

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____Володимир ВОЛОЩУК

«___» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Автоматизована система керування котлом-утилізатором»

Виконав:

студент IV курсу, групи ТА-92

Бурбела Володимир Сергійович

Керівник:

Старший викладач

Штіфзон Олег Йосипович

Консультант з розділу «Охорона праці»:

Доцент, к.т.н.

Каштанов Сергій Федорович

Рецензент:

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2023 року

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

Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики

Кафедра автоматизації енергетичних процесів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Володимир ВОЛОЩУК

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Бурбела Володимир Сергійович

1. Тема проєкту «Автоматизована система керування котлом-утилізатором», керівник проєкту Штіфзон Олег Йосипович, старший викладач, затверджені наказом по університету від «29» травня 2023 р. №2039-с
2. Термін подання студентом проєкту «12» червня 2023 р.
3. Вихідні дані до проєкту: літературні джерела, зібрані під час проходження переддипломної практики; температура вихідної пари 370 °С.
4. Зміст пояснювальної записки: 1. Перелік скорочень, умовних позначень, термінів. 2. Вступ. 3. Проєктування АСУТП. 4. Інженерний розрахунок САР. 5. Графічна частина проєкту. 6. Програмування ПТКЗА. 7. Імітаційне моделювання АТК. 8. Охорона праці. 9. Техніко-економічний розрахунок АСК. 10. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): 1. Схема функціональна автоматизації ТОВ. 2.

Схема принципова електрична АСР. 3. Креслення загального виду шафи. 4. Схема монтажна шафи (таблиця з'єднань). 5. Схема зовнішніх з'єднань. 6. Специфікація обладнання. 7. Відомість дипломного проєкту.

6. Консультанти розділів проєкту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С. Ф., доцент, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання «20» квітня 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Постановка задачі автоматизації ТОВ котлом-утилізатором	26.04.2023	
2	Схема автоматизації. Схема структурна ПТК	05.05.2023	
3	Схема принципова електрична	10.05.2023	
4	Креслення загального виду шафи	14.05.2023	
5	Схема монтажна. Схема зовнішніх проводок	18.05.2023	
6	Створення специфікації обладнання та відомості дипломного проєкту	21.05.2023	
7	Інженерні розрахунки САР	26.05.2023	
8	Імітаційне моделювання і аналіз функціонування АТК	02.06.2023	
9	Охорона праці	06.06.2023	
10	Розрахунок техніко-економічної ефективності АСУ	09.06.2023	
11	Нормоконтроль ДП	13.06.2023	
12	Передзахист ДП	15.06.2023	
13	Захист ДП	20.06.2023	

Студент

Володимир БУРБЕЛА

Керівник

Олег ШТИФЗОН

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

АНОТАЦІЯ

Цей дипломний проєкт присвячений розробці автоматизованої системи керування котлом-утилізатора. Він призначений для ефективного використання твердих відходів шляхом їх перетворення на теплоенергію. Оптимальне функціонування такого пристрою вимагає точного контролю та керування його роботою.

Під час його виконання було досліджено об'єкт автоматизації, його особливості та характеристики. У результаті було вибрано одноконтурні системи регулювання.

На базі цієї інформації було розроблено схеми автоматизації функціональну, електричну принципову та креслення шафи автоматизації. Для цього підібрано обладнання.

Далі проведено інженерний розрахунок вимірювальних каналів та регулювально-виконавчих каналів та систему автоматичного регулювання для контуру регулювання температури вихідної пари.

Створено програму для контролера та інтерфейс для роботи з котлом у SCADA-системі. Та зроблено імітаційне моделювання вибраного контуру.

Також розраховано техніко економічну-ефективність.

Система базується на передових методах керування та алгоритмах оптимізації, що дозволяють досягти оптимальної ефективності роботи пристрою та забезпечити його безперебійну роботу. Її застосування дозволить покращити екологічну ситуацію, зменшити залежність від інших джерел енергії та забезпечити економію ресурсів.

Ключові слова: автоматизована система керування, котел-утилізатор, ефективність, оптимізація, температура пари.

ANNOTATION

This diploma project is devoted to the development of an automated control system for the waste-heat boiler. It is designed for efficient use of solid waste by converting it into heat energy. Optimal functioning of such a device requires precise control and management of its operation.

During its implementation, the object of automation, its features and characteristics were investigated. As a result, single-loop control systems were selected.

Based on this information, functional automation schemes, electrical schematic diagrams, and automation panel drawings were developed. Equipment was selected for this purpose.

Next, the engineering calculation of the measuring channels and control-executive channels and the automatic control system for the output steam temperature control circuit were carried out.

A program for the controller and an interface for working with the boiler in the SCADA system have been created. But simulation modeling of the selected contour is done.

Furthermore, a technical-economic efficiency calculation was performed.

The system is based on advanced management methods and optimization algorithms, which allow to achieve the optimal efficiency of the device and ensure its smooth operation. Its use will improve the environmental situation, reduce dependence on other energy sources and ensure resource savings.

Key words: automated control system, waste-heat boiler, efficiency, optimization, steam temperature.

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Автоматизована система керування
котлом-утилізатором»**

Київ – 2023 року

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП.....	10
1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління	10
1.2 Вибір та обґрунтування структури АСУТП ТОВ	13
1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОВ	18
1.4 Функції АСУТП	19
1.5 Схема автоматизації функціональна	20
1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу	22
1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТОВ ..	23
РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР.....	24
2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР	24
2.2 Інженерний розрахунок регульовально-виконавчих каналів САР.....	33
2.3 Розрахунок систем автоматичного регулювання	37
РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ	51
3.1 Схема функціональна автоматизації ТОВ	51
3.2 Схема структурна ПТК	51
3.3 Схема принципова електрична АСР	51
3.4 Креслення загального виду шафи	51
3.5 Схема монтажна шафи (таблиця з'єднань)	52
3.6 Схема зовнішніх з'єднань	52
3.7 Специфікація обладнання	52
РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА	54
4.1 Програмування функціональності ПЛК.....	54
4.2 Програмування функціональності SCADA-системи.....	61

					<i>ТА-92421.0003.001.АТХ.П</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Бурбела В. С.			Автоматизована система керування котлом-утилізатором	Літ.	Арк.
Перевірів		Штіфзон О. Й.					6
						ТА-92, АЕП	
Н. Контроль		Некрашевич О. В.					
Затвердив		Волощук В. А.					
							84

РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК	63
5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТООУ	63
5.2 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі ...	64
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	67
6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки та експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування	67
6.2 Технічні рішення та організаційна заходи з гігієни праці та виробничої санітарії	70
6.3 Пожежна безпека та профілактика	73
РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	76
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

АСР – автоматична система регулювання

АСУ – автоматизована система управління

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АТК – автоматизований технологічний комплекс

ВК – вимірювальні канали

ВМ – виконавчий механізм

ІВС – інформаційно-вимірювальна система

ОУ – об'єкт управління

ПІ – пропорційно-інтегральний

ПЛК – програмований логічний контролер

РАФХ – розширена амплітудо-фазова характеристика

РО – регулюючий орган

САР – система автоматичного регулювання

НМІ – human-machine interface, людино-машинний інтерфейс

SCADA – supervisory control and data acquisition, диспетчерське управління і збір даних

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні проблеми, пов'язані з утилізацією відходів та забрудненням навколишнього середовища, стають все більш актуальними і потребують розробки інноваційних технологій та рішень. У цьому контексті, барабанний котел-утилізатор, що поєднує в собі переваги термічної обробки та ефективного використання енергії, відіграє значну роль у вирішенні проблеми відходів та зменшенні впливу на навколишнє середовище.

Ця робота присвячена детальному вивченню цього типу котла та розробці оптимального проєктного рішення для його впровадження. Метою є розробка технічного проєкту автоматизованої системи управління технологічними процесами барабанного котла-утилізатора.

У процесі розробки цього проєкту будуть використані сучасні наукові підходи, аналітичні методи дослідження, моделювання, а також експериментальні методи.

Результати цього дослідження сприятимуть покращенню утилізації відходів великих підприємств, зменшенню забруднення навколишнього середовища та енергозбереженню, бо можна використовувати енергію на виході з нашого об'єкту для інших сфер, чи процесів.

Отже, котел-утилізатор є актуальним і важливим кроком у напрямку забезпечення сталого розвитку енергетичної сфери та ефективного використання відходів.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ПРОЄКТУВАННЯ АСУТП

1.1 Характеристика технологічного об'єкту управління

Котел-утилізатор - котел, що використовує (утилізує) теплоту відхідних газів різних технологічних установок - дизельних або газотурбінних установок, випалювальних та сушильних барабанних, обертових та тунельних технологічних печей [1].

Є такі види котлів-утилізаторів за продуктивністю:

1. Об'єкти малої енергетики від 2 до 60 МВт, водогрійний тип, з природною циркуляцією води, топкою або без, що мають горизонтальний або вертикальний рух газового середовища.
2. Блоки до 300 МВт, парові КУ, моно або подвійні блоки ПГУ або доповнення до схем існуючих ЕС у парі: газотурбінне встановлення та котел утилізації.
3. Блоки до 850 МВт, парові казани у схемі ПГУ.

Котли-утилізатори класифікуються за такими параметрами:

1. Температурі газів, що надходять: низькотемпературні < 901 С і високотемпературні > 1001 С. У першому випадку відбувається конвекційна теплопередача, а в другому тепло передається у вигляді випромінювання, оскільки в цьому середовищі частинки газу змінюють свій стан.
2. Тиску пари, що виробляється, від установок і представляють: низького до 2 МПа, середнього до 5 МПа і високого від 5 до 15 МПа.
3. По тракту руху середовищ: газо та водотрубні.
4. За способом руху води в нагрівальному контурі: природною та примусовою.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. За схемою виконання та встановлення нагрівальних пакетів: вертикальні та горизонтальні.

Мій об'єкт з продуктивністю 5.4 МВт, тобто малої енергетики. Саме тому з загальних характеристик котел має низькотемпературні гази на вході – 500 °С, тиск пари на виході – 2 МПа. Котел має водотрубний природний тракт з горизонтальним встановленням нагрівальних труб. Це котел типу ПМК-30-75-5.

Загальне зображення на рис. 1.1.

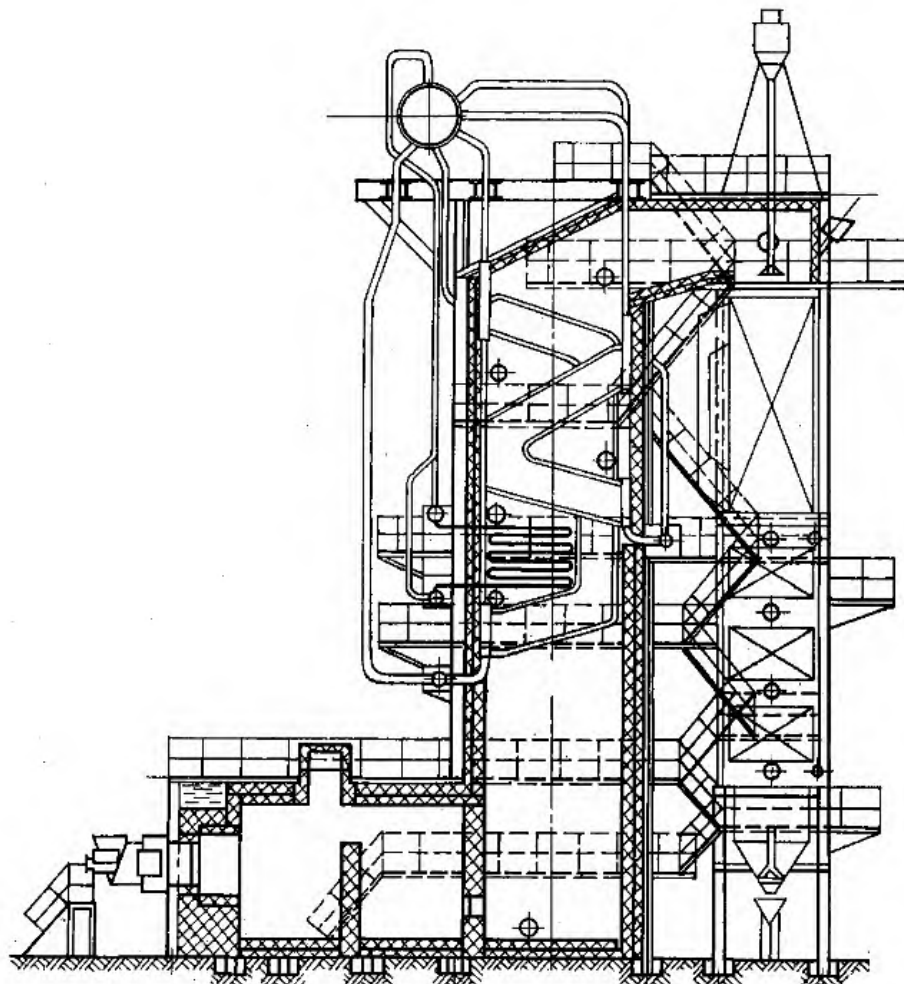


Рисунок 1.1 - Загальне зображення барабанного котла-утилізатора типу ПМК

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Котел-утилізатор призначений для утилізації сірководневмісних газів. Присутність у газах сполук кальцію, натрію, сірки та ін. призводить до утворення на змійовиках відкладень, що зцементувалися, викликають зниження тепловіддачі, хімічну корозію поверхонь нагріву і знижують перетин для проходу газів. Для боротьби з наростанням шару відкладень застосовують різні способи їх періодичного видалення - віброочищення, обмивання, дробове очищення потоком сталевого дробу або впливом ударних або потужних акустичних хвиль, що генеруються спеціальними пристроями.

Використання теплових відходів забезпечує отримання додаткової продукції у вигляді енергетичної чи технологічної пари, гарячої води тощо, що призводить до економії палива на підприємстві.

Спрощене зображення на рис. 1.2.

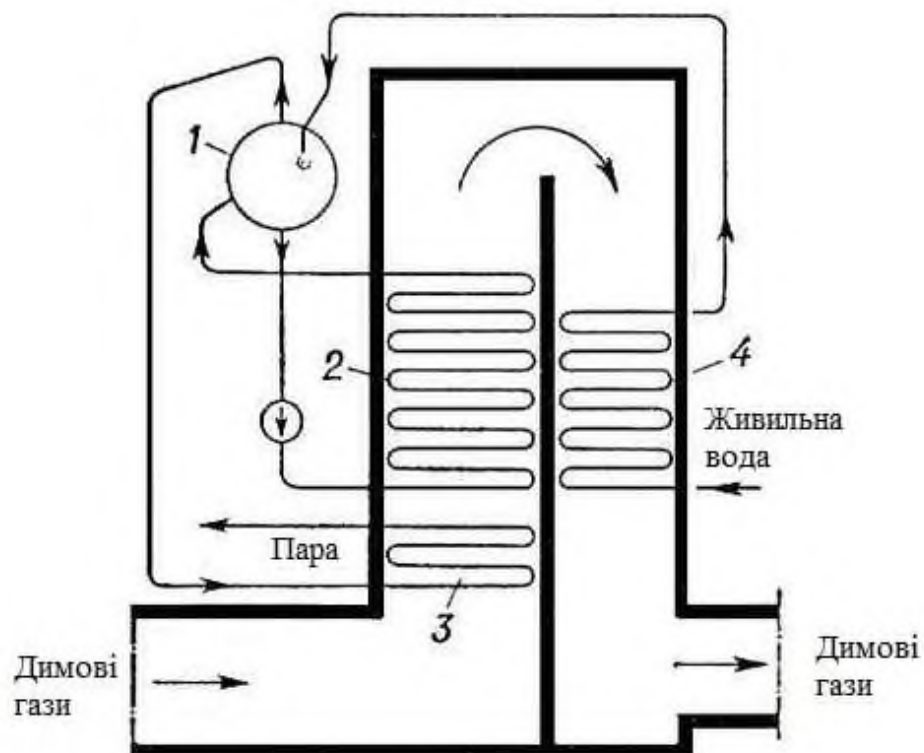


Рисунок 1.2 - Спрощене зображення барабанного котла-утилізатора

Тут 1 – барабан, 2 - випарна частина; 3 - пароперегрівач; 4 - водяний економайзер.

Котли-утилізатори не мають всіх елементів, характерних для паливоспалюючих котлоагрегатів, зокрема, пальників та системи підготовки та подачі палива. Повітропідігрівник та топка в котлах-утилізаторах відсутні, оскільки гази, що використовуються в котлі, утворюються в технологічному процесі основного виробництва.

Принцип роботи:

- гарячі гази з печі рухаються в газоповітряному тракті на вхід газоходу КУ.

- вода, отримуючи тепло від газів, що йдуть, нагрівається і перетворюється в пару, яка рухається до заводської мережі.

Відхідні вторинні гази основної технологічної установки відразу подаються на конвективні поверхні нагріву (пароперегрівач, випарник, економайзер), зазвичай решітки з рядів труб, що обдуваються потоком газу. Температура газів, що надходять у котел-утилізатор, становить приблизно 350—1000 °С.

Пара, що отримується від котлів-утилізаторів, має невисокі параметри: температуру до 400 ° С і тиск до 50 атм. і зазвичай використовується в технологічних цілях, а не для енергетичних приводів турбін.

1.2 Вибір та обґрунтування структури АСУТП ТОУ

В нашій системі виділяється два контури керування: температура вихідної пари, рівень води в барабані.

Для регулювання першого (адже температура на виході може бути зависока для подальшого застосування) використовуються методи [2]:

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1. Підмішування води, температура якої менша.

Основна ідея полягає в тому, щоб змішувати гарячу пару з холодною водою для отримання пари з бажаною температурою. Це досягається шляхом регулювання кількості води, яка додається до пари.

Цей метод дозволяє точно контролювати температуру пари, зменшуючи ризик перегріву або недогріву. Крім того, він є досить ефективним і економічним, оскільки дозволяє заощадити енергію, необхідну для нагрівання води до високих температур.

2. Поверхове охолодження.

Основна ідея полягає в тому, щоб пропускати гарячу пару через систему охолодження, де вода, що циркулює, охолоджує пару до бажаної температури. Це досягається шляхом збільшення поверхні контакту між водою і паром за допомогою спеціальної конструкції охолоджуючої системи.

У процесі поверхового охолодження температуру пари може бути регульовано шляхом зміни кількості води, яка циркулює через систему охолодження. Чим більше вода проходить через систему, тим більше пара охолоджується.

Метод є економічним способом регулювання температури пари, оскільки дозволяє точно контролювати температуру та зменшує використання енергії, яка була б витрачена на інші методи охолодження пари. Крім того, цей метод є дуже надійним, оскільки він не має складних елементів, що можуть вийти з ладу.

3. Теплосприйняття [3].

Метод теплосприйняття - це один з методів регулювання температури пари, що ґрунтується на використанні властивостей теплообміну між твердим тілом та паром. Для зменшення температури пари використовуються спеціальні пристрої, які мають велику теплопровідність,

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наприклад, мідні або алюмінієві листи, які розміщуються вздовж траєкторії пари.

Коли пара протікає через канал, що проходить вздовж траєкторії цих листів, тепло передається від пари до листів через процес теплопередачі. Тепло з пари передається на поверхню листів, а потім знімається з їхньої поверхні відповідним методом (наприклад, за допомогою вентиляторів або конвекції). Це знижує температуру пари до заданого рівня.

Цей метод є ефективним для регулювання температури пари, оскільки не потребує додаткових енергетичних витрат на охолодження пари. Крім того, цей метод може бути застосований в різних виробничих процесах, які вимагають регулювання температури пари.

Для регулювання другого (адже при зменшенні рівня - зменшується об'єм пари на виході, тоді можливий перегрів і прогар випарних поверхонь нагріву, а при збільшенні можливий залив водою пароперегрівача, що зруйнує технологічний процес) [4]:

1. Зміна витрати живильної води.

Цей метод полягає в зміні кількості живильної води, що витрачається на збільшення або зменшення рівня води в барабані.

При застосуванні методу зміни витрати живильної води слід враховувати, що для досягнення бажаного рівня води в барабані потрібно забезпечити відповідну витрату живильної води. Також важливо враховувати рівень води в барабані та інші фактори, які можуть впливати на регулювання рівня води, наприклад, тиск води, витрати пару, температуру та ін.

Враховуючи всі ці фактори, метод може бути ефективним методом регулювання рівня води в барабані в різних виробничих процесах. Він дозволяє забезпечити необхідний рівень води в барабані з використанням

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мінімальної кількості живильної води, що може значно зменшити витрати на водопостачання та енергоспоживання.

2. Зміна витрати доменного газу.

Цей метод полягає в зміні кількості доменного газу, що витрачається, для збільшення або зменшення рівня води в барабані.

При застосуванні методу зміни витрати доменного газу слід враховувати, що для досягнення бажаного рівня води в барабані потрібно забезпечити відповідну витрату доменного газу.

