

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ**  
**ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО**

**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ**  
**ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: “Автоматизація процесу отримання технологічної водяної пари із застосуванням контролерів Siemens в ПрАТ "Львівський жиркомбінат"”

Виконав: студент гр. Акт-42Сп  
Спеціальності 174 – „Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка”  
(шифр і назва)

\_\_\_\_\_  
Васьків Юрій Володимирович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: \_\_\_\_\_к.т.н., доц. Лиса О.В.  
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: д.т.н., проф. Власовець В.М.  
(Прізвище та ініціали)

**ЛЬВІВ-2025**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
Спеціальність 174 – „Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту

Васьків Юрій Володимирович

1. Тема роботи: Автоматизація процесу отримання технологічної водяної пари із застосуванням контролерів Siemens в ПрАТ "Львівський жиркомбінат"

Керівник роботи Лиса Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.

Затверджені наказом по університету від 25 лютого 2025 року № 123/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 16.06.2025 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта процесу отримання технологічної водяної пари; 2. Функціональні ознаки процесу отримання технологічної водяної пари; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу отримання водяної пари як об'єкта керування

2. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та технічних засобів автоматизації

3. Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації

Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу: Тема, автор, керівник роботи. Схема барабанного парового котла. Технологічна карта процесу. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу. Спрощена функціональна схема автоматизації парового котла. Програма подачі сигналу на імпульсний регулятор Cont S в якості вхідної величини. Під'єднання датчика різниці тисків до блоку аналогових входів контролера. Під'єднання датчика концентрації димових газів до блоку аналогових входів контролера. Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання. Структурна схема досліджуваної САР тиску пари на виході з котла в Simulink середовища Matlab. Перехідний процес САР, отриманий при зміні завдання на 0.05 МПа

6. Консультанти з розділів:

| Розділ     | Прізвище, ініціали та посада консультанта            | Підпис, дата   |                  |
|------------|------------------------------------------------------|----------------|------------------|
|            |                                                      | завдання видав | завдання прийняв |
| 1, 2, 3, 5 | Лиса О.В., доцент кафедри інформаційних технологій   |                |                  |
| 4          | Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки |                |                  |

7. Дата видачі завдання 8 вересня 2024 р.

### **КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                         | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Написання першого розділу та означення головних завдань роботи              | 08.09.24-25.12.24             |          |
| 2     | Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків | 26.12.24-01.02.25             |          |
| 3.    | Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи     | 02.02.25-11.04.25             |          |
| 4.    | Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці            | 12.04.25-21.04.25             |          |
| 5.    | Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи                            | 22.04.25-21.05.25             |          |
| 6.    | Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації     | 22.05.25-01.06.25             |          |
| 7.    | Завершення роботи в цілому                                                  | 02.06.25-16.06.25             |          |

Студент \_\_\_\_\_ Васьків Ю.В.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Лиса О.В.  
(підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація процесу отримання технологічної водяної пари із застосуванням контролерів Siemens в ПрАТ "Львівський жиркомбінат". Васків Ю. В. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Львів, ЛНУВМБ ім. С.З.Гжицького, 2025.

66 с. текст. част., 49 рис., 7 табл., 25 літ. джерел.

Текстова частина включає вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел.

У першому розділі наведено опис технологічного процесу, розглянуто принципи функціонування основних апаратів та машин, побудовано матеріальний і тепловий баланси. Проведено аналіз номінальних значень параметрів процесу та визначено допустимі відхилення

У другому розділі на основі результатів аналізу розроблено функціональну схему автоматизації з урахуванням вимірювання, контролю, сигналізації, захисту та регулювання. Вибрано оптимальні технічні засоби: первинні вимірювальні перетворювачі, виконавчі механізми та мікропроцесорну техніку (контролер Simatic S7-300). Описано логіку функціонування контролера та принципові електричні схеми зовнішніх підключень.

У третьому розділі виконано математичне моделювання об'єкта регулювання, проведено розрахунок параметрів автоматичного регулятора та побудовано перехідні процеси системи. Описано схемні рішення автоматизації, складено специфікацію обладнання.

У четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці і навколишнього середовища.

У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження запропонованої системи автоматизації.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, контролер, закон регулювання, моделювання, крива розгону, Matlab.

## **АНОТАЦІЯ**

У кваліфікаційній роботі бакалавра досліджено питання автоматизації технологічного процесу отримання водяної пари як об'єкта керування. Наведено опис технологічного процесу, розглянуто принципи функціонування основних апаратів та машин, побудовано матеріальний і тепловий баланси. Проведено аналіз номінальних значень параметрів процесу та визначено допустимі відхилення. На основі результатів аналізу розроблено функціональну схему автоматизації з урахуванням вимірювання, контролю, сигналізації, захисту та регулювання. Вибрано оптимальні технічні засоби: первинні вимірні перетворювачі, виконавчі механізми та мікропроцесорну техніку (контролер Simatic S7-300). Описано логіку функціонування контролера та принципові електричні схеми зовнішніх підключень. Виконано математичне моделювання об'єкта регулювання, проведено розрахунок параметрів автоматичного регулятора та побудовано перехідні процеси системи. Описано схемні рішення автоматизації, складено специфікацію обладнання. Розраховано економічну ефективність проекту та термін його окупності. Результати роботи можуть бути використані для підвищення надійності, енергоефективності та безпеки виробництва водяної пари на промислових підприємствах.

## ***THE SUMMARY***

The bachelor's qualification work investigates the issue of automation of the technological process of obtaining water vapor as a control object. The technological process is described, the principles of operation of the main devices and machines are considered, material and heat balances are constructed. The nominal values of the process parameters are analyzed and permissible deviations are determined. Based on the results of the analysis, a functional automation scheme is developed taking into account measurement, control, signaling, protection and regulation. The optimal technical means are selected: primary measuring transducers, actuators and microprocessor technology (Simatic S7-300 controller). The logic of the controller's operation and the basic electrical diagrams of external connections are described. Mathematical modeling of the control object is performed, the parameters of the automatic regulator are calculated and the transient processes of the system are constructed. Automation schematic solutions are described, and the equipment specification is drawn up. The economic efficiency of the project and its payback period are calculated. The results of the work can be used to improve the reliability, energy efficiency, and safety of steam production at industrial enterprises.

## Зміст

|                                                                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Вступ.....</b>                                                                                                                         | <b>6</b>  |
| <b>1. Аналіз технологічного процесу отримання водяної пари як об'єкта керування .....</b>                                                 | <b>8</b>  |
| 1.1. Опис технологічного процесу отримання водяної пари .....                                                                             | 8         |
| 1.2. Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах і машинах .....                                            | 10        |
| 1.3. Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта .....                                                                        | 11        |
| 1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень.....                     | 13        |
| 1.5. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу.....                                                           | 14        |
| <b>2. Технічне обґрунтування вибору функціональної схеми автоматизації та технічних засобів автоматизації .....</b>                       | <b>16</b> |
| 2.1 Обґрунтування і вибір координат вимірювання, контролю, сигналізації, дистанційного керування, захисту, блокування та регулювання..... | 16        |
| 2.2. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації .....                                                                             | 17        |
| 2.3. Вибір первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів .....                                                          | 18        |
| 2.4. Вибір мікропроцесорних засобів .....                                                                                                 | 20        |
| 2.5. Розробка програми функціонування контролера.....                                                                                     | 24        |
| 2.6. Розробка принципових електричних схем зовнішніх під'єднань контролера Simatic S7-300.....                                            | 39        |
| <b>3. Розрахунок та моделювання системи автоматичного регулювання.....</b>                                                                | <b>40</b> |
| 3.1. Складання математичної моделі об'єкта регулювання і розрахунок її параметрів.....                                                    | 40        |
| 3.2. Розрахунок параметрів налаштування автоматичного регулятора .....                                                                    | 46        |
| 3.3. Побудова перехідних процесів розрахованої системи автоматичного регулювання (САР).....                                               | 50        |
| 3.4. Опис схем автоматизації.....                                                                                                         | 53        |
| 3.5. Специфікація на засоби автоматизації.....                                                                                            | 55        |
| <b>4. Охорона праці .....</b>                                                                                                             | <b>58</b> |
| 4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці.....                                                                               | 58        |
| 4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці...59                                                              | 59        |
| 4.3. Пожежна безпека.....                                                                                                                 | 65        |
| <b>5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації.....</b>                                                     | <b>67</b> |
| <b>Висновок.....</b>                                                                                                                      | <b>69</b> |
| <b>Список використаних джерел.....</b>                                                                                                    | <b>72</b> |

## Вступ

Автоматизація технологічних процесів є одним із ключових напрямів сучасного технічного прогресу. Вона спрямована не лише на звільнення людини від рутинних і фізично складних операцій у виробничому процесі, а й на забезпечення ефективного та надійного управління всіма стадіями виробництва. Завдяки впровадженню автоматизованих систем досягається автоматичне виконання процесів отримання, перетворення, передавання й використання енергії, матеріалів і інформації. Обслуговуючий персонал більше не бере безпосередньої участі в технологічних операціях, а зосереджується на контролі, налаштуванні, діагностиці та обслуговуванні автоматизованих механізмів і систем керування.

Автоматизація є логічним продовженням етапу механізації і визначає якісно новий рівень розвитку промислового виробництва. Її впровадження сприяє зростанню продуктивності праці, зменшенню собівартості продукції, підвищенню енергоефективності, а також забезпечує високий рівень безпеки технологічних процесів. Особливо важливою є інтеграція автоматизації вже на етапі проектування технологічного обладнання: сучасні системи розробляються з урахуванням максимальної автоматизації їх функціонування, що дозволяє значно підвищити гнучкість, точність і надійність виробничих процесів.

Автоматичне управління широко застосовується і для отримання технологічної пари для потреб різних підприємств, в тому числі і в аграрному секторі. Отримують технологічну пару в парових котлах різних принципів дії і конструкцій. Сучасні парові котли - повністю автоматизовані об'єкти, де всі операції виконуються без участі людини, а оператор лише задає необхідні параметри і стежить за справністю апаратури. Автоматичні системи управління паровими котлами здійснюють безперервний контроль і точне регулювання таких параметрів котла як тиск пари на виході з нього, тяга в топці та інші. Важливу роль відіграє також висока безпека експлуатації котла, яка повинна виключити виникнення можливих аварійних ситуацій.

У сучасних умовах зростаючих вимог до енергоефективності, надійності та безпеки виробничих процесів особливе значення має впровадження сучасних

систем автоматизації на підприємствах теплоенергетики та харчової промисловості. Процес отримання водяної пари є ключовою ланкою в багатьох технологічних циклах — від генерації енергії до теплової обробки продуктів. При цьому точне підтримання температури, тиску, рівня води та інших параметрів є критичним для забезпечення якості продукції, енергоощадності та запобігання аварійним ситуаціям.

Традиційні способи ручного або частково автоматизованого керування парогенераторами не відповідають сучасним вимогам ефективності та цифрової інтеграції в рамках концепцій Індустрії 4.0. Використання мікропроцесорних засобів автоматизації, зокрема програмованих логічних контролерів (PLC), таких як Siemens Simatic S7-300, дозволяє забезпечити високу точність регулювання, гнучкість налаштування, дистанційне керування і моніторинг, а також підвищити надійність роботи обладнання.

Таким чином, розробка автоматизованої системи керування процесом отримання водяної пари є надзвичайно актуальною для підвищення техніко-економічних показників підприємств, зменшення споживання енергоресурсів та забезпечення сталого розвитку виробництва.

Метою даної роботи є розробка та техніко-економічне обґрунтування системи автоматизованого керування процесом отримання водяної пари, що забезпечує підвищення ефективності, безпеки та енергозбереження в умовах сучасного виробництва шляхом впровадження мікропроцесорних засобів керування на базі контролерів Siemens Simatic S7-300.

Об'єктом дослідження є технологічний процес отримання водяної пари в котельному агрегаті, який включає в себе подачу палива, повітря, підготовку та випаровування води, контроль тиску, температури та витрати пари.

Предметом дослідження є методи та технічні засоби автоматизації процесу отримання водяної пари, зокрема: вимірювання, регулювання, сигналізація, контролерне керування, синтез систем автоматичного регулювання, вибір датчиків, виконавчих механізмів і контролерів, а також розробка програмного забезпечення для автоматизованого керування технологічним процесом.

## **1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ВОДЯНОЇ ПАРИ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ**

### **1.1. Опис технологічного процесу отримання водяної пари**

Для забезпечення тепловою енергією і технологічною парою ПрАТ "Львівський жиркомбінат" на котельні підприємства встановлено барабанний котлоагрегат типу ДКВР 10/13 з потужностями 10 т/год пари.

Паровим котлом називають комплекс агрегатів, призначених для одержання технологічної та гріючої пари. Цей комплекс складається з ряду теплообмінних пристроїв, які пов'язані між собою для передачі тепла від продуктів згоряння палива до живильної води і пари. Первинним носієм енергії, яка необхідна для утворення пари є паливо і в більшості випадків - природний газ. Природний є високоефективним енергоносієм, він широко застосовується у багатьох процесах суспільного виробництва.

Основними етапами робочого процесу, що протікають в паровому котлі є:

- процес горіння палива;
- процес теплообміну між продуктами згоряння та живильною водою;
- процес пароутворення, що складається з нагрівання живильної води, її випарювання і нагрівання отриманої пари.

Під час роботи в парових котлах відбувається взаємодія двох матеріальних потоків: потік робочого тіла і потік палива (теплоносія). У результаті взаємодії цих потоків на виході об'єкта утворюється пара із заданими параметрами (тиском і температурою).

Однієї з основних задач, що виникає при експлуатації парового котла, є забезпечення рівності між виробленою і споживаною енергією. У свою чергу процеси пароутворення і передачі енергії в паровому котлі однозначно зв'язані з кількістю речовини в потоках робочого тіла і теплоносія.

Горіння палива є фізико-хімічним процесом. Хімічна сторона горіння являє собою процес окислення палива киснем, він протікає при певній температурі і супроводжується виділенням тепла. Інтенсивність та стійкість процесу горіння палива залежать від способу підведення і розподілу повітря між частками палива. Умовно прийнято процес спалювання палива поділяти на три стадії:

запалювання, горіння і допалювання. Ці стадії в основному протікають послідовно в часі, частково накладаються одна на іншу.

Розрахунок процесу горіння звичайно зводиться до визначення кількості об'єму повітря, необхідного для згоряння одиниці маси палива, кількості і складу теплового балансу і визначенню температури горіння.

Параметри тепловіддачі полягають в передачі теплової енергії, що виділяється при спалюванні палива, до живильної води, з якої необхідно одержати пару, або пари, якщо необхідно підвищити її температуру вище температури насичення. Процес теплообміну в парових котлах здійснюється через водо-газонепроникні теплопровідні стінки, які служать поверхнею нагрівання. Поверхні нагрівання виконуються у виді труб. Усередині труб відбувається безупинна циркуляція живильної води, а ззовні вони омиваються гарячими топковими газами, а також сприймають теплову енергію випромінюванням. У такий спосіб у котлоагрегаті мають місце усі види теплопередачі: теплопровідність, конвекція і випромінювання. Відповідно поверхня нагрівання поділяється на конвективну і радіаційну. Кількість тепла, що передається через одиницю площі нагрівання за одиницю часу називають тепловою напругою поверхні нагрівання. Величина теплової напруги обмежена двома факторами: властивостями матеріалу поверхні нагрівання і максимально можливою інтенсивністю теплопередачі від гарячого теплоносія до поверхні та від поверхні нагрівання до холодного теплоносія.

Інтенсивність коефіцієнта теплопередачі тим вища, чим вища різниця температур теплоносіїв, швидкість їхнього переміщення щодо поверхні нагрівання і чистота поверхні нагрівання.

Утворення пари в котлоагрегатах протікає за визначеною послідовністю. Вже в екранних трубах починається утворення пари. Цей процес протікає при великих температурі і тиску. Із збільшенням температури інтенсивність пароутворення зростає. Процес, зворотний пароутворенню, називають конденсацією. Рідина, що утвориться при конденсації називають конденсатом. Вона використовується для охолодження металевих поверхонь в парових котлах.

Пара, утворена в котлоагрегаті, поділяється на насичену і перегріту. Насичену пару у свою чергу поділяють на суху і вологу. Якщо для технологічного процесу потрібна перегріта пара, то для його перегріву встановлюється пароперегрівники, у яких для перегріву пари використовується тепло, отримане в результаті згоряння палива і вихідних газів.

## 1.2. Теоретичні основи технологічного процесу в окремих технологічних апаратах і машинах

Схема барабанного парового котла зображена на рис.1.1.

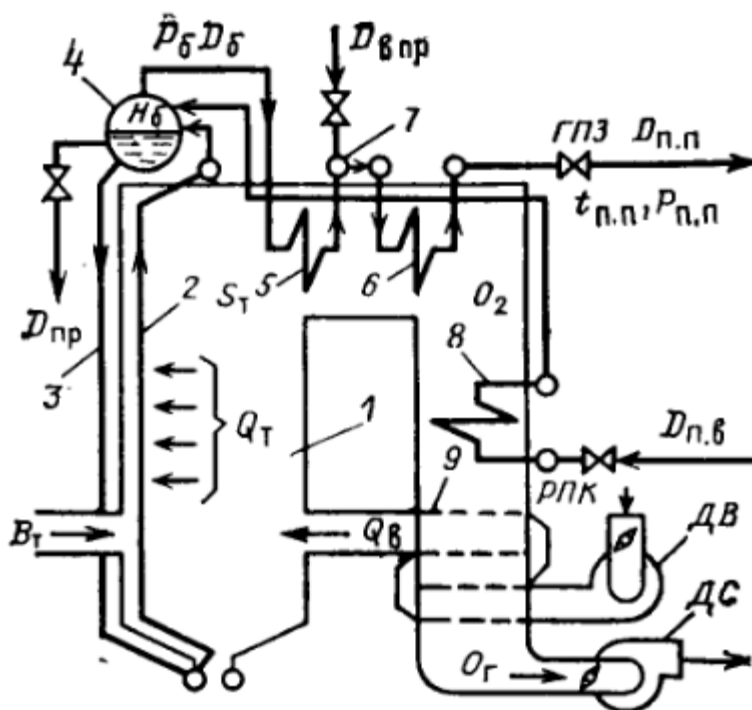


Рис.1.1. Схема барабанного парового котла: 1-топка; 2-циркуляційний контур; 3-опускна труба ;4-барабан; 5,6-пароперегрівники; 7-пароохолоджувач; 8-економізатор; 9-нагрівач повітря

### Опис барабанного котла

Принципова схема технологічного процесу, що протікає в барабанному паровому котлі, показана на рис.1.1. Паливо надходить через пальникові пристрої в топку, де його зазвичай спалюють факельним способом. Для підтримання процесу горіння з заданим коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha$ , в

топку подається повітря з витратою  $Q_v$  вентилятором ДВ, попередньо нагріте нагрівачем повітря 9.

Димові гази з витратою  $Q_r$ , що утворилися в результаті процесу горіння, відсмоктуються з топки димососом ДС. Вони проходять через поверхності нагріву економайзера 8, нагрівача повітря 9 і викидаються в атмосферу через димову трубу.

Керований процес пароутворення відбувається в підйомних трубах циркуляційного контура 2, який живиться живильною водою із опускних труб 3 і екрануючих камерну топку 1, в якій спалюється паливо з витратою  $V_t$ . Насичена пара з барабану 4 поступає в пароперегрівники 5,6, де перегрівається до необхідної температури за рахунок радіації факела і конвективного обігріву топковими газами. При цьому температуру перегріву пари регулюють в парохолоджувачі 7 за допомогою вприску води з витратою  $D_{впр}$ .

### **1.3. Матеріальний та тепловий баланси технологічного об'єкта**

#### ***Матеріальний баланс***

Матеріальний баланс котлоагрегата записується у такому вигляді:

$$G_p^r = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6$$

де  $G_p^r$  - загальний матеріальний потік, що поступає в котлоагрегат ;

$G_1$  – корисно використувувана його кількість;

$G_2$  – кількість вихідних газів;

$G_3$  – кількість хімічної неповноти горіння;

$G_4$  – кількість механічного недопалу;

$G_5$  – кількість зовнішнього охолодження;

$G_6$  – кількість шлаків.

#### ***Тепловий баланс***

При спалюванні палива в котлі не вся кількість тепла, що виділяється в топці, використовується для нагріву живильної води чи одержання технологічної пари. Частина тепла втрачається з вихідними з котла димовими газами. Основна

задача при експлуатації котла полягає в зниженні цих втрат до мінімальних значень.

Тепловим балансом котла називається рівність введеного в котел і використаного тепла, яке складається з корисно використаного тепла для вироблення пари (гарячої води) та теплових втрат, що виникають в процесі роботи котельної установки.

Загальний вигляд рівняння теплового балансу:

при спалюванні твердого палива, кДж/кг·т

$$Q_H^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 ,$$

при спалюванні рідкого і газоподібного палива, кДж/кг·м<sup>3</sup>·т

$$Q_H^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_5 , \text{де}$$

$Q_H^P$  - розраховане тепло на 1 кг робочого тіла;

$Q_1$  – корисно використовуване тепло;

$Q_2$  – втрати тепла з вихідними газами;

$Q_3$  – втрати тепла від хімічної неповноти горіння;

$Q_4$  – втрати тепла від механічного недопалу;

$Q_5$  – втрати тепла від зовнішнього охолодження (в навколишнє середовище);

$Q_6$  – втрати з фізичним теплом шлаків.

Якщо всі складові розділити на  $Q_H^P$  і помножити на 100, то отримаємо:

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 ,$$

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 .$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) котла знаходиться як відношення корисно використаного тепла до розрахованого, його ще називається брутто котла:

$$\eta = q_1 = \frac{Q_1}{Q_H^P} \cdot 100\%$$

ККД залежить від значень теплових втрат, (із зменшенням втрат ККД зростає). Значення ККД може перебувати в межах  $\eta = 0,93-0,7$  (93-70%), а величина теплових втрат для котлів малої потужності становить:  $q_2 = 12-15\%$ ;

$$q_3 = 2-7\%; q_4 = 1-6\%; q_5 = 0,4-3,5\%; q_6 = 0,5-1,5\% .$$

ККД не враховує скільки йде енергії на власні потреби (на привід живильних насосів, вентиляторів, димососів, обдувку), тому і називається брутто.

