення для кімнат оператора:

Використання енергоефективних світлодіодних ламп з потужністю 12 Вт і світловим потоком 1200 лк дозволяє забезпечити освітленість  $E_{\text{фак}} = 300$  лк, відповідаючи сучасним стандартам зорового комфорту.

Завдяки спроектованій системі штучного освітлення на виробництві вінілхлориду створено умови, що не тільки сприяють високій

|     |     |          |       |     |                        |  |  |  |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|--|--|--|-----|
|     |     |          |       |     |                        |  |  |  | Арк |
|     |     |          |       |     |                        |  |  |  | 66  |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат | ДП.ЛА03.0305.000.01.ПЗ |  |  |  |     |

продуктивності роботи, але й забезпечують здоров'я і безпеку працівників. Ретельний підхід до освітлення дозволяє ефективно керувати візуальними навантаженнями і знижувати ризики, пов'язані з недостатнім освітленням.

У цьому розділі розглянуто заходи безпеки для контролю рівня шкідливих речовин у повітрі, електронезбезпеки, пожежної та вибухонебезпечної ситуацій, шуму від обладнання та освітлення. Реалізація цих заходів спрямована на мінімізацію ризиків для здоров'я персоналу та забезпечення безпеки умов праці на підприємстві відповідно до чинного законодавства.

|     |     |          |       |     |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП.ЛА03.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |                        | 67  |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                        |     |

## ВИСНОВОК

В дипломній роботі бакалавра було досліджено хіміко-технологічний процес виготовлення вінілхлориду методом гідрохлорування ацетилену. Визначено найважливіші параметри системи та реалізовано схему автоматизації виробництва з аварійним захистом електродвигунів та технологічним блокуванням. Також було розроблено принципову електричну схему керування електродвигунів. Також було виконано математичне моделювання апарату охолодження газу та синтезовано систему керування холодильної установки з налаштуванням PID-регуляторів за допомогою таких програмних засобів як *MathCAD*, *Matlab PID Tuner* та *SisoTool* було визначено кращий регулятор, що відповідає вимогам процесу охолодження. Для відтворення синтезованої моделі та налаштованого регулятора було виконано імітування об'єкту керування та його регулювання у програмному середовищі *LabView*, де було створено панель оператора з можливістю перемикання між автоматичним та ручним режимом керування.

В останньому розділі були розглянуті питання безпеки та охорони праці й запропоновано заходи щодо зменшення факторів небезпеки на виробничому підприємстві.





12. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку  
[Текст]: ДСН 3.3.6.037-99 - № 37; [чинний від 01-12-1999] – Оф. видання  
Міністерства охорони здоров'я України.

|     |     |          |       |     |                        |     |
|-----|-----|----------|-------|-----|------------------------|-----|
|     |     |          |       |     | ДП.ЛАОЗ.0305.000.01.ПЗ | Арк |
|     |     |          |       |     |                        | 71  |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпи | Дат |                        |     |

## Специфікація приладів

| Позиція на схемі            | Технологічний параметр      | Середовище і місце відбору інформації | Граничне значення параметра | Місце монтажу                  | Назва та характеристика  | Тип моделі | Кількість | Завод-виробник          |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|------------|-----------|-------------------------|
| 1                           | 2                           | 3                                     | 4                           | 5                              | 6  | 7          | 8         | 9                       |
| <b>Контроль температури</b> |                             |                                       |                             |                                |  |            |           |                         |
| 4-1                         | Температура потоку сировини | Ацетилен                              | 5°C                         | Трубопровід                    | Термоперетворювач опору мідний з уніфікованим вихідним сигналом, НСХ 50М, захисна арматура – сталь 10Х18Н10Т, діапазон вимірювання (-25)...25 °С, Pmax = 50 МПа, довжина монтажної частини 200...1250 мм; основна похибка 0,5 %; Iвих=0...5 мА | ТСМУ-0288  | 3         | НВФ «АГАТ-1», м. Харків |
| 12-1                        |                             | Вінілхлорид з домішками газів         | -                           | Трубопровід                    |  |            |           |                         |
| 24-1                        |                             | Очищена суміш газів                   | -                           | Трубопровід                    |  |            |           |                         |
| 9-1                         | Температура                 | Суміш ацетилену та хлорид водню       | -                           | Реактор 8                      | Датчик температури, типу ТХАУ, діапазон вимірювання -0...400 °С; основна похибка 0,25 %; Uжив= 24 В; P= 25 МПа; L= 400 мм; Iвих= 4...20 мА   | ТХАУ-0289  | 7         | НВФ «АГАТ-1», м. Харків |
| 29-1<br>35-1                | Температура                 | Ректифікаційна колона                 | -                           | Ректифікаційна колона 23 та 27 |  |            |           |                         |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