Отже, метод є ефективним, але для досягнення найкращих результатів необхідно враховувати всі фактори, які можуть впливати на регулювання рівня води та постійно контролювати параметри виробництва.

3. Зміна температури живильної води.

Метод зміни температури живильної води може бути використаний для регулювання рівня води в барабані. Зміна температури живильної води може впливати на тиск та об'єм води в барабані, що дозволяє регулювати рівень води.

Тому він є ефективним методом регулювання рівня води в барабані виробничого обладнання.

Тому до складу прийнятої структури автоматизованої системи керування котлом-утилізатором буде входити: керування температурою вихідної пари шляхом підмішуванням води; керування рівнем води в барабані шляхом зміни витрати живильної води. Адже ці методи найбільш поширені у використанні та є ефективними.

Розглянемо схеми регулювання.

Для температури пари застосуємо одноконтурну САР за допомогою вприску води. Температура на виході з пароперегрівача вимірюється датчиком, її значення порівнюється із заданим, та на основі різниці

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконавчий механізм діє на регулюючий орган, який і змінює витрату живильної води. Спрощене зображення на рис. 1.3.

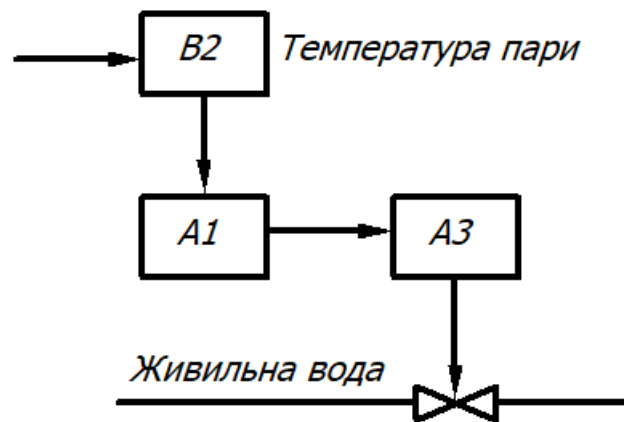


Рисунок 1.3 - Структура схеми контролю температури

Тут B2 – датчик вимірювання температури пари на виході, A1 – програмований логічний контролер, A3 – електричний виконавчий механізм.

Для рівня води застосуємо триімпульсний регулятор. Імпульсами є: рівень води в барабані, витрати живильної води на вході та витрата пари на виході. Наш регулятор впливає на регулюючий орган на подачі живильної води. Адже якщо збільшити кількість живильної води то і зменшиться рівень пароводяної емульсії, тому і зменшиться пароутворення. А якщо зменшити витрати води на вході буде набухання пароводяної емульсії, а отже і збільшиться рівень води в барабані. Тому за цим потрібно слідкувати. Спрощене зображення на рис. 1.4.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

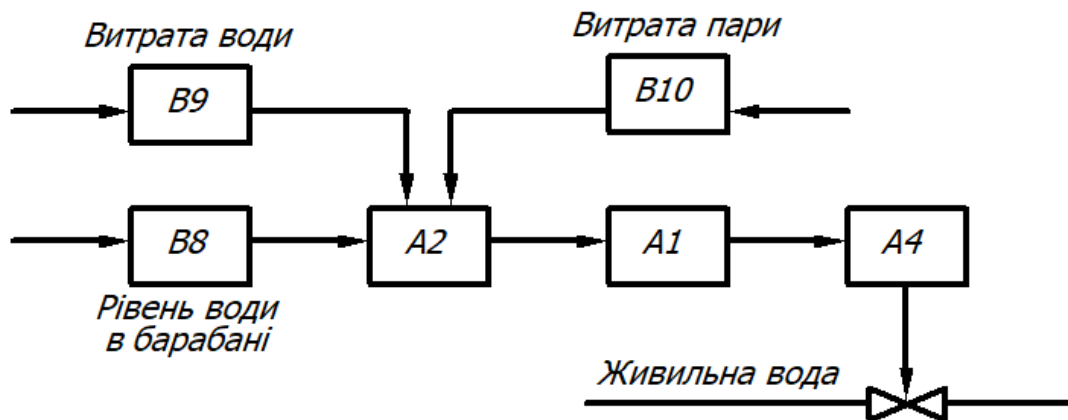


Рисунок 1.4 - Структура схеми контролю рівня

Тут B8 – датчик вимірювання рівня води в барабані, B9 – датчик вимірювання витрати води на вході, B10 – датчик вимірювання витрати пари на виході, A2 – додатковий модуль розширення входних сигналів, A4 – електричний виконавчий механізм.

1.3 Технологічні параметри АСУТП ТОВ

До режимних відносяться:

1. Температура перегрітої пари на виході з пароперегрівача.
2. Рівень води в барабані.

Адже ці параметри будуть регулюватись у автоматизованій системі керування котлом-утилізатором.

До захисних відносяться:

1. Тиск живильної води на вході в водяний економайзер.
2. Тиск перегрітої пари на виході з пароперегрівача.
3. Рівень води в барабані.

За цими параметрами потрібно слідкувати для реалізації захисту об'єкту, у разі виходу їх за діапазон, при якому технологічний процес буде проходити ефективно.

До контрольних відносяться: витрата пари на виході та живильної води на вході; температура димових газів на вході й на виході; тиск димових газів на вході й на виході.

Це параметри для додаткового контролю проходження технологічного процесу в котлі-утилізаторі.

1.4 Функції АСУТП

До управляючих функцій відносяться:

1. Одноконтурна стабілізація температури вихідної пари шляхом підмішуванням води.
2. Одноконтурна стабілізація рівня води в барабані шляхом зміни витрати живильної води.

До захисних функцій відносяться:

1. Реалізація аварійного захисту шляхом контролю тиску живильної води на вході в водяний економайзер і формування команди коли тиск у системі відсутній.
2. Реалізація аварійного захисту шляхом контролю тиск перегрітої пари на виході з пароперегрівача і формування команди коли тиск у системі відсутній.
3. Реалізація попереджувального захисту шляхом контролю рівня води в барабані і формування команди на зменшення подачі води при перевищенні заданого значення, або збільшення подачі при зменшенні.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До інформаційних функцій відносяться параметри в таблиці 1.1.

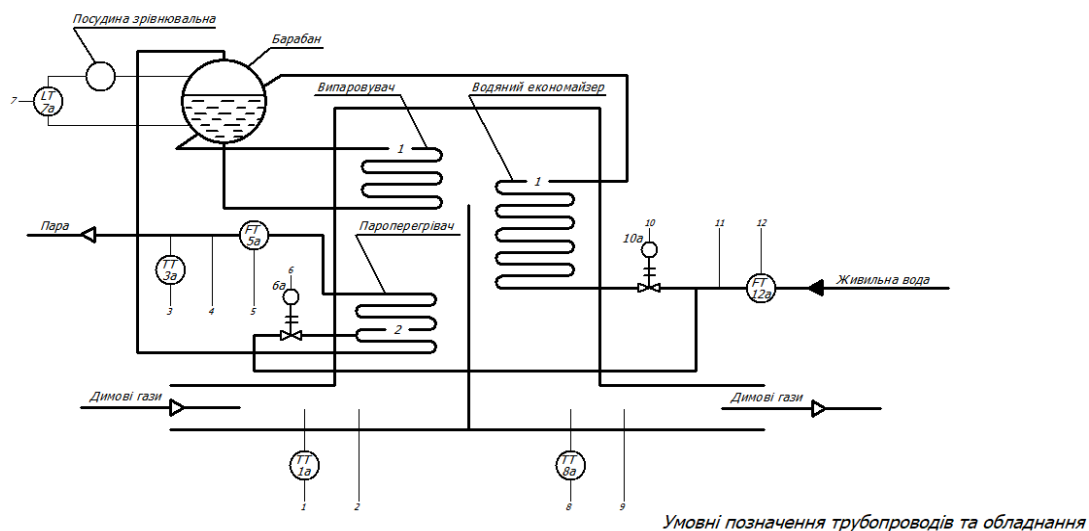
Таблиця 1.1 – Інформаційні функції

№	Назва вимірюваного параметру	Номінальне значення	Діапазон вимірювання
1	Температура пари на виході	370 °С	340-400 °С
2	Тиск пари на виході	2.0 МПа	1.9-2.1 МПа
3	Витрата пари на виході	15 т/год	14-16 т/год
4	Тиск живильної води на вході	2.2 МПа	2.1-2.3 МПа
5	Витрата живильної води на вході	15 т/год	14-16 т/год
6	Температура димових газів на вході	500 °С	450-550 °С
7	Розрідження димових газів на вході	100 Па	95-105 Па
8	Температура димових газів на виході	180 °С	150-210 °С
9	Розрідження димових газів на виході	-40 Па	(-35)-(-45) Па
10	Рівень води в барабані	950 мм	870-1200 мм

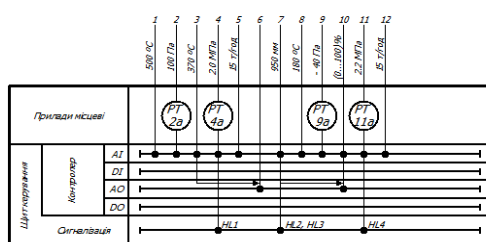
1.5 Схема автоматизації функціональна

Схема автоматизації функціональна котла-утилізатора зображена на рис.

1.5.



Умовні позначення трубопроводів та обладнання



Позначення	Найменування
- 1 -	Вода
- 2 -	Пара

Рисунок 1.5 – Схема автоматизації функціональна

Температура димових газів на вході в котел-утилізатор вимірюється перетворювачем температури ТТ (1а). Розрідження димових газів на вході в котел-утилізатор вимірюється датчиком тиску РТ (2а). Температура перегрітої пари на виході вимірюється перетворювачем температури ТТ (3а). Тиск перегрітої пари на виході вимірюється датчиком тиску РТ (4а). Витрата перегрітої пари на виході вимірюється вихровим витратоміром FT (5а). Рівень води в барабані вимірюється рівнеміром LT (7а). Також тут застосовується зрівнювальна посудина, бо там два середовища вода і пара. Температура димових газів на виході з котла-утилізатора вимірюється перетворювачем температури ТТ (8а). Розрідження димових газів на виході з котла-утилізатора вимірюється датчиком тиску РТ (9а). Тиск живильної води на вході в котел-утилізатор вимірюється датчиком тиску РТ (11а). Витрата

живильної води на вході в котел-утилізатор вимірюється вихровим витратоміром FT (12а).

Усі давачі мають уніфікований вихідний сигнал 4-20 мА, їх виходи подаються на аналогові входи контролера.

А виконавчі механізми працюють з сигналами 2-10 В.

Відбувається одноконтурна стабілізація температури перегрітої пари на виході з котла-утилізатора, тому є регулюючий орган ба – підмішує воду. Та одноконтурна стабілізація рівня води в барабані, з РО 10а – змінює витрату живильної води. Їх клапану підключаються до аналогового виходу контролера.

1.6 Схема структурна програмно-технічного комплексу

Схема структурна програмно-технічного комплексу котла-утилізатора зображена на рис. 1.6.

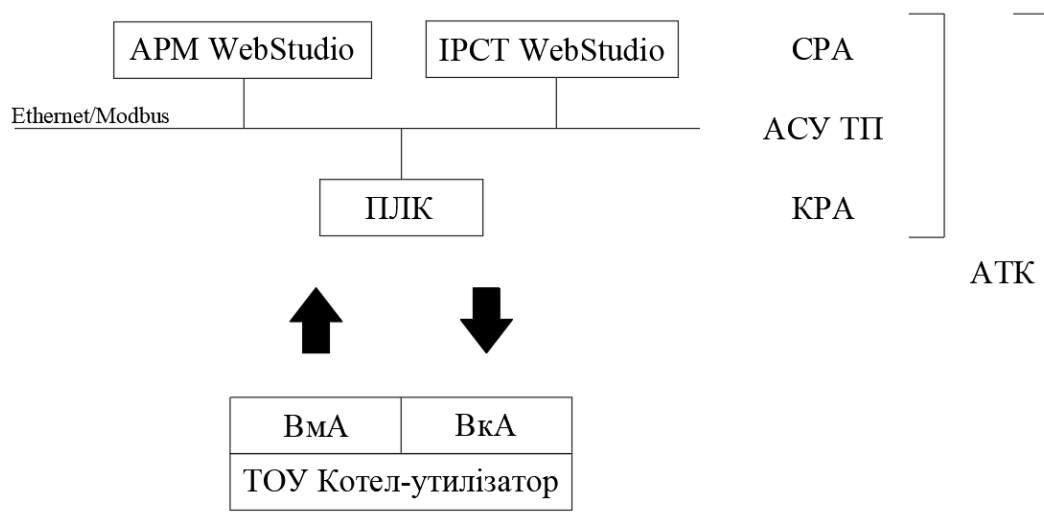


Рисунок 1.6 – Схема структурна програмно-технічного комплексу

На рівні L0 знаходиться технологічний об'єкт управління, це наш котел-утилізатор. До якого входить вимірювальна апаратура (ВМА), це наші датчики які підключені до об'єкту та вимірюють температуру, тиск, рівень,

та виконавча апаратура (ВкА) що змінюють положення клапану, за допомогою них відбувається стабілізація режимних параметрів. Вони зв'язані з програмованим логічним контролером. Він разом з модулем розширення вхідних сигналів знаходиться на рівні L1. Тут обробляються дані, які приходять. На їх основі відбуваються обрахунки та прийняття подальших рішень, які надсилаються виконавчим механізмам. Також він попереджує про некоректність чисельних параметрів. ПЛК зв'язаний з супервізорним рівнем L2 за допомогою Ethernet. На ньому знаходять системи візуалізації та архівування даних, які приходять. Далі вони виводять на екран для операторів та створюються архівні звіти, для подальшого використання при виникненні нештатних ситуацій, та загального контролю параметрів.

1.7 Перелік і аналіз джерел техніко-економічної ефективності АТК ТООУ

За рахунок впровадження автоматизованої системи керування котлом-утилізатором можна ефективніше використовувати теплоту відхідних газів різних технологічних установок. А при покращенні якості регулювання збільшиться технічна ефективність, а саме надійність об'єкту та коефіцієнт його корисної дії (ККД) [5].

Також зменшиться кількість обслуговуючого персоналу, адже система буде автоматизована, і більшість людської роботи буде виконувати без її безпосередньої участі. З цього виходить, що підприємству знадобляться менші економічні затрати.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

РОЗДІЛ 2 ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК САР

2.1 Інженерний розрахунок вимірювальних каналів САР

Наведемо перелік вимірювальних каналів: для пари на виході з пароперегрівника: температура, тиск, витрати; для живильної води: тиск, витрата; для димових газів на вході в котел, та виході з нього: температура, розрідження; рівень води в барабані.

Адже ці параметри є інформаційними функціями нашого об'єкту.

Всі вимірювальні канали мають схеми структурні як на рис. 2.1, бо датчики з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА.

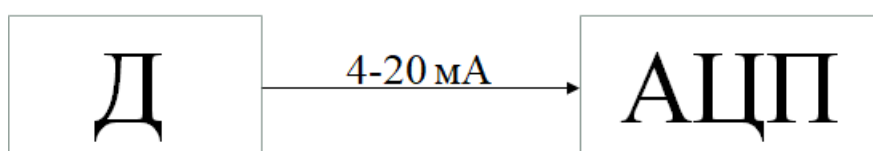


Рисунок 2.1 – Схема структурна вимірювального каналу

Тут Д – давач, АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

Для вимірювання температур (одиниці виміру - °С) давачем буде перетворювач температури ТХАУ Emerson 271К. Для вимірювання розрідження (Па) - перетворювач тиску Emerson 150 CG код 0. Для вимірювання тиску (МПа) - перетворювач тиску Emerson 150 TG код 3. Для вимірювання витрати пари (т/год) - вихровий витратомір Rosemount 8800DF DY100 для газів. Для вимірювання витрати живильної води (т/год) - вихровий витратомір Rosemount 8800DF DY40 для води. Для вимірювання рівня (мм) - датчик гідростатичного тиску Emerson 150 L код 0.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електричне підключення давачів вимірювальних каналів як на рис. 2.2.

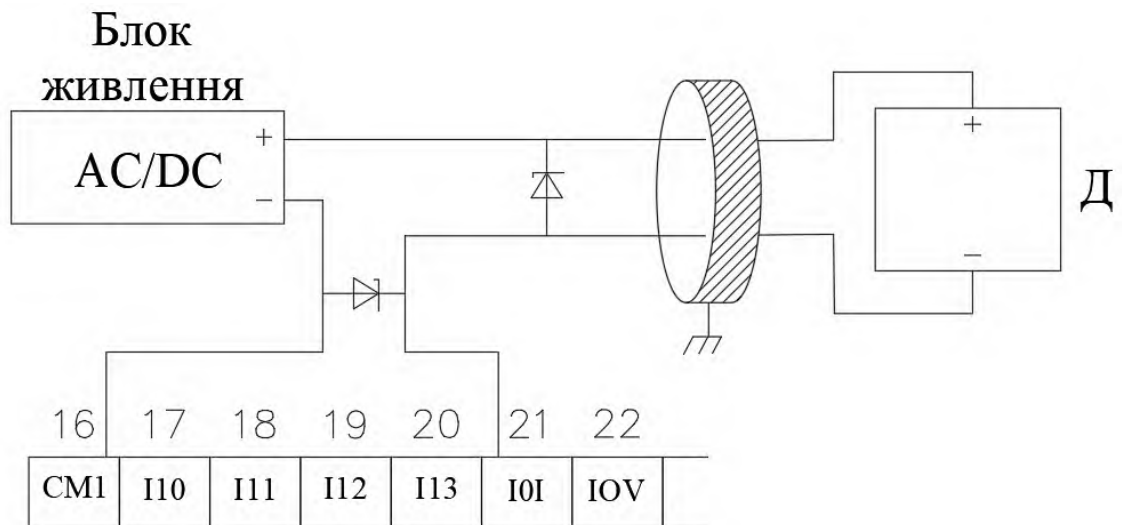


Рисунок 2.2 – Електричне підключення давачів

Усі давачі (Д) мають уніфікований струмовий вихідний сигнал 4-20 мА. Вони підключаються за двопровідною схемою, а саме:

- Контакт «+» блока живлення підключається до контакту «+» певного давача;
- Контакт «-» давача до контакту «+» струмової клеми ПЛК;
- Контакт «-» блока живлення до контакту «-» ПЛК

Застосовується заземлений екран в кабелі для забезпечення безпеки використання та запобігання наростання напруги на зовнішній стороні кабелю.

Також вмикаються стабілітрони, щоб система була у робочому стані, коли якийсь прилад вийде з ладу.

Монтаж технічних засобів зображено на рис. 2.3 – 2.7.



Рисунок 2.3 – Фланцевий монтаж датчиків температури в трубу

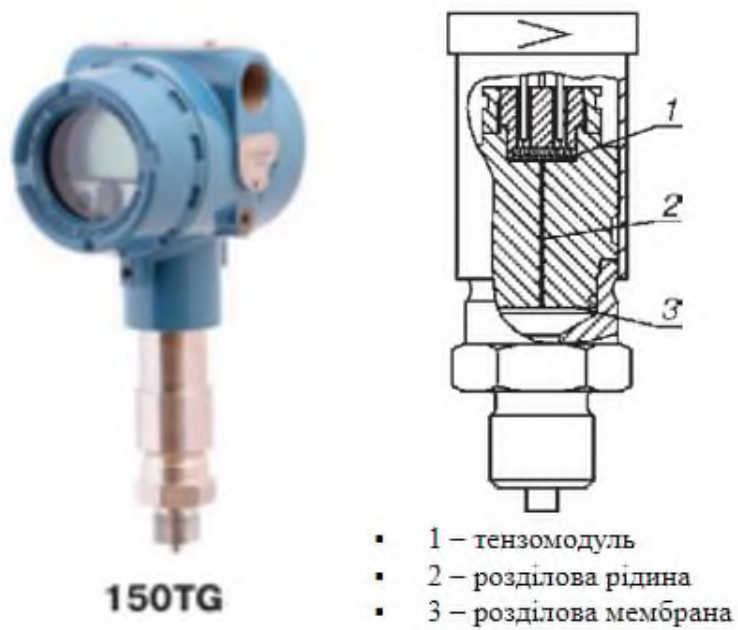
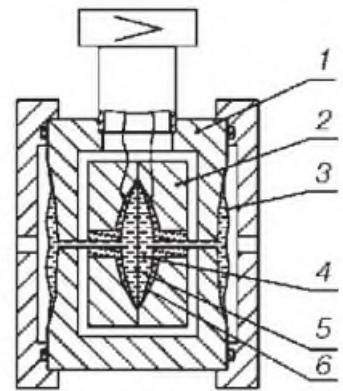


Рисунок 2.4 – Штуцерний монтаж датчиків тиску (вкручується в трубу)



- 1 – корпус
- 2 – ємнісна комірка
- 3 – розділова мембрана
- 4 – розділова рідина
- 5 – вимірювальна мембрана
- 6 – конденсатор

Рисунок 2.5 – Фланцевий монтаж на трубі, або кронштейні давачів тиску



Рисунок 2.6 – Фланцевий монтаж витратомірів (давач «врізається» в трубу)

Витратоміри слід монтувати у прямій ділянці труби, де відсутні перешкоди, що можуть впливати на формування вихрових згортань.