ККД з врахуванням витрат електроенергії і тепла на власні потреби називається ККД нетто котла:

$$\eta_n = \eta - q_c,$$

де  $q_c, \%$  - сумарні втрати енергії на привід допоміжних механізмів. ККД брутто може бути розрахований за прямим чи оберненим балансом.

Метод оберненого балансу зводиться до визначення суми всіх втрат тепла, які мають місце при роботі котла.

Розрахунок тоді ведеться за формулою:

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6)\%$$

Найчастіше здійснюють прямий і обернений баланси одночасно, а потім порівнюють отримані значення ККД.

#### **1.4. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень**

При зміні основних параметрів парового котла буде порушуватись протікання технологічного процесу, саме тому є важливим підтримувати їх на заданому значенні.

Нижче наведено номінальні значення параметрів для парового котла типу ДКВР 10/13.

Номінальне значення тиску пари становить 1.3 МПа з допустимим відхиленням  $\pm 0.5$  МПа.

Номінальне значення розрідження у топці становить 40 Па з допустимим відхиленням  $\pm 10$  Па.

Номінальне значення витрати палива становить 776 м<sup>3</sup>/год з допустимим відхиленням  $\pm 5$  м<sup>3</sup>/год.

Номінальне значення витрати повітря становить 7372 м<sup>3</sup>/год з допустимим відхиленням  $\pm 20$  м<sup>3</sup>/год.

Номінальне значення рівня води в барабані котла становить 1500 мм з допустимим відхиленням  $\pm 50$  мм.

Номінальне значення температури пари становить  $194^{\circ}\text{C}$  з допустимим відхиленням  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ .

На основі аналізу та обґрунтування номінальних значень параметрів процесу розроблено технологічну карту, яка наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

### Технологічна карта процесу

| №п/п | Назва параметру        | Одиниця вимірювання     | Номінальне значення | Допустимі відхилення |
|------|------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|
| 1.   | Продуктивність по парі | т/год                   | 10                  | $\pm 0.5$            |
| 2.   | Температура пари       | $^{\circ}\text{C}$      | 194                 | $\pm 20$             |
| 3.   | Розрідження в топці    | Па                      | 40                  | $\pm 10$             |
| 4.   | Витрата палива         | $\text{м}^3/\text{год}$ | 776                 | $\pm 5$              |
| 5.   | Витрата повітря        | $\text{м}^3/\text{год}$ | 7372                | $\pm 20$             |
| 6.   | Рівень води у котлі    | мм                      | 1500                | $\pm 50$             |

### 1.5. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу

На основі аналізу технологічного процесу як об'єкта керування розроблено структурну схему, яка зображена на рисунку 1.2.

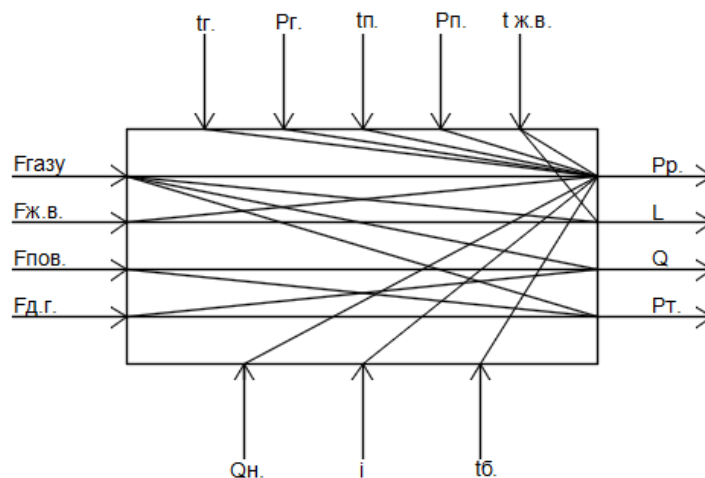


Рис.1.2. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами процесу

Позначення на рисунку 1.2:

$F_{\text{газу}}$  - витрата палива (природного газу);

$F_{\text{ж.в.}}$  - витрата живильної води;

$F_{\text{пов.}}$  - витрата повітря для спалювання палива;

$F_{\text{д.г.}}$  - витрата димових газів;

$t_{\text{г.}}$  - температура газу;

$t_{\text{п.}}$  - температура повітря;

$t_{\text{ж.в.}}$  - температура живильної води;

$P_{\text{г.}}$  - тиск газу;

$P_{\text{п.}}$  - тиск повітря;

$P_{\text{т.}}$  - розрідження в топці;

$P_{\text{р.}}$  - тиск пари;

$L$  - рівень живильної води в барабані;

$Q$  - вміст кисню в димових газах;

$Q_{\text{н.}}$  - хімічний склад палива;

$i$  - ступінь змішування палива з повітрям;

$t_0$  - температура навколишнього середовища.

*Вхідними* величинами котла є такі параметри:

- витрата палива,
- витрата живильної води,
- витрата повітря,
- витрата димових газів.

*Вихідними* величинами є такі параметри:

- тиск пари,
- рівень живильної води в барабані котла,
- вміст кисню в димових газах,
- розрідження в топці.

*Збурюючими* величинами є такі параметри:

- хімічний склад палива, - ступінь змішування газу з повітрям,
- температура навколишнього середовища,
- температура палива, - температура повітря,
- температура живильної води, - тиск газу, - тиск повітря.

## 2. ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### 2.1. Обґрунтування і вибір координат вимірювання, контролю, сигналізації, дистанційного керування, захисту, блокування та регулювання

В технологічному процесі отримання пари *вимірюванню підлягають такі параметри:*

- співвідношення витрат «повітря-паливо (природний газ);
- тиск пари;
- рівень живильної води;
- розрідження в топці.

*Сигналізації підлягають такі параметри:*

- тиск пари;
- рівень живильної води;
- розрідження в топці.

*Дистанційному керуванню підлягають такі параметри:*

- співвідношення витрат «повітря-паливо»;
- тиск пари;
- рівень живильної води;
- розрідження в топці.

*Регулюванню підлягають такі параметри:*

- співвідношення витрат «повітря-паливо»;
- тиск пари;
- рівень живильної води;
- розрідження в топці.

*Захист необхідно забезпечити за такими параметрами:*

- наявність полум'я в топці;
- розрідженню в топці;
- тиску газу;
- тиску повітря.

Функціональні ознаки системи автоматизації наведені в таблиці 2.1.

Таблиця.2.1

**Функціональні ознаки системи автоматизації парового котла**

| №<br>п/<br>п | Обсяг авто-<br>матизації<br><br>Назва<br>Параметра | Показ | Реєстрація | Підсумовування | Усереднення | Визначення відхилення | Розрахунок техн.-економічних показ. | Оптимізація | Сигналізація | Дистанційне керування | Захист | Блокування | Автоматичне регулювання |
|--------------|----------------------------------------------------|-------|------------|----------------|-------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------|--------------|-----------------------|--------|------------|-------------------------|
| 1            | 2                                                  | 3     | 4          | 5              | 6           | 7                     | 8                                   | 9           | 10           | 11                    | 12     | 13         | 14                      |
| 1.           | Тиск пари                                          | +     |            |                |             |                       |                                     |             | +            | +                     |        |            | +                       |
| 2.           | Співвідношення повітря-газ                         | +     | +          |                |             |                       |                                     |             |              | +                     |        |            | +                       |
| 3.           | Рівень живильної води                              | +     |            |                |             |                       |                                     |             | +            | +                     |        |            | +                       |
| 4.           | Розрідження в топці                                | +     |            |                |             |                       |                                     |             | +            | +                     |        |            | +                       |
| 5.           | Наявність вогню в топці                            |       |            |                |             |                       |                                     |             |              |                       | +      |            |                         |
| 6.           | Контроль тиску газу                                |       |            |                |             |                       |                                     |             |              |                       | +      |            |                         |
| 7.           | Контроль тиску повітря                             |       |            |                |             |                       |                                     |             |              |                       | +      |            |                         |
| 8.           | Контроль розрідження в топці котла                 |       |            |                |             |                       |                                     |             |              |                       | +      |            |                         |

**2.2. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації**

На основі аналізу існуючих схем автоматизації мною запропонована оптимальна схема автоматизації, яка зображена на рисунку 2.1 і в якій передбачено контури регулювання, захисту і блокування.

*1. Контури регулювання:*

- контур регулювання тиску пари;

- контур регулювання співвідношення «паливо-повітря» з корекцією по вмісту кисню в димових газах;
- контур регулювання рівня живильної води в барабані котла;
- контур регулювання розрідження димових газів в топці котла.

## 2. Контури схем захисту і блокування:

- контур наявності полум'я в топці котла;
- контур контролю тиску газу;
- контур контролю тиску повітря;
- контур розрідження в топці.

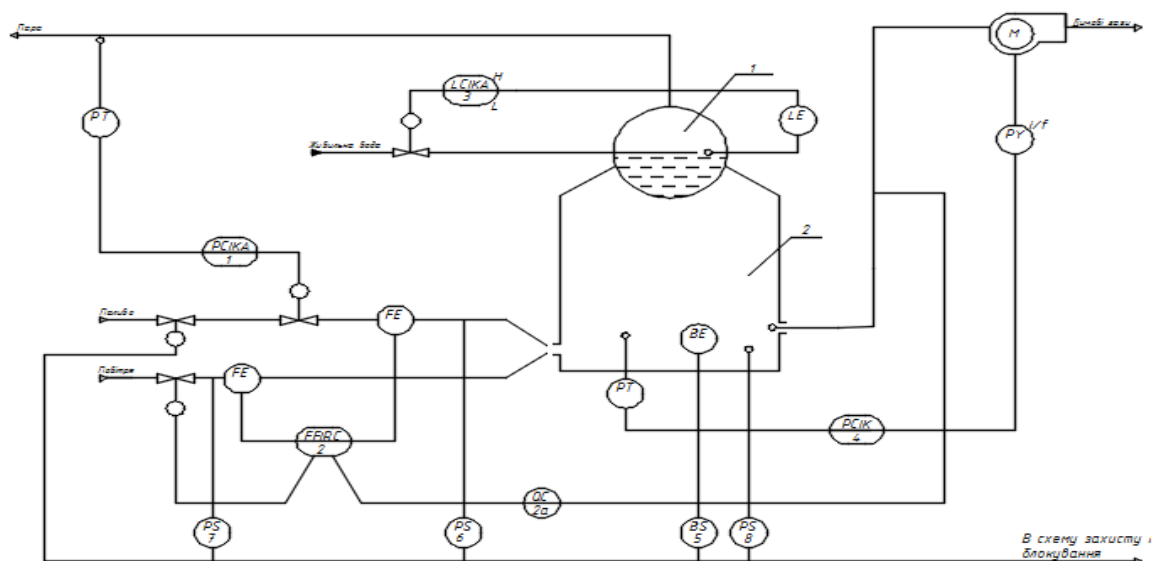


Рис.2.1. Спрощена функціональна схема автоматизації парового котла:

1-барабан котла; 2-топка

## 2.3. Вибір первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів

Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів наведено для кожного контуру регулювання.

### Контур регулювання тиску пари

Тиск пари регулюють зміною витрати палива. З перетворювача для вимірювання перепаду тиску типу САФІР-М 2160 подається вихідний сигнал 4-20 мА на аналоговий вхід контролера. З контролера сигнал поступає на магнітний пускач ПБР-2М, який у свою чергу подає сигнал на електричний

виконавчий механізм МЕО-100/63-0,63-99 з регулюючим органом 22с934р і змінює витрату палива.

***Контур регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» з корекцією за вмістом кисню в димових газах***

Для регулювання даного співвідношення необхідно встановлювати первинні вимірювальні перетворювачі на лініях подачі палива і подачі повітря. Для вимірювання витрати палива та повітря використовуємо звужуючі пристрої (діафрагми) типу ДКС 0.6-100, після яких розміщені дифманометри для вимірювання перепаду тиску САФІР-М5440 і САФІР-М5410, які подають вихідні сигнали на аналогові входи контролера. Концентрацію кисню вимірюємо за допомогою газоаналізатора типу YokogawaZR402G, який подає вихідний сигнал 4-20 мА на аналоговий вхід контролера. З контролера сигнал поступає на магнітний пускач ПБР-2М, який у свою чергу подає сигнал на електричний виконавчий механізм МЕО-100/63-0,63-99 з регулюючим органом 25ч939нж і змінює витрату повітря.

***Контур регулювання рівня живильної води в барабані***

Рівень в барабані котла регулюємо зміною витрати живильної води. Із зрівноважувальної посудини сигнал поступає на дифманометри для вимірювання перепаду тиску САФІР-М 5550, який перетворює гідростатичний тиск в уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА. Вихідний сигнал подається на аналоговий вхід контролера. Із контролера сигнал подається на магнітний пускач ПБР-2М, який у свою чергу подає сигнал на електричний виконавчий механізм МЕО-100/63-0,63-99, який змінює положення регулюючого клапана 25ч939нж і змінює витрату живильної води.

***Контур регулювання розрідження у топці котла***

Розрідження регулюємо зміною витрати димових газів. Це розрідження вимірюємо перетворювачем розрідження САФІР-М 5210. З його виходу уніфікований сигнал 4-20 мА надходить на аналоговий вхід контролера, який опрацьовує цей сигнал і подає його на частотний перетворювач Damfoss VLT Micro Drive FC51, який у свою чергу змінює продуктивність вентилятора на лінії виходу димових газів (змінює витрату димових газів).

### ***Наявність полум'я в топці котла***

Контур наявності полум'я складається із фотоприймача ФР1-3 (опір 47 кОм), який подає сигнал про наявність полум'я в топці і передає його давачу контролю полум'я типу Комел ПКП ФП-2, який при відсутності полум'я формує сигналізацію аварійного значення і подає сигнал в схему захисту.

### ***Контроль тиску палива і повітря***

Складається з давачів реле тиску газу і повітря ДРД-12, які здійснюють сигналізацію аварійного значення тиску газу і повітря і формують сигнал в схему захисту.

### ***Контроль розрідження в топці***

Складається з давача реле розрідження KromschroederDG..U, яке забезпечує сигналізацію аварійного значення розрідження і формує сигнал в схему захисту.

## **2.4. Вибір мікропроцесорних засобів**

Для реалізації автоматичного регулювання процесом отримання технологічної пари вибираємо мікропроцесорний контролер фірми Siemens типу Simatic S7-300. На рисунку 2.2. показано зовнішній вигляд контролера.



*Рис.2.2. Зовнішній вигляд контролера фірми Siemens типу Simatic S7-300*

SIMATIC S7-300 - це модульний програмований контролер, призначений для побудови систем автоматизації низького і середнього ступеня складності. Контролер має модульну структуру, що дозволяє формувати потрібні комунікаційні можливості, можливості обробки входів / виходів та адаптувати контролер до задач автоматизації різних технологічних процесів.

Контролер може включати такі модулі:

- Модуль центрального процесора (CPU). Залежно від ступеня складності вирішуваного завдання в контролерах можуть бути використані різні типи центральних процесорів, що відрізняються продуктивністю, об'ємом пам'яті, наявністю або відсутністю вбудованих входів-виходів і спеціальних функцій, кількістю і видом вбудованих комунікаційних інтерфейсів.
- Модулі блоків живлення (PS), що забезпечують можливість живлення контролера від мережі змінного струму напругою 120/230 В або від джерела постійного струму напругою 24/48/60/110 В.
- Сигнальні модулі (SM), призначені для вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів з різними електричними і часовими параметрами.
- Комунікаційні процесори (CP) для підключення до мереж PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS-Interface або організації зв'язку через PTP (point to point) інтерфейс.
- Функціональні модулі (FM), здатні самостійно вирішувати завдання автоматичного регулювання, позиціювання, обробки сигналів. Функціональні модулі мають вбудований мікропроцесор і здатні виконувати покладені на них функції навіть в разі зупинки центрального процесора програмованого контролера.
- Інтерфейсні модулі (IM), що забезпечують можливість підключення до базового блоку (стійка з CPU) стійок розширення вводу-виводу. Контролери SIMATIC S7-300 дозволяють використовувати в своєму складі до 32 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів, розподілених по 4-х монтажних стійках. Всі модулі працюють з природним охолодженням.

Більшість типів центрального процесора модуля (CPU) мають вбудований інтерфейс PROFIBUS DP для побудови системи розподіленого вводу-виводу. У такій системі центральний процесор виконує функції головного пристрою DP. Звернення до входів-виходів пристроїв розподіленого вводу-виводу з програми користувача проводиться тими ж способами, що і до входів-виходів системи локального вводу-виводу.

Мережа PROFIBUS DP підтримує також мультимайстерний режим роботи і дозволяє об'єднувати до 128 мережевих пристроїв. Її протяжність з

електричними каналами зв'язку може досягати 9.6 км., з оптичними каналами зв'язку - 96 км. Максимальна швидкість передачі даних становить 12 Мбіт/с.

Для автоматизації даного технологічного процесу використаємо такі модулі:

Блок живлення PS 307; 5 A; (6ES7307-1EA00-0AA0) має характеристики:

- вихідний струм 5 A;
- вихідна напруга 24 В постійного струму; регульована, стійка при короткому замиканні і холостому ході;
- підключення до однофазної системи змінного струму (номінальна вхідна напруга 120/230 В змінного струму, 50/60 Гц);
- надійна гальванічна розв'язка відповідно до стандарту EN 60 950;
- може бути використаний як джерело живлення навантаження;

Модуль CPU 315-2DP 6ES7 315-2AG10-0AB0.

CPU 315-2 DP характеризується такими показниками:

- Мікропроцесор;
- Робоча пам'ять об'ємом 128 Кбайт, RAM (приблизно 43 К інструкцій); для виконання завантаженої секції програми і зберігання оперативних даних. Мікрокарта пам'яті (до 8 Мбайт), яка використовується в якості завантажування пам'яті, а також збереження архіву проекту (з коментарями та таблицею символів), архівування даних і управління рецептами.
- Гнучкі можливості розширення; підключення до 32 модулів S7-300 (4-рядна конфігурація).
- Інтерфейс MPI; дає змогу встановлювати одночасно до 16 сполучень з програмованими контролерами S7-300 / 400, програматорами, комп'ютерами і панелями операторів. Одне з цих сполучень зарезервовано для PG-, одне - для OP функцій зв'язку. MPI дозволяє створювати найпростіші мережеві структури з об'єднанням до 16 центральних процесорів і підтримкою механізму передачі глобальних даних.
- Інтерфейс PROFIBUS DP; інтерфейс ведучого або веденого DP V1 пристрої для роботи в системах розподіленого вводу-виводу. Підтримка широкого

спектру діагностичних функцій і налаштування параметрів ведених пристроїв DP V1. З точки зору користувача системи локального і розподіленого вводу-виводу повністю ідентичні. Для них використовуються однакові способи конфігурації, адресації і програмування [6].

Модуль аналогових входів SM 331; AI 8 x 12 Bit; 6ES7331-7KF02-0AB0.

Модуль аналогових входів SM 331; AI 2 x 12 Bit; 6ES7331-7KB02-0AB0.

Модуль аналогових виходів SM 332; AO 2 x 12 Bit; 6ES7332-5HB01-0AB0.

Модуль дискретних входів SM 321; DI 16 x DC 24 V; 6ES7321-7BH01-0AB0.

Модуль дискретних виходів SM 322; DO 16 x DC 24 V/ 0.5 A; 6ES7322-1BH01-0AA0.

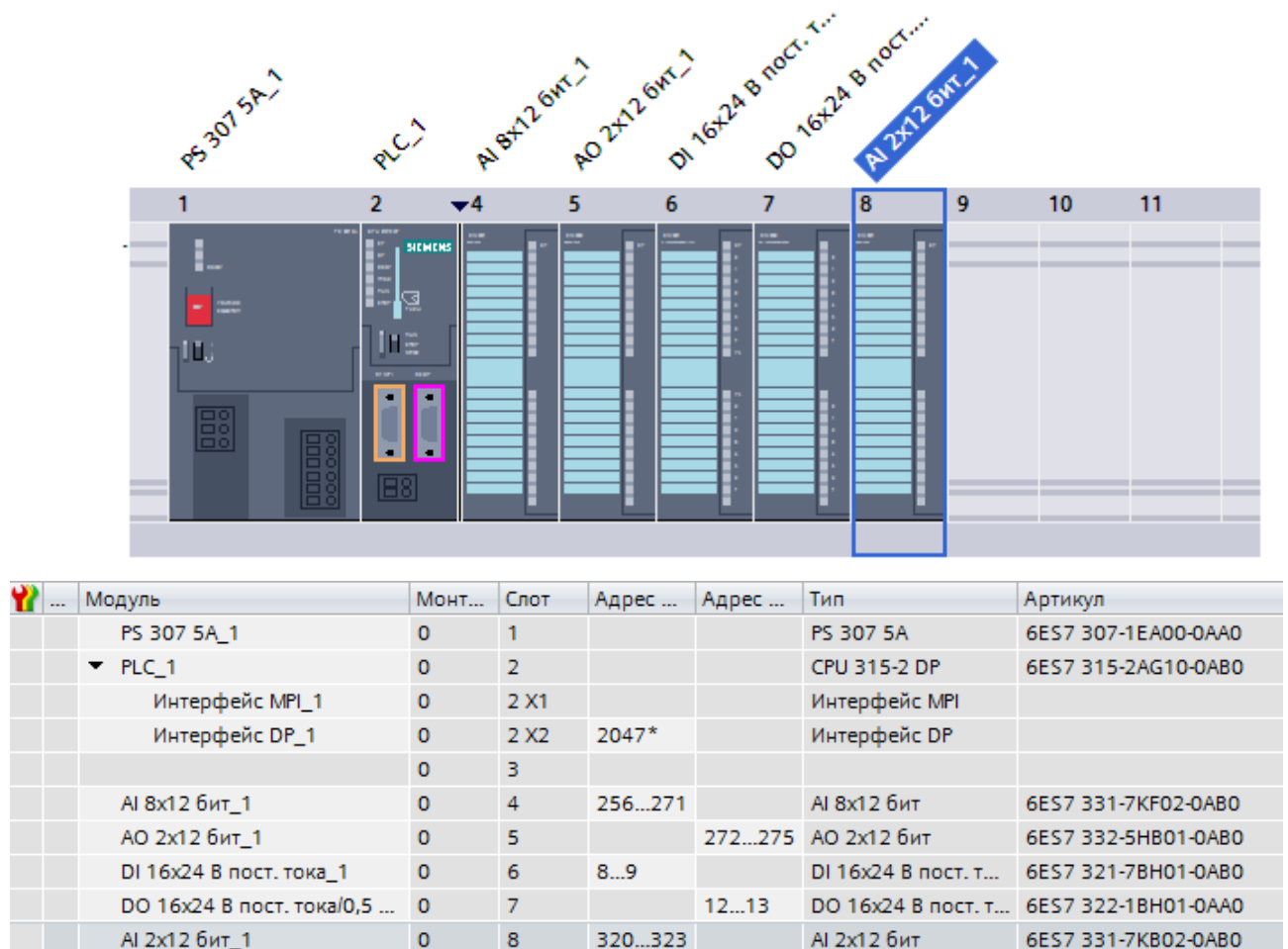


Рис.2.3. Конфігурація входів та виходів контролера Simatic S7-300

Конфігурація входів та виходів контролера показана на рисунку 2.3

PV\_PER - значення вхідного регістра АЦП;

PVPER\_ON - перемикач на роботу із необробленою вхідною величиною;

PV\_FAC - коефіцієнт для приведення величини в технічні одиниці;

PV\_OFF - можливість зміщення;

MAN - задаємо значення виходу регулятора в ручному режимі;

GAIN - коефіцієнт підсилення;

Ti - стала часу інтегрування;

Td - стала часу диференціювання;

TM\_LAG - стала часу аперіодичної ланки в диференційній складовій;

DEADB\_W - зона нечутливості;

LMN\_HLM - обмеження вихідного сигналу за максимум;

LMN\_LLM - обмеження вихідного сигналу за мінімум;

LMN - нормований вихід в межах до 100%;

LMN\_PER - вихід регулятора від 0 до 27648;

QLMN\_HLM - дискретний вихід який сигналізує досягнення регулятором верхньої межі;

QLMN\_LLM - дискретний вихід який сигналізує досягнення регулятором нижньої межі;

I\_ITLVAL - початкове значення інтегральної складової;

INT\_HOLD - дискретний сигнал, який заморожує значення інтегральної складової;

I\_ITL\_ON - сигнал який дозволяє встановити початкове значення інтегральної складової;

DISV - додатковий вхідний сигнал для компенсації збурення;

LMN\_P - значення пропорційної складової;

LMN\_I - значення інтегральної складової;

LMN\_D - значення диференційної складової;

PV- значення регульованої величини в технічних одиницях;

ER - значення величини розузгодження.