72

|  |             |                     |   |                 |   |           |    |   |
|--|-------------|---------------------|---|-----------------|---|-----------|----|---|
| 30-1   | Температура | Дихлоретану         | - | Трубопровід     | Датчик температури, типу ТХАУ, діапазон вимірювання -0...400 °С; основна похибка 0,25 %; Ужив= 24 В; Р= 25 МПа; L= 400 мм; Івих= 4...20 мА  | ТХАУ-0289 | 7  | НВФ «АГАТ-1», м. Харків   |
| 31-1   | Температура | Очищена суміш газів | - | Трубопровід     |   |           |    |   |
| 36-1   | Температура | Вінілхлорид         | - | Трубопровід     |   |           |    |   |
| 37-1   | Температура | Ацетилену           | - | Трубопровід     |   |           |    |   |
| 4-2<br>9-2<br>12-2<br>24-2<br>29-2<br>30-2<br>31-2<br>35-2<br>36-2<br>37-2 | Температура | -                   | - | Місцевий прилад | Перетворювач нормувальний, вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА, а також від ТП НСХ В, К, L, S, R та ТО НСХ 50П,100П, 50М, 100М; клас точності 0,4 (0,5) – залежно від діапазону вимірювання ТП, ТО; Івих = 0...5 ( 4...20 мА), Увих = 0...10 В. | П282      | 10 | НВО «Електротермія» м.Луцьк   |
| 4-3<br>9-3<br>12-3<br>24-3<br>30-3<br>31-3<br>36-3<br>37-3                 | Температура | -                   | - | Пульт керування | ПІД-регулятор багатофункціональний мікропроцесорний, плата комутацій КБЗ-28К-11, вихід АО1= 4...20мА  | МІК-21    | 8  | ТОВ МІКРОЛ, м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, 000 «Мікрол» |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

73

|  |   |   |   |                 |  |                 |   |   |
|--|---|---|---|-----------------|--|-----------------|---|---|
| 29-3<br>35-3   | Температура                                 | - | - | Пульт керування | Індикатор технологічний мікропроцесорний, плата комутації КБ3-17-К01, вихід АО1= 4...20мА  | ІТМ-11          | 2 | ТОВ МІКРОЛ, м. Івано-Франківськ, вул. Автолїтмашевська, 5, ООО «Мікрол» |
| 4-4<br>9-4<br>12-4<br>24-4<br>30-4<br>31-4<br>36-4<br>37-4 | Управління вихідним сигналом регулятора     | - | - | Пульт керування | Блок ручного управління, вихід АО1 = 4...20мА  | БРУ-7           | 8 | ТОВ МІКРОЛ, м. Івано-Франківськ, вул. Автолїтмашевська, 5, ООО «Мікрол» |
| 4-5<br>9-5<br>12-5<br>24-5<br>30-5<br>31-5<br>36-5<br>37-5 | Перетворювання вихідного сигналу регулятора | - | - | Місцевий прилад | Перетворювач електричного сигналу в пневматичний сигнал, АІ1= 4...20мА /0,2...1,0 кг/см <sup>2</sup> , з влаштованим електричним контролером положення штоку клапану, АО1=4...20мА | ЭПП-300         | 8 | м. Київ, вул. пр-т Воз'єднання 15, оф. 803 «ООО СОФТЕК»                 |
| 4-6<br>9-6<br>12-6<br>24-6<br>30-6<br>31-6<br>36-6<br>37-6 | Регулювання витрати сировини                | - | - | Трубопровід     | Пневматичний регулювальний клапан, Ду=150, Ру=25, температура до 225оС   | РУСТ 510-1      | 8 | м. Київ, вул. пр-т Воз'єднання 15, оф. 803 «ООО СОФТЕК»                 |
| HL39<br>HL47   | Технологічна сигналізація                   | - | - | Пульт керування | Синя світлодіодна сигнальна лампа (LED), U=25 В, d=16 мм   | Е.АD16. 24.BLUE | 2 | Київська область, м. Вишневе, вул. Київська, 27А, «Е.NEXT»              |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