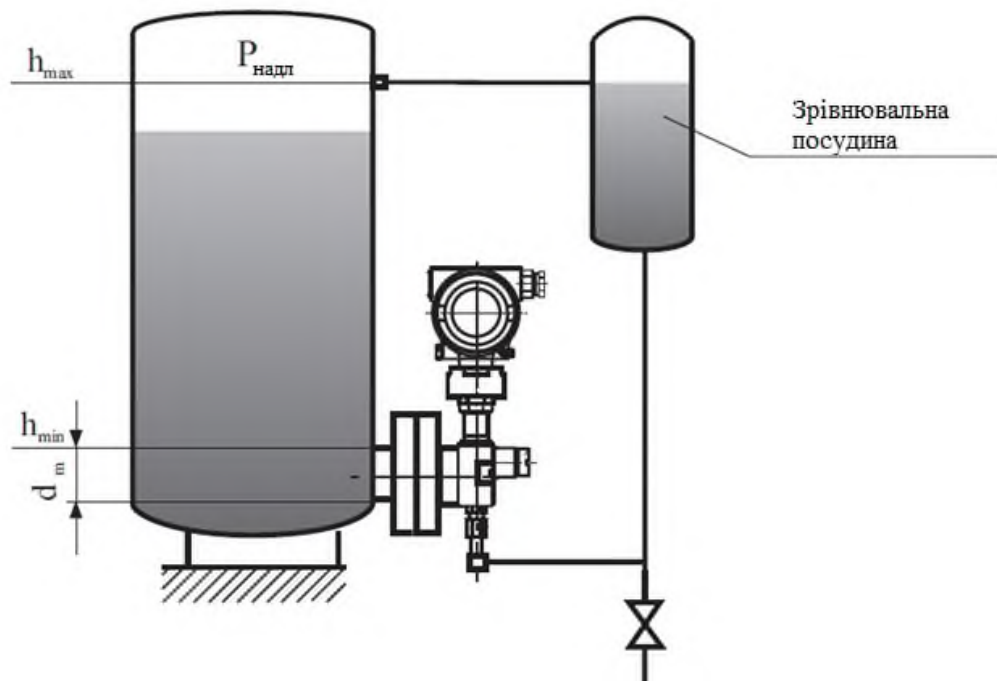


Рисунок 2.7 – Монтаж давача рівня (гідростатичного тиску) в барабані з обов'язковим використанням зрівнювальної посудини

Всі давачі слід монтувати на відповідному місці у системі, де вимірюване значення є більш-менш стабільним і не піддається значним зовнішнім впливам.

Загалом, правильний монтаж давачів вимагає дотримання рекомендацій виробника, установки на відповідному місці, правильного підключення та налаштування. Також має бути надійне заземлення давачів, адже це важливо для забезпечення електричної безпеки та захисту від електростатичного розряду. Після завершення монтажу потрібно виконати тестування та перевірку працездатності датчиків. Треба впевнитися, що вони правильно функціонують і надають точні вимірювання.

Вимірювальні канали мають схеми структурні надійності як показано на рис. 2.8 – 2.12.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28



```

graph LR
    A[Emerson 271 K] --> B[ПЛК Unitronics]
  
```

Рисунок 2.8 – Схема структурна надійності ВК температури



```

graph LR
    A[Emerson 150 CG] --> B[ПЛК Unitronics]
  
```

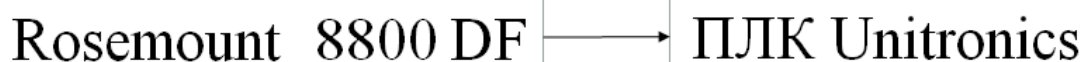
Рисунок 2.9 – Схема структурна надійності ВК розрідження



```

graph LR
    A[Emerson 150 TG] --> B[ПЛК Unitronics]
  
```

Рисунок 2.10 – Схема структурна надійності ВК тиску



```

graph LR
    A[Rosemount 8800 DF] --> B[ПЛК Unitronics]
  
```

Рисунок 2.11 – Схема структурна надійності ВК витрати



```

graph LR
    A[Emerson 150 L] --> B[ПЛК Unitronics]
  
```

Рисунок 2.12 – Схема структурна надійності ВК рівня (гідростатичного тиску)

Дані передаються від давача на ПЛК. Деякі датчики підключаються до локального модуля розширення вхідних сигналів.

Зробимо метрологічний розрахунок вимірювальних каналів. Бажано щоб похибка не перевищувала 1-2% від номінального значення вимірювального параметру. Це забезпечить оптимальну роботу об'єкта.

Усі ВК мають один канал: давач і програмований логічний контролер. Тому розрахунки будуть саме для нього.

ПЛК має клас точності (приведену похибку) $\varepsilon_{\text{ПЛК}} - 0.1 \%$, а давач температури $\varepsilon_{\text{Д}} - 0.5 \%$.

Розрахуємо межу основної приведенної похибки для ВК температури:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{ПЛК}}^2 + \varepsilon_{\text{Д}}^2} = \sqrt{0.1^2 + 0.5^2} = \sqrt{0.26} = 0.51 \%$$

Межа абсолютної похибки:

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) \cdot \frac{1}{100} = 0.51 \cdot (600 - (-40)) \cdot \frac{1}{100} = 3.33 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

де X_{MAX} – максимальне значення вимірюваного діапазону;

X_{MIN} – мінімальне значення вимірюваного діапазону.

Результат для каналів 1а, 3а, 8а:

$$X = x \pm 3.33 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Розрахунки для ВК розрідження. $\varepsilon_{\text{Д}} - 0.1 \%$.

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{ПЛК}}^2 + \varepsilon_{\text{Д}}^2} = \sqrt{0.1^2 + 0.1^2} = \sqrt{0.02} = 0.14 \%$$

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) \cdot \frac{1}{100} = 0.14 \cdot (0.63 - (-0.63)) \cdot \frac{1}{100} = 1.78 \text{ Па}$$

Результат для 2а, 9а:

$$X = x \pm 1.78 \text{ Па}$$

Розрахунки для ВК тиску. $\varepsilon_{\text{Д}} - 0.075 \%$.

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{ПЛК}}^2 + \varepsilon_{\text{Д}}^2} = \sqrt{0.1^2 + 0.075^2} = \sqrt{0.0156} = 0.125 \%$$

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) \cdot \frac{1}{100} = 0.125 \cdot (6000 - 120) \cdot \frac{1}{100} = 7.35 \text{ кПа}$$

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Результат для 4а, 11а:

$$X = x \pm 7.35 \text{ кПа}$$

Розрахунки для ВК витрати пари. $\varepsilon_d - 1 \%$.

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{ПЛК}} + \varepsilon_d} = \sqrt{0.1^2 + 1^2} = \sqrt{1.01} = 1.005 \%$$

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) \cdot \frac{1}{100} = 1.005 \cdot (483 - 15.4) \cdot \frac{1}{100} = 4.7 \text{ м}^3/\text{год}$$

Результат для 5а:

$$X = x \pm 4.7 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрахунки для ВК витрати води. $\varepsilon_d - 0.65\%$.

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{ПЛК}} + \varepsilon_d} = \sqrt{0.1 + 0.65^2} = \sqrt{0.4325} = 0.657 \%$$

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) \cdot \frac{1}{100} = 0.657 \cdot (35.9 - 1.1) \cdot \frac{1}{100} = 0.23 \text{ м}^3/\text{год}$$

Результат для 12а:

$$X = x \pm 0.23 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрахунки для ВК рівня води. $\varepsilon_d - 0.075\%$.

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{ПЛК}} + \varepsilon_d} = \sqrt{0.1^2 + 0.075^2} = \sqrt{0.0156} = 0.125 \%$$

$$\Delta = \varepsilon \cdot (X_{\text{MAX}} - X_{\text{MIN}}) \cdot \frac{1}{100} = 0.125 \cdot (6300 - 63) \cdot \frac{1}{100} = 7.79 \text{ мм}$$

Результат для 7а:

$$X = x \pm 7.79 \text{ мм}$$

Розрахуємо надійність вимірювальних каналів.

Інтенсивність відмови каналів 1а, 3а, 8а - температура:

$$\lambda = \frac{1}{T_d} = \frac{1}{80000} = 12,5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

де T_d - час напрацювання на відмову для давача за паспортними даними.

Середній час напрацювання на відмову:

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{д}} \cdot T_{\text{ПЛК}}}{T_{\text{д}} + T_{\text{ПЛК}}} = \frac{80000 \cdot 250000}{80000 + 250000} = 60607 \text{ год}$$

де $T_{\text{ПЛК}}$ - час напрацювання на відмову для ПЛК за паспортними даними.

Ймовірність безвідмовної роботи за місяць:

$$P_6(\tau = 720) = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{\frac{-720}{60607}} = 0,988$$

Середній час відновлення працездатності:

$$T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = \frac{60607}{0,995} - 60607 = 305 \text{ год}$$

де коефіцієнт готовності структурної схеми надійності $K_{\text{гот}} = 0,995$

Ймовірність працездатності за місяць:

$$P_{\text{оч}}(\tau = 720) = P_6(\tau) \cdot K_{\text{гот}} = 0,988 \cdot 0,995 = 0,983$$

Канали 2а, 9а, 4а, 11а, 7а - тиск, ці датчики однакової серії, але різні моделі:

$$\lambda = \frac{1}{T_{\text{д}}} = \frac{1}{150000} = 6,66 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{д}} \cdot T_{\text{ПЛК}}}{T_{\text{д}} + T_{\text{ПЛК}}} = \frac{150000 \cdot 250000}{150000 + 250000} = 93750 \text{ год}$$

$$P_6(\tau = 720) = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{\frac{-720}{93750}} = 0,992$$

$$T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = \frac{93750}{0,995} - 93750 = 472 \text{ год}$$

$$P_{\text{оч}}(\tau = 720) = P_6(\tau) \cdot K_{\text{гот}} = 0,992 \cdot 0,995 = 0,987$$

Канали 5а, 12а - витрата:

$$\lambda = \frac{1}{50000} = 20 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_{\text{д}} \cdot T_{\text{ПЛК}}}{T_{\text{д}} + T_{\text{ПЛК}}} = \frac{50000 \cdot 250000}{50000 + 250000} = 47667 \text{ год}$$

$$P_6(\tau = 720) = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{\frac{-720}{47667}} = 0,985$$

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$T_B = \frac{T_{cp}}{K_{гот}} - T_{cp} = \frac{47667}{0,995} - 47667 = 240 \text{ год}$$

$$P_{оч}(\tau = 720) = P_6(\tau) \cdot K_{гот} = 0,985 \cdot 0,995 = 0,98$$

Виділимо функції первинної обробки даних вимірювання в ПЛК:

1. Фільтрація – фільтр низьких частот 1-го порядку в ВК з виходом на ПЛК.
2. Масштабування – лінійна інтерполяція, перетворення діапазону (шкали) вимірювання.
3. Порівняння – порівняння вимірюваного значення з уставкою (рівно, діапазон, більше, менше, обмеження)
4. Алармування – формування сповіщення про попереджувальну або аварійну події.
5. Лічильник – використовується для витрати, це математична інкрементація і декрементація. Обчислення дискретних подій до уставки лічильника.

Тому можна зробити наступні висновки щодо вимірювальних каналів. Вони роботоздатні, бо є точним так, як клас точності не перевищує граничне значення для певного параметру.

Розрахований середній час напрацювання на відмову є більше ніж заданий, тому канали є надійними.

2.2 Інженерний розрахунок регулювально-виконавчих каналів САР

Одноконтурна САР температури вихідної пари та одноконтурна САР рівня води в барабані - це системи автоматичного регулювання які входять до нашого об'єкту.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Бо регулювання відбувається по одному параметру. Перевагами є простота в реалізації та експлуатації. Також ефективності використання за даних умов.

Завданнями є задане значення (уставка) температури вихідної пари та рівня води в барабані відповідно.

До переліку регульованих параметрів відносять виміряна температура пари та виміряний рівень води в барабані відповідно.

Перелічимо ОУ в котлі за каналом передачі дії: підмішування (впорскування) води – зміна температури вихідної пари та зміна витрати живильної води – зміна рівня води в барабані відповідно.

Таким чином будуть наступні управляючі функцій АСУТП: стабілізація температури вихідної пари шляхом підмішуванням води та стабілізація рівня води в барабані шляхом зміни витрати живильної води.

Для подальшого опису було вибрано САР температури вихідної пари.

Схема структурна регульовально-виконавчого каналу зображена на рис. 2.13.



Рисунок 2.13 – Схема структурна

Детально розглянемо позначення в схемі:

SV – уставка.

PV – поточне виміряне значення.

ФБ РЕГ – функціональний блок ПІД-регулятора.

ЦАП ПЛК – модуль цифро-аналогового перетворення ПЛК Unitronics.

Аналоговий ВМ – аналоговий виконавчий механізм змінної швидкості (Belimo LV24A-SR). Відкривається або закривається, щоб відповідно зменшити або збільшити температуру вихідної пари.

БЖ – блок живлення.

РО – регулюючий орган (двоходовий прямохідний клапан Belimo H625S).

Схема структурна програмно-технічних засобів зображена на рис. 2.14.

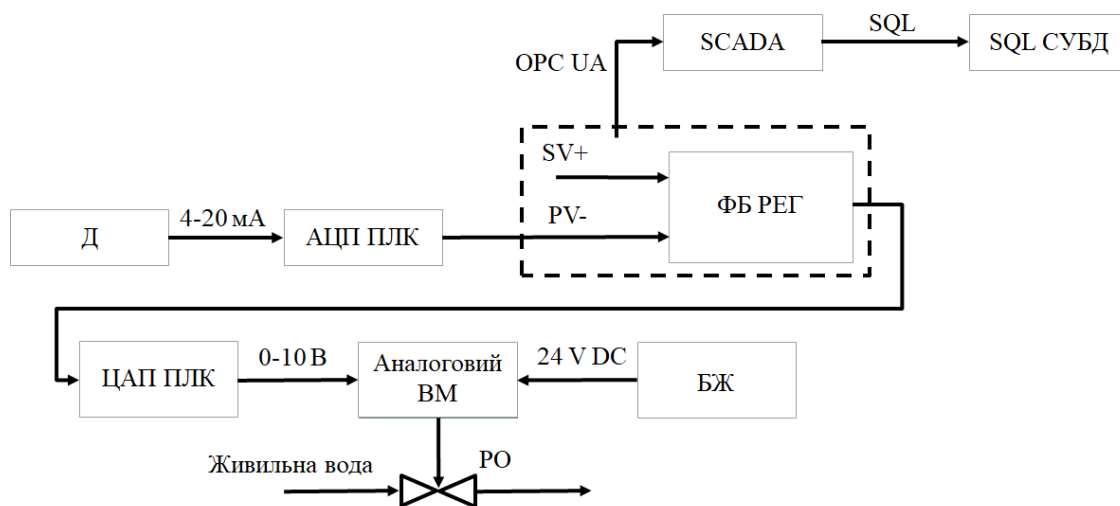


Рисунок 2.14 – Схема структурна

Позначення:

Д - перетворювач температури ТХАУ Emerson 271К, який вимірює температуру пари.

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

Інші позначення були в поясненні до рис. 2.2.1.

Передача даних з ПЛК відбувається за допомогою програмного забезпечення OPC UA, так вони з'являються в SCADA системі. Вона в свою чергу зв'язана з базою даних SQL.

Тому маємо схему структурну надійності реалізації управляючої функції як на рис. 2.15.

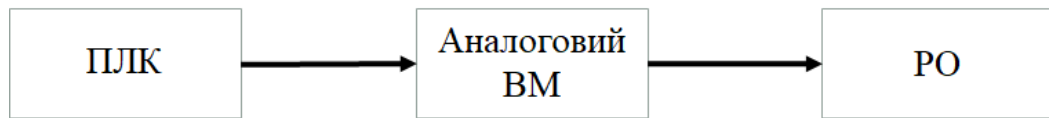


Рисунок 2.15 – Схема структурна

Далі розрахуємо надійність реалізації управляючих функцій САР використовуючи паспортні дані приладів.

Середній час напрацювання на відмову приладів:

$$T_{\text{ср}}^{\text{ПЛК}} = 250000 \text{ год}; T_{\text{ср}}^{\text{ВМ}} = 100000 \text{ год}; T_{\text{ср}}^{\text{РО}} = 15750 \text{ год}.$$

Інтенсивність відмов :

$$\lambda = \lambda_{\text{ср}}^{\text{ПЛК}} + \lambda_{\text{ср}}^{\text{ВМ}} + \lambda_{\text{ср}}^{\text{РО}} = \frac{1}{T_{\text{ср}}^{\text{ПЛК}}} + \frac{1}{T_{\text{ср}}^{\text{ВМ}}} + \frac{1}{T_{\text{ср}}^{\text{РО}}} = \frac{1}{250000} + \frac{1}{100000} + \frac{1}{15750} =$$

$$= 77.5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$$

Середній час напрацювання на відмову:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{77.5 \cdot 10^{-6}} = 12904 \text{ год}$$

Структуру виконавчих каналів можна вважати коректною, бо $T_{\text{ср}} > T_{\text{ср}}^*$ (де $T_{\text{ср}}^* = 10000$ год, взяли умовно).

Імовірність безвідмовної роботи ССН за період часу $\tau = 720$ год:

$$P_6(\tau = 720) = e^{\frac{-\tau}{T_{\text{ср}}}} = e^{\frac{-720}{12904}} = 0.946$$

Середній час відновлення працездатності виконавчих каналів:

$$T_{\text{в}} = \frac{T_{\text{ср}}}{K_{\text{гот}}} - T_{\text{ср}} = \frac{12904}{0.9998} - 12904 = 2.6 \approx 3 \text{ год}$$

де $K_{\text{гот}} = 0.9998$ - коефіцієнт готовності структурної схеми надійності.

2.3 Розрахунок систем автоматичного регулювання

Розглянемо функціональні схеми САР, які зображені на рис. 2.16 – 2.17.

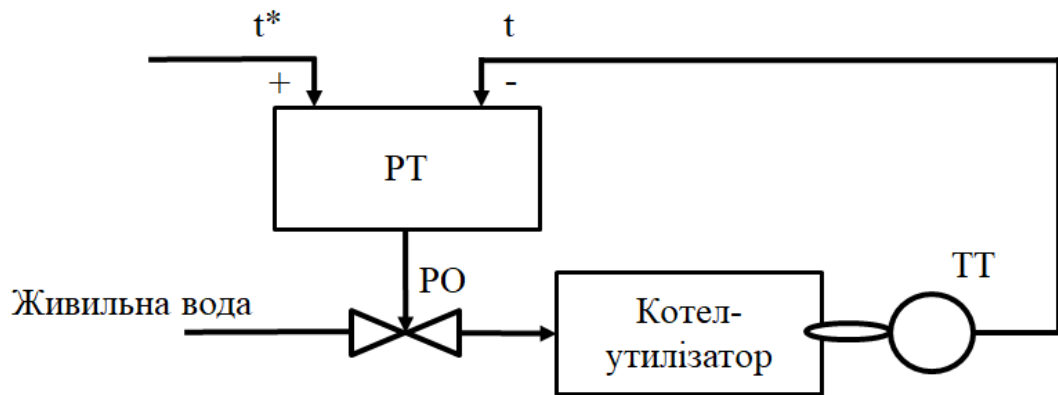


Рисунок 2.16 – Схема функціональна одноконтурної САР температури вихідної пари

Детально розглянемо елементи позначені на схемі:

t^* - задана температура (уставка температури).

t – поточна температура пари на виході.

ТТ – перетворювач температури.

РТ – регулятор температури.

РО – регулюючий орган.