*Блок Cont\_S :*

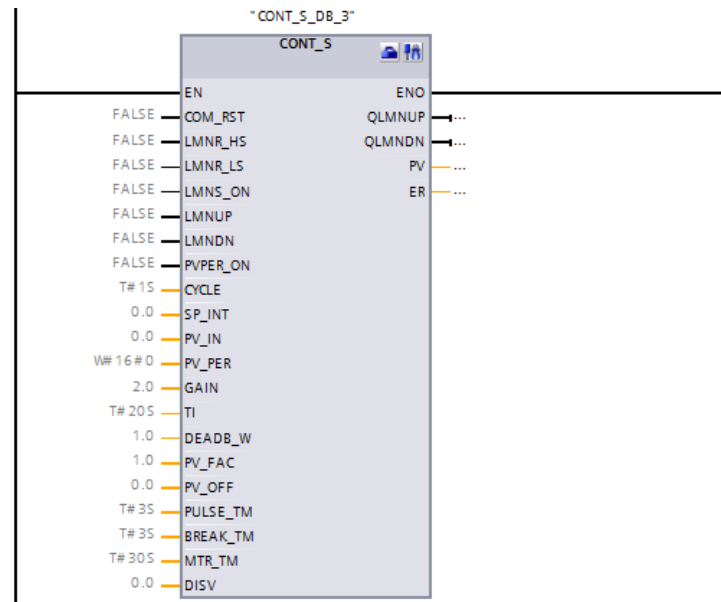


Рис. 2.5. Блок Cont\_S

Com\_RST – комплексний ресет регулятора, формат BOOL (обнулення всіх складових);

LMNR\_HS-кінцевий вимикач;

LMNR\_LS-кінцевий вимикач;

LMNS\_ON-перемикач автоматичний/ручний режим;

LMNUP-вихід для управління вихода регулятора в ручному режимі;

LMNDN- вихід для управління вихода регулятора в ручному режимі;

PVPER\_ON – перемикач на роботу із необробленою вхідною величиною;

CYCLE – задаємо період виконання ПІД-регулятора;

SP\_INT – внутрішнє завдання;

PV\_IN – регульована величина;

GAIN – коефіцієнт підсилення;

Ti – стала часу інтегрування;

DEADB\_W – зона нечутливості;

PV\_FAC – коефіцієнт для приведення величини в технічні одиниці;

PULSE\_TM-мінімальний час імпульсів;

BREAK\_TM-мінімальний час паузи;

MTR\_TM-час повного ходу виконавчого механізму;

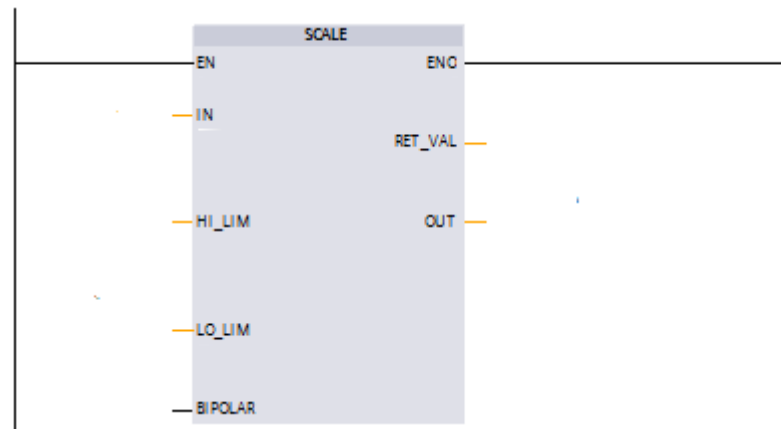
QLMNUP-сигнал, який поступає на дискретний вихід контроллера;

QLMNDN- сигнал, який поступає на дискретний вихід контроллера;

PV – значення регульованої величини в технічних одиницях;

ER – значення величини розузгодження.

*Блок SCALE :*



*Рис. 2.6. Блок SCALE*

IN – вхідне значення для обробки і масштабування

HI\_LIM – верхня межа вимірювання

LO\_LIM – нижня межа вимірювання

BIPOLAR – вказує на то як має бути представлене значення в параметрі IN, як біполярне або однополярне

RET\_VAL – інформація про помилку

OUT – оброблене значення вхідної величини в технічних одиницях

Згідно нашого технологічного процесу реалізовуємо програму контурів таких регулювання:

### ***Регулювання тиску пари***

Спочатку здійснюємо обробку вхідного сигналу від перетворювача тиску пари (рисунок 2.7). Аналоговий сигнал IW256 подається на блок обробки та масштабування Scale.

На виході цього блоку ми отримуємо значення тиску пари у форматі Real, яке записане у DB1 та буде поступати на імпульсний регулятор Cont\_S в якості вхідної величини. В DB прописуємо значення завдання для контуру регулювання (рисунок 2.8).

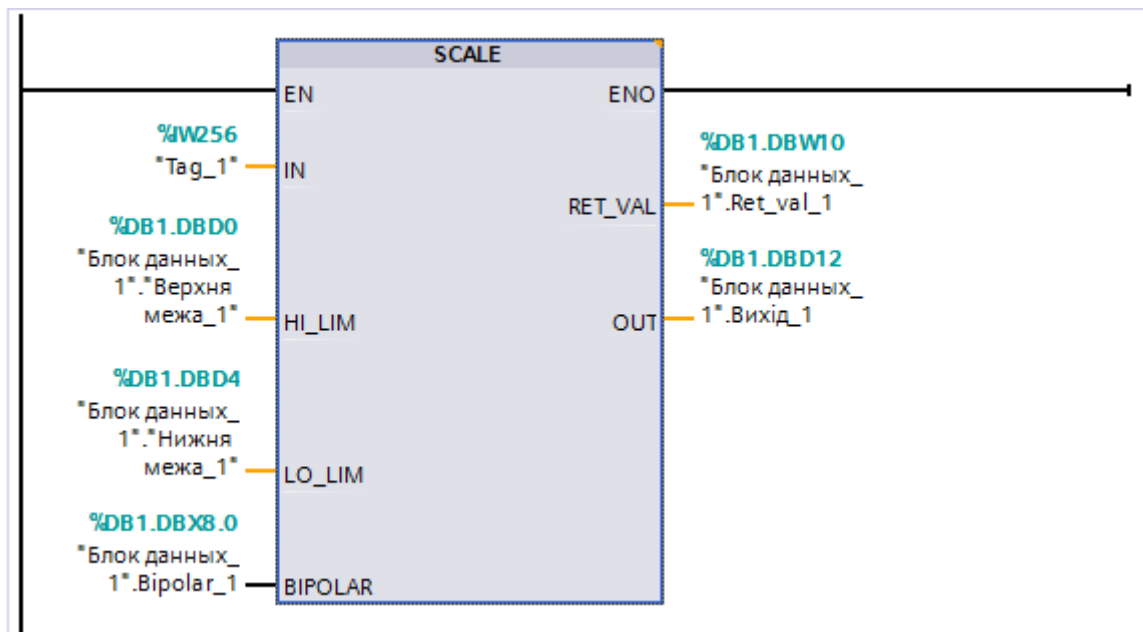


Рис. 2.7. Програма обробки вхідного сигналу від перетворювача тиску пари

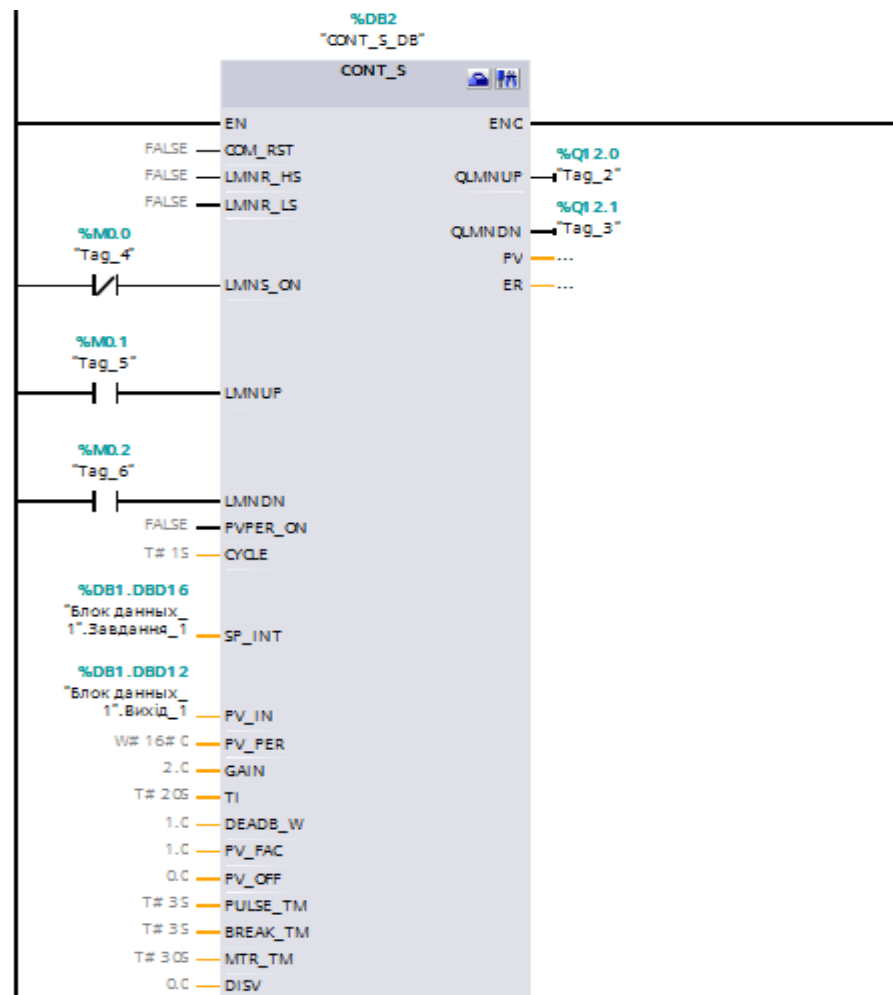


Рис. 2.8. Програма подачі сигналу на імпульсний регулятор Cont\_S в якості вхідної величини

Після цього здійснюємо сигналізацію верхнього і нижнього значення тиску пари. Сигналізація верхнього значення тиску пари (рисунок 2.9):

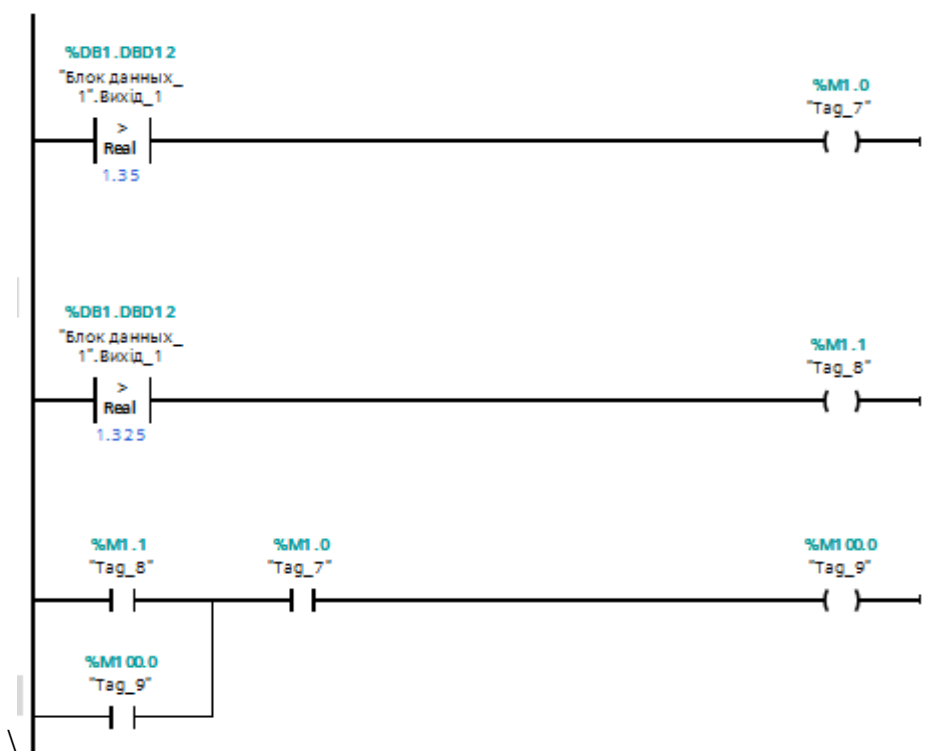


Рис. 2.9. Програма сигналізації верхнього значення тиску пари

Сигналізація нижнього значення тиску пари (рис. 2.10):

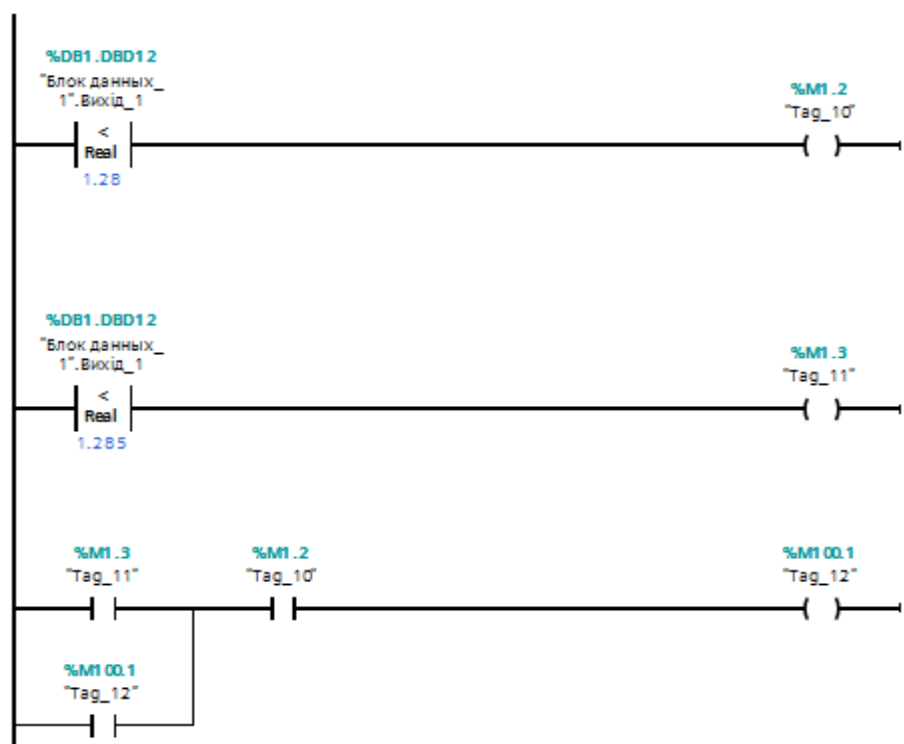


Рис. 2.10. Програма сигналізації нижнього значення тиску пари

### **Регулювання рівня живильної води в барабані котла**

Насамперед здійснюємо обробку вхідного сигналу від перетворювача різниці тисків. Аналоговий сигнал IW262 подається на блок обробки та масштабування Scale (рисунок 2.11).

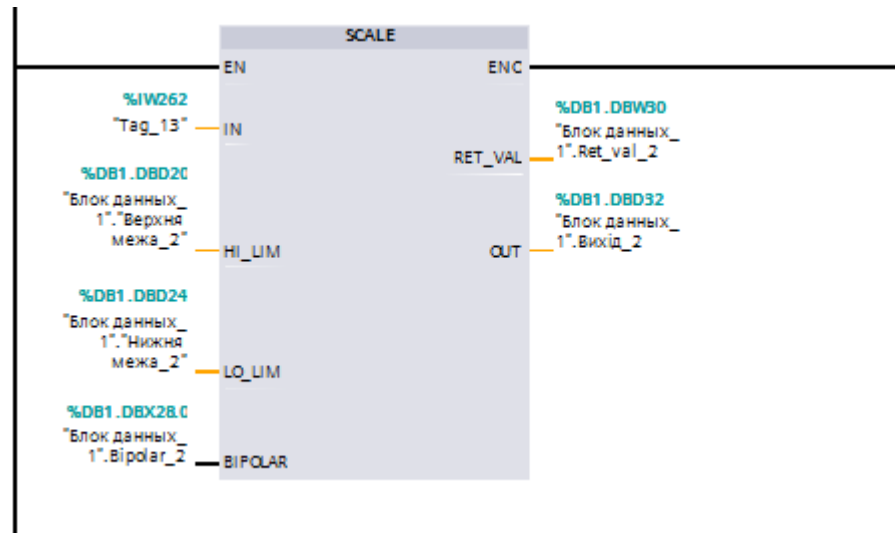


Рис. 2.11. Програма обробки вхідного сигналу від перетворювача різниці тисків

На виході цього блоку ми отримуємо значення рівня води у форматі Real, яке записане у DB1 та буде поступати на імпульсний регулятор Cont\_S в якості вхідної величини. В DB прописуємо значення завдання для контуру регулювання (рисунок 2.12).

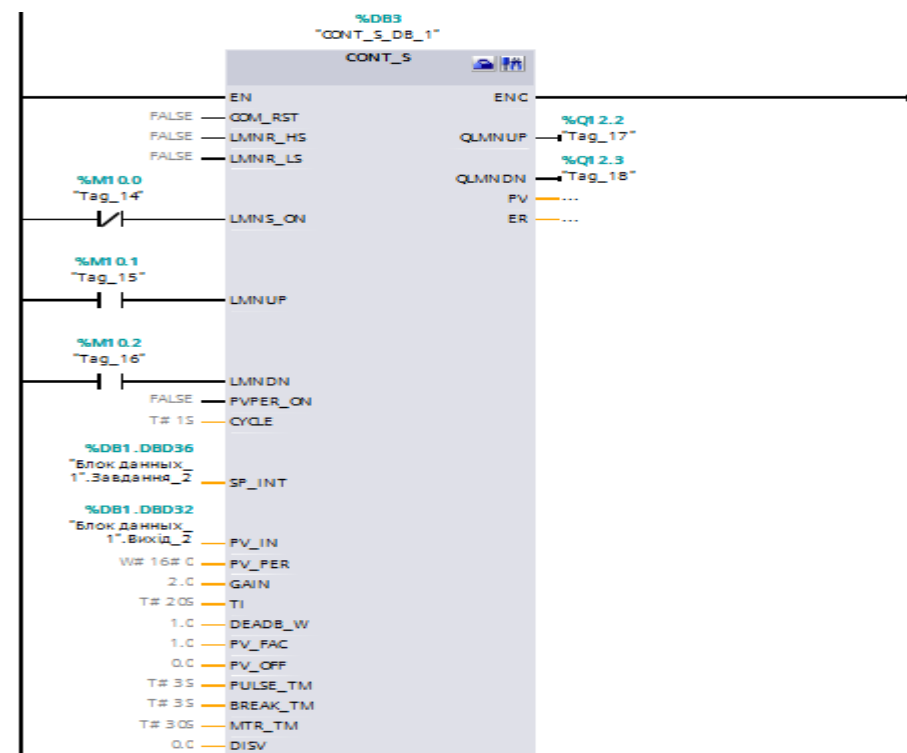


Рис. 2.12. Програма подачі сигналу від перетворювача різниці тисків на імпульсний регулятор Cont\_S в якості вхідної величини

Після цього здійснюємо сигналізацію верхнього і нижнього значення рівня живильної води.