74

|                       |                              |              |   |                         |  |                   |   |  |
|-----------------------|------------------------------|--------------|---|-------------------------|--|-------------------|---|--|
| HL40<br>HL48          | Технологічна<br>сигналізація | -            | - | Пульт<br>керування      | Червона світлодіодна<br>сигнальна лампа (LED),<br>U=25 В, d=16 мм  | E.AD16.<br>24.RED | 2 | Київська<br>область, м.<br>Вишневе, вул.<br>Київська, 27А,<br>«E.NEXT» |
| <b>Контроль рівня</b> |                              |              |   |                         |  |                   |   |  |
| 2-1                   | Рівень                       | Холодна вода | - | Вогнеперешк<br>одник 1  | Байпасний індикатор рівня,<br>діапазон вимірювання<br>0,3...6 м; температура<br>вимірюваного середовища<br>-200...300°C; Iвих= 4...20<br>мА  | BM26A             | 1 | м. Київ, вул.<br>Васильківська 1<br>офіс 210,<br>«КАНЕКС<br>КРОНЕ»     |
| 6-1                   | Рівень                       | Ацетилен     | - | Осушувальна<br>колона 6 | Рефлексний рівнемір,<br>діапазон вимірювання до 35<br>м; температура<br>вимірюваного середовища<br>-40...300°C; Iвих= 4...20<br>мА   | OPTIFL<br>EX 1300 | 1 | м. Київ, вул.<br>Васильківська 1<br>офіс 210,<br>«КАНЕКС<br>КРОНЕ»     |
| 2-2<br>6-2            | Рівень                       | -            | - | Місцевий<br>прилад      | Перетворювач<br>нормувальний, вхідні<br>сигнали: 0...5 мА, 4...20<br>мА, а також від ТП НСХ В,<br>К, L, S, R та ТО НСХ<br>50П,100П, 50М, 100М; клас<br>точності 0,4 (0,5) – залежно<br>від діапазону вимірювання<br>ТП, ТО; Iвих = 0...5 ( 4...20<br>мА), Uвих = 0...10 В. | П282              | 2 | НВО<br>«Електротермія<br>» м.Луцьк                                     |
| 2-3<br>6-3            | Рівень                       | -            | - | Пульт<br>керування      | ПІД-регулятор<br>багатофункціональний<br>мікропроцесорний, плата<br>комутацій КБЗ-28К-11,<br>вихід АО1= 4...20мА   | МІК-21            | 2 | м. Івано-<br>Франківськ, вул.<br>Автомобілістів<br>ка, 5, ООО          |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

75

|                              |   |               |   |                 |  |            |   |  |
|------------------------------|---|---------------|---|-----------------|--|------------|---|--|
| 2-4<br>6-4                   | Рівень                                      | -             | - | Пульт керування | Блок ручного управління, вихід АО1 = 4...20мА  | БРУ-7      | 2 | ТОВ МІКРОЛ,<br>м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «Мікрол» |
| 2-5<br>6-5                   | Перетворювання вихідного сигналу регулятора | -             | - | Місцевий прилад | Перетворювач електричного сигналу в пневматичний сигнал, АІ1= 4...20мА /0,2...1,0 кг/см <sup>2</sup> , з влаштованим електричним контролером положення штоку клапану, АО1=4...20мА   | ЭПП-300    | 2 | м. Київ, вул. пр-т Воз'єднання 15, оф. 803 «ООО СОФТЕК»                    |
| 2-6<br>6-6                   | Регулювання витрати сировини                | -             | - | Трубопровід     | Пневматичний регулювальний клапан, Ду=150, Ру=25, температура до 225оС   | РУСТ 510-1 | 2 | м. Київ, вул. пр-т Воз'єднання 15, оф. 803 «ООО СОФТЕК»                    |
| <b>Контроль концентрації</b> |   |               |   |                 |  |            |   |  |
| 10-1<br>14-1<br>18-1<br>21-1 | Концентрація                                | Вінілхлорид   | - | Трубопровід     | Газоаналітична система технологічного та екологічного моніторингу; діапазон вимірювання 0,0001...100 об. д. %, довжина пробовідбірника 200...3500 мм, температура: контрольованого середовища до 1500 °С, вихідні сигнали: аналогові – 0...5 мА або 4...20 мА; | КГО        | 5 | ФДУП «Смоленское ПО «Аналитприбор»», м. Смоленськ                          |
| 15-1                         | Концентрація                                | Хлорид водень | - |                 |  |            |   |  |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