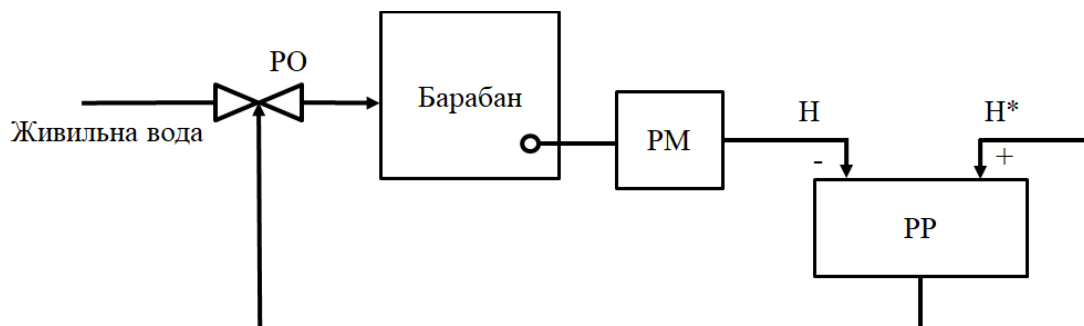


Рисунок 2.17 – Схема функціональна одноконтурної САР рівня води в барабані

Елементи на схемі:

N^* - заданий рівень (уставка рівня).

N – поточний рівень в барабані.

РМ – рівнемір.

РР – регулятор рівня.

РО – регулюючий орган.

Структурні схема САР буде однакою в двох випадках, адже мова йде про одноконтурну систему. Вона зображена на рис. 2.18.

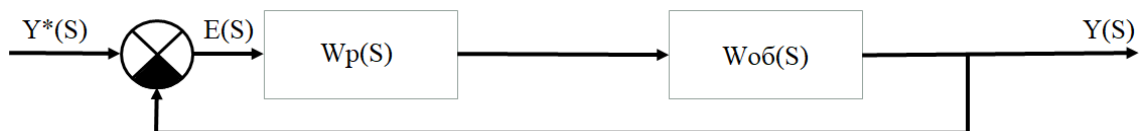


Рисунок 2.18 – Схема структурна одноконтурної САР

Детально розглянемо елементи позначені на схемі:

s – оператор.

$Wоб(s)$ – передавальна функція об'єкту управління (ОУ).

1. Передавальна функція температури перегрітої пари на виході.
2. Передавальна функція рівня води в барабані.

$Wp(s)$ – передавальна функція регулятора.

$Y^*(s)$ – задане значення регульованого параметру (РП).

1. Уставка температури.
 2. Уставка рівня води.
- $Y(s)$ – поточне значення РП.
1. Поточна виміряна температура.
 2. Поточний виміряний рівень.

$E(s) = [Y^*(s) - Y(s)]$ – розбаланс РП.

Ідентифікація об'єкта управління для одноконтурної САР температури вихідної пари [6].

На основі літературних джерел було сформовано модель об'єкта управління. Це послідовне з'єднання аперіодичної ланки 1-го порядку з ланкою транспортної затримки. Це ОУ з самовирівнюванням.

Регулювання температури вихідної пари відбувається за рахунок показів датчика температури (За), а саме якщо значення менше то клапан відкривається більше, коли більше то відповідно закривається. Регулювання здійснюється клапаном змінної швидкості, а саме впорскуванням живильної води в трубопровід з якого виходить пара. Так як немає інших вимог то використовується одноконтурна система автоматичного регулювання з ПП-регулятором.

Для цього об'єкту підходить перехідний процес із 20% перерегулюванням, адже такий показник якості можна допустити. Бо йде робота з високими температурами. Тому такий процес буде швидко згасати, відповідно швидше отримаємо бажане значення. Також на нього впливає регулятор (так як він з постійною швидкістю можна вважати що це пропорційна частина).

Функція передачі для контуру регулювання температури вихідної пари:

$$W(p) = \frac{0.72 \cdot e^{-12 \cdot p}}{65 \cdot p + 1}$$

Побудуємо модель об'єкта управління за допомогою засобів Simulink, рис. 2.19.

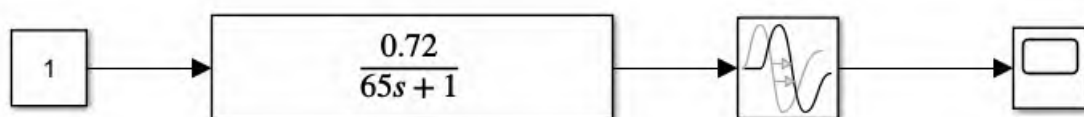


Рисунок 2.19 – Схема для побудови кривої розгону об'єкта управління

На рис. 2.20 зображена крива розгону, яка виходить у блоці Score.

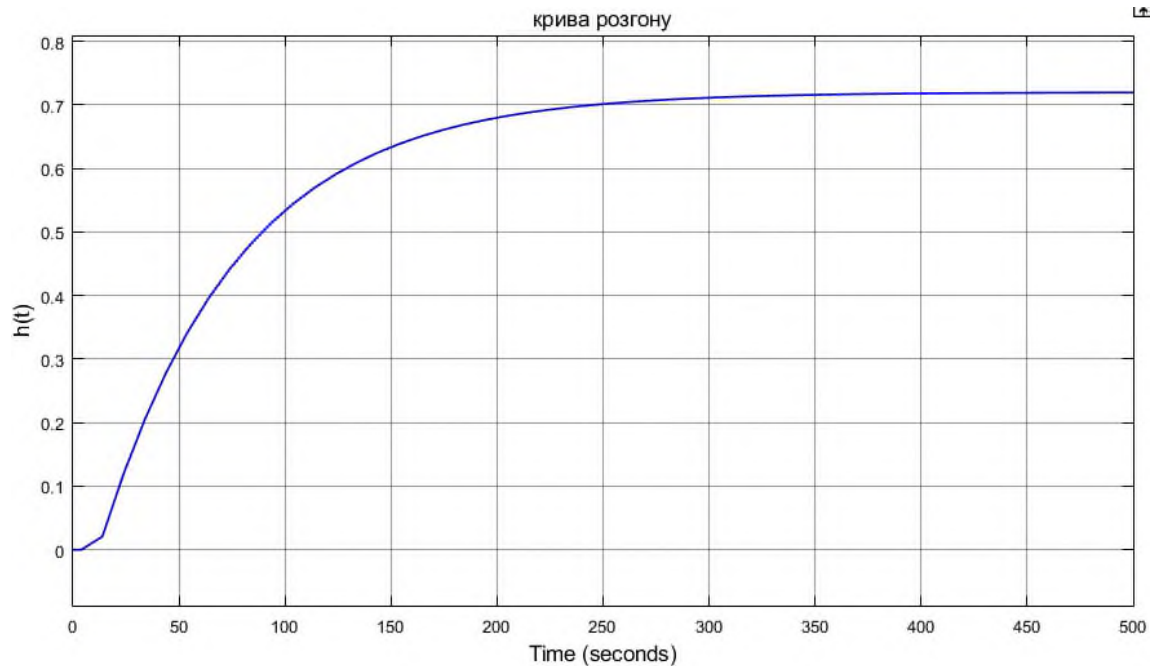


Рисунок 2.20 – Крива розгону для об'єкта управління

Впевнились, що об'єкт з самовирівнюванням.

Розрахуємо налаштування ПІ-регулятора за допомогою метода РАФХ - розширених амплітудно-фазових характеристик [7].

Так як перехідний процес із 20% перерегулюванням, то йому відповідає $\psi = 0.9$ і $m = 0.366$.

Розрахуємо параметри налаштувань.

Для побудови кривої заданого степеня коливальної стійкості скористаємось формулами для ПІ-регулятора, зображена на рис. 2.21.

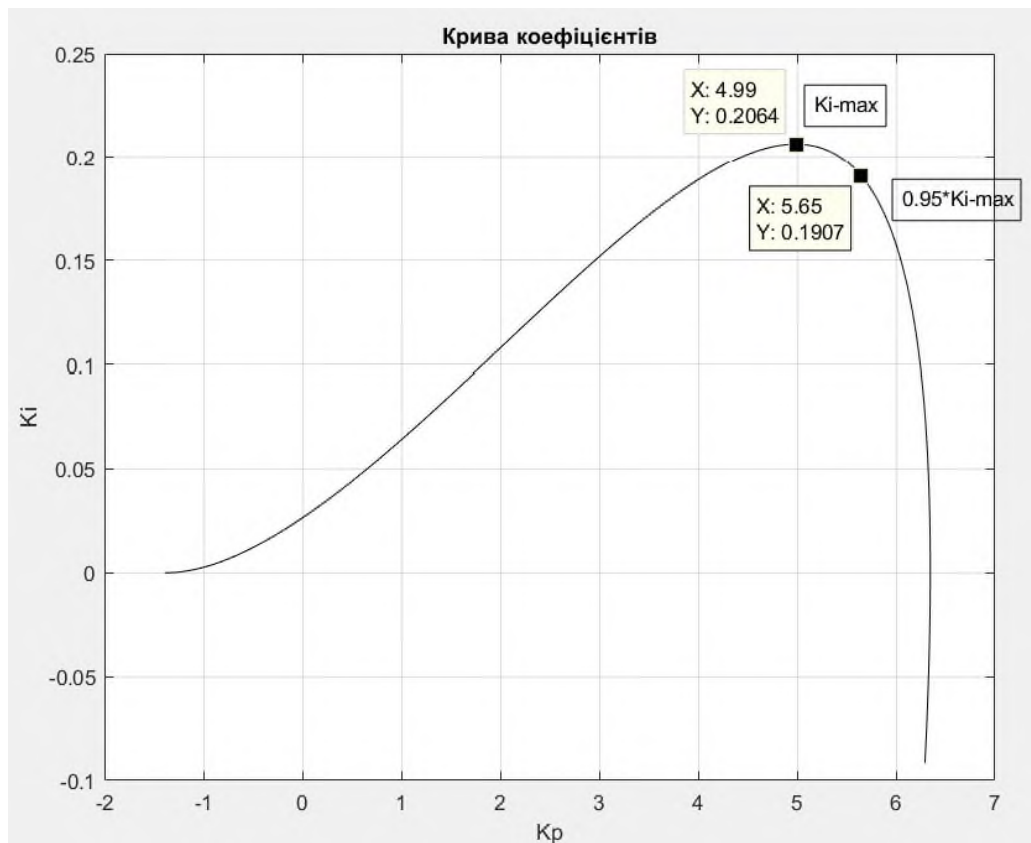


Рисунок 2.21 – Крива з позначеними точками K_{i_max} (максимальне значення K_i) та $0.95 \cdot K_{i_max}$

На кривій виберемо параметри налаштувань ПІ-регулятора, та визначимо налаштування при $K_i = 0.95 \cdot \max(K_i)$. Звідси:

$$K_P = 5.65$$

$$T_i = 29.63$$

$$K_i = 0.1907$$

Функція передачі для ПІ-регулятора буде виглядати наступним чином:

$$W(p) = 5.65 \cdot \left(1 + \frac{1}{29.63 \cdot p}\right)$$

Розрахуємо налаштування ПІ-регулятора за допомогою експрес метода для 20% перерегулювання. Використаємо наступні формули:

$$K_{\Pi} = \frac{0.7 \cdot T_{06}}{K_{06} \cdot \tau_{06}} = \frac{0.7 \cdot 65}{0.72 \cdot 12} = 5.266$$

$$T_i = 0.7 \cdot T_{06} = 0.7 \cdot 65 = 45.5$$

Функція передачі для контуру регулювання температури вихідної пари:

$$W(p) = 5.266 \cdot \left(1 + \frac{1}{45.5 \cdot p}\right)$$

Побудуємо графіки перехідних процесів при знайдених значеннях параметрів для ПІ контуру.

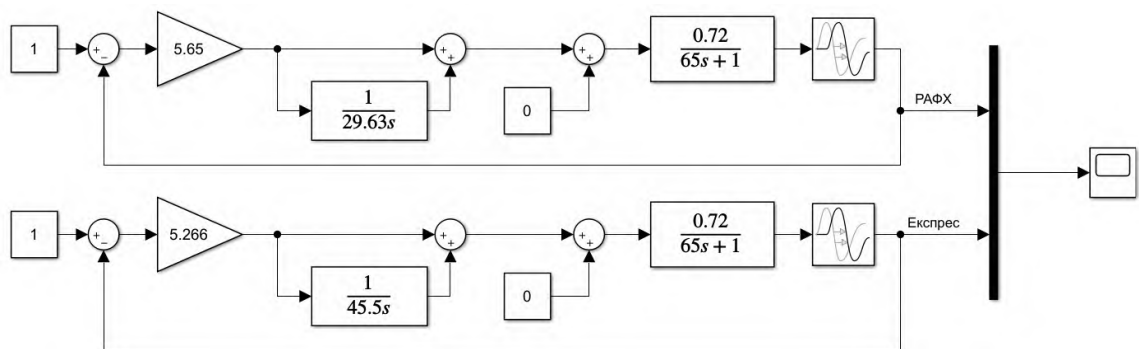


Рисунок 2.22 – Схема одноконтурної САУ за каналом «завдання-вихід»

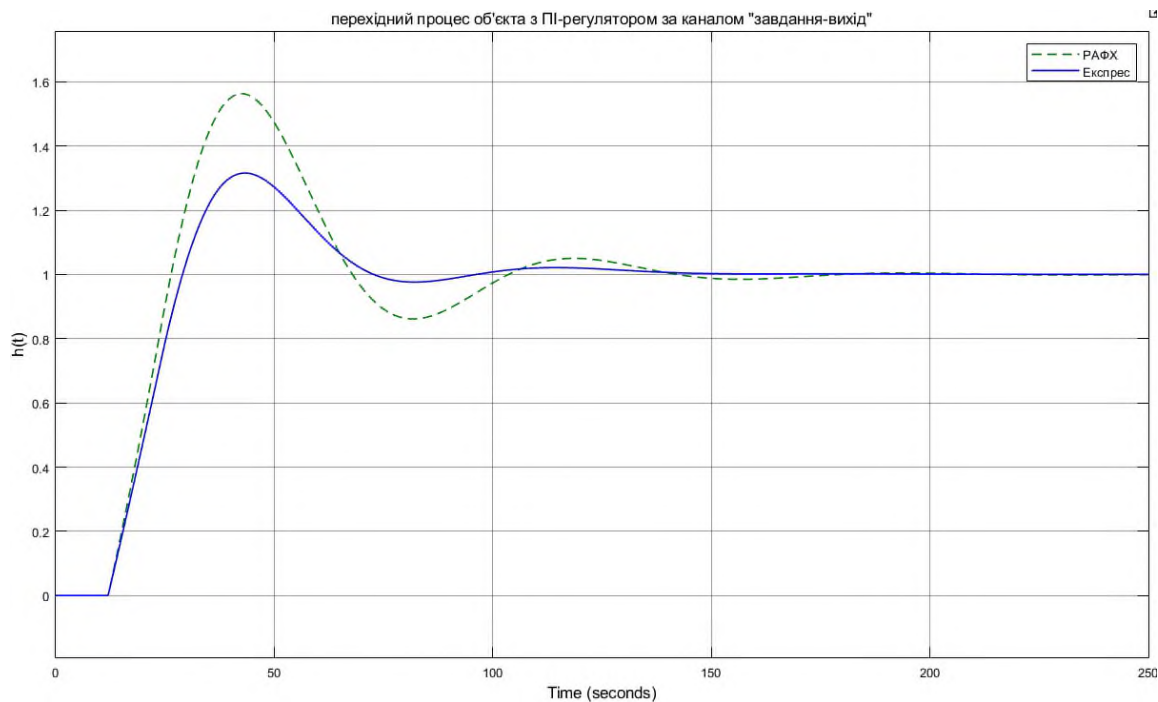


Рисунок 2.23 – Графік перехідного процесу за каналом «завдання-вихід»

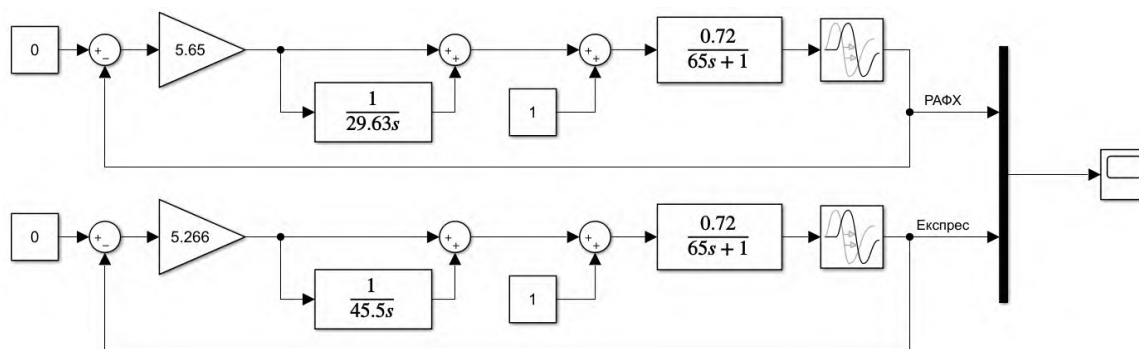


Рисунок 2.24 – Схема одноконтурної САУ за каналом «збурення-вихід».

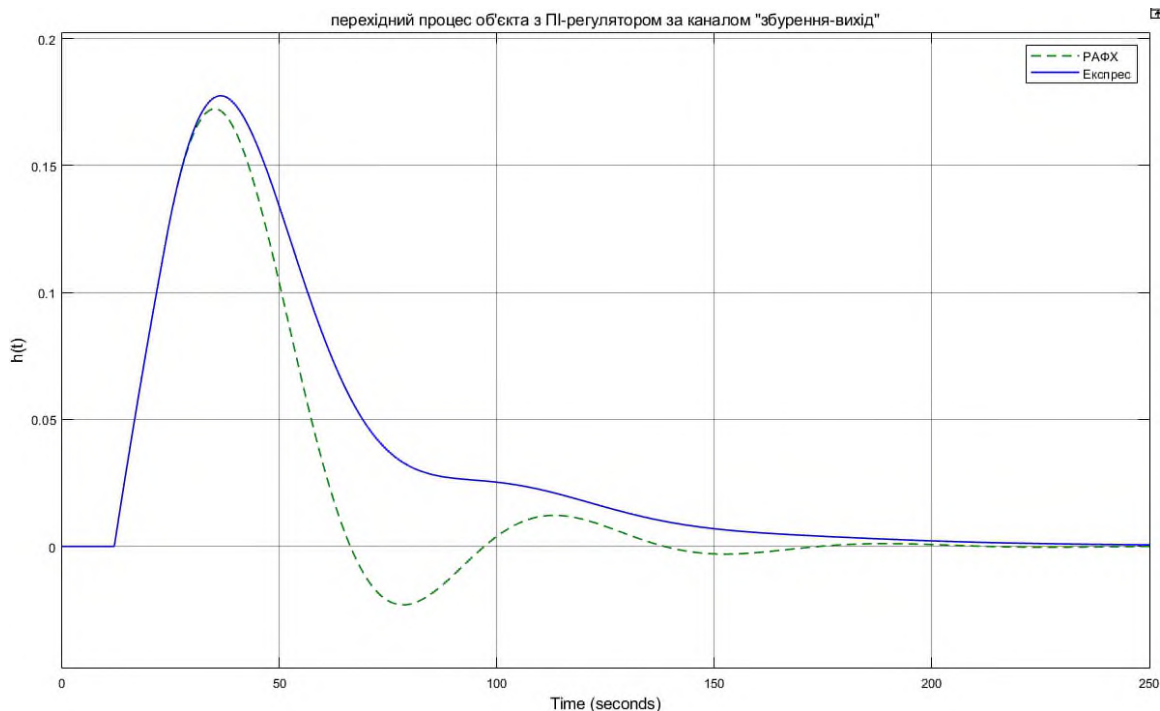


Рисунок 2.25 – Графік перехідного процесу за каналом «збурення-вихід».

Подивимось на показники якості за каналами для одноконтурної САУ з ПІ-регулятором, розрахованим за допомогою РАФХ метода та експрес в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Показники якості

Показник якості	Канал «завдання-вихід»		Канал «збурення-вихід»	
	РАФХ	Експрес	РАФХ	Експрес
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.563	0.316	0.172	0.177
Перерегулювання σ , %	56.3	31.6	13.37	0

Кінець таблиці 2.1

Показник якості	Канал «завдання-вихід»		Канал «збурення-вихід»	
	РАФХ	Експрес	РАФХ	Експрес
Ступінь затування ψ	0.911	0.93	0.93	1
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	119.59	66.5	123.6	141.8

Експрес метод показав себе краще, чим метод РАФХ в каналах «завдання-вихід», «збурення-вихід». Адже в результаті отримуємо меншу динамічну похибку, в результаті менше перерегулювання та більша ступінь затування. По «завдання-вихід» час перехідного процесу майже вдвічі менший, а по «збурення-вихід» трохи більший але не суттєво. Тому вибір налаштувань для ПІ-регулятора за експрес методом.

Перевіримо систему на чутливість. Основним каналом вважаємо «збурення зі сторони РО – регульований параметр», бо це стабілізуюча САР, а саме регульований параметр підтримується на уставці, яка в перехідному процесі не змінна.

Змінимо коефіцієнт підсилення K об'єкта, а саме збільшимо і зменшимо його значення на 10%.