Сигналізація верхнього значення рівня живильної води (рисунок 2.13):

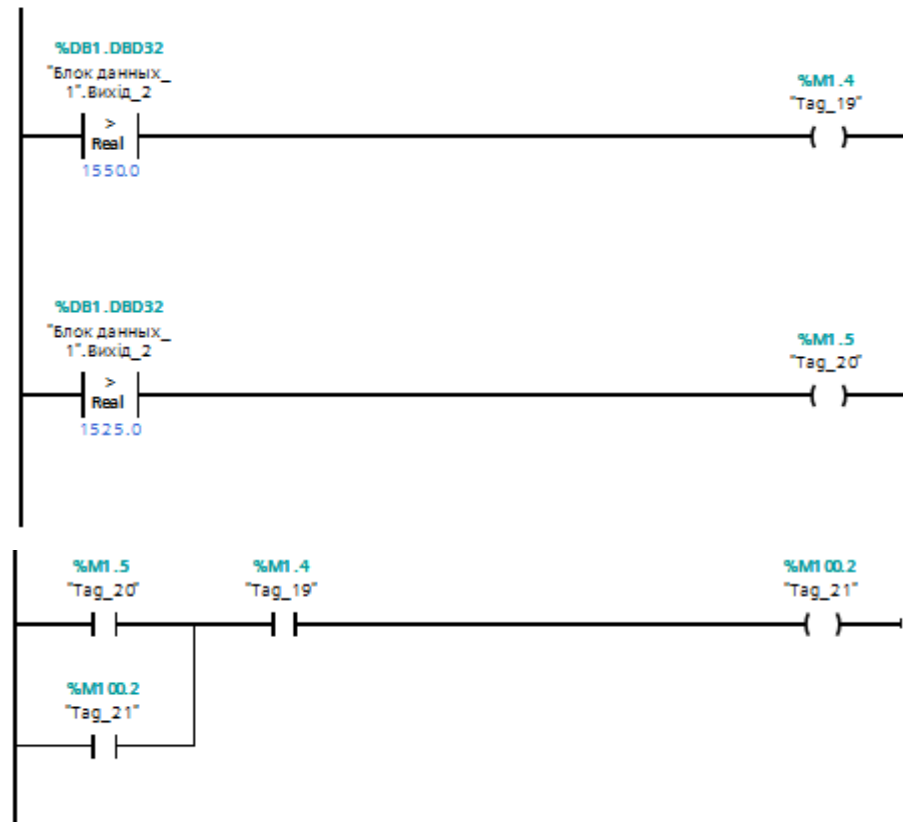


Рис. 2.13. Програма сигналізації верхнього значення рівня живильної води

Сигналізація нижнього значення рівня живильної води (рисунок 2.14):

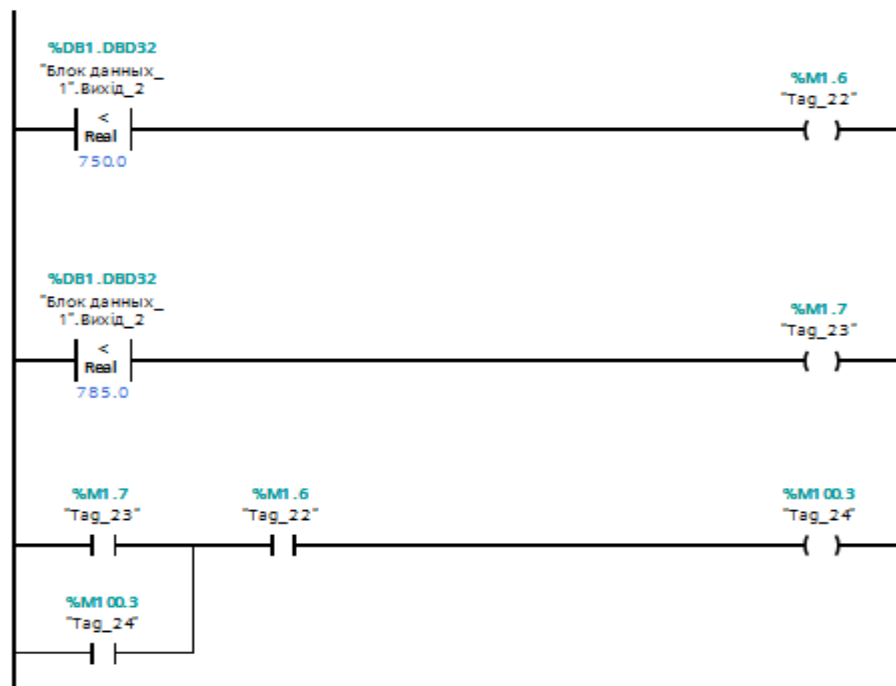


Рис. 2.14.. Програма сигналізації нижнього значення рівня живильної води

### Регулювання розрідження в топці котла

Для даного контуру регулювання насамперед здійснюємо обробку вхідного сигналу від перетворювача розрідження. Аналоговий сигнал IW264 подається на блок обробки та масштабування Scale (рисунок 2.15).

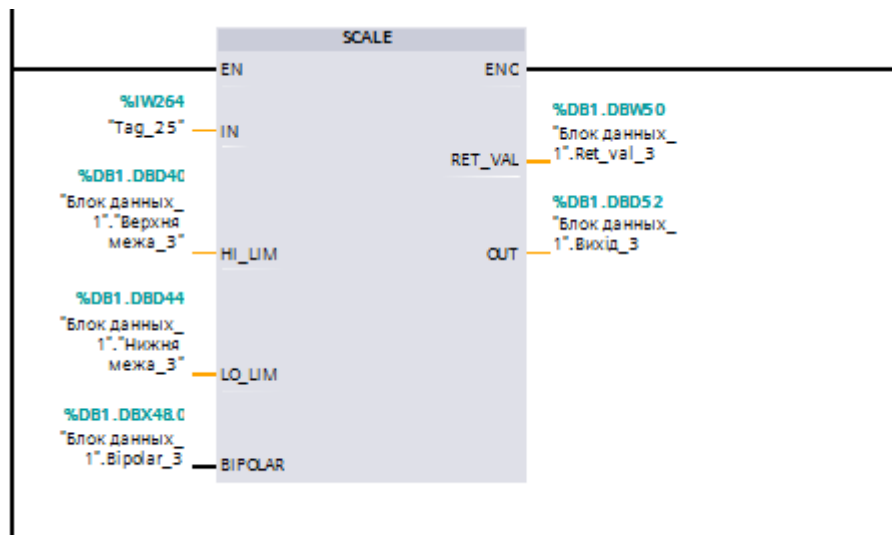


Рис. 2.15. Програма обробки вхідного сигналу від перетворювача розрідження

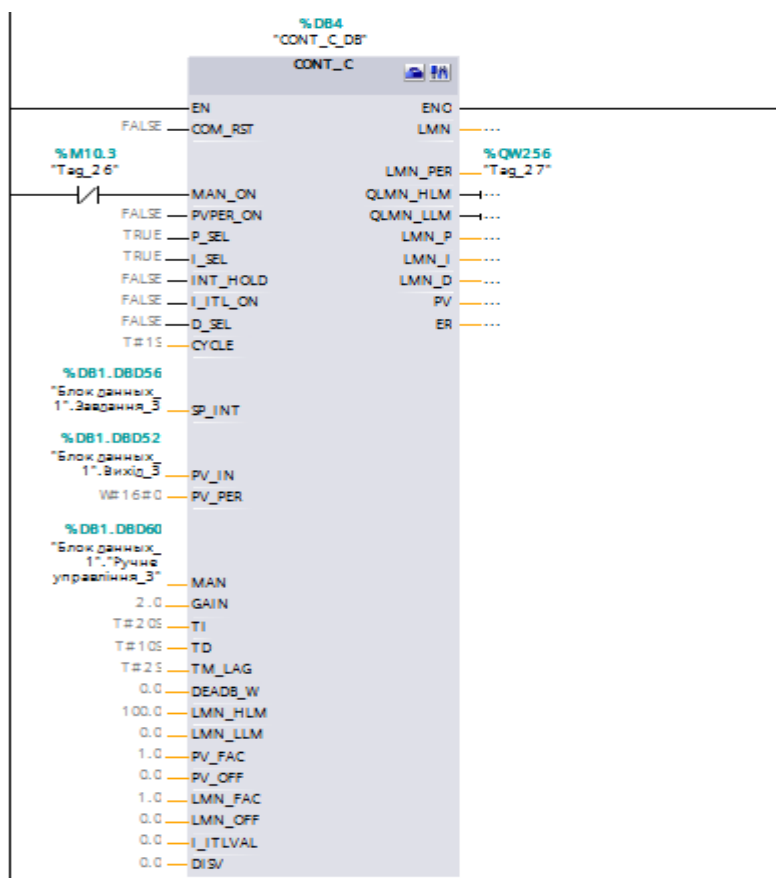


Рис. 2.16. Програма подачі сигналу розрідження в топці на імпульсний регулятор Cont\_S в якості вхідної величини

На виході цього блоку ми отримуємо значення розрідження в топці у форматі Real, яке записане у DB1 та буде поступати на аналоговий регулятор Cont\_C в якості вхідної величини. В DB прописуємо значення завдання для контуру регулювання (рисунок 2.16).

Далі реалізуємо безударний перехід з ручного режиму роботи в автоматичний (рисунок 2.17).

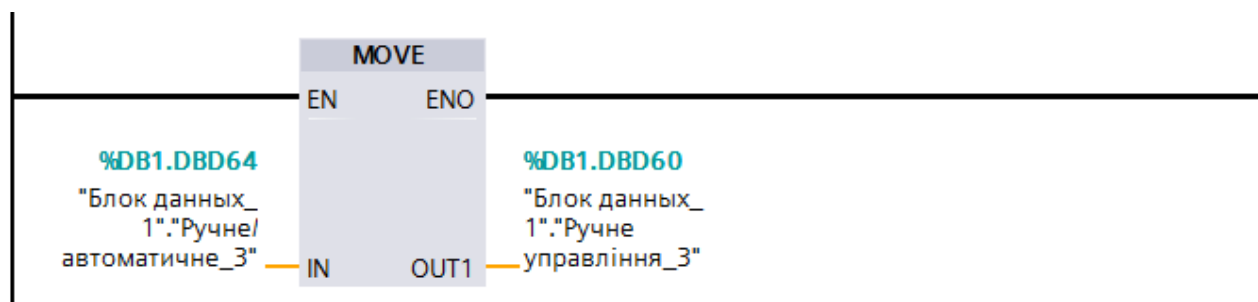


Рис. 2.17. Програма безударного переходу з ручного режиму роботи в автоматичний

Сигналізація верхнього значення розрідження в топці (рисунок 2.18):

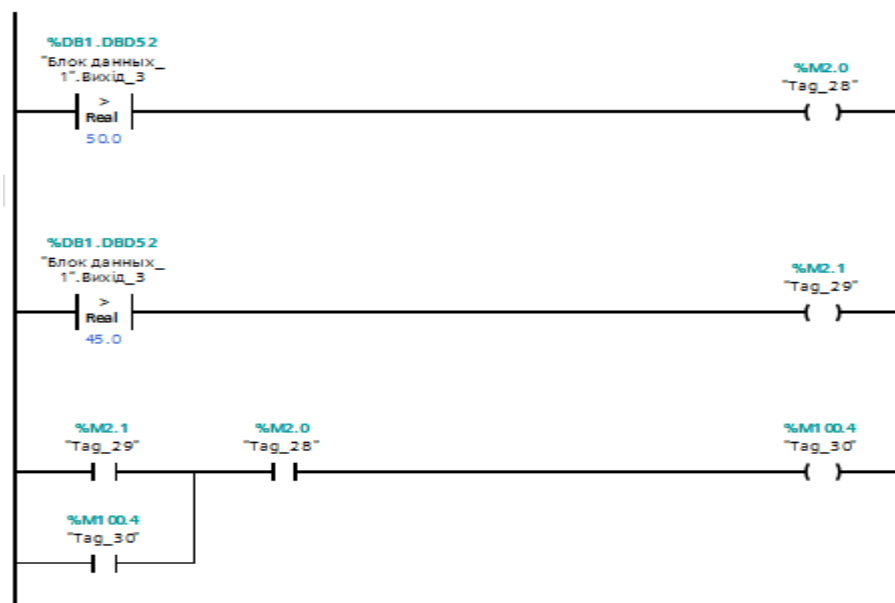
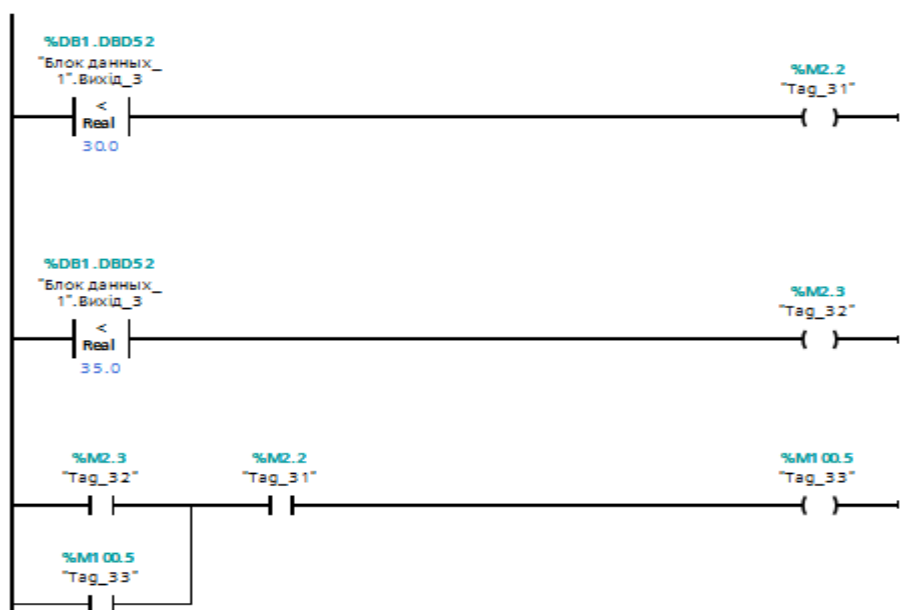


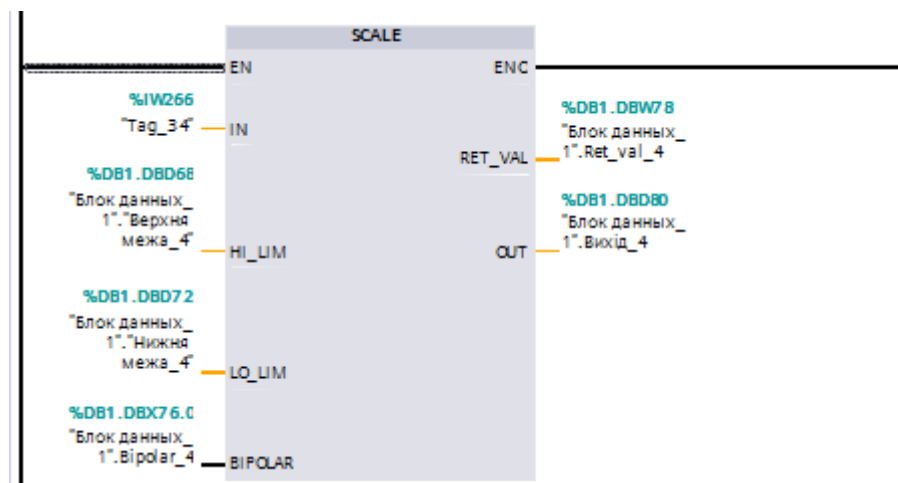
Рис. 2.18. Сигналізація верхнього значення розрідження в топці

Сигналізація нижнього значення розрідження в топці (рисунок 2.19):



*Рис. 2.19. Сигналізація нижнього значення розрідження в топці*  
**Регулювання співвідношення паливо повітря з корекцією за вмістом кисню в димових газах**

Для початку необхідно здійснити обробку вхідного сигналу від газоаналізатора. Аналоговий сигнал IW266 подається на блок обробки та масштабування Scale (рисунок 2.20).



*Рис. 2.20. Програма обробки вхідного сигналу від газоаналізатора вмісту*  
**кисню**

На виході цього блоку ми отримуємо значення концентрації кисню в димових газах у форматі Real, яке записане у DB1 та буде поступати на аналоговий регулятор Cont\_C в якості вхідної величини. В DB прописуємо значення завдання для контуру регулювання (рисунок 2.21).

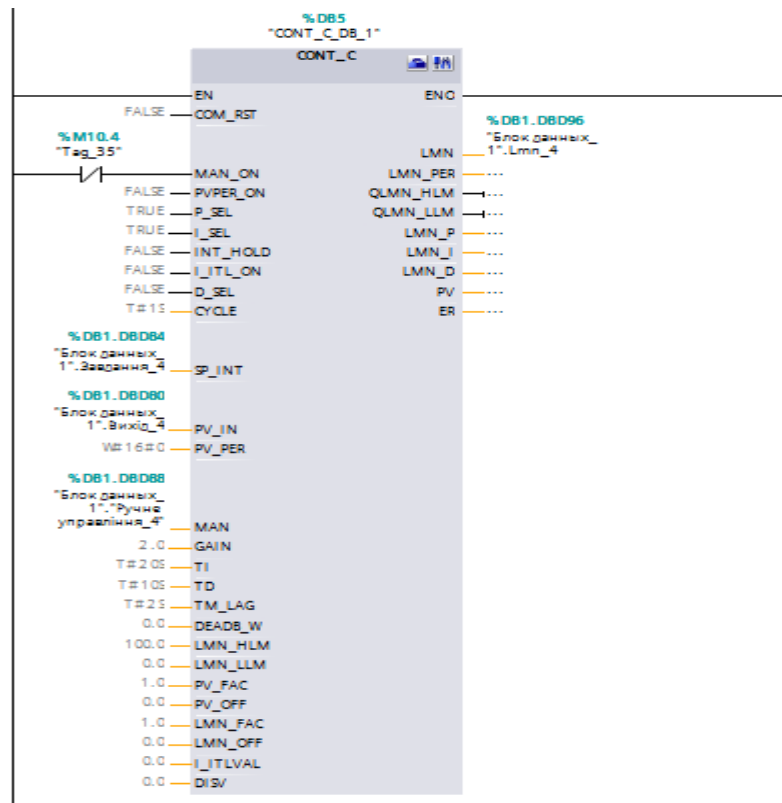


Рис. 2.21. Програма подачі сигналу концентрації кисню на імпульсний регулятор Cont\_S в якості вхідної величини

Далі реалізуємо безударний перехід з ручного режиму роботи в автоматичний (рисунок 2.22).

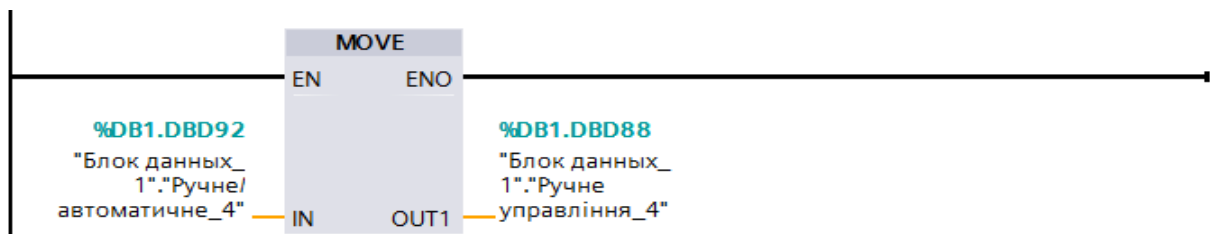


Рис. 2.22. Програма безударного переходу з ручного режиму роботи в автоматичний

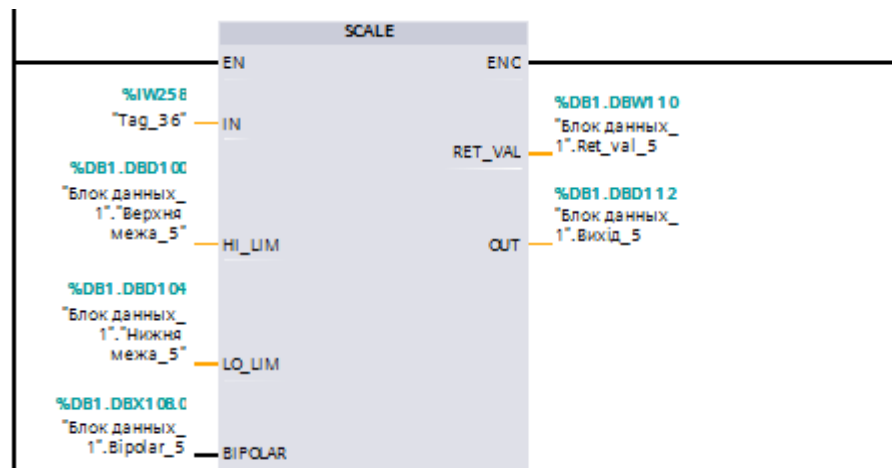


Рис. 2.23. Програма подачі сигналу від перетворювача різниці тисків палива на імпульсний регулятор Cont\_S в якості вхідної величини

Далі здійснюємо обробку вхідного сигналу від перетворювача різниці тиску палива. Аналоговий сигнал IW258 подається на блок обробки та масштабування Scale (рисунок 2.23).

На виході цього блоку ми отримуємо значення витрати палива у форматі Real, яке записане у DB1 та буде поступати на блок добування квадратного кореня в якості вхідної величини (рисунки 2.24 і 2.25).



Рис. 2.24. Значення витрати палива у форматі Real

На виході цього блоку отримуємо вихідний сигнал, який поступає на блок MUL і в цьому блоці перемножується на певний коефіцієнт (добування квадратного кореня).