76

|                                      |   |   |   |                 |   |            |   |   |
|--------------------------------------|---|---|---|-----------------|---|------------|---|---|
| 10-2<br>14-2<br>15-2<br>18-2<br>21-2 | Концентрація                                | - | - | Місцевий прилад | Перетворювач нормувальний, вхідні сигнали: 0...5 мА, 4...20 мА, а також від ТП НСХ В, К, L, S, R та ТО НСХ 50П,100П, 50М, 100М; клас точності 0,4 (0,5) – залежно від діапазону вимірювання ТП, ТО; Iвих = 0...5 ( 4...20 мА), Uвих = 0...10 В; цифровий інтерфейс RS-485 | П282       | 5 | НВО «Електротермія», м.Луцьк  |
| 10-3<br>14-3<br>15-3<br>18-3<br>21-3 | Концентрація                                | - | - | Пульт керування | ПД-регулятор багатофункціональний мікропроцесорний, плата комутацій КБЗ-28К-11, вихід АО1= 4...20мА   | МІК-21     | 5 | м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО                      |
| 10-4<br>14-4<br>15-4<br>18-4<br>21-4 | Концентрація                                | - | - | Пульт керування | Блок ручного управління, вихід АО1 = 4...20мА   | БРУ-7      | 5 | ТОВ МІКРОЛ, м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «Мікрол» |
| 10-5<br>14-5<br>15-5<br>18-5<br>21-5 | Перетворювання вихідного сигналу регулятора | - | - | Місцевий прилад | Перетворювач електричного сигналу в пневматичний сигнал, А11= 4...20мА /0,2...1,0 кг/см <sup>2</sup> , з влаштованим електричним контролером положення штоку клапану, АО1=4...20мА  | ЭПП-300    | 5 | м. Київ, вул. пр-т Воз'єднання 15, оф. 803 «ООО СОФТЕК»                 |
| 10-6<br>14-6<br>15-6<br>18-6<br>21-6 | Регулювання витрати сировини                | - | - | Трубопровід     | Пневматичний регулювальний клапан, Ду=150, Ру=25, температура до 225оС  | РУСТ 510-1 | 5 | м. Київ, вул.пр-т Воз'єднання 15, оф. 803 «ООО СОФТЕК»                  |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

77

**Контроль витрати**

|                                   |         |                     |   |                 |  |                              |   |   |
|-----------------------------------|---------|---------------------|---|-----------------|--|------------------------------|---|---|
| 1-1<br>7-1                        | Витрата | Ацетилен            | - | Трубопровід     | Витратомір з «Коріолісових сил», одна пряма вимірювальна труба, DN 80, від 950...34500 кг/год, клас: 0,5 %, температура потоку -40...+150 °С; Івих = 4...20 мА | OPTIMA<br>SS MFS<br>7000 T25 | 5 | м. Київ, вул. Васильківська 1<br>офіс 210,<br>«КАНЕКС<br>КРОНЕ» |
| 8-1                               | Витрата | Хлорид водню        | - |                 |  |                              |   |   |
| 22-1                              | Витрата | Гідроксид натрію    | - |                 |  |                              |   |   |
| 33-1                              | Витрата | Очищена суміш газів | - |                 |  |                              |   |   |
| 17-1<br>19-1                      | Витрата | Вода                | - |                 |  |                              |   |   |
| 1-2<br>7-2<br>8-2<br>22-2<br>33-2 | Витрата | -                   | - | Місцевий прилад | Електричний блок з формування вихідного сигналу АО1 4...20 мА, живлення 220 В  | Optimass<br>7000-E           | 5 | м. Київ, вул. Васильківська 1<br>офіс 210,<br>«КАНЕКС<br>КРОНЕ» |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