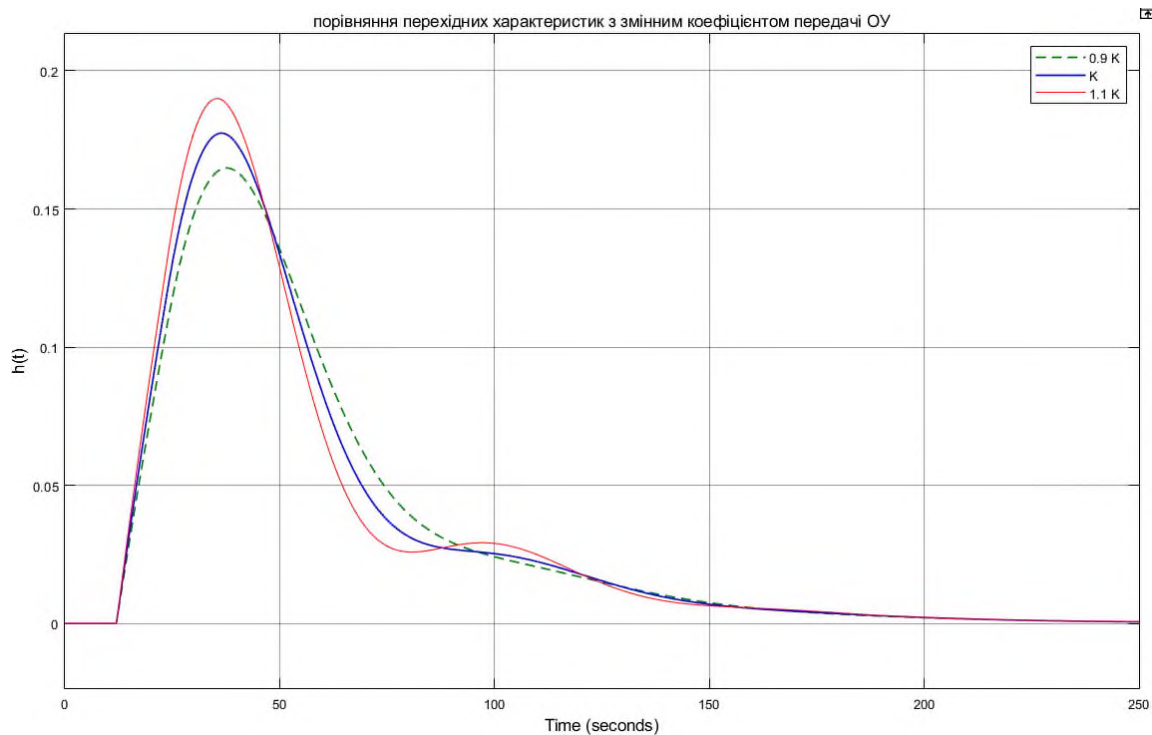


Рисунок 2.26 – Графік перехідного процесу при $K_{OB} = \text{var}$

Таблиця 2.2 – Показники якості при $K_{OB} = \text{var}$

Значення K_{OB}	0.65	0.72	0.79
Статична похибка $\Delta_{ст}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.1648	0.177	0.19
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Ступінь затухання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{пп}$, с	146.45	141.8	135.17

Побудуємо графік залежності динамічної похибки та часу перехідного процесу від K об'єкту, зображений на рис. 2.27.

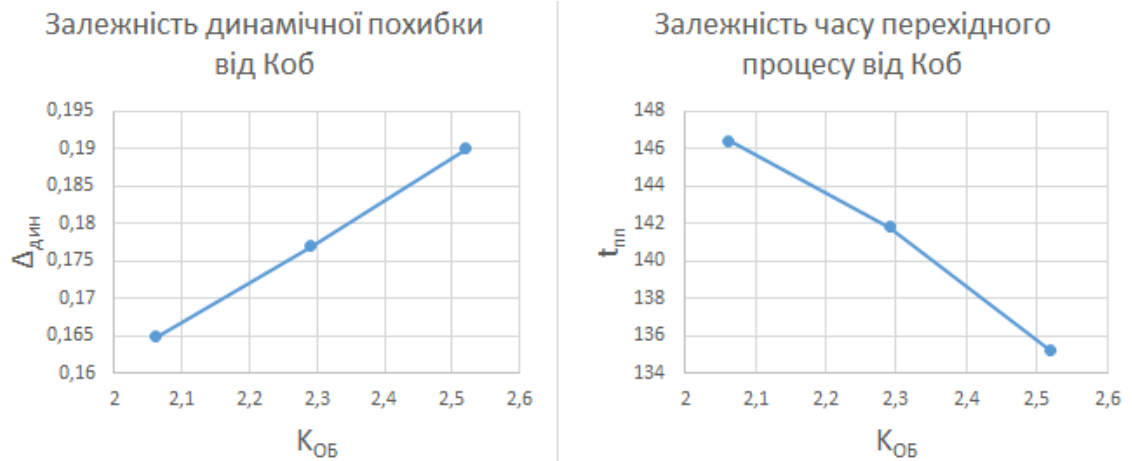


Рисунок 2.27 – Графік залежності параметрів від K об'єкту

Розрахуємо відносний коефіцієнт чутливості за наступною формулою, та занесем дані в таблицю 2.3:

$$F = \left| \frac{\frac{R - R_{\text{ОПТ}}}{R_{\text{ОПТ}}}}{\frac{P - P_{\text{ОПТ}}}{P_{\text{ОПТ}}}} \right|$$

де R – поточне значення показника якості;

R_{ОПТ} – значення показника якості при оптимальних параметрах;

P – поточне значення параметра;

P_{ОПТ} – оптимальне значення параметра.

Таблиця 2.3 – Відносний коефіцієнт чутливості при K_{ОБ} = var

Значення K _{ОБ}	0.9 K _{ОБ}	1.1 K _{ОБ}
Динамічна похибка Δ _{дин}	0.69	0.73
Час перехідного процесу t _{пн} , с	0.34	0.47

Змінимо сталу часу ланки транспортного запізнення τ об'єкта на ± 10%.

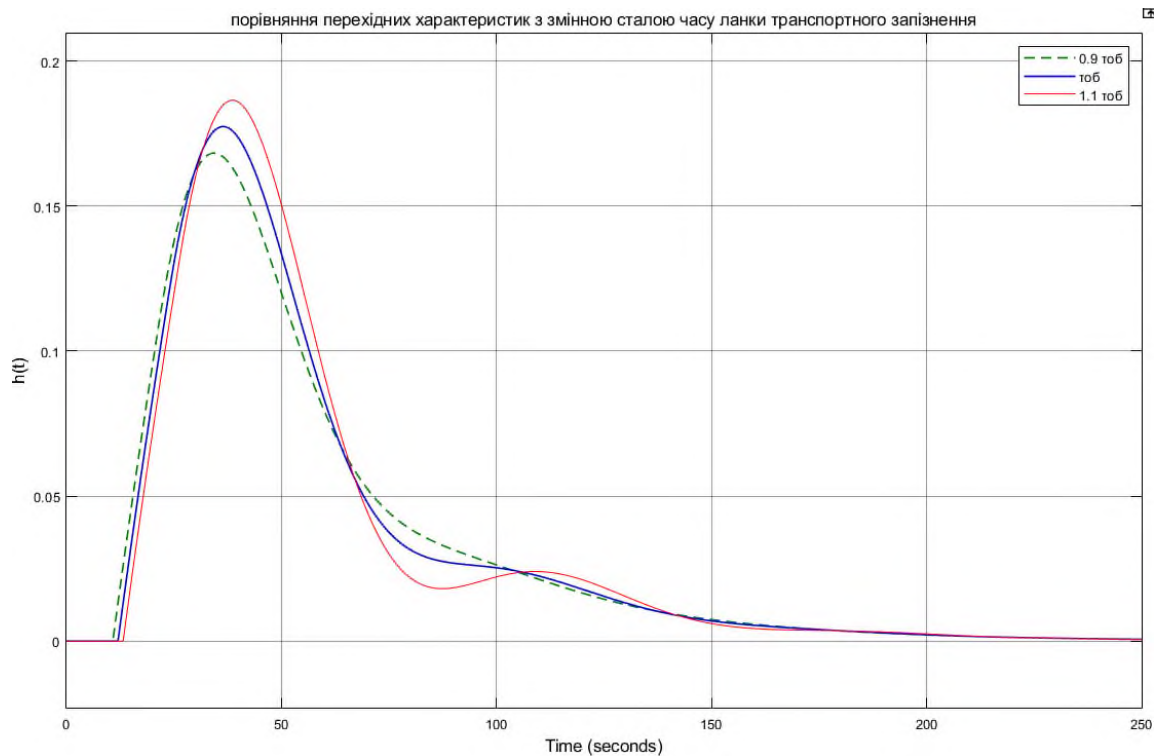


Рисунок 2.28 – Графік перехідного процесу при $\tau_{\text{об}} = \text{var}$

Таблиця 2.4 – Показники якості при $\tau_{\text{об}} = \text{var}$

Значення $\tau_{\text{об}}$	10.8	12	13.2
Статична похибка $\Delta_{\text{ст}}$	0	0	0
Динамічна похибка $\Delta_{\text{дин}}$	0.1683	0.177	0.1865
Перерегулювання σ , %	0	0	0
Ступінь затухання ψ	1	1	1
Час перехідного процесу $t_{\text{пп}}$, с	145.05	141.8	140.54

Побудуємо графік залежності динамічної похибки та часу перехідного процесу від τ об'єкту, зображений на рис. 2.29.

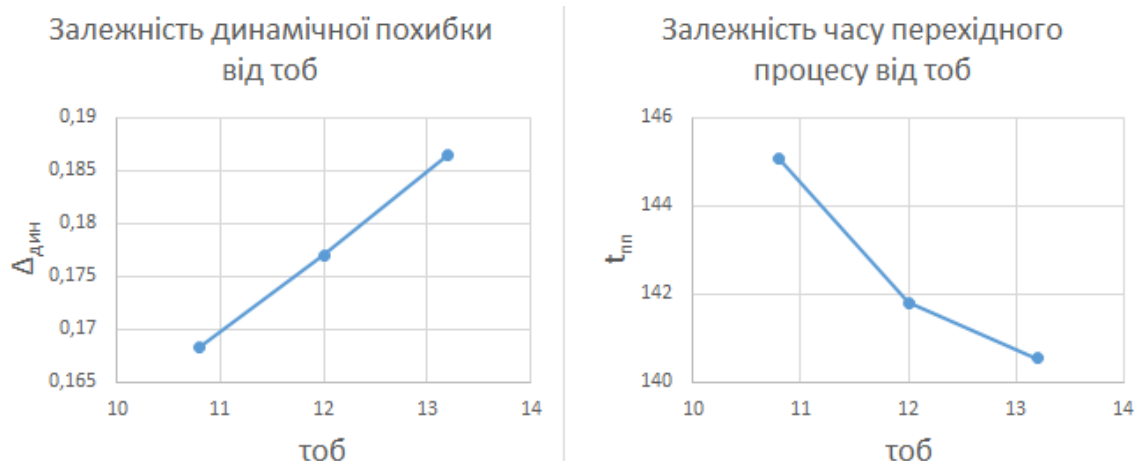


Рисунок 2.29 – Графік залежності параметрів від τ об'єкту

Таблиця 2.5 – Відносний коефіцієнт чутливості при $\tau_{об} = var$

Значення $\tau_{об}$	$0.9 \tau_{об}$	$1.1 \tau_{об}$
Динамічна похибка $\Delta_{дин}$	0.49	0.54
Час перехідного процесу $t_{пп}, c$	0.23	0.09

Після виконаних дій, можна зробити висновок, що одноконтурна САР температури пари на виході з пароперегрівника якісно працює з ПІ-регулятором, який розрахований експрес методом.

Експрес метод показав себе краще, чим метод РАФХ по обох каналах. Адже в результаті отримуємо меншу динамічну похибку, в результаті менше перерегулювання та більша ступінь затухання. По «завдання-вихід» час перехідного процесу майже вдвічі менший, а по «збурення-вихід» трохи більший але не суттєво. Тому вибір налаштувань для ПІ-регулятора за експрес методом.

Чисельні значення прямих показників якості показали кращі результати ніж очікувалось, а саме 20% перерегулювання. По канал «збурення-вихід» отримали малу динамічну похибку та ступінь затухання 1. А по каналу

«завдання-вихід» час перехідного процесу значно менший, що чудово видно у роботі системи.

Також САР є малочутливою (бо значення відносного коефіцієнту чутливості не перевищує 1) саме до параметричних збурень зі сторони об'єкту, адже в ході фізичного процесу може щось змінюватись, і функція передачі може несуттєво змінюватись, це $\pm 10\%$.

Виходячи з цих фактів, можна впевнено говорити про роботоздатність САР.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ОПИС ГРАФІЧНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЄКТУ

3.1 Схема функціональна автоматизації ТОУ

Ця схема була розглянута й описана в підрозділі 1.5 ПЗ ДПБ.

3.2 Схема структурна ПТК

Схема була описана й розглянута в підрозділі 1.6 ПЗ ДПБ.

3.3 Схема принципова електрична АСР

Опишемо відповідне креслення.

Тут показано як заживлюється вся апаратура від щита живлення.

Для подачі струму використовується диференційний автомат. В системі передбачений вимикач для блока живлення, який в свою чергу подає потрібну напругу для ПЛК та електроапаратури.

Згідно документації розроблено з'єднання датчиків і виконавчих механізмів, які мають уніфікований сигнал, по місцю з їхніми виходами до ПЛК, тому все підключається до аналогових виходів. І зображено як правильно підключити лампочки. Давачі підключаються за двопровідною схемою, з використанням стабілітронів. Також вказано, що і як потрібно заземлити для безпечного користування.

Додатково наведені структурні схеми контролю режимних параметрів.

3.4 Креслення загального виду шафи

Опишемо відповідне креслення.

На ній зображено вид на монтажну панель при відкритих дверях та фасад, а саме де встановлюється електроапаратура. Тут всі габарити зображені в масштабі, для точного виконання в реальному житті.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використовується малогабаритна шафа, бо приладів не багато. І в дверці вмонтований ПЛК, бо він має екран (кріпиться на гвинти), та 4 отвори для лампочок, щоб були світлові сповіщення з відповідними надписами над ними.

В самій шафі для зручного використання на верхній DIN-рейці знаходяться вимикачі та блок живлення, на нижній – клеми (силові та несилові). А в коробі пластиковому перфорованому будуть «ховатись» кабелі.

3.5 Схема монтажна шафи (таблиця з'єднань)

Опишемо відповідне креслення.

Тут показується як потрібно підключити прилади по місцю до щита, використання клем та комутації сигналів, бо його потрібно використати в різних місцях. Також ці проводи мають маркуватись. Додатково в таблиці вказується потрібна їх характеристика.

3.6 Схема зовнішніх з'єднань

Опишемо відповідне креслення.

Тут розглянуто які датчики та виконавчі механізми підключаються до шафи автоматизації. Також уточнено їх використання, а саме для якого параметру, середовища, де місце встановлення та номеру за специфікацією. І які кабелі застосовуються для цього, а саме яка довжина потрібна, кількість жил та площа поперечного перерізу.

3.7 Специфікація обладнання

Опишемо відповідне креслення.

До неї входять прилади вимірювання - це датчики, а саме перетворювачі температури, тиску, рівня, витрати виробника «Emerson». Вони надійні та

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мають уніфікований вихідний сигнал. Для вимірювання рівня додатково використовується зрівнювальна посудина українського виробника «Укрпромцентр».

До комплексів технічних засобів відноситься ПЛК з модулем розширення входних сигналів від «Klinkmann», тому можна з легкістю покращити модель. Вони мають широкі можливості програмування та екран на якому можна дивитись інформацію про аварії, або покази датчиків. Блок живлення від «Siemens», що надає стабільне живлення наших пристроїв. Вимикачі від «Schneider Electric», адже їх багато моделей по силі струму та кількості полюсів і у разі потреби заміни не виникне складнощів.

Також в трубопровідній арматурі використовується електричний виконавчий механізм від «Belimo». Він легкий у використанні та встановленні.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 ПРОГРАМУВАННЯ ПТКЗА

4.1 Програмування функціональності ПЛК

Запрограмуємо ПЛК, який буде керувати системою.

Розробимо функціональний блок Check_Param. Він приймає приведений сигнал, та перевіряє чи він знаходиться у діапазоні вимірювання, і вказує коли сигнал вище, або нище. Також коли значення знаходиться довго за межами то створюється помилка, яку після перевірки, чи ремонту можна скинути. Змінні та код зображені на рис. 4.1 – 4.2

```
1  FUNCTION_BLOCK Check_Param
2  VAR_INPUT
3      rSignal : REAL; // вхідний сигнал
4      rMinSignal : REAL; // мінімальне значення сигналу
5      rMaxSignal : REAL; // максимум значення сигналу
6      xResetAlarm : BOOL; // скидання помилки
7  END_VAR
8  VAR_OUTPUT
9      xSignalBelow : BOOL; // сигнал нище заданого
10     xSignalAbove : BOOL; // сигнал вище заданого
11     xError : BOOL; // помилка
12
13 END_VAR
14 VAR
15     TON_0 : TON; // лічильник перевірки на помилку
16     tDelay : TIME := T#60S; // часова затримка
17
18 END_VAR
```

Рисунок 4.1 – Ініціалізація змінних Check_Param

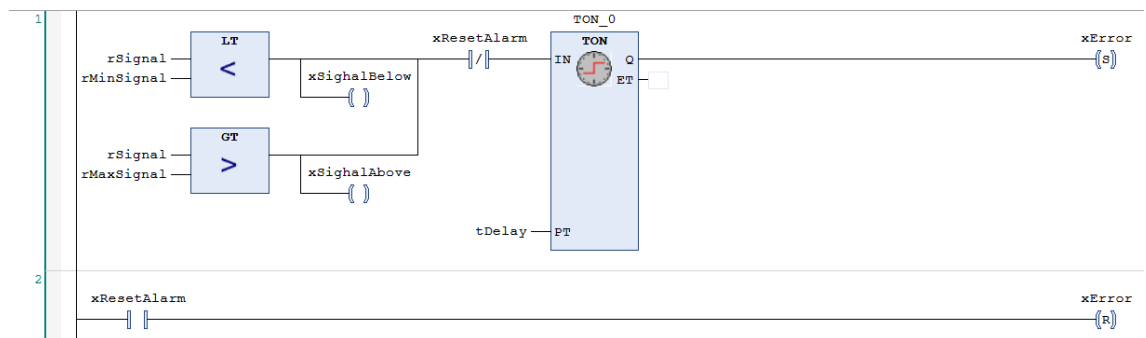


Рисунок 4.2 – Реалізація Check_Param

Розробимо ФБ Converter_Signal. Він сприймає уніфікований сигнал та конвертує його до одиниць вимірювання тієї, чи іншої величини. Так отримується приведені значення, і можна з ним маніпулювати. Також тут додатково є перевірка чи давач не поламаний, використовується межа абсолютної похибки, яка була розрахована в підрозділі 2.1 ПЗ ДПБ. Змінні та код на рис. 4.3 – 4.4.

```

1  FUNCTION_BLOCK Converter_Signal
2  VAR_INPUT
3      rSignal : REAL; // вхідний сигнал
4      rLowUnified : REAL; // мінімум уніфікованого сигналу
5      rHighUnified : REAL; // максимум уніфікованого сигналу
6      rLowSignal : REAL; // мінімум сигналу давача
7      rHighSignal : REAL; // максимум сигналу давача
8      rLimitAbsoluteError : REAL; // межа абсолютної похибки
9      xResetAlarm : BOOL; // скидання помилки
10 END_VAR
11
12 VAR_OUTPUT
13     rOutValue : REAL; // вихідне значення
14     xWorkSensor : BOOL; // датчик справний
15     xErrorSensor : BOOL; // датчик не справний
16
17 END_VAR
18
19 VAR
20     TON_0 : TON; // лічильник перевірки на помилку
21     tDelay : TIME := T#15S; // часова затримка
22 END_VAR
23