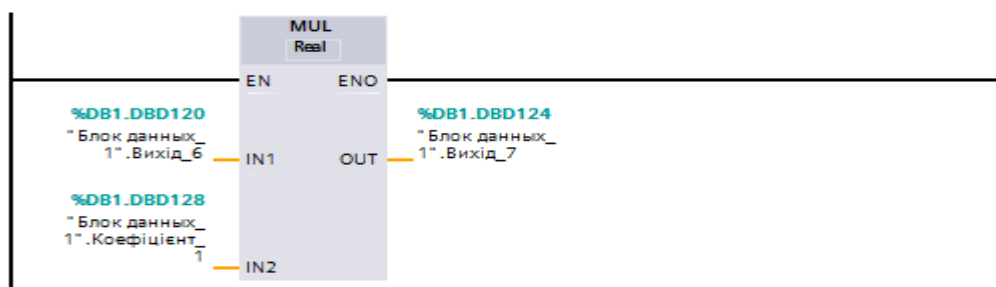


Рис. 2.25. Вихідний сигнал витрати палива, що поступає на блок добування квадратного кореня

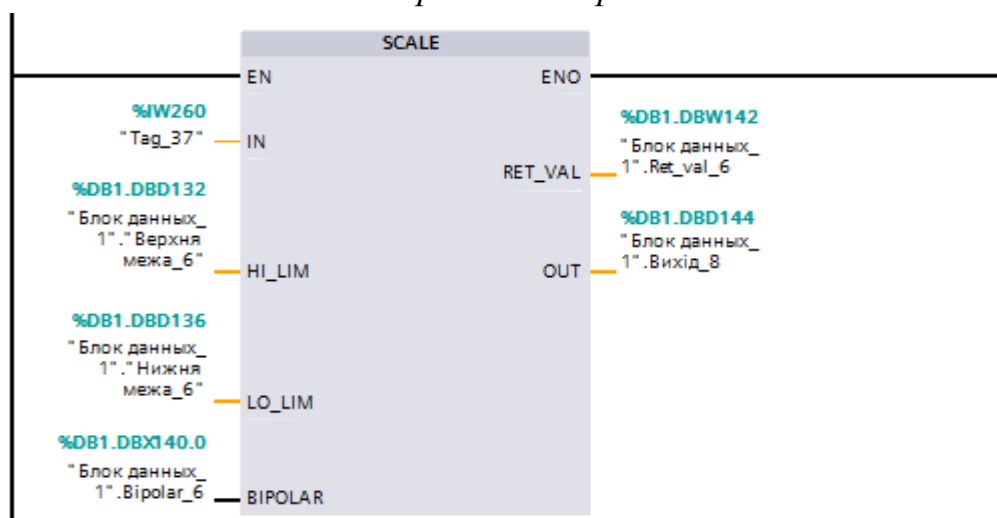


Рис. 2.26. Програма обробки вхідного сигналу від перетворювача різниці тисків повітря

Далі здійснюємо обробку вхідного сигналу від перетворювача різниці тиску повітря. Аналоговий сигнал IW260 подається на блок обробки та масштабування Scale (рисунок 2.26).

На виході цього блоку отримуємо значення витрати повітря у форматі Real, яке записане у DB1 та буде поступати на блок добування квадратного кореня в якості вхідної величини (рисунок 2.27).

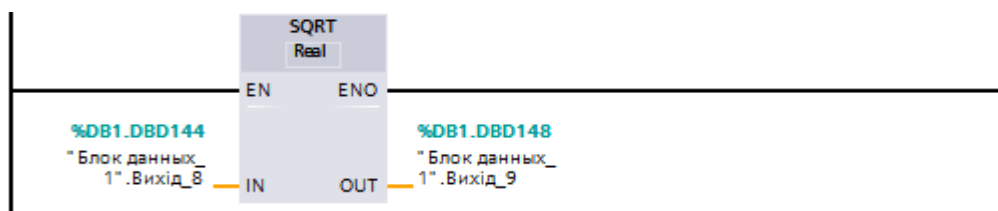


Рис. 2.27. Значення витрати повітря у форматі Real

На виході цього блоку отримуємо вихідний сигнал, який поступає на блок MUL і в цьому блоці перемножується на певний коефіцієнт (добування квадратного кореня).

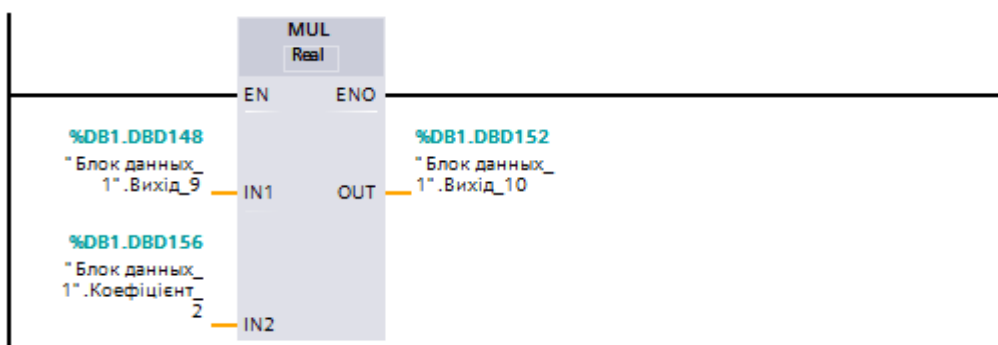


Рис. 2.28. Вихідний сигнал витрати повітря, що поступає на блок добування квадратного кореня

Після цього з виходів блоків MUL, які відповідають за витрату палива та витрату повітря вихідні сигнали поступають на блок DIV для реалізації співвідношення (рисунок 2.29).

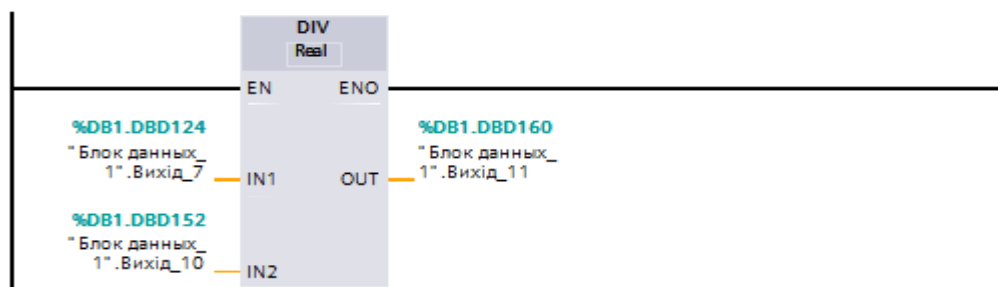


Рис. 2.29. Програма реалізації співвідношення витрат «паливо-повітря»

На виході цього блоку ми отримаємо регульовану величину в форматі REAL, яка буде поступати на вхід імпульсного регулятора CONT\_S (рисунок 2.30).

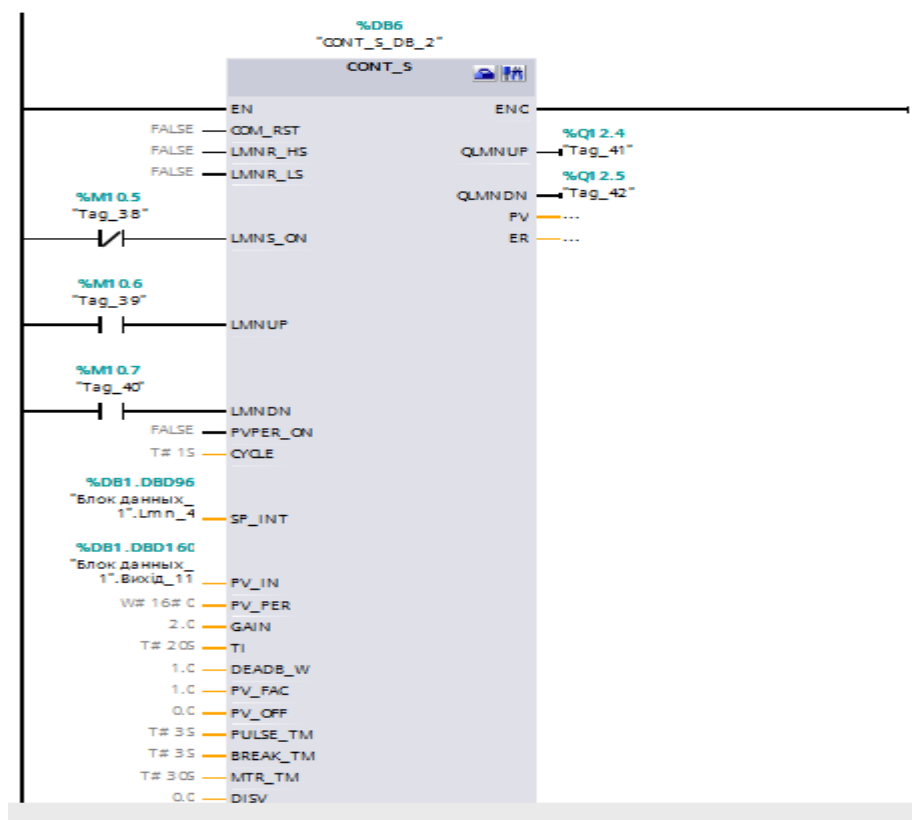


Рис. 2.30. Програма подачі сигналів від перетворювачів концентрації кисню в димових газах, різниці тисків палива і повітря на імпульсний регулятор Cont\_S в якості вхідної величини

### Захист та блокування подачі палива

Для реалізації контуру захисту та блокування подачі палива, застосуємо нормально відкриті контакти, для того, щоб при аварії чи розриві лінії, на виході сформувався сигнал «1» і спрацював електромагнітний клапан (рисунок 2.31).



Рис. 2.31. Програма контуру захисту та блокування подачі палива

## 2.6. Розробка принципових електричних схем зовнішніх під'єднань контролера Simatic S7-300

У даній бакалаврській роботі розглядається принципова електрична схема зовнішніх з'єднань контролера SimaticS7-300. Розглянуто підключення таких приладів:

1. Модуль аналогових входів SM 331; AI 8 x 12 Bit; 6ES7331-7KF02-0AB0:
  - Давачі різниці тисків Сафір (5 шт.) (рисунок 2.32).

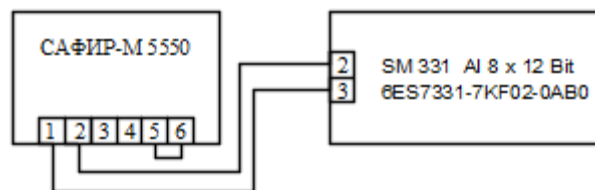


Рис.2.32. Під'єднання давача різниці тисків до блоку аналогових входів контролера

- Давач концентрації (рисунок 2.33)

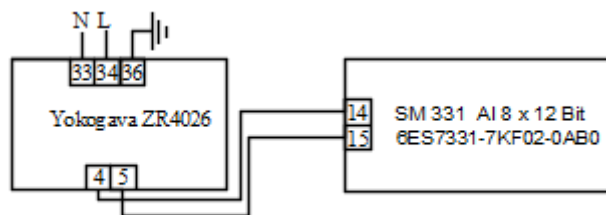


Рис.2.33. Під'єднання давача концентрації димових газів до блоку аналогових входів контролера

- 2.Модуль аналогових виходів SM 332; AO 2 x 12 Bit; 6ES7332-5HB01-0AB0.
  - Частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC51 (рисунок 2.34).

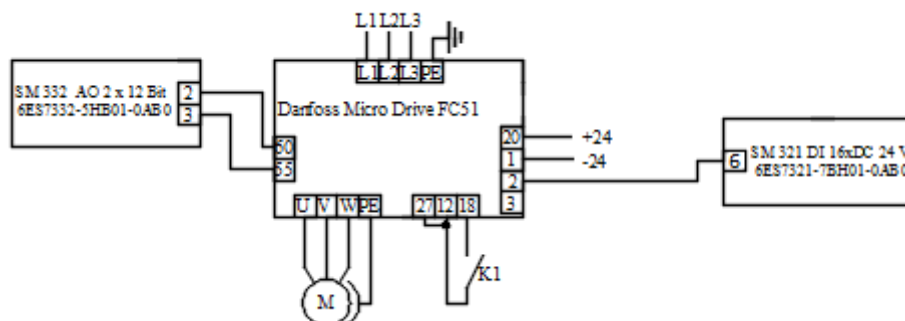


Рис.2.34. Під'єднання частотного перетворювача до блоку аналогових виходів контролера

- 3.Модуль дискретних входів SM 321; DI 16 x DC 24 V; 6ES7321-7BH01-0AB0
  - Давач-реле контролю полум'я Комел ПКП ФП-2 (рисунок 2.35).

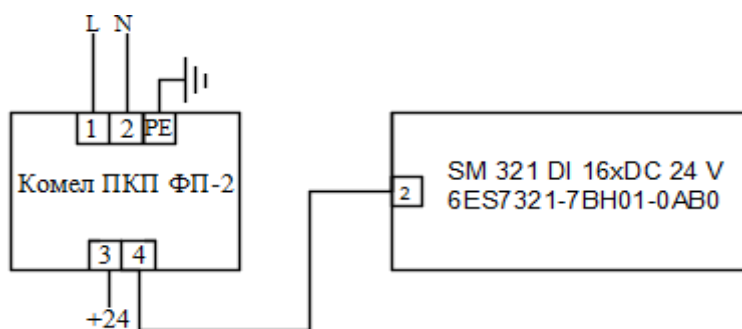


Рис.2.35. Під'єднання давача-реле контролю полум'я до блоку дискретних входів контролера

-Давачі-реле тиску ДРД-12 (2 шт.) (рисунок 2.36)

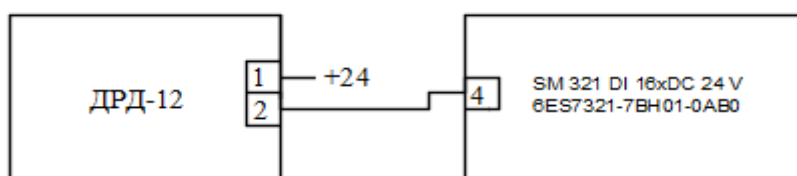


Рис.2.36. Під'єднання давачів-реле тиску до блоку дискретних входів контролера

4)Модуль дискретних виходів SM 322; DO 16 x DC 24 V/ 0.5 A; 6ES7322-1BH01-0AA0:

- Виконавчі механізми МЕО-100/63-0,63-99(3 шт.) (рисунок 2.37).

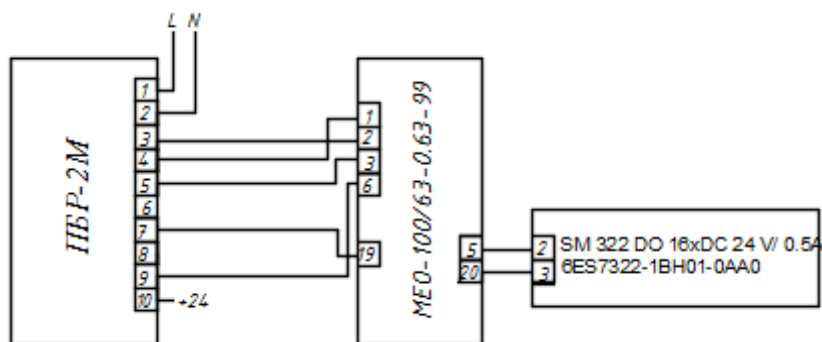


Рис.2.37. Під'єднання імпульсного виконавчого механізму до блоку дискретних виходів контролера

### 3. РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

#### 3.1. Складання математичної моделі об'єкта регулювання і розрахунок її параметрів

Об'єктом нашого дослідження є паровий котел.

В бакалаврській роботі досліджується контур регулювання тиску пари на виході з котла. Розрахунок та моделювання виконано в середовищі Matlab.

Вихідними даними для розрахунку досліджуваної системи автоматичного регулювання (САР) є експериментальна крива розгону, отримана при стрибкоподібній зміні регулюючої дії на 5% ходу регулюючого органу (РО)

*Таблиця 3.1*

**Значення тиску пари для кривої розгону, отримані при стрибкоподібній зміні на 5% ходу регулюючого органу**

| Час, с | Тиск пари, МПа |
|--------|----------------|
| 0      | 1.28           |
| 10     | 1.2825         |
| 35     | 1.295          |
| 50     | 1.305          |
| 87     | 1.32           |
| 110    | 1.327          |
| 137.5  | 1.335          |
| 150    | 1.337          |
| 175    | 1.341          |
| 200    | 1.344          |
| 225    | 1.346          |
| 250    | 1.3475         |
| 270    | 1.3485         |
| 290    | 1.3491         |
| 310    | 1.3492         |
| 330    | 1.3495         |
| 360    | 1.35           |

Основним збуренням, яке має найбільший вплив на об'єкт дослідження, є зміна витрати технологічної пари.

Регулююча дія в об'єкті здійснюється стрибкоподібною зміною положення регулюючого органу на 5 %, збурююча дія – зміною витрати пари на 1 т/год. Функція передачі по каналу збурюючої дії:

$$W(p) = \frac{0.05}{(60p + 1)(8p + 1)}$$

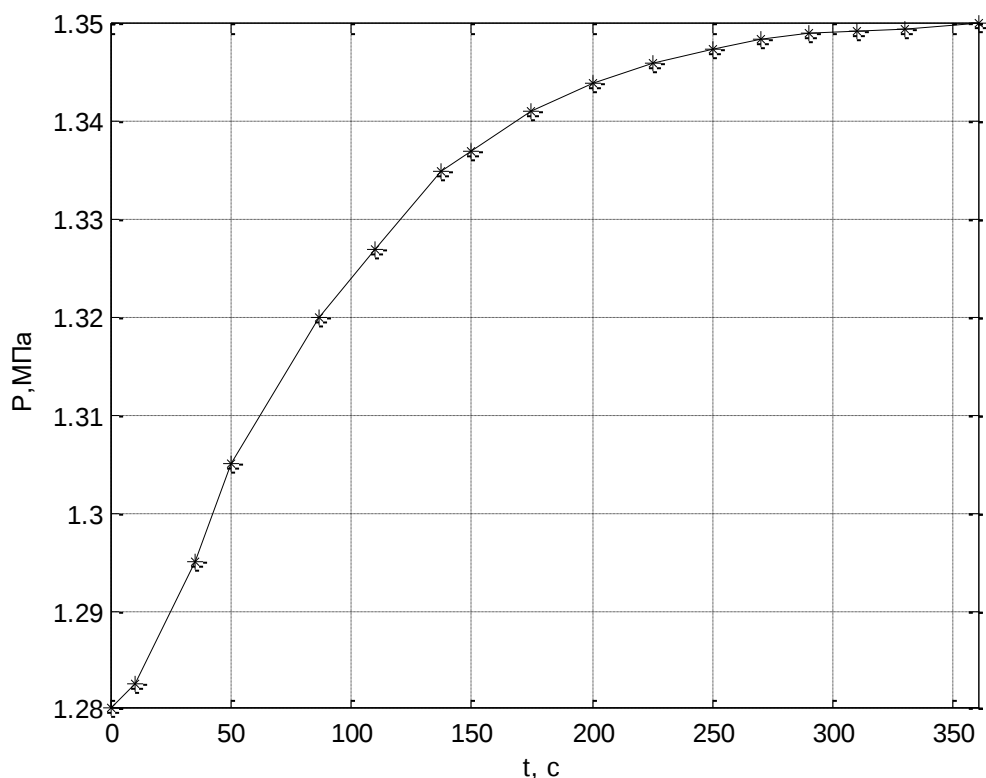
Задане значення регульованої величини становить 1,28 МПа.

Вимоги до якості процесу регулювання по тиску пари:

1. Допустиме максимальне динамічне відхилення  $\Delta_1 = 0,05$  МПа;
2. Допустима похибка регулювання  $\Delta = 0,002$  МПа;
3. Допустимий час регулювання  $t_p = 90$  с;
4. Допустимий ступінь коливальності  $m = 0.29$ .

Для того, щоб розрахувати систему автоматичного регулювання, перш за все необхідно виконати математичний опис об'єкта регулювання, який дасть змогу розраховувати зміни регульованої величини (вихідної величини об'єкта) в часі під дією зміни вхідних величин котла. Рівняння математичного опису можуть бути у вигляді перехідних функцій, диференціальних рівнянь або передавальних функцій. Зручність представлення математичної моделі у вигляді передавальної функції в тому, що вона дає змогу визначити структуру об'єкта регулювання, визначити ланки, з яких складається досліджуваний об'єкт і як вони з'єднані між собою.

Знаходження математичної моделі об'єкта здійснимо експериментальним методом. Знаходження передавальної функції об'єкта регулювання за експериментальними перехідними функціями на практиці може бути неоднозначним. Тобто, деякій експериментально одержаній перехідній функції об'єкта можна підпорядкувати декілька варіантів передавальних функцій з різними параметрами таким чином, що перехідні функції для всіх варіантів наближено будуть збігатися з експериментальною. Для уникнення цього необхідно виконати апроксимацію експериментально отриманих перехідних функцій і отримати лінеаризовану модель об'єкта регулювання для досліджуваного каналу. Оптимальним вважається варіант, в якому розходження між розрахованою і експериментальною перехідними функціями будуть мінімальними. Побудуємо експериментальну криву розгону, отриману при стрибкоподібній зміні регулюючої дії (рисунок 3.1):



*Рис.3.1. Крива розгону, отримана стрибкоподібною зміною регулюючої дії на 5% ходу РО*

За виглядом кривої розгону робимо висновок, що модель містить дві аперіодичні ланки першого порядку:

$$W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)},$$

де  $k$ - коефіцієнт передачі аперіодичної ланки,  $T_1, T_2$ - сталі часу.

При чисельному методі знаходження параметрів моделі зручно скористатись пакетом Matlab, в якому є програми, за допомогою яких можна створювати функції передачі різної структури, знаходити їх перехідні функції, вирішувати оптимізаційні задачі. Для знаходження параметрів вибраної моделі застосуємо функцію `fminsearch`. Головна програма записана у `script`-файлі використовує функцію `sum`, в якій описано функцію  $s$ = суму квадратів відхилення між експериментальними та розрахунковими значеннями перехідних функцій. В основній програмі викликається функція `fminsearch`, яка знаходить такі значення параметрів моделі, при яких забезпечується мінімум функції `sum`. Пошук параметрів моделі здійснюється ітераційно за алгоритмом Нелдера-Міда.

Знайдені за допомогою `fminsearch` параметри, записані в змінну `x`, і є шуканими параметрами заданої функції передачі.