78

|   |   |   |   |                    |  |               |   |  |
|---|---|---|---|--------------------|--|---------------|---|--|
| 17-2<br>19-2                                      | Витрата   | - | - | Місцевий<br>прилад | Блок з нормалізації<br>вихідного сигналу, вихід<br>АО1= 4...20мА   | ЭМИС<br>ЭВ200 | 2 | ООО НПП<br>«ЭЛЕМЕР»,<br>www.elemer.ru<br>Постачальник:<br>ООО ЭЛЕМЕР-<br>Украина Киев,<br>а/я 69 |
| 1-3<br>7-3<br>8-3<br>17-3<br>19-3<br>22-3<br>33-3 | Витрата   | - | - | Пульт<br>керування | ПД-регулятор<br>багатофункціональний<br>мікропроцесорний, плата<br>комутацій КБЗ-28К-11,<br>вихід АО1= 4...20мА                                  | МІК-21        | 7 | м. Івано-<br>Франківськ, вул.<br>Автолітмашевсь<br>ка, 5, ООО<br>«МІКРОЛ»                        |
| 1-4<br>7-4<br>8-4<br>17-4<br>19-4<br>22-4<br>33-4 | Витрата   | - | - | Пульт<br>керування | Блок ручного управління,<br>АІ1= 4...20мА, живлення<br>220 В, АО1= 4...20мА,<br>плата комутацій КБЗ-24-<br>19                                    | БРУ-7         | 7 | м. Івано-<br>Франківськ, вул.<br>Автолітмашевсь<br>ка, 5, ООО<br>«МІКРОЛ»                        |
| 1-5<br>7-5<br>8-5<br>17-5<br>19-5<br>22-5<br>33-5 | Перетворюван<br>ня вихідного<br>сигналу<br>регулятора | - | - | Місцевий<br>прилад | Перетворювач<br>електричного сигналу в<br>пневматичний сигнал,<br>АІ1= 4...20мА / 0,2...1,0<br>кг/см <sup>2</sup> , з влаштованим<br>електричним | ЭПП-<br>300   | 7 | м. Київ, вул.<br>пр-т<br>Воз'єднання 15,<br>оф. 803<br>«ООО<br>СОФТЕК»                           |
| 1-6<br>7-6<br>8-6<br>17-6<br>19-6<br>22-6<br>33-6 | Регулювання<br>витрати<br>сировини                    | - | - | Трубопровід        | Пневматичний<br>регулювальний клапан,<br>Ду=150, Ру=25,<br>температура до 225оС  | РУСТ<br>510-1 | 7 | м. Київ, вул.<br>пр-т<br>Воз'єднання 15,<br>оф. 803«ООО<br>СОФТЕК»                               |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

79

|  |         |                       |   |                                   |  |              |    |   |
|--|---------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|--------------|----|---|
| 7-7<br>8-7   | Витрата | -                     | - | На корпусі регулювального клапану | Датчик положення клапану РУСТ-410, вхідний сигнал 4...20мА,  | РУСТ-410     | 2  | м. Київ, вул. пр-т Воз'єднання 15, оф. 803«ООО СОФТЕК»                  |
| <b>Контроль тиску</b>                              |         |                       |   |                                   |  |              |    |   |
| 3-1<br>5-1<br>11-1<br>16-1<br>20-1<br>32-1<br>38-1 | Тиск    | Холодна вода          | - | Трубопровід                       | Вимірювальний тензоперетворювач різниці тисків, $\Delta P_{max} = 2,5$ МПа, температура 5...50 °С, матеріал мембрани – сплав 06ХН28МДТ; клас точності 0,25; Івих = 4...20 мА | Сафір-М-2160 | 14 | ТОВ «Промприлад», м.Харків  |
| 13-1<br>25-1                                       | Тиск    | Розсіл                | - | Трубопровід                       |  |              |    |   |
| 23-1   | Тиск    | Гідроксид натрію      | - | Трубопровід                       |  |              |    |   |
| 26-1<br>27-1                                       | Тиск    | Очищеної суміші газів | - | Трубопровід                       |  |              |    |   |
| 28-1<br>34-1                                       | Тиск    | Тиск в апараті        | - | Ректифікацій на колона 23 та 27   |  |              |    |   |
| 3-2<br>5-2<br>11-2<br>13-2<br>16-2<br>20-2<br>23-2 | Тиск    | -                     | - | Пульт керування                   | Індикатор технологічний мікропроцесорний, плата комутації КБЗ-17-К01, вихід АО1= 4...20мА  | ІТМ-11       | 13 | ТОВ МІКРОЛ, м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «Мікрол» |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