```

Рисунок 4.3 – Ініціалізація змінних Converter_Signal

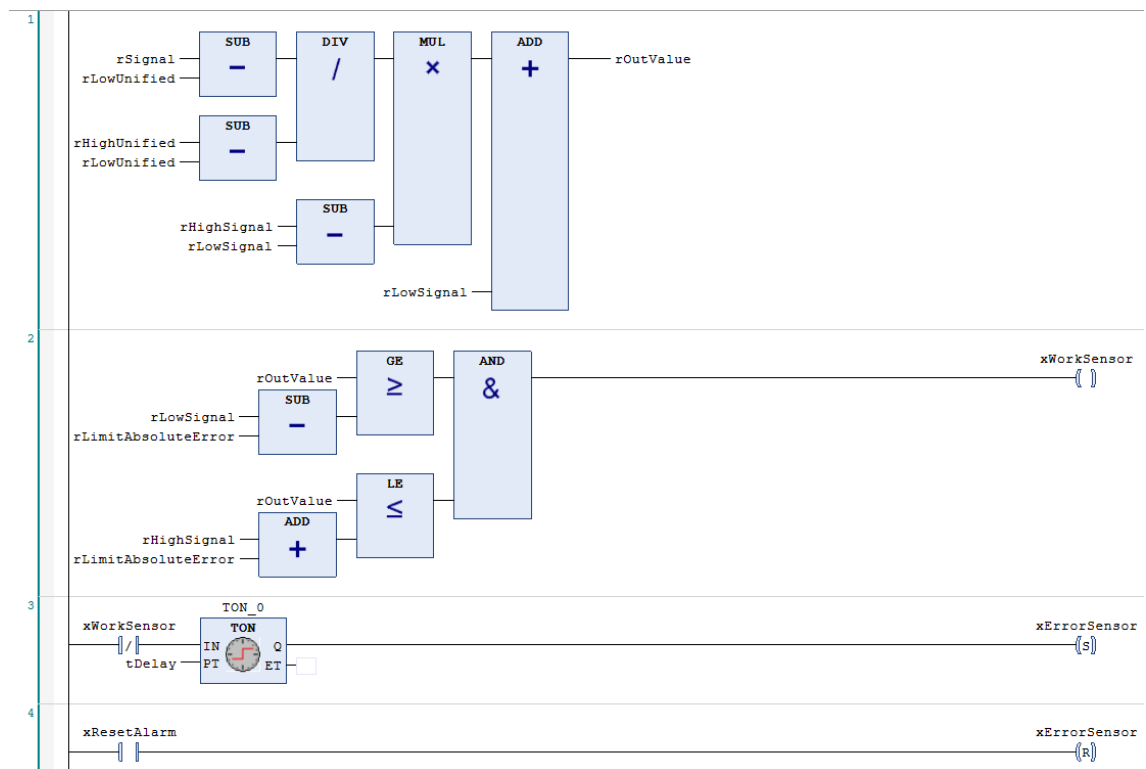


Рисунок 4.4 – Реалізація Converter_Signal

Розробимо ФБ Converter_Actuator. ПІД блок видає значення у відсотках відкриття клапана, а виконавчий механізм працює, у іншій величині. Саме тому це значення потрібно конвертувати для коректної роботи системи. Застосовується метод лінійної інтерполяції. Змінні та код на рис. 4.5 – 4.6.

```

1  FUNCTION_BLOCK Converter_Actuator
2  VAR_INPUT
3      rSignal : REAL; // вхідний сигнал
4      rLowUnified : REAL; // мінімум уніфікованого сигналу
5      rHighUnified : REAL; // максимум уніфікованого сигналу
6      rLowSignal : REAL; // мінімум виконавчого механізму
7      rHighSignal : REAL; // максимум виконавчого механізму
8
9  END_VAR
10 VAR_OUTPUT
11     rOutValue : REAL; // вихідне значення
12
13 END_VAR

```

Рисунок 4.5 – Ініціалізація змінних Converter_Actuator

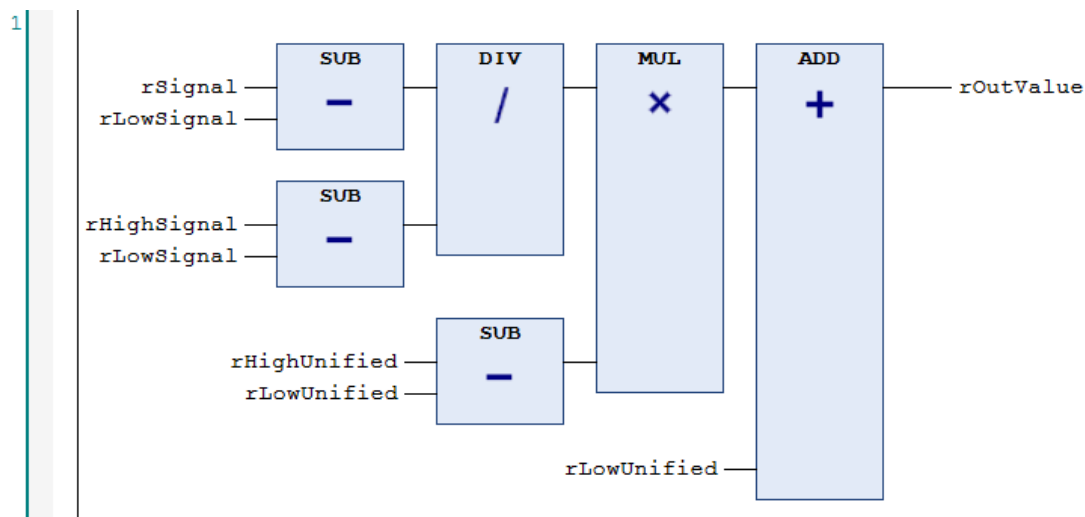


Рисунок 4.6 – Реалізація Converter_Actuator

Розробимо ФБ Control_System. Він буде дозволяти робити ПД блоку, коли потрібно охолоджувати пару. Змінні та код на рис. 4.7 – 4.8.

```

1 FUNCTION_BLOCK Control_System
2 VAR_INPUT
3     rSetPoint : REAL; // уставка
4     rCurValue : REAL; // поточне значення
5     rHysteresis : REAL; // гістерезис
6 END_VAR
7
8 VAR_OUTPUT
9     xNeedCool : BOOL; // сигнал чи потрібно охолоджувати воду
10 END_VAR

```

Рисунок 4.7 – Ініціалізація змінних Converter_Signal

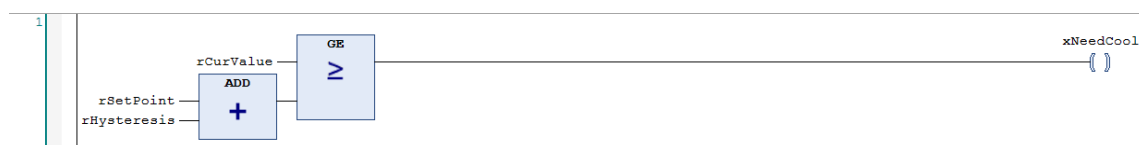


Рисунок 4.8 – Реалізація Converter_Signal

Тепер реалізуємо програму. Спочатку опишемо контур регулювання температурою вихідної пари. При увімкненій системі будуть відбуватись усі

дії. На вхід отримуємо значення від давача, цей сигнал уніфікований, перетворюємо його і перевіряємо. Змінні та код на рис. 4.9 – 4.10.

```
1  PROGRAM PLC_PRG
2  VAR
3
4      xStart : BOOL; // увімкнення системи
5      xEnable : BOOL; // дозвіл роботи
6      xStop : BOOL; // вимкнення системи
7      xResetAlarm : BOOL; // скидання помилки
8
9      // змінні для температури вихідної пари
10     Converter_Temp_Steam: Converter_Signal; // перетворення сигналу з уніфікованого в приведене
11     rInputSignalTempSteam : REAL; // вхідний сигнал температури пари
12     rImin : REAL := 4; // мінімум значення при 4-20mA
13     rImax : REAL := 20; // максимум значення при 4-20mA
14     rLowLimitTempSteam : REAL := -40; // мінімум давача температури пари
15     rHighLimitTempSteam : REAL := 600; // максимум давача температури пари
16     rAbsoluteErrorTemp : REAL := 3.33; // межа абсолютної похибки давача температури
17     rNormTempSteam : REAL; // вихідне приведене значення температури пари
18     xWorkSensorTemp : BOOL; // справність датчика рівня
19     xErrorSensorTemp : BOOL; // поломка датчика рівня
20
21     Check_Temp_Steam: Check_Param; // перевірка чи сигнал в робочих межах
22     rMinTempSteam : REAL := 340; // мінімальне значення сигналу
23     rMaxTempSteam : REAL := 400; // максимум значення сигналу
24     xAlarmBelowTempSteam : BOOL; // сигнал нижче заданого
25     xAlarmAboveTempSteam : BOOL; // сигнал вище заданого
26     xErrorTempSteam : BOOL; // вихід за діапазон
```

Рисунок 4.9 – Ініціалізація змінних

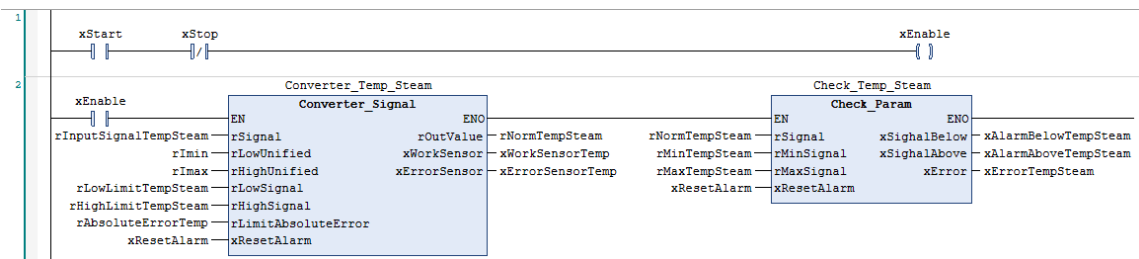


Рисунок 4.10 – Реалізація перевірки та конвертації вхідного сигналу

Приведене значення іде в наступний блок, де дізнаємось чи потрібно охолоджувати пару. Якщо так то працює ПІД блок, і відкривається клапан. Логіка системи включає в себе гістерезис, відхилення від значення, щоб ВМ не «тіліпало». І закриває подачу, коли пару охолоджувати не потрібно. Результат на рис. 4.11 – 4.12.

```

28 Control_Temp_Steam: Control_System; // система увімкнення охолодження пари
29 rHysteresis : REAL := 10; // гістерезис
30 xNeedCool : BOOL; // потреба в охолодженні
31
32 // змінні ПІД блоку
33 PID_Temp_Steam: PID; // ПІД блок
34 rSetPoint : REAL := 370; // уставка
35 rKP : REAL := 5.266; // пропорційна частина
36 rTN : REAL := 45.5; // інтегральна частина
37 rTV : REAL; // диференціальна частина
38 rManualParam : REAL; // значення при ручному режимі
39 xManual : BOOL; // ручний режим
40 xResetPID : BOOL; // скинути ПІД блок
41 rOutPID : REAL; // вихід ПІД блоку
42 xLimitActive : BOOL; // активація лімітів ПІД блоку
43 xIntegralOverflow : BOOL; // перебільшення інтегральної частини
44
45 // змінні виконавчого механізму
46 Converter_Actuator_Steam : Converter_Actuator;
47 rUmin : REAL := 0; // мінімум значення при 0-10В
48 rUmax : REAL := 10; // максимум значення при 0-10В
49 rLowLimitActuator : REAL := 0; // нижня межа механізм
50 rHighLimitActuator : REAL := 100; // верхня межа механізму
51 rNormActuator : REAL; // вихідне уніфіковане значення

```

Рисунок 4.11 – Ініціалізація змінних

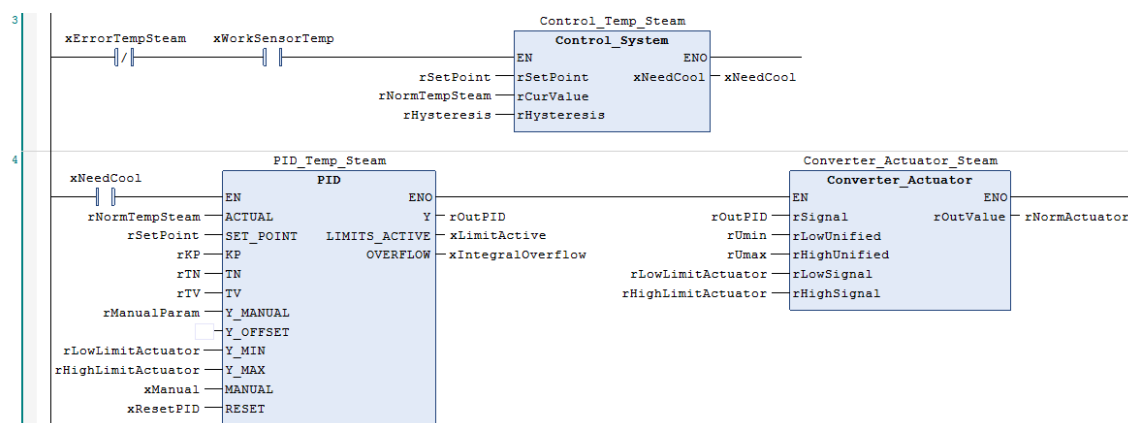


Рисунок 4.12 – Реалізація системи керування впорскуванням води

Далі по аналогії складемо з блоків програму яка буде перевіряти рівень води в барабані, у разі чого сигналізувати про це. Результат на рис. 4.13 – 4.14.

```

53 // змінні для рівня води в барабані
54 Converter_Level: Converter_Signal; // перетворення сигналу з уніфікованого в приведенне
55 Check_Level : Check_Param; // перевірка чи сигнал в робочих межах
56 rInputLevel : REAL; // вхідний сигнал рівня води в барабані
57 rNormTempLevel : REAL; // вихідне приведенне значення рівня води в барабані
58 rLowLimitLevel : REAL := 0; // мінімум давача рівня
59 rHighLimitLevel : REAL := 1500; // максимум давача рівня
60 rlevelLowLimit : REAL := 870; // нижня межа діапазону
61 rlevelHighLimit : REAL := 1200; // верхня межа діапазону
62 rAbsoluteErrorLevel: REAL; // абсолютна похибка датчика рівня
63 xWorkSensorLevel : BOOL; // справність датчика рівня
64 xErrorSensorLevel : BOOL; // поломка датчика рівня
65 HL2 : BOOL; // лампочка для сигналізації про зниження рівня води
66 HL3 : BOOL; // лампочка для сигналізації про перевищення рівня води
67 xAlarmLevel : BOOL; // помилка

```

Рисунок 4.13 – Ініціалізація змінних

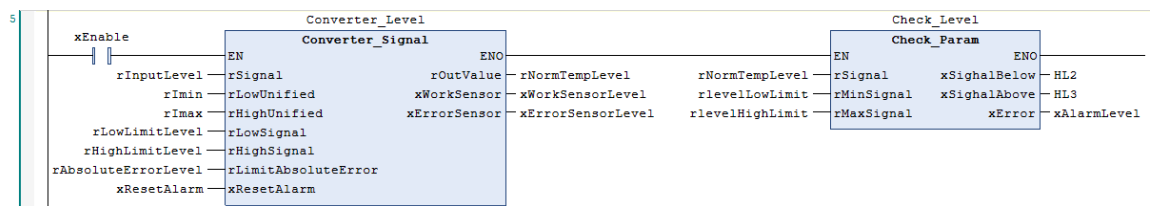


Рисунок 4.14 – Реалізація перевірки рівня

Результат для тиску пари на рис. 4.15 – 4.16.

```

69 // змінні для тиску пари
70 Converter_Pressure_Steam: Converter_Signal; // перетворення сигналу з уніфікованого в приведенне
71 Check_Pressure_Steam: Check_Param; // перевірка чи сигнал в робочих межах
72 rInputPressureSteam: REAL; // вхідний сигнал тиску пари
73 rLowLimitPressureSteam : REAL; // мінімум давача тиску пари
74 rHighLimitPressureSteam : REAL; // максимум давача тиску пари
75 rNormPressureSteam : REAL; // вихідне приведенне значення тиску пари
76 xWorkSensorPressureSt : BOOL; // справність датчика тиску пари
77 xErrorSensorPressureSt : BOOL; // поломка датчика тиску пари
78 rMinPressureSteam : REAL; // мінімальне значення сигналу
79 rMaxPressureSteam : REAL; // максимум значення сигналу
80 rAbsoluteErrorPressure: REAL; // абсолютна похибка датчика тиску
81 HL1 : BOOL; // лампочка для сигналізації про перевищення тиску вихідної пари
82 xErrorPressureSteam : BOOL; // вихід за діапазон

```

Рисунок 4.15 – Ініціалізація змінних

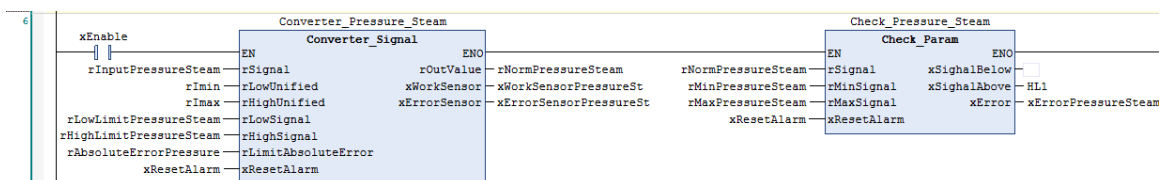


Рисунок 4.16 – Реалізація для тиску пари

Результат для тиску води на рис. 4.17 – 4.18.

```

84 // змінні для тиску живильної води
85 Converter_Pressure_Water: Converter_Signal; // перетворення сигналу з уніфікованого в приведенне
86 Check_Pressure_Water: Check_Param; // перевірка чи сигнал в робочих межах
87 rInputPressureWater: REAL; // вхідний сигнал тиску води
88 rLowLimitPressureWater: REAL; // мінімум давачатиску води
89 rHighLimitPressureWater: REAL; // максимум давача тиску води
90 rNormPressureWater: REAL; // вихідне приведенне значення тиску води
91 xWorkSensorPressureWater: BOOL; // справність датчика тиску води
92 xErrorSensorPressureWater: BOOL; // поломка датчика тиску води
93 rMinPressureWater: REAL; // мінімальне значення сигналу
94 rMaxPressureWater: REAL; // максимум значення сигналу
95 HL4: BOOL; // лампочка для сигналізації про перевищення живильної води
96 xErrorPressureWater: BOOL; // вихід за діапазон

```

Рисунок 4.17 – Ініціалізація змінних

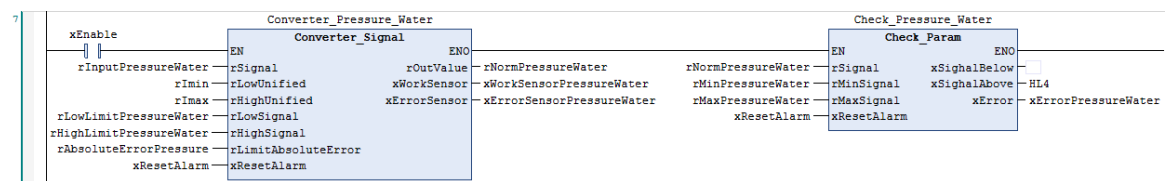


Рисунок 4.18 – Реалізація для тиску води

4.2 Програмування функціональності SCADA-системи

Це було розроблено у середовищі «WebStudio». А саме: мнемосхема, де зображений об'єкт та поточні параметри системи; поточні графіки цих значень; аларми (на даний момент та історичні), які сигналізують про вихід значення за робочий діапазон.

Далі на рис. 4.19 – 4.21 показані ці елементи у режимі ран-тайм.