*Програма файлу data:*

```
dx=5;
t_e=[0 10 35 50 87 110 137.5 150 175 200 225 250 270 290 310 330 360];
P_e=[1.28 1.2825 1.295 1.305 1.32 1.327 1.335 1.337 1.341 1.344 1.346 1.3475 1.3485
1.3491 1.3492 1.3495 1.35];
t=[0:10:360];
```

*Основна програма:*

```
clc; clear;
%W(p)=k./(T1.*p+1)./(T2.*p+1);
data;
T_e1=interp1(t_e,P_e,t);
x0=[45 0.5 1];
x=fminsearch('summ',x0);
T1=x(1); k=x(2); T2=x(3);
n1=1; d1=[T1 1];
n2=k; d2=[T2 1];
W1=tf(n1,d1);
W2=tf(n2,d2);
W=W1*W2;
T_r=step(W,t)*dx+P_e(1);
figure(1); plot(t_e,P_e,'o',t,T_r,'k');grid;
xlabel('t,c');
ylabel('P,МПа');
sigma=sqrt(sum((T_r'-T_e1).^2)/length(T_e1))
del=max(abs(T_r'-T_e1))
d=del*100/k/dx
disp([T1 k T2])
axis([0 360 1.28 1.35])
```

*Програма файлу summ:*

```
function s=summ(x);
%W(p)=k./(T1.*p+1)./(T2.*p+1);
data;
T_e1=interp1(t_e,P_e,t);
T1=x(1); k=x(2); T2=x(3);
n1=1; d1=[T1 1];
n2=k; d2=[T2 1];
W1=tf(n1,d1);
W2=tf(n2,d2);
W=W1*W2;
T_r=step(W,t)*dx+P_e(1);
s=sum((T_r'-T_e1).^2);
```

Результатом виконання програми є значення параметрів та графік порівняння кривих розгону (рис. 3.2.):

$$T_1 = 84.8666;$$

$$T_2 = 15.3353;$$

$$k = 0.0144.$$

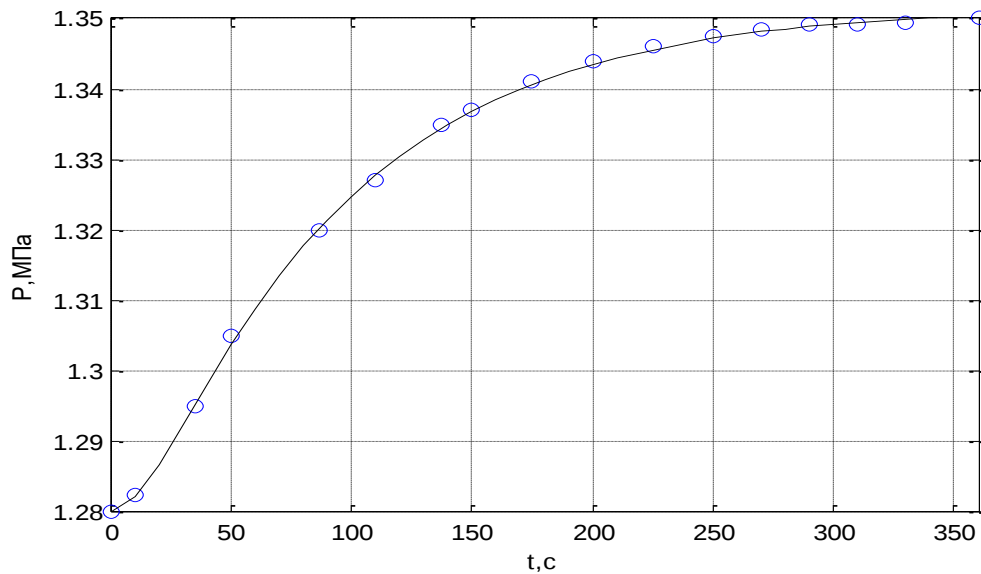


Рис.3.2. Розрахункова та експериментальна криві розгону тиску пари на виході з котла, отримані стрибкоподібною зміною регулюючої дії на 5 %: «o» - експериментальна крива розгону; «-» - апроксимована крива

Перевірка адекватності моделі здійснена за допомогою тієї ж програми в середовищі Matlab.

$$\text{sigma} = 0.00045781 \text{ МПа} \quad d = 1.7 \%,$$

де sigma - сума квадратів відхилень розрахункових значень кривої розгону від заданих експериментальних;

d – максимальна зведена похибка.

Максимальна зведена похибка  $\delta = 1.7 \%$ , оскільки вона не перевищує 3%, то робимо висновок, що знайдена модель адекватна досліджуваному об'єкту.

Таким чином, функція передачі ОР буде мати вигляд:

$$W(p) = \frac{0.0144}{(84.8666p + 1)(15.3353p + 1)}$$

### 3.2. Розрахунок параметрів налаштування автоматичного регулятора

Проаналізуємо можливість застосування ПІ-регулятора для регулювання тиску пари на виході з котла.

Для знайденої передавальної функції об'єкта регулювання і функції передавання по регулюючій дії підбираю й розраховую параметри налаштування автоматичного регулятора.

Для цього застосую метод розширених частотних характеристик. Він базується на амплітудно-фазовому критерії стійкості (критерій Найквіста). Його можна інтерпретувати як критерій запасу стійкості при заміні частотних характеристик розширеними частотними характеристиками.

Розширена частотна характеристика з відомою передавальною функцією визначається заміною в ній оператора Лапласа

$$p = -m\omega \pm i\omega$$

де  $\omega$  - кругова частота;  $m$  – ступінь коливальності, яка характеризує запас стійкості.

Умова забезпечення заданого запасу стійкості формулюється на основі амплітудно-фазового критерію стійкості Найквіста, в якому застосовуються розширені частотні характеристики розімкнутої системи автоматичного регулювання:

$$W_{pc}(m, i\omega) = W_{op}(m, i\omega)W_{ap}(m, i\omega) = -1,$$

де  $W_{op}(m, i\omega)$  - розширена амплітудно-фазова характеристика (АФХ) об'єкта регулювання,  $W_{ap}(m, i\omega)$  - розширена АФХ регулятора.

Побудуємо розширену фазочастотну характеристику об'єкта регулювання та знайдемо частоти, що відповідають І- та П-регулятору  $\omega^*$ ,  $\omega^{**}$ .

$$\phi_{op}(m, \omega^*) = -\frac{\pi}{2} + \arctg m$$

$$\phi_{op}(m, \omega^{**}) = -\pi$$

*Програма побудови розширеної фазочастотної характеристики:*

```
clear;
w=[0:0.001:0.25];
```

$m=0.29$ ;  $k=0.0144$ ;  $T1=84.8666$ ;  $T2=15.3353$

$p=-m*w+i*w$ ;

$Wop=k./(T1.*p+1)./(T2.*p+1)$ ;

$fi=phase(Wop)$ ;

$j=1:length(w)$ ;

$a(j)=-pi$

$b(j)=-pi/2+atan(m)$ ;

$plot(w,fi,w,a,w,b)$ ; grid;

$xlabel('w,rad/sec')$ ;

$ylabel('fi,rad')$ ;

Результатом виконання програми є графік розширеної фазочастотної характеристики об'єкта регулювання (рис. 3.3):

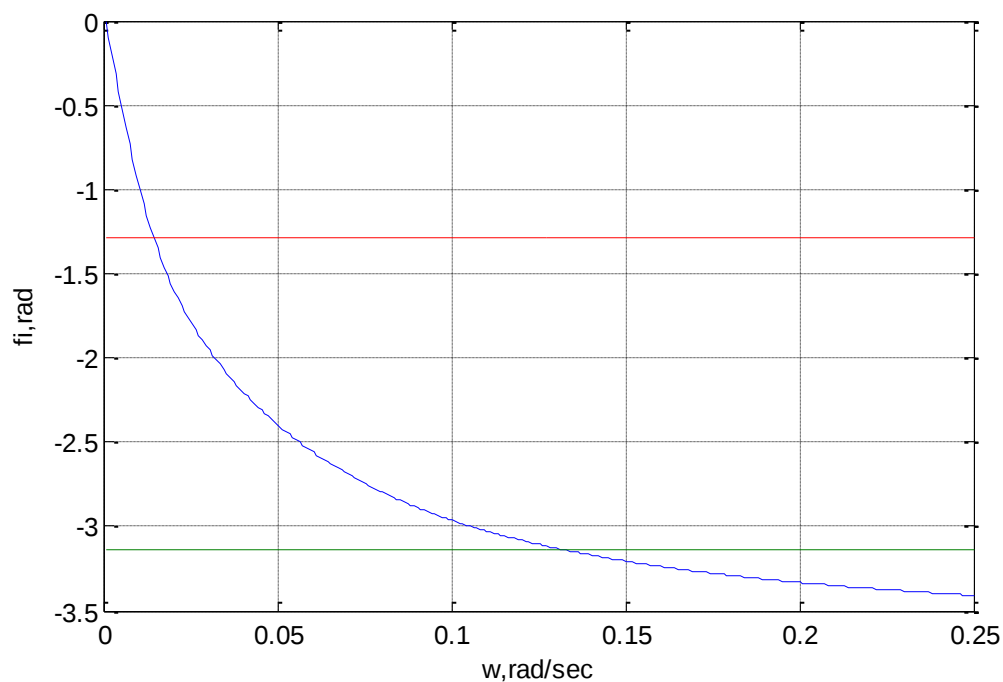


Рис.3.3. Розширена фазочастотна характеристика об'єкта регулювання

З графіку визначаємо частоти, що відповідають І- та ІІ-складовим регулятора:  $\omega^*=0,0139$  рад/с;  $\omega^{**}=0,1328$  рад/с.

Для побудови границі стійкості, з якої визначаються оптимальні параметри налаштування регулятора використаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{k_p}{T_{i3}} = -\frac{\omega(m^2 + 1)\sin\varphi_{op}(m,\omega)}{A_{op}(m,\omega)} \\ k_p = \frac{-\cos\varphi_{op}(m,\omega) - m\sin\varphi_{op}(m,\omega)}{A_{op}(m,\omega)} \end{cases}.$$

Для випадкових збурень параметри налаштування вибираємо з границі області запасу стійкості на робочій частоті  $\omega_p = 1.2\omega_0$ . Вважається, що визначені таким способом параметри, наближено забезпечують мінімальне значення інтегральної квадратичної оцінки якості  $J_2$

$$J_2 = \int_0^t [y(t) - y_{зад}(t)]^2 dt$$

де  $y(t)$  - крива розгону замкнутої САР;  $y_{зад}$  - задане значення регульованої величини.

Для точного визначення оптимальних параметрів налаштування регулятора необхідно розрахувати значення  $J_2$  за рівнянням при різних параметрах налаштування регулятора зі знайденої області заданого запасу стійкості і знайти таку пару значень  $k_{ропт}, (\frac{k_p}{T_{із}})_{опт}$ , при якій  $J_2$  набуде найменшого значення. Тоді оптимальними параметрами налаштування регулятора є такі, що при заданому запасі стійкості САР забезпечують мінімальне значення інтегральної оцінки якості.

*Програма розрахунку параметрів налаштування регулятора за мінімумом другої інтегральної оцінки:*

```
clc;clear;
w=[0.01:0.001:0.128];
m=0.29;
k=0.0144;
T1=84.8666;
T2=15.3353;
p=-m.*w+i.*w;
Wop=k./((T1.*p+1).*(T2.*p+1));
fi=phase(Wop);
Aop=abs(Wop);
kp_Ti=-((m^2+1).*sin(fi).*w)./Aop;
kp=(-cos(fi)-m.*sin(fi))./Aop;
for i=1:length(w)
    t=[0:1:360];
    Wop1=tf(k,[T1 1]);
    Wop2=tf(1,[T2 1]);
    Wop=Wop1*Wop2;
    War1=tf(kp(i),[1]);
```

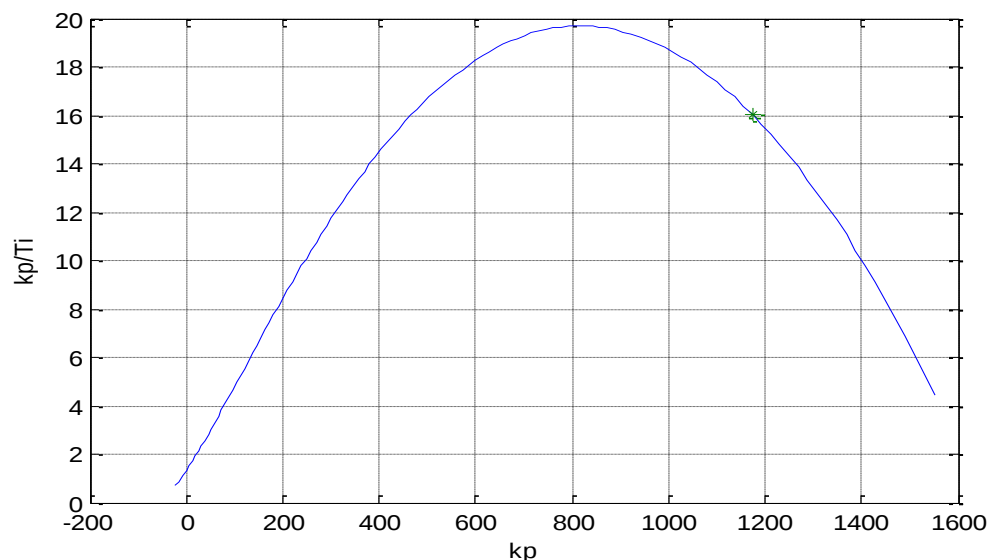
```

War2=tf(kp_Ti(i),[1 0]);

War=War1+War2;
Wcap=Wop/(1+Wop*War);
y=step(Wcap,t)*5;
q=trapz(t,y.^2);
S(i)=q;
Jmin=min(S);
if S(i)==Jmin;
    kp_Tiopt=kp_Ti(i);
    kpopt=kp(i);
end
end
kpopt
kp_Tiopt
Jmin
figure(1);plot(kp, kp_Ti,kpopt,kp_Tiopt, '*');grid;
xlabel('kp'); ylabel('kp/Ti');
figure(2);plot(kp,S,kpopt,Jmin, '*');grid;
xlabel('kp'); ylabel('J');

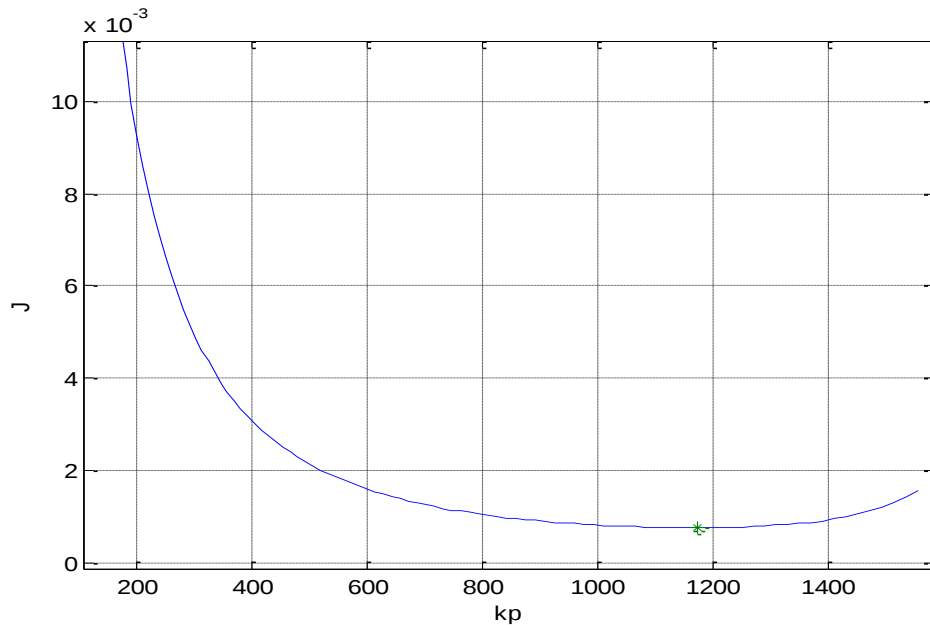
```

Результатом виконання програми є графіки границі області запасу стійкості досліджуваної САР та залежності другої інтегральної оцінки перехідного процесу за регулюючою дією від коефіцієнта передачі регулятора (рисунок 3.4).



*Рис.3.4. Границя області заданого запасу стійкості САР тиску пари на виході з парового котла з ПІ-регулятором*

Залежність другої інтегральної оцінки перехідного процесу за регулюючою дією від коефіцієнта передачі регулятора наведена на рисунку 3.5.



*Рис.3.5.Залежність другої інтегральної оцінки перехідного процесу за регулюючою дією від коефіцієнта передачі регулятора*

Значення оптимальних параметрів налаштування ПІ-регулятора за мінімумом другої інтегральної квадратичної оцінки :

- інтегральна складова  $\frac{K_p}{T_i} = 16.0322 \frac{\% \cdot c}{МПа}$  ;

- пропорційна складова  $K_p = 1173.3 \frac{\%}{МПа}$  ;

- друга інтегральна оцінка  $J_{\min} = 0.0068 \text{ МПа}^2 \cdot c$  .

Отже, функція передачі автоматичного регулятора має вигляд:

$$W(p) = 1173.3 + \frac{16.0322}{p}.$$

### **3.3. Побудова перехідних процесів розрахованої системи автоматичного регулювання (САР)**

На рисунку 3.6. складено модель САР у середовищі Simulink із ПІ-регулятором.

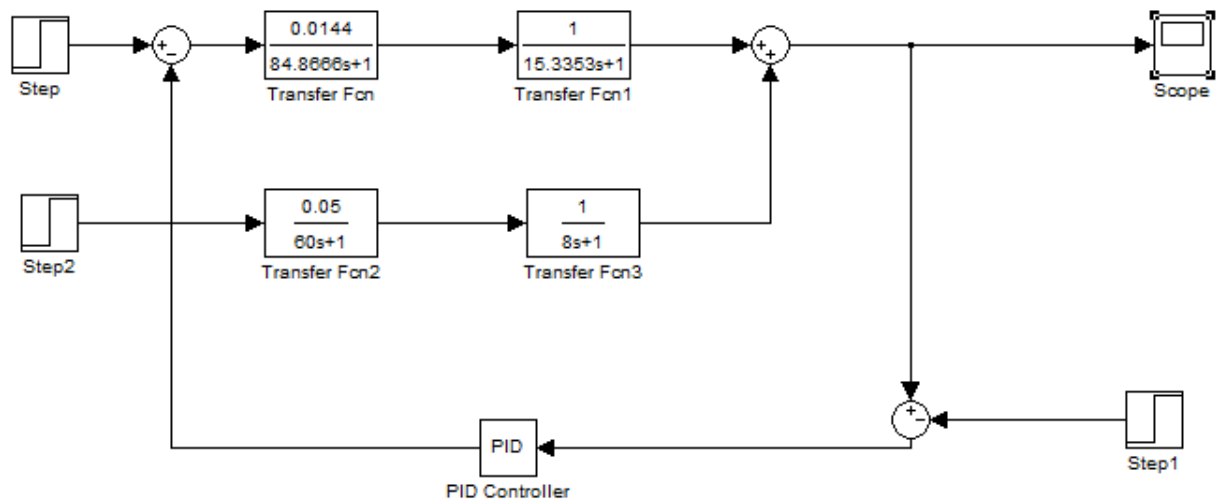


Рис.3.6. Структурна схема досліджуваної САР тиску пари на виході з котла в Simulink середовища Matlab

Змодельємо перехідний процес у САР при стрибкоподібному переміщенні РО на 5% (рис.3.7.).

З отриманого перехідного процесу визначимо показники якості:

- Максимальне динамічне відхилення  $A=0.00497$  МПа, що не перевищує допустимого значення 0.05 МПа ;
- Час регулювання  $t_p=49$  с, що не перевищує допустимого значення 90 с.

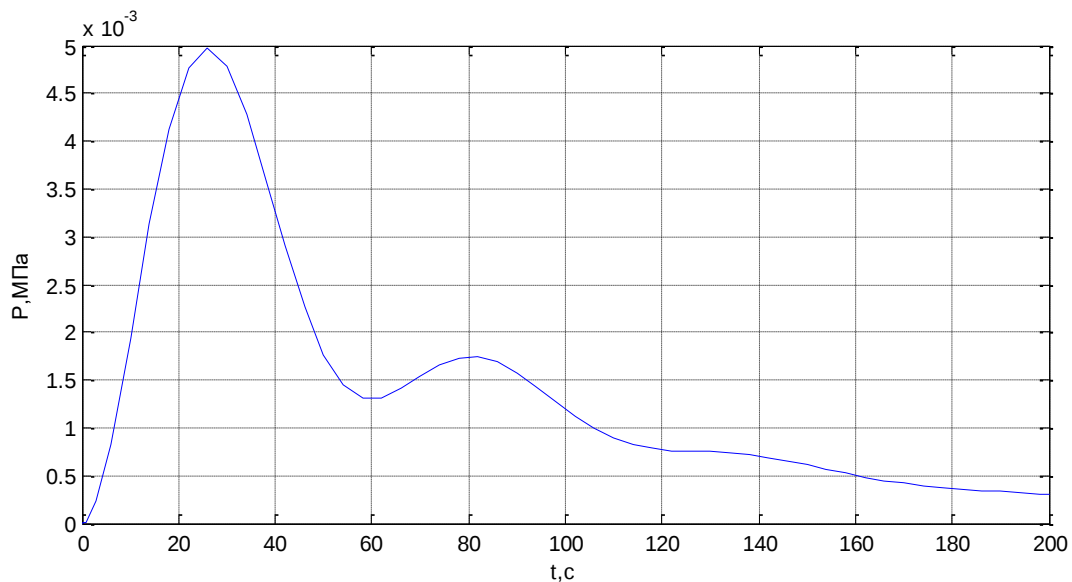


Рис.3.7. Перехідний процес САР, отриманий стрибкоподібним відкриттям РО на 5%.

Змодельємо перехідний процес САР при зміні витрати пари на 1т/год (рис.3.8.).