80

|  |   |   |   |                 |   |             |    |   |
|--|---|---|---|-----------------|---|-------------|----|---|
| 25-2<br>27-2<br>28-2<br>32-2<br>34-2<br>38-2               | Тиск  | - | - | Пульт керування | Індикатор технологічний мікропроцесорний, плата комутації КБЗ-17-К01, вихід АО1= 4...20мА   | ІТМ-11      | 13 | ТОВ МІКРОЛ, м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «Мікрол» |
| 26-2   | Тиск  | - | - | Пульт керування | ПІД-регулятор багатофункціональний мікропроцесорний, плата комутації КБЗ-28К-11, вихід АО1= 4...20мА                              | МІК-21      | 1  | м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»             |
| 26-3   | Тиск  | - | - | Пульт керування | Блок ручного управління, АІ1= 4...20мА, живлення 220 В, АО1= 4...20мА, плата комутації КБЗ-24-19                                  | БРУ-7       | 1  | м. Івано-Франківськ, вул. Автолітмашевська, 5, ООО «МІКРОЛ»             |
| 26-4   | Перетворювання вихідного сигналу регулятора | - | - | Місцевий прилад | Перетворювач електричного сигналу в пневматичний сигнал, АІ1= 4...20мА / 0,2...1,0 кг/см <sup>2</sup> , з влаштованим електричним | ЭПП-300     | 1  | м. Київ, вул. пр-т Воз'єднання 15, оф. 803 «ООО СОФТЕК»                 |
| 26-5   | Регулювання витрати сировини                | - | - | Трубопровід     | Пневматичний регулювальний клапан, Ду=150, Ру=25, температура до 225оС  | РУСТ 510-1  | 1  | м. Київ, вул. пр-т Воз'єднання 15, оф. 803 «ООО СОФТЕК»                 |
| HL3<br>HL7<br>HL11<br>HL15<br>HL19<br>HL23<br>HL27<br>HL31 | Поломка насосу                              | - | - | Пульт керування | Лампа «червона», 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю E27/27                                   | Б215-225-40 | 11 | м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»                                    |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

81

|  |                           |   |   |                 |   |                |    |   |
|--|---------------------------|---|---|-----------------|---|----------------|----|---|
| HL35<br>HL43<br>HL51   | Поломка насосу            | - | - | Пульт керування | Лампа «червона», 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю E27/27 | B215-225-40    | 11 | м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»  |
| HL4<br>HL8<br>HL12<br>HL16<br>HL20<br>HL24<br>HL28<br>HL32<br>HL36<br>HL44<br>HL52 | Аварійний захист          | - | - | Пульт керування | Лампа «жовта», 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю E27/27   | B215-225-40    | 11 | м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА»  |
| HL37<br>HL45   | Технологічна сигналізація | - | - | Пульт керування | Синя світлодіодна сигнальна лампа (LED), U=25 В, d=16 мм  | E.AD16.24.BLUE | 2  | Київська область, м. Вишневе, вул. Київська, 27А, «E.NEXT»                  |
| HL38<br>HL46   | Технологічна сигналізація | - | - | Пульт керування | Червона світлодіодна сигнальна лампа (LED), U=25 В, d=16 мм                                     | E.AD16.24.RED  | 2  | Київська область, м. Вишневе, вул. Київська, 27А, «E.NEXT»                  |
| <b>Електроприлади</b>  |                           |   |   |                 |   |                |    |   |
| SB1<br>SB3<br>SB5<br>SB7<br>SB9<br>SB11<br>SB13                                    | -                         | - | - | Пульт керування | Кнопка управління, типу АСКО, зелена «Пуск», 230 В  | XB-2BA31       | 11 | Київська обл, Фастівський р-н, с. Новосілки, вул. Озерна, 20в, «АСКО-УКРЕМ» |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

82

|  |   |   |   |                 |  |                  |    |   |
|--|---|---|---|-----------------|--|------------------|----|---|
| SB15<br>SB17<br>SB19<br>SB21   | - | - | - | Пульт керування | Кнопка управління, типу АСКО, зелена «Пуск», 230 В   | ХВ-2ВА31         | 11 | Київська обл, Фастівський р-н, с. Новосілки, вул. Озерна, 20в, «АСКО-УКРЕМ» |
| SB2<br>SB4<br>SB6<br>SB8<br>SB10<br>SB12<br>SB14<br>SB16<br>SB18<br>SB20<br>SB22 | - | - | - | Пульт керування | Кнопка управління, типу АСКО, червона «Стоп», 230 В  | ХВ-2ВА42         | 11 | Київська обл, Фастівський р-н, с. Новосілки, вул. Озерна, 20в, «АСКО-УКРЕМ» |
| KM1...22   | - | - | - | Пульт керування | Реле електромагнітне, жив/тах АС 400V/DC24V, контакти АС1 16А/250V, контакти DC1 16А/24 V                            | RM63             | 22 | м. Київ, вул. Лепсе 4, «СВ АЛЬТЕРА»   |
| МП1...11   | - | - | - | Пульт керування | Магнітний пускач, роб. струм 23 А, допустима потужність електромотора 10кВт з живленням 380 В, з тепловим реле ТРН-8 | ПМЕ-222          | 11 | м. Київ, вул. Магнітогорська 1а, «ТЕХНОТОН»                                 |
| SA1...11   | - | - | - | Пульт керування | Кулачковий перемикач ланцюга живлення до магнітного, 220 В   | 4G25-10-US5-R112 | 11 | м. Івано-Франківськ, вул. Красівського, 20                                  |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