Alarm Online							Alarm History						
Tag Name	Display ...	Activation TL...	Message	Ack Time	Event Time	Un...	Tag Name	Display ...	Activation TL...	Message	Ack Time	Event Time	Un...
L17	24536.06...	06/10/2023 15:41:00	Low Level		06/10/2023 15:41:00	Gd	L17	24536.06...	06/10/2023 15:41:00	Low Level		06/10/2023 15:41:00	Gd
PT4	5006.146...	06/10/2023 15:41:02	High Pressure Steam		06/10/2023 15:41:02	Gd	PT4	5006.146...	06/10/2023 15:41:02	High Pressure Steam		06/10/2023 15:41:02	Gd
PT11	3909.638...	06/10/2023 15:41:02	High Pressure Water		06/10/2023 15:41:02	Gd	PT11	3909.638...	06/10/2023 15:41:02	High Pressure Water		06/10/2023 15:41:02	Gd
CVcounter	0	06/10/2023 15:39:30			06/10/2023 15:39:30	Gd	CVcounter	0	06/10/2023 15:39:30			06/10/2023 15:39:30	Gd
PLvar	0.000000	06/10/2023 15:39:30			06/10/2023 15:39:30	Gd	PLvar	0.000000	06/10/2023 15:39:30			06/10/2023 15:39:30	Gd
PLvar	0.000000	06/10/2023 15:39:30			06/10/2023 15:39:30	Gd	PLvar	0.000000	06/10/2023 15:39:30			06/10/2023 15:39:30	Gd
CVcounter	0	06/10/2023 15:05:57			06/10/2023 15:05:57	Gd	CVcounter	0	06/10/2023 15:05:57			06/10/2023 15:05:57	Gd
PLvar	0.000000	06/10/2023 15:05:57			06/10/2023 15:05:57	Gd	PLvar	0.000000	06/10/2023 15:05:57			06/10/2023 15:05:57	Gd
PLvar	0.000000	06/10/2023 15:05:57			06/10/2023 15:05:57	Gd	PLvar	0.000000	06/10/2023 15:05:57			06/10/2023 15:05:57	Gd
CVcounter	0	06/10/2023 15:05:57			06/10/2023 15:05:57	Gd	CVcounter	0	06/10/2023 15:05:57			06/10/2023 15:05:57	Gd
PLvar	0.000000	06/10/2023 15:05:57			06/10/2023 15:05:57	Gd	PLvar	0.000000	06/10/2023 15:05:57			06/10/2023 15:05:57	Gd

Рисунок 4.19 – «Alarms» вікно, видно аларми про перевищення тиску, і зниження рівня (є Message з поясненням)

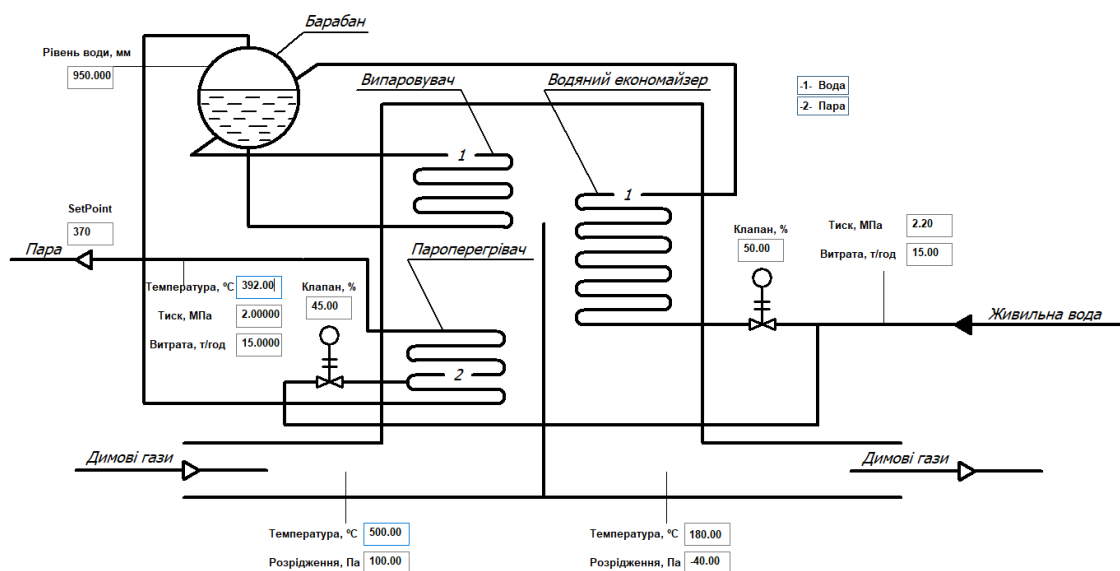


Рисунок 4.20 – «Mimics» вікно

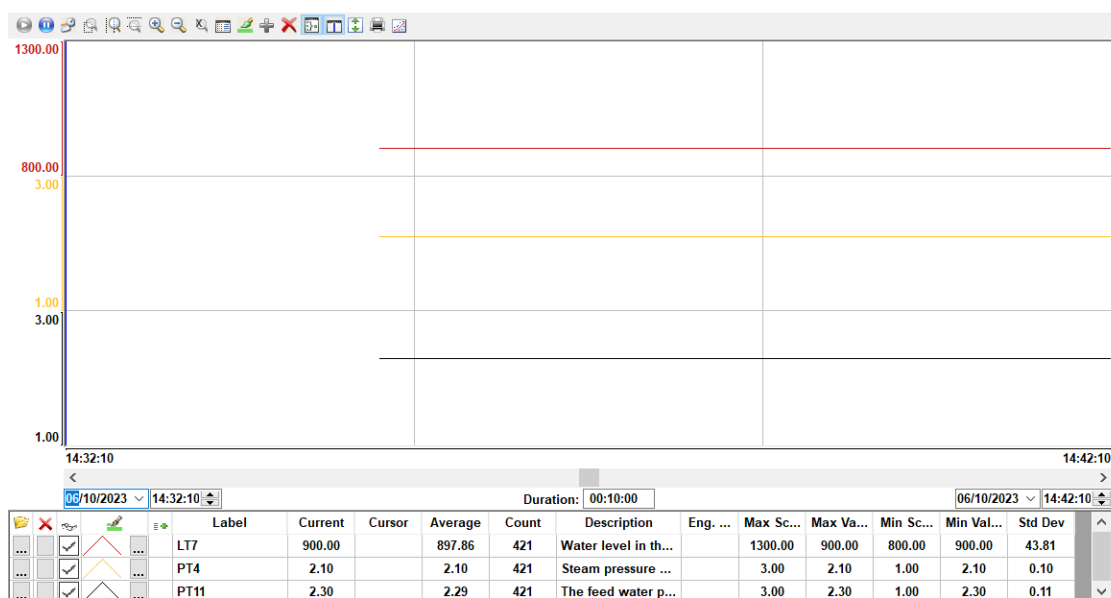


Рисунок 4.21 – «Trends» вікно, наведені графіки рівня, тиску пари та ВОДИ

РОЗДІЛ 5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АТК

5.1 Схема структурна полігону імітаційного моделювання АТК ТОУ

Для моделювання було задіяно три середовища: WebStudio, CODESYS та Simulink. За допомогою OPC все зв'язано.

Далі на рис. 5.1 – 5.3 показані запрограмовані елементи.

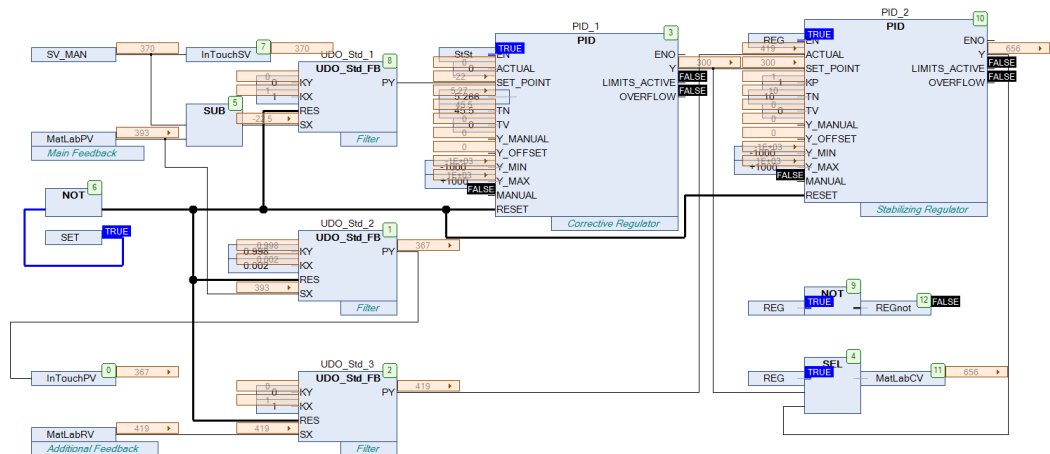


Рисунок 5.1 – Реалізована контролерна функціональність для універсальної САР у CODESYS, взяті налаштування ПІД блоку для нашої моделі

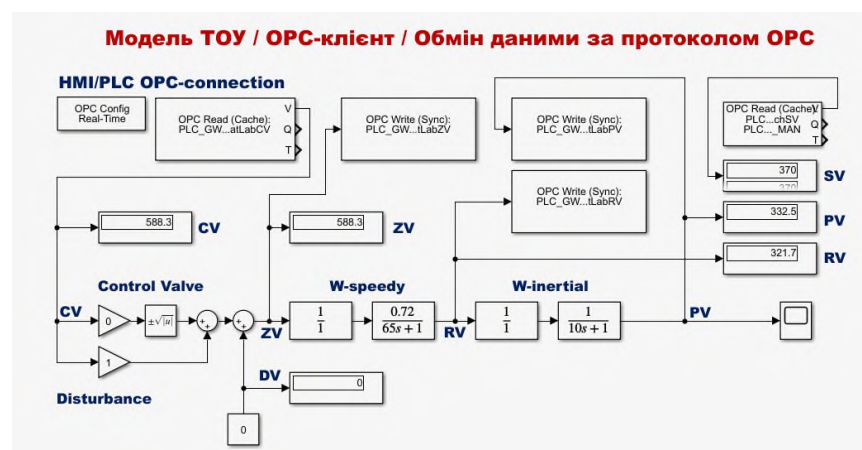


Рисунок 5.2 – Зображена модель універсального ОУ у Matlab Simulink, взята наша модель

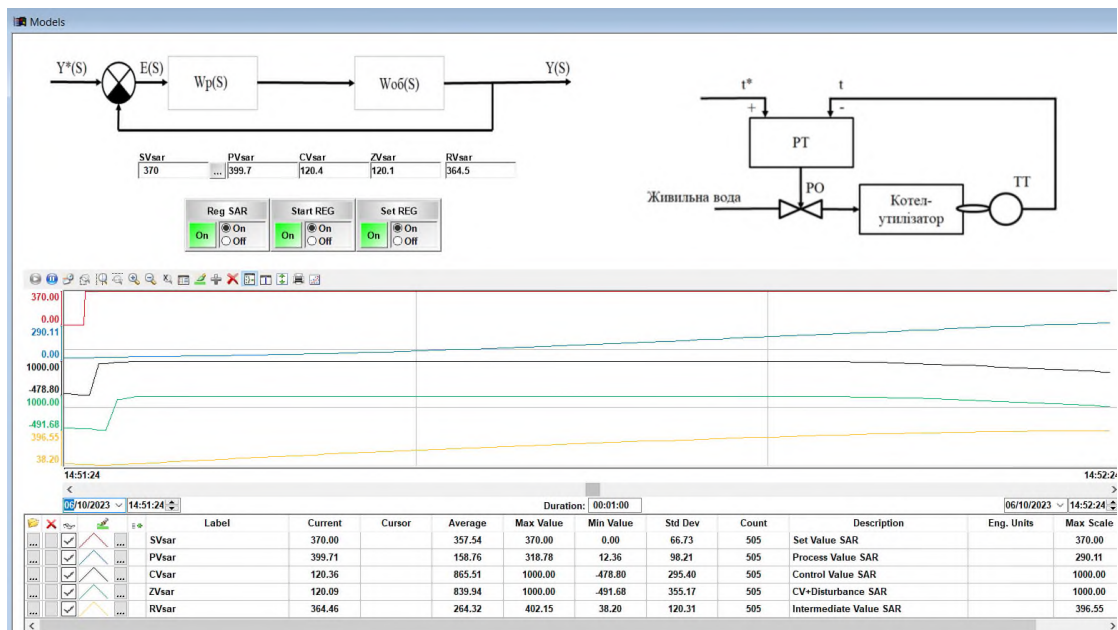


Рисунок 5.3 – «Models» вікно у WebStudio

5.2 Структурне моделювання АТК в програмно-технічному симуляторі

У Simulink реалізуємо модель об'єкта для контуру, що регулює температуру пари, зображення на рис. 5.4. За допомогою блоків OPC Read та OPC Write і відбувається обмін.

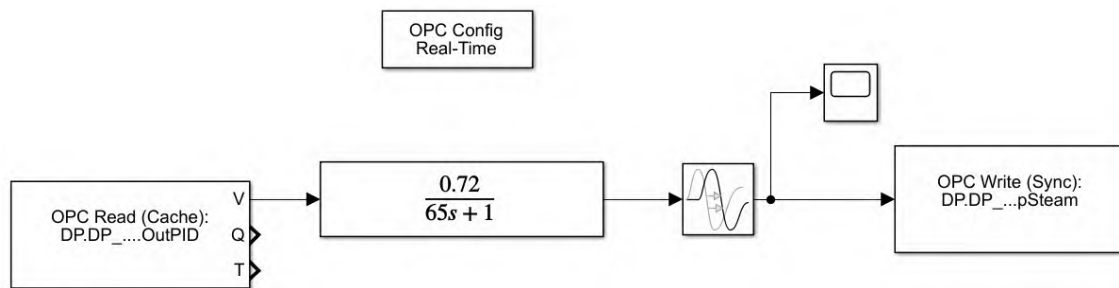


Рисунок 5.4 – Модель об'єкта

Запустимо програми і подамо значення на вхід, температури пари. Подивимось на логіку дій програми у CODESYS на рис. 5.5 – 5.7.

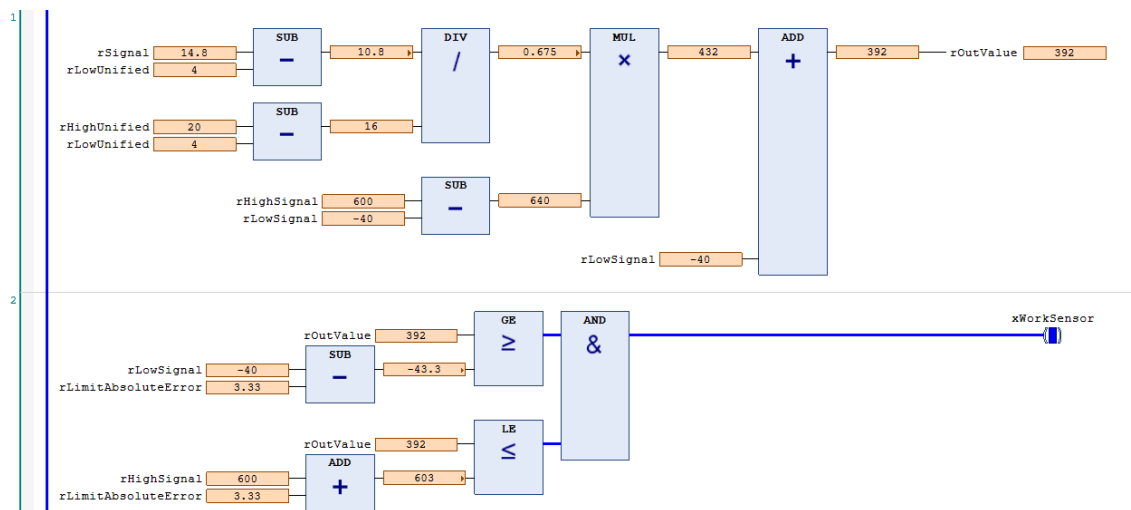


Рисунок 5.5 – Convert_Temp_Steam, отримуємо приведені поточні значення сигналу температури, і датчик справний

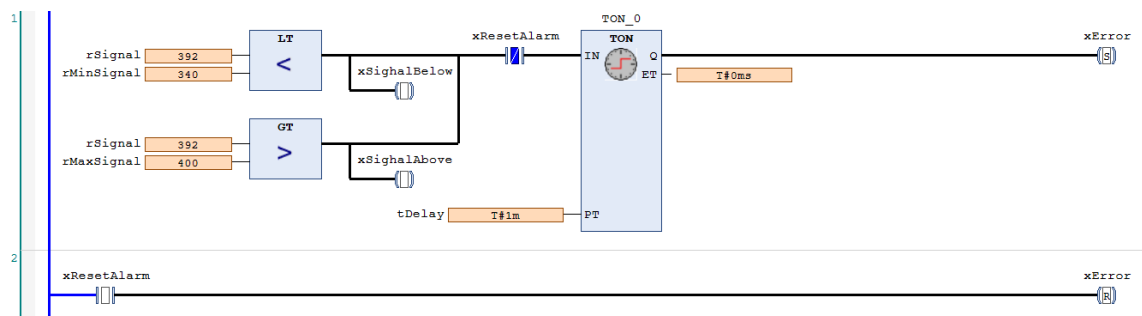


Рисунок 5.6 – Check_Temp_Steam, перевіряємо чи значення не виходить за діапазон

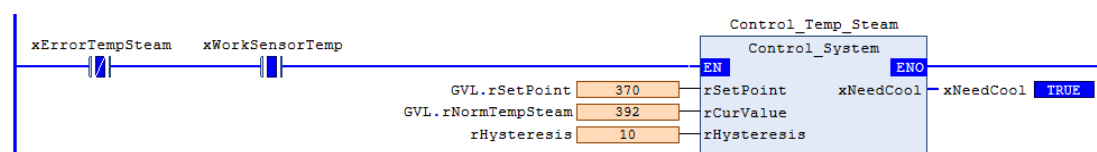


Рисунок 5.7 – Control_System, коли попередні два кроки успішні, і температура менша уставки, то потрібно охолоджувати пару

Подивимось графіки на рис. 5.8 – 5.9, при потребі зменшити температуру.

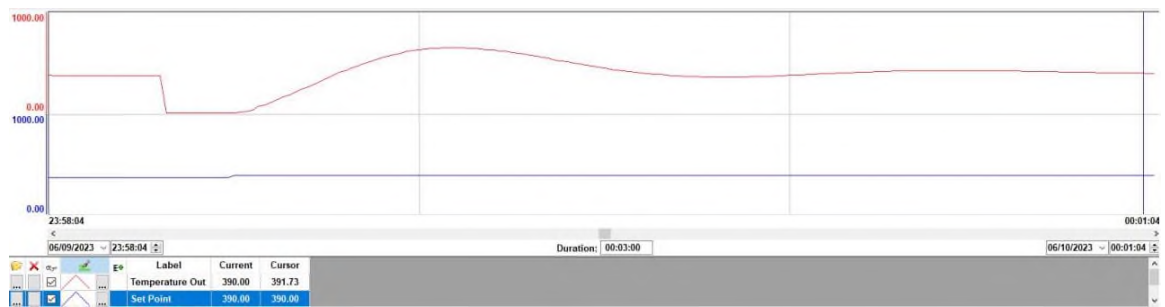


Рисунок 5.8– Температура пари та уставка у WebStudio

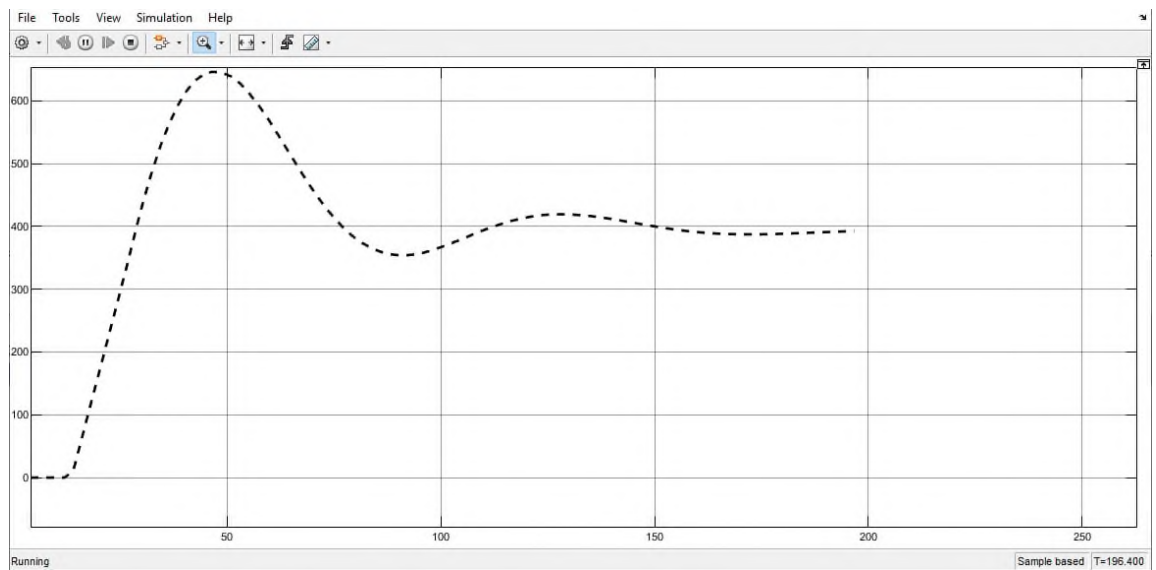


Рисунок 5.9 – Температура пари на виході з котла у Simulink

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів та засобів, що направлені на збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі праці. Метою є створення безпечного та комфортного для людини виробничого середовища.

Котел-утилізатор є джерелом потенційно шкідливих та небезпечних виробничих факторів. Основні з них: наявність високих температур і тиску, підвищений рівень шуму та вібрацій, використання електрообладнання з небезпечною для життя напругою, невідповідність параметрів мікроклімату робочої зони та освітлення існуючим санітарним нормам тощо.

Основним завданням охорони праці є запобігання ризикам виробничого травматизму та професійних захворювань і створення оптимальних з точки зору працездатності умов праці. Усі види робіт повинні виконуватися в суворій відповідності з діючими правилами техніки безпеки.

В даному розділі дипломного проєкта запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпечної експлуатації спроектованого обладнання, а також визначені основні заходи з виробничої санітарії, гігієни праці та пожежної безпеки та профілактики.