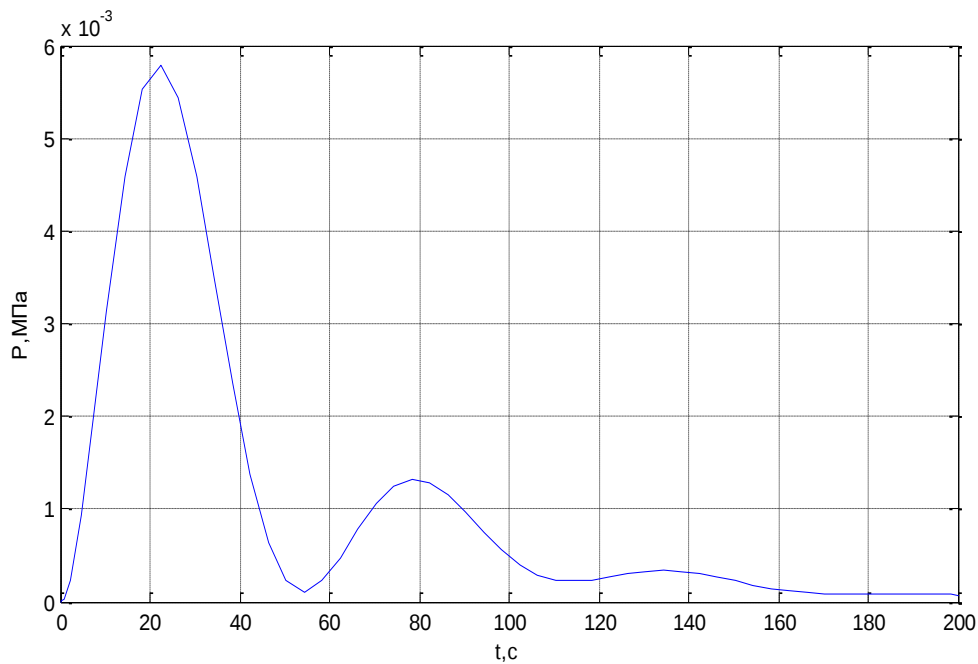


Рис.3.8. Перехідний процес САР, отриманий при зміні витрати пари на 1т/год

З отриманого перехідного процесу визначимо показники якості:

- Максимальне динамічне відхилення  $A=0.00579$  МПа, що не перевищує допустимого значення 0.05 МПа ;
- Час регулювання  $t_p=40$  с, що не перевищує допустимого значення 90 с.

Змодельємо перехідний процес САР при зміні завдання регулятора на 0.05 МПа (рисунок 3.9.).

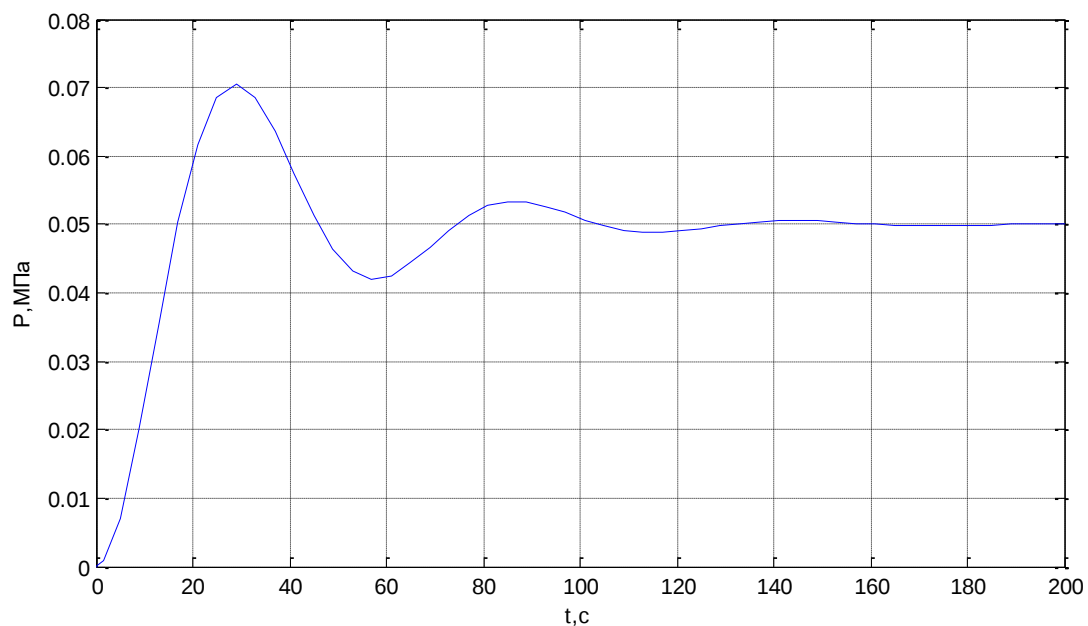


Рис.3.9. Перехідний процес САР, отриманий при зміні завдання на 0.05 МПа

З отриманого перехідного процесу визначимо показники якості:

- Максимальне динамічне відхилення  $A=0.02032$  МПа, що не перевищує допустимого значення 0.05 МПа;
- Час регулювання  $t_p=29$  с, що не перевищує допустимого значення 90с.

### 3.4. Опис схем автоматизації

Функціональна схема автоматизації є основним проектним документом, який визначає структуру і рівень автоматизації конкретного технологічного процесу і оснащення його приладами та засобами автоматизації.

Для розроблення системи автоматичного регулювання парового котла було обрано функціональну схему автоматизації, яка зображена на рис. 3. 10.

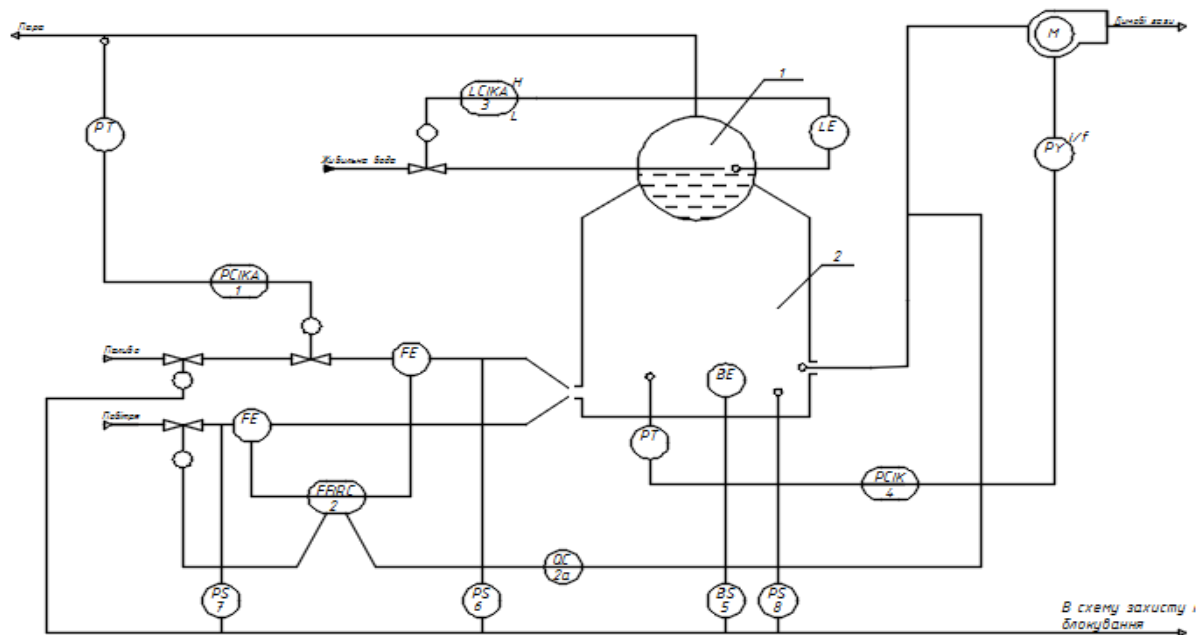


Рис.3.10. Спрощена функціональна схема автоматизації парового котла:

1-барaban котла ;2-топка

Функціональна схема автоматизації парового включає такі контури регулювання:

#### 1.Контур автоматичного регулювання тиску пари

Тиск пари регулюють зміною витрати палива. З перетворювача для вимірювання перепаду тиску типу САФІР-М 2160 (поз.1-1) подається вихідний сигнал 4-20 мА на аналоговий вхід контролера. З контролера сигнал поступає на магнітний пускач ПБР-2М (поз.1-2), який у свою чергу подає сигнал на

електричний виконавчий механізм МЕО-100/63-0,63-99 та регулюючий орган 22с934р(поз.1-4), який змінює витрату палива (природного газу).

## *2. Контур автоматичного регулювання співвідношення витрати повітря-газ з корекцією по вмісту кисню в димових газах*

Для оптимального спалювання палива необхідно підтримувати співвідношення витрат «паливо-повітря», яке становить приблизно 1:10.

Вимірювання витрати палива та повітря здійснюється за методом змінного перепаду тисків із застосуванням звужуючих пристроїв типу ДКС 0.6-100 (поз.2-1,2-3). Після них розміщені дифманометри для вимірювання перепаду тиску САФІР-М5440 (поз.2-4) і САФІР-М5410 (поз.2-2), які подають вихідні сигнали на аналогові входи контролера. Концентрацію кисню в димових газах вимірюємо за допомогою газоаналізатора типу Yokogawa ZR402G (поз.2-5), який подає вихідний сигнал 4-20 мА на аналоговий вхід контролера з якого сигнал поступає на магнітний пускач ПБР-2М (поз.2-7), а він подає сигнал на електричний виконавчий механізм МЕО-100/63-0,63-99 (поз.2-9) з регулюючим органом, який змінює витрату повітря.

## *3. Контур автоматичного регулювання рівня води в барабані котла*

Рівень в котлі підтримується зміною витрати живильної води. Із зрівноважувальної посудини сигнал поступає на дифманометри для вимірювання перепаду тиску САФІР-М 5550 (поз.3-2), який перетворює гідростатичний тиск в уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА. Цей сигнал поступає на аналоговий вхід контролера, а з нього - на магнітний пускач ПБР-2М (поз.3-3), який у свою чергу подає сигнал на електричний виконавчий механізм МЕО-100/63-0,63-99, що змінює положення регулюючого органу 25ч939нж (поз.3-5), встановленому на лінії і керує витратою живильної води.

## *4. Контур автоматичного регулювання розрідження в топці*

Розрідження в топці котла регулюється зміною витрати димових газів. Для цього застосовуємо перетворювач розрідження САФІР-М 5210 (поз.4-1). З перетворювача уніфікований сигнал надходить на аналоговий вхід контролера, який опрацьовує цей сигнал і подає його на частотний перетворювач

DanfossVLTMicroDriveFC51 (поз.4-2), який змінює продуктивність вентилятора на лінії виходу димових газів із котла..

#### 5. *Контур автоматичного блокування подачі газу*

Контроль наявності полум'я в топці складається із фотоприймача ФР1-3 (опір 47 кОм) (поз.5-1), який подає сигнал про наявність полум'я в топці і передає його давачу контролю полум'я Комел ПКП ФП-2 (поз.5-2), який при відсутності полум'я формує сигнал сигналізації аварійного значення і подає його в схему захисту.

#### 6. *Контроль тиску палива і повітря*

Контур контролю тиску палива і повітря складається з давачів реле тиску газу і повітря ДРД-12 (поз.6-1,6-2), які проводять сигналізацію аварійного значення тиску газу і повітря і формують сигнал в схему захисту.

#### 7. *Контроль розрідження в топці*

Контур контролю розрідження в топці котла складається з давача реле розрідження Kromschroeder DG..U (8-1), яке проводить сигналізацію аварійного значення і формує сигнал в схему захисту.

### 3.5. Специфікація засобів автоматизації

Специфікація на засоби автоматизації наведена в таблиці 3.2

Таблиця 3.2.

#### Специфікація на засоби автоматизації

| № п/п | № позиції         | Технологічний параметр, його номінальне значення | Місце встановлення | Назва та коротка технічна характеристика                                                                                                                                                    | Тип          | К-ть |
|-------|-------------------|--------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|------|
| 1     | 2                 | 3                                                | 4                  | 5                                                                                                                                                                                           | 6            | 7    |
| 1     | 1-1               | Перепад тиску                                    | По місцю           | Вимірювальний перетворювач надлишкового тиску, з уніфікованим струмовим вихідним сигналом 4-20мА. Діапазон вимірювання: 0-1.6 МПа. Основна похибка від верхньої границі вимірювання- 0.5 %. | САФІР-М 2160 | 1    |
| 2     | 1-2<br>2-7<br>3-3 |                                                  | По місцю           | Пускач безконтактний реверсивний. Вхідний опір пускача 750 Ом, максимальний комутаційний струм - 4А. Швидкодія -25 мс.                                                                      | ПБР-2М       | 3    |

|    |            |                                     |                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                 |                      |   |
|----|------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---|
| 3  | 1-4        |                                     | По місцю                                                          | Регулюючий клапан з електроприводом типу МЕО-100/63-0,63-99. $M_y=100$ Нм; $t=63$ с; повний хід 0,63 оберта. Умовний діаметр $D_y=100$ мм. Температура до $50^{\circ}\text{C}$ .                                                                                | 22с934р<br>(Е 96377) | 1 |
| 4  | 2-1<br>2-3 | Витрата палива.<br>Витрата повітря. | На трубопроводі подачі палива.<br>На трубопроводі подачі повітря. | Діафрагма камерна стандартна. Умовний діаметр $D_y=100$ мм; умовний тиск $P_y=0,6$ МПа.                                                                                                                                                                         | ДКС0.6-100           | 2 |
| 5  | 2-2        | Перепад тиску                       | По місцю                                                          | Вимірювальний перетворювач різниці тисків, з уніфікованим струмовим вихідним сигналом 4-20мА. Діапазон вимірювання від 0...0,16кПа. Основна похибка від верхньої границі вимірювання 0.5 %.                                                                     | САФІР-М 5410         | 1 |
| 6  | 2-4        | Перепад тиску                       | По місцю                                                          | Вимірювальний перетворювач різниці тисків, з уніфікованим струмовим вихідним сигналом 4-20мА. Діапазон вимірювання: 0...40кПа. Основна похибка від верхньої границі вимірювання 0.5 %. Напруга живлення 15-42 В постійного струму. Споживана потужність 0,8 Вт. | САФІР-М 5440         | 1 |
| 7  | 2-5        |                                     | По місцю                                                          | Газоаналізатор вмісту кисню в димових газах. Аналоговий вихід 4..20мА. Мінімальний діапазон 0,05%, 2% або 5% $\text{O}_2$ . Максимальний діапазон 0-100%.                                                                                                       | Yokogawa ZR402G      | 1 |
| 8  | 2-9        |                                     | По місцю                                                          | Регулюючий клапан з електроприводом типу МЕО-100/63-0,63-99. $M_y=100$ Нм; $t=63$ с; повний хід 0,63 об. Умовний діаметр $D_y=50$ мм. Температура до $40^{\circ}\text{C}$ .                                                                                     | ВСП                  | 1 |
| 9  | 3-1        |                                     | На трубопроводі                                                   | Зрівноважувальна посудина, умовний тиск 2МПа                                                                                                                                                                                                                    | СУ-2                 | 1 |
| 10 | 3-2        | Перепад тиску                       | По місцю                                                          | Перетворювач гідростатичного тиску в уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА, вибухозахищений, основна похибка 0.5 %. Верхня межа вимірювання 250кПа                                                                                                              | САФІР-М 5550         | 1 |
| 11 | 3-5        |                                     | По місцю                                                          | Регулюючий клапан з електроприводом типу МЕО-100/63-0,63-99. $M_y=100$ Нм; $t=63$ с; повний хід 0,63 оберта. Умовний діаметр $D_y=25$ мм,                                                                                                                       | 25ч939нж             | 1 |
| 12 | 4-1        | Розрід-ження в топці                | По місцю                                                          | Перетворювач розрідження. Вихідний сигнал 4-20мА. Верхня межа вимірювань вакууму 0,25кПа. Основна похибка від верхньої границі вимірювання 0.5 %.                                                                                                               | САФІР-М 5210         | 1 |

|    |            |                                     |          |                                                                                                                                                   |                                                    |   |
|----|------------|-------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---|
| 13 | 4-2        |                                     | По місцю | Частотний перетворювач, потужність 1.5кВт, номінальний струм 6.8А, вихідна частота 1000Гц (VCC+ - режим векторного управління).                   | Danfoss VLT Micro Drive FC51                       | 1 |
| 14 | 5-1        |                                     | По місцю | Фоторезистор. Електричний опір 47 кОм.                                                                                                            | ФР1-3                                              | 1 |
| 15 | 5-2        | Захист системи при згасанні полум'я | На щиті  | Пристрій контролю полум'я                                                                                                                         | Комел ПКП ФП-2                                     | 1 |
| 16 | 6-1<br>7-1 | Тиск                                | По місцю | Давачі реле тиску газу і повітря Основна похибка 0.5 %. Верхня межа вимірювання 250кПа.                                                           | ДРД -12                                            | 2 |
| 17 | 8-1        | Розрід-ження                        | По місцю | Давач-реле розрідження. Максимальний робочий тиск 600 мбар. Діапазони спрацювання від 0.5 до 500 бар. Штуцер для подачі тиску розрідження Rp 1/8. | Kromschroeder DG..U                                | 1 |
| 18 | 9-1        | Захист системи                      | По місцю | Електромагнітний відсічний клапан для припинення подачі газу. Максимальний тиск 50кПа, напруга живлення 24В.                                      | Madas MP16/RM N.A                                  | 1 |
| 19 |            |                                     | На щиті  | Модуль CPU                                                                                                                                        | CPU 315-2DP 6ES7 315-AG10-0AB0                     | 1 |
| 20 |            |                                     | На щиті  | Блок живлення                                                                                                                                     | PS 307; 5 A; 6ES7307-1EAx0-0AA0                    | 1 |
| 21 |            |                                     | На щиті  | Модуль аналогових входів                                                                                                                          | SM 331; AI 8 x 12 Bit; 6ES7331-7KF02-0AB0          | 1 |
| 22 |            |                                     | На щиті  | Модуль аналогових входів                                                                                                                          | SM 331; AI 2 x 12 Bit; 6ES7331-7KB02-0AB0          | 1 |
| 23 |            |                                     | На щиті  | Модуль аналогових виходів                                                                                                                         | SM 332; AO 2 x 12 Bit; 6ES7332-5HB01-0AB0          | 1 |
| 24 |            |                                     | На щиті  | Модуль дискретних входів                                                                                                                          | SM 321; DI 16 x DC 24 V; 6ES7321-7BH01-0AB0        | 1 |
| 25 |            |                                     | На щиті  | Модуль дискретних виходів                                                                                                                         | SM 322; DO 16 x DC 24 V/ 0.5 A; 6ES7322-1BH01-0AA0 | 1 |

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці**

Котельні установки є об'єктами підвищеної небезпеки, які в процесі експлуатації можуть спричинити значні матеріальні збитки, а також спричинити інші тяжкі наслідки. Тому найважливішим завданням є забезпечення безаварійної експлуатації систем теплопостачання та їх обладнання.

Відповідно до НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою», будівля котельні належить до категорії Г.

Комплекс заходів щодо охорони праці, техніки безпеки, виробничої санітарії, вибухо- і пожежобезпеки включає такі нормативні матеріали: систему стандартів безпеки праці, правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок; нормування шуму (ДСН 3.3.6-037-99, нормується рівень інтенсивності в залежності від частоти); норми по освітленню (ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення. Норми проектування»); норми по опаленню, вентиляції та кондиціонуванню повітря (ДБН В.2.5-67-2013 «Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря»); норми по вібрації (ДСН 3.3.6-039-99 та ДСТУ 12.1.012-2008 «Вібрація. Загальні вимоги безпеки»); нормування метрологічних умов («Повітря робочої зони»).

Прийняті в проекті рішення по автоматизації технологічного процесу в котельні вимагають виконання наступних видів робіт:

- монтаж первинних вимірювальних перетворювачів;
- встановлення щитів, пультів в операторських приміщеннях та на території виробничого приміщення;
- прокладка проводок.

З огляду на необхідність виконання перелічених вище робіт та з урахуванням роботи допоміжного обладнання можна виділити наступні потенційні небезпеки і шкідливості, які можуть загрожувати робітникам і службовцям, які працюють на об'єкті:

- можливість ураження електричним струмом (у випадку пошкодження ізоляції струмоведучих частин кабелів або при неправильному заземленні);
- дія термічних факторів (при надмірному перегріві виробничих і операторських приміщень);
- недостатнє робоче освітлення і погіршення зору внаслідок постійної роботи операторів біля пультів оперативного управління;
- гіподинамія внаслідок недостатньої рухливості операторів, нервово-емоційне перенавантаження.

## **4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці**

### **Котельні установки**

Улаштування котельних установок відповідає технічним вимогам з вибухобезпеки.

Перед пуском котла після монтажу, ремонту або довгострокової зупинки (більше 3 діб) перевіряють і підготовлюють до роботи усі допоміжні механізми, засоби захисту, управління, вимірювання, блокування, зв'язку і систем пожежогасіння повітропідігрівників з пуском води через контрольний дренаж.

Пуск обладнання і розпалювання котла проводять під керівництвом посадової особи, яка має досвід його пуску та експлуатації.

Забороняється розпочинати операції з розпалювання котла в таких випадках, якщо:

- технологічне обладнання має дефекти, що не дозволяють забезпечити нормальний режим, а також можуть викликати пожежу;
- не працюють контрольно-вимірювальні прилади (у тому числі й реєструючі), які визначають основні параметри роботи котла;
- є неполадки в ланцюгах управління, а також технологічних захистах і блокуваннях, які діють на зупинення котла;
- не закінчені ізоляційні роботи й не зняті будівельні риштування;

- не забезпечений нормальний режим у мережі протипожежного водопостачання і не готові засоби пожежогасіння.

Персонал суворо контролює забезпечення встановленого паливного режиму котельної установки, що гарантує безпеку роботи.

При одержанні сигналу про загоряння відкладень у газоході (повітропідігрівачі) котла необхідно:

- повідомити старшому зміни про виникнення загоряння у газоході або повітропідігрівачі;
- зупинити котел; відкрити засувку подавання води в стаціонарну установку пожежогасіння повітропідігрівача або подати насичену пару в газохід котла (при наявності скляних повітропідігрівачів).

Якщо температура за повітропідігрівачем продовжує рости, необхідно діяти відповідно до оперативного плану пожежогасіння.

У разі виникнення пожежі в котельному відділенні котел негайно має бути зупинений, якщо вогонь або продукти згоряння загрожують життю обслуговуючого персоналу або є безпосередня загроза пошкодження обладнання, ланцюгів управління і захистів котла.