83

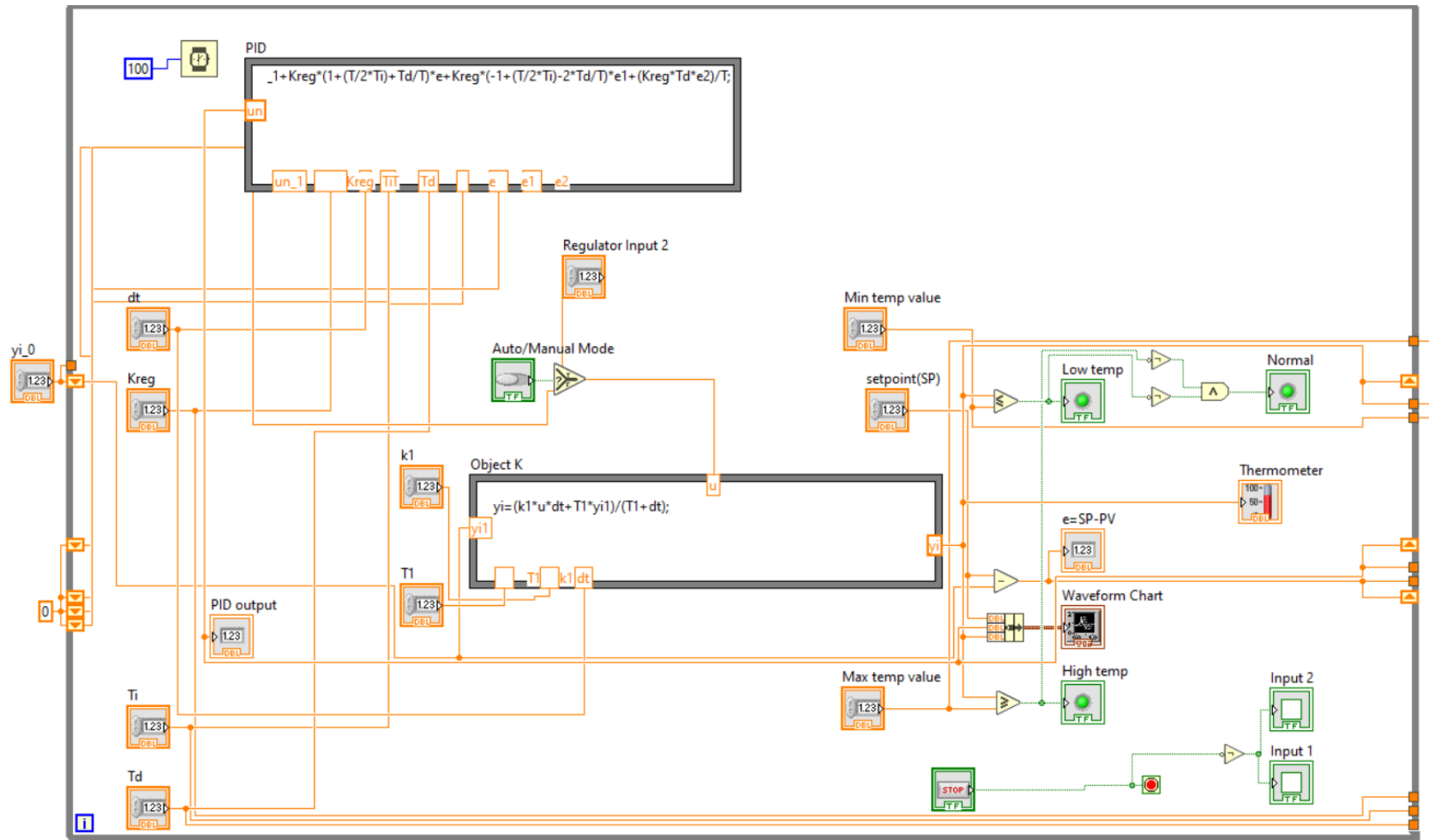
|  |   |   |   |                 |  |             |    |                                      |
|--|---|---|---|-----------------|--|-------------|----|--------------------------------------|
| HL1<br>HL5<br>HL9<br>HL13<br>HL17<br>HL21<br>HL25<br>HL29<br>HL33<br>HL41<br>HL49  | - | - | - | Пульт керування | Лампа «червона», 40 Вт, 220В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю E27/27 | Б215-225-40 | 11 | м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА» |
| HL2<br>HL6<br>HL10<br>HL14<br>HL18<br>HL22<br>HL26<br>HL30<br>HL34<br>HL42<br>HL50 | - | - | - | Пульт керування | Лампа «зелена», 40 Вт, 220 В, світловий потік 415 лм, робочий час 1000 год., тип цоколю E27/27 | Б215-225-40 | 11 | м. Київ, вул. Лепсе, 4, «СВ АЛЬТЕРА» |