6.1 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки та експлуатації засобів автоматизації та технологічного устаткування

Розглянемо основні рішення, які забезпечують безпечну та зручну експлуатацію засобів автоматизації:

1. Передбачені безпечні, зручні за конструкцією і розмірам проходи та обладнання для ведення робіт — робочі площадки (ширина вільного проходу майданчиків — 0,8 м, рахуючи від виступаючих частин, що

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуються для обслуговування апаратури, контрольно-вимірювальних приладів, мінімальна площа на одну людину відповідно до діючих вимог становить 4,5 м² вільного від обладнання місця, а об'єм робочої зони на людину — 15 м³).

2. Всі виконавчі механізми розміщені в місцях, що виключають випадковий доступ людини і захищені захисною сіткою, що забезпечує безпечну експлуатацію обладнання.

3. При монтажі щитового обладнання передбачається спеціальний прохід між стіною і відкритими дверима відстанню не менше 0,8 м, щоб забезпечити можливість його експлуатації.

4. Всі прилади, контролер, органи дистанційного керування виконавчими механізмами мають пояснюючі надписи (на них зазначений регульований чи контрольований параметр; котрий з виконавчих механізмів дистанційно керується).

5. Якщо апаратура знаходиться на ремонті, встановлюються відповідні таблички, наприклад: «Ремонтні роботи».

6.1.1 Вимоги з електробезпеки

Електробезпека – це система організаційних та технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

Живлення приладів, контролерів, органів оперативного керування спроектованої системи автоматизації здійснюється від мережі змінного струму напругою 24 В, частотою 50 Гц через понижуючий трансформатор, на який надходить напруга 220 В, частотою 50 Гц через пакетний вимикач. Живлення підводиться до рейки клемних затискачів і через неї

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

розподіляється на прилади. Використовується двопровідна схема підключення давачів.. Рейка закрита кришкою, яка запобігає контакту людей з струмоведучими частинами. За допомогою рейки клемних затискачів давачі та виконавчі пристрої підключені до контролеру.

Забезпечена максимальна безпека обслуговування щитового обладнання, Апарати з рухливими струмопровідними частинами встановлюються так, щоб вони не могли випадково замкнути існуючі електричні ланцюги. Для електропроводки, встановленої на дверях, поворотних рамах, застосовані гнучкі мідні проводи [8].

Прийняте в проєкті електротехнічне устаткування: апаратура, кабелі й органи керування, розподільні пристрої всіх видів і напруг за власними номінальним параметрам задовольняють умовам роботи як при нормальних, так і при аварійних режимах роботи ЕУ (коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях).

Згідно ДСТУ 7237:2011 [9] для забезпечення захисту від випадкового дотику людини до струмовідних частин ЕУ застосовують такі види захисту:

1. Основне (робоче) ізолювання струмопровідних частин (захисне ізолювання).
2. Додаткове, посилене, подвійне ізолювання струмовідних частин ЕУ.
3. Захисні оболонки та огорожі (тимчасові або стаціонарні).
4. Безпечне розташування струмовідних частин ЕУ.
5. Ізолювання робочого місця, мала напруга та захисне вимкнення.
6. Попереджувальна сигналізація (звукова, світлова тощо) та блокування пристроїв.
7. Встановлення знаків безпеки.
8. Електрозахисні засоби;

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Засоби індивідуального захисту.

Для запобігання ураженню електричним струмом під час дотику до металевих нормально неструмовідних частин ЕУ, які можуть бути під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, застосовують окремо або в поєднанні такі види захисту:

1. Захисне заземлення.
2. Автоматичне вимкнення живлення.
3. Зрівнювання потенціалів.
4. Обладнання відповідного класу за електрозахистом.
5. Захисний електричний поділ кіл.
6. Ізольовальні (непровідні) приміщення, зони, майданчики.

6.2 Технічні рішення та організаційна заходи з гігієни праці та виробничої санітарії [10].

Робоче місце оператора знаходиться у відгородженому від котла приміщенні і представляє собою ПК з встановленим на ньому ПЗ для диспетчеризації. Щитове обладнання автоматики для керування системою знаходиться в цій же кімнаті.

Робоче місце виконане з урахуванням вимог технічної естетики, ергономіки, антропометричних даних людини (розміри, форма тіла, сила і напруга руху рук і ніг, зору, слуху). Підлога в приміщенні диспетчерської неелектропровідна (вкрита шаром гетерогенного лінолеуму товщиною 0,8 мм). Стіни та стелі приміщення були пофарбовані силікатною фарбою, причому колір стелі та підлоги, шафи, пультів та допоміжного обладнання гармонічно поєднується з коліром стін.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2.1 Мікроклімат робочої зони

Відповідно до його параметрів, що нормуються ДСН 3.3.6.042-99 (санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень) в залежності від складності робіт та періоду року. Основними показниками повітря в робочій зоні приміщень є: температура, вологість і рухливість повітря. В таблиці 6.1 наведені параметри мікроклімату.

Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату в диспетчерській кімнаті

Період Року	Оптимальні			Допустимі		
	t °C	W, %	V, м/с	t °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-24	40-60	0,2	21-28	до 75	0,3
Холодний	21-23	40-60	0,1	20-24	до 75	0,2

Для захисту оператора від дії високих, а також і низьких температур, передбачаються спеціальні будівельні заходи, а також обігрів, вентиляція приміщення та ін. Однак необхідно в усіх випадках старатися наблизитися до повної ізоляції оператора від впливу високих і низьких температур.

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату приміщення повинні бути обладнані системами опалення, кондиціонування повітря або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до вимог ДБН В.2.5 – 67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування»; необхідно передбачати установки або прилади зволоження та/або штучної іонізації, кондиціонування повітря.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³. У приміщенні оператора присутня незначна іонізація повітря, що відповідає санітарно-гігієнічним

нормам, тому передбачено індивідуальне кондиціонування повітря. Крім того, приміщення провітрюється за допомогою кватирок, робляться перерви в роботі монітора. Оптимальна кількість позитивних іонів 3000–5000. Допустима кількість позитивних іонів 400–50000, а негативних 600–50000.

6.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до даного проекту в приміщенні котла присутнє природне освітлення, якого достатньо в світлу пору дня. Природне освітлення нормується коефіцієнтом природного освітлення (КПО) — відношенням природної освітленості всередині виробничого приміщення до одночасно виміряного значення зовнішньої природної освітленості, створеної світлом всього небосхилу.

Фактичне значення К. П. О. (е) залежить від розмірів віконних прорізів та віддалення точки виміру від віконних прорізів. Необхідне по значенню коефіцієнту природного освітлення залежить від розряду робіт, поясу світового клімату, системи природного освітлення (при боковому освітленні нормується $e_{\min} = 3,5-0,1$). Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Розрахунки КПО проводяться відповідно до ДБН В.2.5-28-2006. У кімнаті оператора використовується загальне штучне рівномірне робоче освітлення. Для вечірньої пори дня у приміщенні, де розташований котел, також передбачено штучне освітлення із використанням люмінесцентних джерел освітлення зі спектром ламп білого світла.

6.2.4 Виробничий шум і вібрації

У операторському приміщенні шум непостійний, тому в якості нормованого параметру використовується еквівалентний рівень звуку.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Головне джерело шуму – це швидкий рух води та пари в котлоагрегаті. Для боротьби із шумом передбачене поліпшення режиму роботи й експлуатації устаткування, центрування й балансування механізмів. Реальний еквівалентний рівень звуку складає 50 дБА.

Оператор на робочому місці піддається незначним вібраціям, рівень загальної вібрації не перевищує припустимого рівня вібрації на робочому місці згідно, амплітуда вібрації менш 0,009 мм у діапазоні частот від 15 Гц до 200 Гц. Для зменшення дії вібрацій проєктом передбачено:

1. Контроль за експлуатацією, монтажем, ремонтом обладнання.
2. Виконання правил технічної експлуатації.
3. Впровадження нових технологій і засобів автоматизації.

6.3 Пожежна безпека та профілактика

Виникнення пожежі можливе при наявності 3 факторів: присутність горючої речовини, окислювача і джерела запалювання. Для запобігання пожежі прийняті наступні заходи [11]:

1. Вся електроапаратура споряджена системою захисту від струмів короткого замикання, перевантажень та дугових замикань.
2. Для електропроводок систем автоматизації застосовуються ізольовані проводи і кабелі як з алюмінієвими жилами, так і мідними.
3. Перетин проводів і кабелів вибирається по допустимих струмових навантаженнях, втратам напруги і механічній міцності.
4. Контроль якості приєднання проводів до приладів, апаратів, зажимів, а також з'єднання провідників між собою, що суттєво впливає на стан пожежної безпеки.
5. Контроль обладнання та постійний моніторинг показань датчиків тиску, температури тощо.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також в якості організаційних заходів в диспетчерській та біля котла на дверях вивішується план евакуації персоналу і правила пожежної безпеки.

Технічні рішення системи протипожежного захисту спрямовані на обмеження поширення пожежі, захист людей і матеріальних цінностей. Приміщення, згідно вимог [ДСТУ 3675-98], обладнане первинними засобами пожежогасіння (вогнегасник ОП - порошковий). При пожежі в електроустановках, що знаходяться під напругою, рекомендується застосовувати порошки типу СИ, що являють собою зерна силікагелю, насичені галоїдвуглецевими рідинами. Також використовується стаціонарна установка порошкова з автоматичним пускачем, приєднана до щитової шафи. Можуть бути застосовані і вуглекислотні вогнегасники типу ОУ-8, які теж призначені для гасіння пожежі, що виникла в електроустановках, що знаходяться під напругою – клас пожежі «Е» (тривалість випуску заряду близько 15 с, довжина струменя 4 м, дозволяють вести гасіння без відключення установки).

В наявності пожежний зв'язок і автоматична пожежна сигналізація, які виконані відповідно до вимог ДБНВ [2.5-56-2014], та сповіщають про виникнення пожежі і забезпечують можливість оперативного керування пожежними командами під час пожежі.

Автоматична пожежна сигналізація складається із сповіщувачів (димові і теплові), встановлених у робочих приміщеннях і підключених до прийомної станції з живленням від мережі змінного струму 220 В. У випадку виникнення пожежі за допомогою світлових і звукових сигналів ведеться повідомлення обслуговуючого персоналу і пожежної команди.

Передбачений також протипожежний водопровід. Споруджено протипожежні стіни з неспалюваних матеріалів (червона цегла, залізобетон) з межею вогнестійкості 4 години.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передбачено можливість негайного відключення системи керування котлом при виникненні пожежі.

Таким чином, можна зробити висновки, що вимоги охорони праці при експлуатації засобів автоматизації, технологічного обладнання і засобів обчислювальної техніки як у котловому приміщенні, так і в операторській відповідають діючим нормам.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

Для аналізу складемо кошторис вартості обладнання, наведений у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Кошторис вартості обладнання

№	Назва приладу	Одиниці вимірювання	К-сть	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
1	ПЛК Unitronics Unistream US5-B5-TA30	шт.	1	40011.29	40011.29
2	ПЛК Unitronics Unistream Модуль розширення аналогового введення сигналів UIA-0800N	шт.	1	8499.42	8499.42
3	Блок живлення Siemens Sitop PSU100L U _{жив} = 24В	шт.	1	2898.08	2898.08
4	Вимикач автоматичний Schneider Electric RESI9, In = 16А, к-ть полюсів - 1	шт.	1	125.05	125.05
5	Диференційний автомат Schneider Electric Acti9, In = 16А, 1P + N	шт.	1	1831	1831
6	Стабілітрон Semtech 1N4739A, U = 9.1В	шт.	20	0.8	16
7	Перетворювач температури ТХАУ Emerson 271 К	шт.	3	4668.56	14005.68
8	Датчик тиску Emerson 150 CG	шт.	2	12825	25650
9	Датчик тиску Emerson 150 TG3	шт.	2	9975	19950
10	Вихровий витратомір для газів Emerson 8800DF DY100	шт.	1	47200	47200
11	Вихровий витратомір для води Emerson 8800DF DY40	шт.	1	42500	42500

Кінець таблиці 7.1

№	Назва приладу	Одиниці вимірювання	К-сть	Вартість одиниці, грн.	Загальна вартість, грн.
12	Датчик гідростатичного тиску Emerson 150 L	шт.	1	16330	16330
13	Посудина зрівнювальна СУ - 16	шт.	1	650	650
14	Двоходовий прямохідний клапан Belimo H625S	шт.	2	14827.95	29655.9
15	Світлодіодний індикатор Electro AD22, колір - червоний, $U_{\text{жив}} = 24\text{В}$	шт.	4	34.97	139.88
16	Короб пластиковий порфорований E.Next s13033003, 20x20мм., 2м.	м.	4	65.96	131.92
17	DIN-рейка Chint Glocale TH35-7.5, 35 мм., 1000мм.	шт.	2	75.69	151.38
18	Клема силова Enext p049006	шт.	4	42.19	168.76
19	Клема несилова Enext p050001	шт.	27	24.72	667.44
20	Шафа ЩШП Hoffman 12108630P, 800x600x300	шт.	1	6312.88	6312.88
21	Електричний ВМ Belimo LR24A, $U_{\text{жив}} = 24\text{В}$	шт.	2	6498.90	12997.8
22	Кабель силовий ВВГ 33 ЦМ, 3x1.5	м.	30	30.43	912.9
23	Кабель контрольний ВВГ 33 ЦМ, 2x1.5	м.	250	20.56	5140
24	Кабель контрольний КВВГ 33 ЦМ, 3x1	м.	30	24.27	728.1
25	Кабель контрольний КВВГ 33 ЦМ, 4x1	м.	30	32.08	962.4
26	Провід контрольний ПВ3 1.5	м.	15	6.99	104.85
27	Провід живлення ПВ3 2.5	м.	5	11.41	57.05
28	Гофротруба 91920 ДКС, 20мм	м.	100	11.59	1159
29	Маркування для проводів УМК02-02-09, САВ-3, 0-9	шт.	200	230	460

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Далі врахуємо інші витрати, дані наведені у таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Загальна вартість кошторису

	Загальна вартість, грн.	
	Обладнання	Монтажних робіт
Усього	278416.78	41762.52
Транспортні витрати	2000	
Комплектація обладнання	2784.17	
Заготівельно-складські витрати	3341.01	
Тара та упакування	5568.34	
Планові накопичення		6264.38
Непередбачені витрати	27841.68	4176.26
Усього по кошторису	319951.98	52203.16
Ліцензії	20000	
Загальна вартість, V_3	392155.14	

Розрахуємо додаткові витрати на обслуговування системи [12]:

$$V_{ABT} = V_E + V_A + V_P + V_3$$

Додаткові витрати на електроенергію:

$$V_E = C_E \cdot N \cdot T = 2.64 \cdot 10 \cdot 3084 = 81417.6 \text{ грн/рік}$$

де C_E – тариф на електроенергію. З 01.06.2023 ціна 2.64 грн/кВт·год;

N – сумарна потужність приладів (для всієї системи $N = 10$ кВт);

T – час роботи системи за рік (для всієї системи $T_{оп} = 3084$ год/рік).

Амортизаційні відрахування:

$$B_A = 0.05 \cdot B_3 = 0.05 \cdot 392155.14 = 19607.76 \text{ грн/рік}$$

Витрати на ремонт та обслуговування:

$$B_P = 0.08 \cdot B_3 = 0.08 \cdot 392155.14 = 31372.42 \text{ грн/рік}$$

Витрати на заробітну плату:

$$B_3 = n \cdot T \cdot ЗП = 2 \cdot 12 \cdot 5000 = 120000 \text{ грн/рік}$$

де n – кількість робітників ($n = 2$ чол.);

T – час роботи в місяцях (12 місяців);

$ЗП$ – заробітна плата робітника (5000 грн/міс - надбавка працівникам, які працюють на заводі, щоб слідували за системою).

Таким чином:

$$B_{ABT} = 81417.6 + 19607.76 + 31372.42 + 120000 = 252397.78 \text{ грн/рік}$$

Економія від експлуатаційних витрат:

$$U = E_K - B_{ABT} = 400000 - 252397.78 = 147602.22 \text{ грн/рік}$$

де E_K – економія від введення АСУ (воно залежить від скорочення 3 працівників з заробітною платою 10000 грн., це 360000 грн/рік; додатково є економія теплової енергії, тому в загальному візьмемо це значення рівне 400000 грн/рік)

Річний економічний ефект:

$$E_F = U - K_{ABT} \cdot B_3 = 147602.22 - 0.15 \cdot 392155.14 = 88778.95 \text{ грн}$$

де K_{ABT} – коефіцієнт ефективності.

Припустимо що термін окупності $T_{OK}^* = 7$ років.

Термін окупності:

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{OK} = \frac{B_3}{E_\phi} = \frac{392155.14}{88778.95} = 4.42 \approx 4 \text{ роки } 6 \text{ місяців}$$

$T_{OK} < T_{OK}^*$, тому спрваджена система є доречною, адже відносно за невеликий період окуповуються капіталовкладення, хоча система орієнтована на більш ефективне використання енергоресурсів.

АСУТП приносить 147602.22 грн. на рік, і додатково 88778.95 грн. Це демонструє економічну доцільність застосування системи.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Виконуючи дипломний проєкт бакалавра було досягнуто його мети, а саме розроблено автоматизовану систему управління технологічними процесами барабанного котла-утилізатора.

Спочатку досліджено загальний принцип його роботи. На основі аналізу різних типів було вибрано оптимальну модель для малої енергетики.

Після проаналізовано які параметри потрібно регулювати, щоб забезпечити максимально ефективну роботу об'єкту, і як саме. Тому до складу прийнятої структури автоматизованої системи керування котлом-утилізатором входять: керування температурою вихідної пари шляхом підмішуванням води; керування рівнем води в барабані шляхом зміни витрати живильної води. Також написано параметри та функції.

На базі цієї інформації було розроблено схему автоматизації функціональну, електричну та інші. Для цього підібрано датчики вимірювання та виконавчі механізми.

Далі проведено інженерний розрахунок вимірювальних каналів та регульовально-виконавчих каналів.

Знайшовши передавальну функцію для контуру регулювання температури вихідної пари для об'єкта з такою ж потужністю, було розраховано систему автоматичного регулювання двома методами: РАФХ та експрес. Останній показав якісніші результати для ПІ-регулятора. Також після досліджень було зроблено висновки про малочутливість САР.

У середовищі CODESYS було запрограмовано логіку роботи ПЛК, який приймає уніфікований сигнал, конвертує його в робочий та перевіряє на помилку датчика і вихід за робочий діапазон. Для режимного параметру реалізовано регулятор, вихідний сигнал якого іде на виконавчий механізм, тут також відбувається конвертування в робочий діапазон.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У WebStudio розроблено мнемосхему, аларми та тренди, щоб оператору було зручно слідкувати за технологічним процесом.

Додатково у Matlab Simulink розроблено модель, та за допомогою OPC серверу, поєднано три середовища для моделювання процесу стабілізації температури вихідної пари. Це імітаційна частина проєкту, бо у реаліях об'єктом є котел.

Також написано охорону праці, а саме захисні та попереджувальні моменти для збереження життя людини. І розраховано техніко економічну ефективність, в ході якої з'ясовано, що АСУТП приносить 147602.22 грн. на рік, додатково 88778.95 грн. і термін окупності капіталовкладень 4 роки 6 місяців

Проект може бути тиражований для аналогічного ТОУ. За рахунок використання сучасних технологій автоматизації можна швидко, економічно та ефективно модернізувати подібні ТОУ.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє : в 5-ти кн. / Автор ідеї Світлана Григорівна Плачкова; Вступ. сл. І. В. Плачков. – К. : 2013.
2. Промислові засоби автоматизації : навч. посібник. Ч. 1. Вимірювальні пристрої / А. К. Бабіченко [та ін.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків: НТУ "ХПІ", 2001. – 470 с.
3. Теплотехніка Б. Х. Драганов, А. А. Долінський, А. В. Міщенко, Є. М. Письменний; За ред. Б. Х. Драганова. – К.: ТОВ «Астра Пол», 2005. – 503 с.
4. Енергетичні установки. Загальний курс: Навчальний посібник В. А. Маляренко. – 2-е видання Х: «Видавництво САГА», 2008. – 320 с.
5. Федішин Б. П. Економіка енергетики. – Тернопіль, 2003. – 182 с.
6. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування / Барало О. В., Самойленко П. Г., Гранат С. Є., Ковальов В. О. - К.: Аграрна освіта, 2010. - 557 с.
7. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.
8. ДСТУ EN 61140:2015 Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання.
9. ДСТУ 7237:2011 Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту.
10. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

11. Про затвердження правил пожежної безпеки в Україні: наказ Міністерства внутрішніх справ України від 31.07.2017. № 657. Відомості Верховної Ради України 2017. – 235с.

12. Іщук С. І. Техніко-економічні основи промислового виробництва / С. І. Іщук, О. В. Гладкий. – Київ: Академія, 2011. – 296 с.

					ТА-92421.0003.001.АТХ.П	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		