Котел також повинен бути зупинений в аварійних випадках, передбачених вимогами ПТЕ.

Періодично, але не менше 1 разу в півроку, проводиться візуальний огляд стану теплової ізоляції трубопроводів, обладнання і бункерів. Виявлені порушення відмічають в журналі дефектів і неполадок з обладнанням.

Забороняється проводити зварювальні й інші вогнебезпечні роботи на діючому вибухо- і пожежонебезпечному обладнанні котельної установки.

При виконанні вогневих робіт у приміщенні котельного відділення спалимі конструкції та обладнання в радіусі 5 м очищуються від відкладень пилу і надійно захищаються (металевим екраном, азбестом або змочені водою)[12].

### **Електробезпека**

Електробезпека електроустановок споживачів, які щойно будуються або реконструюються, повинна відповідати вимогам ПУЕ. Електроустановки споживачів, що експлуатуються, повинні відповідати вимогам Правил технічної

експлуатації електроустановок споживачів і Правил техніки безпеки під час експлуатації електроустановок споживачів, а також діючих стандартів безпеки праці та інших нормативних документів. Дверцята шаф або ящиків з електроапаратурою повинні замикатись за допомогою спеціального ключа або замка. Ключі повинні вийматись та знаходитись у чергового електротехнічного персоналу. Ввідні, відгалужувальні, протяжні і інші коробки електроустаткування і мережі повинні бути щільно закриті накривками.

Незалежно від засобу захисту на всіх дверцятах (накривках) шаф, ніш тощо з електроустаткуванням напругою понад 42 В, а також на огорожах, які закривають електроапаратуру, повинні бути нанесені попереджувальні знаки електричної напруги. На дверцятах повинен також бути наведений перелік устаткування, що відповідає електроапаратурі.

Роботи по ремонту електроустаткування та механізмів повинні виконуватись лише після повного вимкнення від електромережі з обов'язковим вивішуванням на місцях вимкнення попереджувальних плакатів "Не вмикати! Працюють люди!"

Для підготовки робочого місця при роботах із зняттям напруги повинні бути виконані у зазначеному порядку такі технічні заходи:

- виконані необхідні вимкнення та вжиті заходи до недопущення подачі напруги на місце роботи;
- на приводах ручного та на ключах дистанційного керування комутаційної апаратури вивішені забороняючі плакати;
- перевірена відсутність напруги на струмоведучих частинах, на які повинне бути накладене заземлення для захисту людей від ураження електричним струмом;
- накладене заземлення;
- вивішені попереджувальні та розпоряджувальні плакати;
- огорожені, у разі необхідності, робочі місця та струмоведучі частини, що лишились під напругою.

Для захисту людей від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції повинен бути застосований, у крайньому разі, один з наступних захисних заходів: заземлення, занулення, захисне вимкнення, розподільчий трансформатор, мала напруга, подвійна ізоляція, вирівнювання потенціалів.

Опір заземлювального пристрою, до якого приєднано нейтраль джерела живлення або виводи джерела однофазного струму, у будь-яку пору року не повинен перевищувати 2, 4 і 8 Ом відповідно для лінійних напруг 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму. Цей опір необхідно забезпечувати з урахуванням використання всіх заземлювачів, приєднаних до PEN(PE)-провідника, якщо кількість відхідних ліній не менша двох.

До частин, що підлягають зануленню або заземленню відносяться:

- корпуси електричних машин, апаратів, трансформаторів, світильників тощо;
- приводи електричних апаратів;
- вторинні обмотки вимірювальних трансформаторів;
- каркаси розподільних щитів, щитів керування, щитків і шаф, а також частини, які знімаються або відчиняються, якщо на останніх встановлено електрообладнання напругою вище 42 В змінного струму або більше 110 В постійного струму;
- металеві конструкції розподільних пристроїв, металеві кабельні конструкції, металеві кабельні з'єднувальні муфти, металеві оболонки і броня контрольних і силових кабелів, металеві оболонки проводів, металеві рукави і труби електропроводки, кожухи і опорні конструкції шинопроводів, лотки, коробки, струни, троси і сталеві полоси, на яких закріплені кабелі і проводи (окрім струн, тросів і полос, на яких прокладені кабелі із заземленою або зануленою металевою оболонкою чи бронею), а також інші металеві конструкції, на яких встановлене електрообладнання;
- металеві оболонки і броня контрольних і силових кабелів і проводів напругою до 42 В змінного струму і до 110 В постійного струму, прокладених на загальних металевих конструкціях, у тому числі у загальних трубах, коробах,

лотках тощо разом з кабелями і проводами, металева оболонка і броня яких підлягає заземленню або зануленню;

-металеві корпуси пересувних і переносних електроприймачів;

-електрообладнання, що встановлене на рухомих частинах верстатів, машин і механізмів.

При проведенні ремонтних робіт на електроустаткуванні необхідно встановлювати переносне заземлення для захисту працюючих від ураження електричним струмом в разі помилкової подачі напруги до місця роботи.

Застосовувати електроінструмент та ручні електричні прилади допускається лише у відповідності з призначенням, вказаним у паспорті.

При користуванні електроінструментом їх провід або кабель повинні підвішуватися. Безпосередній дотик проводів, кабелю з металевими, гарячими, вологими і масляними поверхнями чи предметами не допускається.

Електроінструмент та допоміжне устаткування повинне піддаватись перевірці не рідше одного разу на 6 місяців.

Після виготовлення засобів захисту вони повинні підлягати приймально-здавальним (кожен зразок) періодичним та поточним випробуванням (ГОСТ 16504-81). При експлуатації засоби захисту повинні підлягати періодичним та позачерговим (що проводяться після ремонту) випробуванням.

### **Вимоги санітарії до операторної**

Для забезпечення безпечних умов праці для оператора слід обладнати операторну для забезпечення відповідного мікроклімату, освітленості, вібро - та шумоізоляції. Оператор виконує легкі роботи 1а і значення параметрів мікроклімату операторної наведені в табл. 4.1:

*Таблиця 4.1*

#### **Показники мікроклімату**

| Період року | Категорія робіт | Температура повітря, °С | Відносна вологість повітря, % | Швидкість руху повітря, м/с |
|-------------|-----------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Холодний    | Легка – 1а      | 22 – 24                 | 40 – 60                       | 0,1                         |
| Теплий      | Легка – 1а      | 23 – 25                 | 40 – 60                       | 0,1                         |

Для створення сприятливих умов зорової роботи, які б виключали швидку втомлюваність очей, виникнення професійних захворювань, нещасних випадків і сприяли підвищенню продуктивності праці та якості продукції, виробниче освітлення відповідає наступним вимогам :

- створена на робочій поверхні освітленість, що відповідає характеру зорової роботи не є нижчою за встановлені норми (ДБН В.2.5-28-2006);
- не чинить засліплюючої дії як від самих джерел освітлення, так і від інших предметів, що знаходяться в полі зору;
- забезпечує достатню рівномірність та постійність рівня освітленості у виробничих приміщеннях, щоб уникнути частої переадаптації органів зору;
- не створює на робочій поверхні різких та глибоких тіней (особливо рухомих);
- достатня для розрізнення деталей контраст поверхонь, що освітлюються;
- не створює небезпечних та шкідливих виробничих факторів (шум, теплові випромінювання, небезпечне ураження струмом, пожежо- та вибухонебезпека світильників);
- надійна і проста в експлуатації, економічна та естетична.

### **Система вентиляції**

Система вентиляції, кондиціонування повітря і повітряного опалення забезпечує санітарно-гігієнічні вимоги до мікроклімату виробничих приміщень.

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони виробничих приміщень не перевищує встановлених граничнодопустимих концентрацій.

На території підприємства і у виробничих приміщеннях підтримується чистота.

### **Вимоги норм за шумом**

В наш час експлуатація переважної більшості технологічного обладнання, енергетичних установок, машин та механізмів пов'язана з виникненням шумів різної частоти та інтенсивності, котрі справляють несприятливий вплив на організм людини. Нормування шуму здійснюється в залежності від частоти.

Нормування залежить від часової характеристики. Для виробничого приміщення рівень шуму не перевищує 80 дБ.

Для зниження рівня шуму передбачено наступні заходи:

- стіни операторної виготовлені з шумоізолюючого матеріалу і вікон.
- установка вентиляторів зроблена на віброізолюючих основах. З'єднання їх з трубопроводами (повітропроводами) здійснено за допомогою гнучких віброізолюючих вставок.
- вибір конструкції повітрозапірних пристроїв, діаметрів повітропроводів та інших елементів систем та санітарно-технічних пристроїв зроблений з умов припустимих швидкостей повітряних потоків та рівнів звукового тиску.

### **4.3. Пожежна безпека**

#### **Вимоги до системи пожежного захисту**

Пожежна профілактика включає організаційні та організаційно-технічні заходи (організація пожежної охорони, організація навчання правилам пожежної безпеки, організація протиаварійних і газорятувальних робіт, розробка норм, регламентів, засобів наглядної агітації, контроль, паспортизація речовин, матеріалів, процесів в частині пожежо- і вибухобезпеки).

Котельня відноситься до категорії Г. У відповідності до ДБН В.2.5-56-2008 «Системи протипожежного захисту» в залежності від ступеня безпеки і розвитку пожежі, забезпечується автоматична пожежна сигналізація.

Запобігання пожежі досягається ізолюванням горючого середовища, що забезпечується:

- правильним вибором виконання, застосування і режиму експлуатації технологічного обладнання та інших механізмів, які можуть бути джерелами запалювання горючого середовища;
- застосуванням електрообладнання, яке відповідає класу пожежо-вибухонебезпечності приміщення;
- виконанням вимог електростатичної іскробезпечності;
- пристроями блискавкозахисту приміщень, споруд і обладнання;

- обмеженням максимально допустимої температури нагріву поверхонь обладнання.

Пожежний захист забезпечується:

- запобіганням поширення пожежі за межі місця займання, застосуванням пристроїв протипожежних перешкод;
- застосуванням засобів пожежегасіння;
- застосуванням засобів пожежної сигналізації і засобів оповіщення про пожежу;
- організацією пожежної охорони об'єкту;
- застосуванням засобів колективного і індивідуального захисту людей;
- наявністю протипожежних розривів між спорудами, апаратурою захисних зон.

Для гасіння можливої пожежі і забезпечення безпеки людей, які задіяні при ліквідації, передбачені технічні засоби (сходові клітки, зовнішні пожежні драбини, аварійні люки), які зберігають свої функції протягом розрахованого часу необхідного для гасіння пожежі.

Первинні засоби пожежегасіння призначені для ліквідації невеликих осередків пожеж, а також для гасіння пожеж у початковій стадії їхнього розвитку силами персоналу об'єкта до прибуття штатних підрозділів пожежної охорони.

До первинних засобів пожежогасіння відносять: вогнегасники, пожежний інвентар (бочки з водою, пожежні відра, ящики з піском, совкові лопати, протипожежні покривала) та пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири).

Вогнегасники та пожежний інвентар мають червоне пофарбування, а бочки з водою та ящики з піском ще й відповідні написи білою фарбою. Пожежний інструмент фарбується у чорний колір.

У приміщенні котельні передбачена наявність наступних первинних засобів пожежогасіння: 4 пінні вогнегасники ВП-8; 1 вуглекислотний вогнегасник ВВК-8; 2 ящики з піском місткістю 0.5 куб. м.

## 5. ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Впровадження автоматизованої системи керування процесом отримання водяної пари на базі контролерів Siemens забезпечує підвищення ефективності роботи котельного обладнання, зменшення витрат енергоносіїв та пального, підвищення рівня безпеки та надійності експлуатації, а також зниження трудовитрат на обслуговування.

*Таблиця 5.1.*

### Витрати на автоматизацію

| № | Найменування витрат                                                             | Кількість | Вартість<br>одиниці, грн | Загальна<br>сума, грн |
|---|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------|
| 1 | Контролер Siemens CPU 315-2DP                                                   | 1         | 32 000                   | 32 000                |
| 2 | Блок живлення PS307 5A                                                          | 1         | 5 500                    | 5 500                 |
| 3 | Модулі аналогових входів/виходів SM331,<br>SM332                                | 4         | 8 000                    | 32 000                |
| 4 | Модулі дискретних входів/виходів SM321,<br>SM322                                | 2         | 6 000                    | 12 000                |
| 5 | Датчики тиску, розрідження, витрати, полум'я<br>(САФІР-М, Yokogawa, DPД, Комел) | 10        | 7 000<br>(середня)       | 70 000                |
| 6 | Регулюючі клапани з електроприводом                                             | 3         | 15 000                   | 45 000                |
| 7 | Частотний перетворювач Danfoss FC51                                             | 1         | 8 000                    | 8 000                 |
| 8 | Кабельно-провідникова продукція, щитові<br>елементи, комунікації                | —         | —                        | 15 000                |
| 9 | Витрати на монтаж, пусконаладжувальні<br>роботи                                 | —         | —                        | 20 000                |
| — | <b>Загальні витрати:</b>                                                        | —         | —                        | <b>239 500 грн</b>    |

Внаслідок впровадження автоматизованої системи очікується: зниження витрат палива на 5–10% за рахунок оптимального регулювання подачі палива, повітря, тиску пари та температури, скорочення простоїв обладнання, підвищення надійності, зменшення кількості аварійних зупинок, зменшення експлуатаційних витрат (зарплати операторів, втрати сировини та енергії).

• *Таблиця 5.2.*

### Річна економія

| Стаття                                      | Оцінка економії, грн/рік |
|---------------------------------------------|--------------------------|
| Зменшення витрат на паливо (наприклад, газ) | 80 000                   |
| Зменшення витрат на персонал                | 30 000                   |
| Зменшення аварійних втрат та простоїв       | 25 000                   |
| <b>Разом</b>                                | <b>135 000 грн/рік</b>   |

Розрахунок терміну окупності здійснюється за формулою:

$$T=C/E$$

де:

T — термін окупності, років

C — загальні витрати, грн

E — річна економія, грн

$$T=239\,500/135\,000\approx 1,77 \text{ року} \approx 1 \text{ рік } 9 \text{ місяців}$$

Проект впровадження автоматизованої системи керування процесом генерації водяної пари є економічно доцільним. Очікувана окупність інвестицій становить менше двох років, після чого підприємство отримає сталу річну економію. Крім економічного ефекту, забезпечується також покращення безпеки, зниження навантаження на персонал та підвищення стабільності технологічного процесу.

## ВИСНОВКИ

Для забезпечення тепловою енергією і технологічною парою ПрАТ "Львівський жиркомбінат" на котельні підприємства встановлено барабанний котлоагрегат типу ДКВР 10/13 з потужностями 10 т/год пари. В технологічному процесі отримання пари вимірюванню підлягають такі параметри: співвідношення витрат «повітря-паливо (природний газ); тиск пари; рівень живильної води; розрідження в топці. Сигналізації підлягають такі параметри: тиск пари; рівень живильної води; розрідження в топці. Дистанційному керуванню підлягають такі параметри: співвідношення витрат «повітря-паливо»; тиск пари; рівень живильної води; розрідження в топці. Регулюванню підлягають такі параметри: співвідношення витрат «повітря-паливо»; -тиск пари; рівень живильної води; розрідження в топці. Захист необхідно забезпечити за такими параметрами: наявністю полум'я в топці; розрідженню в топці; тиску газу; тиску повітря.

На основі аналізу існуючих схем автоматизації мною запропонована оптимальна схема автоматизації, в якій передбачено контури регулювання, захисту і блокування.

Вибір первинних перетворювачів та виконавчих механізмів наведено для кожного контуру регулювання.

У Контурі регулювання тиску пари тиск пари регулюють зміною витрати палива, використовують САФІР-М 2160. У контурі регулювання співвідношення витрат «паливо-повітря» з корекцією за вмістом кисню в димових газах для регулювання необхідно встановлювати первинні вимірювальні перетворювачі на лініях подачі палива і подачі повітря. Для вимірювання витрати палива та повітря використовуємо звужуючі пристрої (діафрагми) типу ДКС 0.6-100, після яких розміщені дифманометри для вимірювання перепаду тиску САФІР-М5440 і САФІР-М5410, які подають вихідні сигнали на аналогові входи контролера. Концентрацію кисню вимірюємо за допомогою газоаналізатора типу YokogawaZR402G, який подає вихідний сигнал 4-20 мА на аналоговий вхід контролера. З контролера сигнал поступає на магнітний пускач ПБР-2М, який у

свою чергу подає сигнал на електричний виконавчий механізм МЕО-100/63-0,63-99 з регулюючим органом 25ч939нж і змінює витрату повітря.

Рівень в барабані котла регулюємо зміною витрати живильної води. Розрідження регулюємо зміною витрати димових газів. Це розрідження вимірюємо перетворювачем розрідження САФІР-М 5210.

Контур наявності полум'я складається із фотоприймача ФР1-3 (опір 47 кОм), який подає сигнал про наявність полум'я в топці і передає його давачу контролю полум'я типу Комел ПКП ФП-2, який при відсутності полум'я формує сигналізацію аварійного значення і подає сигнал в схему захисту.

Контроль тиску палива і повітря складається з давачів реле тиску газу і повітря ДРД-12, які здійснюють сигналізацію аварійного значення тиску газу і повітря і формують сигнал в схему захисту.

Контроль розрідження в топці складається з давача реле розрідження KromschroederDG..U, яке забезпечує сигналізацію аварійного значення розрідження і формує сигнал в схему захисту.

Для розробки програми функціонування контролера використаємо програмне середовище Tia Portal V13. Створено новий проект і здійснено налаштування контролера.

Розроблено принципову електричну схему зовнішніх з'єднань контролера SimaticS7-300. Підключені такі прилади:

1. Модуль аналогових входів SM 331; AI 8 x 12 Bit; 6ES7331-7KF02-0AB0:
  - Давачі різниці тисків Сафір (5 шт.).
  - Давач концентрації.
2. Модуль аналогових виходів SM 332; AO 2 x 12 Bit; 6ES7332-5HB01-0AB0.
  - Частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC51.
3. Модуль дискретних входів SM 321; DI 16 x DC 24 V; 6ES7321-7BH01-0AB0
  - Давач-реле контролю полум'я Комел ПКП ФП-2.
  - Давачі-реле тиску ДРД-12 (2 шт.)
- 4) Модуль дискретних виходів SM 322; DO 16 x DC 24 V/ 0.5 A; 6ES7322-1BH01-0AA0:
  - Виконавчі механізми МЕО-100/63-0,63-99(3 шт.).

Виконаано моделювання і дослідження системи автоматичного регулювання тиску парового котла. За експериментальною кривою розгону, отриманою стрибкоподібною зміною регулюючої дії на 5 %, знайдена передавальну функцію об'єкта регулювання за допомогою середовища Matlab

$$W(p) = \frac{0.0144}{(84.8666p + 1)(15.3353p + 1)}.$$

Отримана модель є адекватною і зведена похибка апроксимації кривої розгону становить  $\Delta_{max} = 1.7\%$ .

На основі математичної моделі об'єкта регулювання розраховані оптимальні параметри налаштування ПІ– регулятора, що забезпечують мінімум другої інтегральної оцінки перехідного процесу за регулюючою дією.

Модель ПІ-регулятора:

$$W(p) = 1173.3 + \frac{16.0322}{p}.$$

Отримані перехідні процеси із розрахованими параметрами налаштування ПІ-регулятора задовольняють необхідні умови якості, отже, параметри налаштування регулятора визначені правильно.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Автоматизація виробничих процесів/ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський О.К., Лящук О.Л .- Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011.-344 с.
3. Безвесільна О.М.. Толочко Т.О. "Технічні засоби автоматизації: навчальний посібник". – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.
4. Бурау Н. І., Півторак Д. О. "Теорія автоматичного управління: практикум". – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 57 с.
5. Батрак В. Г., Стукало В. М. Автоматизація технологічних процесів: навч. посібник. – Київ: Каравела, 2016. – 320 с.
6. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
7. Закон України "Про охорону праці" від 14.10.1992 № 2694-ХІІ. – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
8. Ковальчук М. О. Моделювання і проектування САР у харчовій промисловості: навч. посіб. – Тернопіль: ТНТУ, 2019. – 180 с.
9. Кожемяко А. В. Технологічні процеси та обладнання харчових виробництв: підручник. – Львів: Львівська політехніка, 2020. – 296 с.
10. Колесніков О.В. *Контролери і системи автоматизації*. – К.: Ліра-К, 2021. – 352 с.
11. Леонтьєв О. Є. "Теорія автоматичного керування: навчальний посібник". – Суми: Сумський державний університет, 2024.
12. Михайлов Г. П. Автоматичне регулювання та керування: підручник. – Київ: Каравела, 2019. – 328 с.
13. Наказ МНС № 1417 від 30.12.2014 "Правила пожежної безпеки в Україні". – [Електронний ресурс]. – <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0136-1>
14. Нелінійні та дискретні системи автоматичного керування. Курс лекцій : навчальний посібник / укладачі : Б. І. Приймак. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с.
15. Офіційний сайт Schneider Electric – <https://www.se.com/ua/>
16. Офіційний сайт Siemens Automation – <https://new.siemens.com>
17. Пархоменко І. В. Автоматизовані системи управління технологічними процесами. – Харків: ХНАМГ, 2020. – 234 с.
18. Пономаренко М. П., Назаренко А. О. Основи проектування автоматизованих систем керування. – К.: Либідь, 2020. – 244 с.
19. Пухальський А.О., Грищенко В.В. *Автоматизація технологічних процесів харчової промисловості*. – К.: Центр учбової літератури, 2019. – 296 с.

20. Сидоренко В. В. Основи автоматизації технологічних процесів. – Львів: Новий світ–2000, 2021. – 276 с.
21. Сименс. Програмовані логічні контролери SIMATIC S7-300: технічна документація. – Siemens AG, 2018. – <https://support.industry.siemens.com>
22. Тесленко В. М. Основи автоматизації технологічних процесів: навчальний посібник. – К.: Ліра-К, 2021. – 340 с.
23. Тимченко С. М. Теоретичні основи автоматизованого керування технологічними процесами: навч. посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 290 с.
24. DIN EN ISO 12100:2010. Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction.
25. Siemens AG. TIA Portal V16 Documentation and User Manuals. – <https://support.industry.siemens.com>