|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

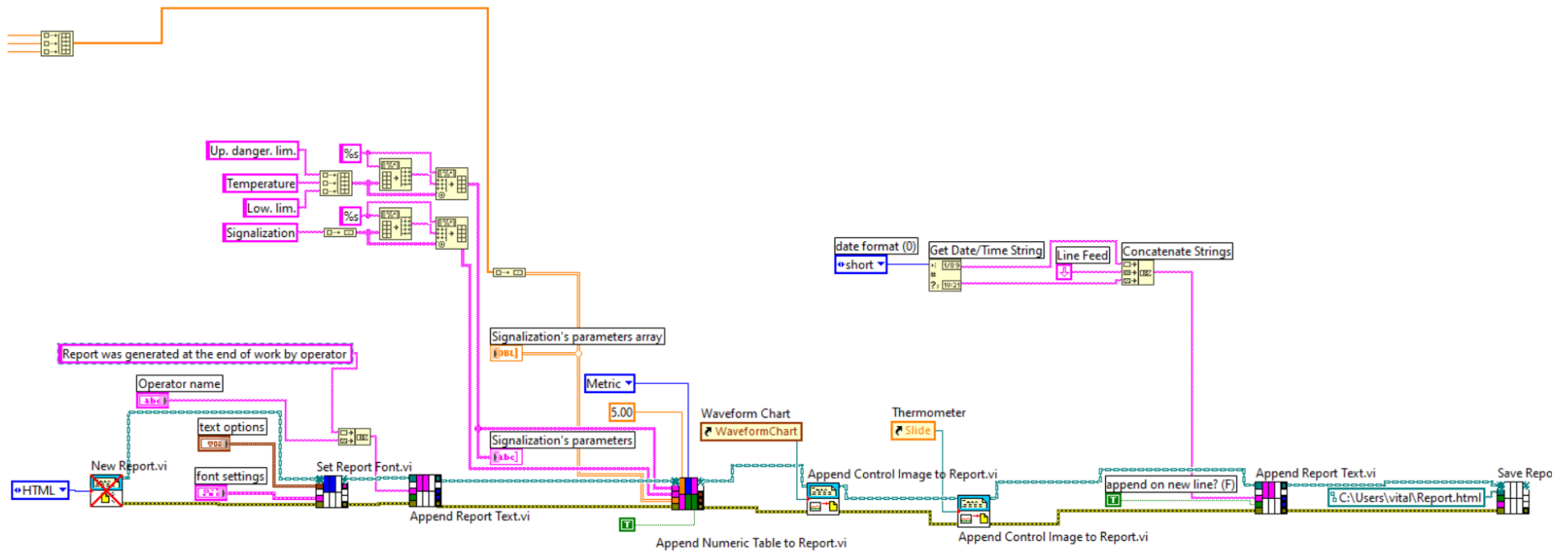
ДП.ЛА-03.0305.000.01.ПЗ

Арк

84



|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |



|     |     |          |        |     |
|-----|-----|----------|--------|-----|
|     |     |          |        |     |
| Зм. | Арк | № докум. | Підпис | Дат |

ДП.ЛІА-03.0305.000.01.ПЗ