

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»  
Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)  
Електротехнічний факультет  
(факультет)  
Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

здобувача вищої освіти Карпова Олександра Володимировича  
(П.І.Б.)

академічної групи 151-18ск-1

(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему “Система автоматизованого керування процесом деаерації води при хімводопідготовці для парокотельних установок”

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	ст.викл, Козарь М.В.			
Провідний консультант	ст.викл. Козарь М.В.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	ст.викл. Козарь М.В.			
Визначення моделі об'єкта керування	ст.викл. Бойко О.О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро  
2021

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувачем кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем  
(повна назва)

\_\_\_\_\_ **Ткачовим В.В.**  
(підпис) (прізвище, ініціали)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавра**

здобувача вищої освіти Карпов О.В. \_\_\_\_\_ академічної групи 151-18ск-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
\_\_\_\_\_ (офіційна назва)

на тему "Система автоматизованого керування процесом деаерації води при хімводопідготовці для парокотельних установок",

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.04.2021 № 201-С.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	03.05.2021
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	12.05.2021
Визначення моделі об'єкта керування	Розробка методики дослідження об'єкта керування. Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	18.05.2021
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільність витрат на створення системи керування.	24.05.2021
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	28.05.2021

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_ (підпис п.конс.)

**ст.викл. Козарь М.В.**  
(прізвище, ініціали)

**Дата видачі** 19.04.2021

**Дата подання до атестаційної комісії** 08.06.2021

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_ (підпис здобувача)

**Карпов О.В.**  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 54 стор., 28 рис., 25 джерел.

Предмет дослідження: процес підтримки рівня в баку деаератора.

Об'єкт дослідження: система автоматизованого керування рівнем води в баку деаератора.

Мета проекту: отримання моделі об'єкта керування.

Основними методами дослідження використаними для досягнення поставленої мети були: аналіз літературних джерел, декомпозиція, імітаційне моделювання, теорія автоматичного керування.

В роботі проаналізована технологічний процес, структура об'єкта керування та вимоги до його функціонування. На підставі чого сформовані вимоги до системи керування.

Розроблено та розглянуто функціонально та принципову електричну схеми для контролю рівня в баку деаератора. Обрано та описано датчики, виконавчі пристрої та пристрій контролю зі списком модулів входу виходу.

На підставі аналізу технологічного процесу запропоновані аналітичні моделі засувки та деаератора за якими в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB розроблено модель системи керування засувкою, частотним перетворювачем та модель деаератора..

Проведено економічний розрахунок доцільності автоматизації процесу контролю рівня в баку деаератора. Та проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів пов'язаних з роботою у цеху ХВО, та інженерно-технічні заходи що до їх усунення чи зменшення їх впливу на працівників.

ХІМВОДОПІДГОТОВКА ВОДИ, ДЕАЕРАЦІЯ, АТМОСФЕРНИЙ  
ДЕАЕРАТОР, ВИЛУЧЕННЯ РОЗЧИНЕНОГО ПОВІТРЯ, ЗАСУВКА,  
СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, БЕЗПЕРЕРВНИЙ ОБ'ЄКТ.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Стан питання та постановка завдання.....	7
1.1 Галузь промисловості .....	7
1.2 Технологічний процес .....	9
1.3 Об'єкт керування.....	12
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування .....	12
1.3.2 Структура об'єкта керування.....	14
1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування .....	16
1.4 Висновки по розділу .....	17
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування .....	18
2.1 Розробка структурної схеми системи керування .....	18
2.2 Вибір апаратного забезпечення системи керування .....	19
2.2.1 Вибір датчиків .....	19
2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв .....	22
2.2.3 Вибір пристроїв управління .....	24
2.2.4 Вибір пультів оператора .....	26
2.2.5 Вибір джерел живлення .....	27
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації .....	28
2.4 Розробка схеми електричної принципової .....	29
2.5 Висновки до розділу .....	30
3 Визначення моделі об'єкта керування.....	31
3.1 Модель системи керування засувкою.....	31
3.2 Модель системи керуванням насосом .....	32
3.3 Модель деаератора .....	33
3.4 Модель об'єкта керування.....	35
3.5 Висновки по розділу .....	36
4 Економічна частина .....	37
4.1 Обґрунтування доцільності автоматизації процесу контролю рівня в баку деаератора .....	37

4.2 Розрахунок капітальних витрат для автоматизації процесу контролю рівня в баку деаератора .....	38
4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат для автоматизації процесу контролю рівня в баку деаератора .....	39
4.4 Висновки по розділу .....	43
5 Охорона праці .....	44
5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників .....	44
5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці .....	44
5.3 Пожежна профілактика .....	49
5.4 Висновки до розділу .....	50
Висновки .....	51
Перелік посилань .....	52
Додаток А .....	55

## ВСТУП

В ході виробничих процесів неодноразово виникає необхідність нагріву води, або і зовсім, перетворення її в пару. Але звичайна вода "з-під крану" не може бути використана по причині високого вмісту солей жорсткості, а також розчиненого повітря.

Надлишковий вміст солей жорсткості може привести до утворення накипу. А розчинений повітря може привести до утворення повітряних пробок, також кисень, що знаходиться в повітрі збільшить швидкість утворення іржі.

Для очищення води від солей жорсткості і повітря, проводиться процес хімводопідготовки. Який полягає в очищенні води від дрібнодисперсних часток важких металів, та в заміні солей жорсткості на більш розчинні речовини в натрій-катионітових фільтрах, а також позбавлення від розчинених газів шляхом пропускання через воду перегрітої пари в деаератори.

Автоматизація процесу хімводопідготовки дозволяє збільшити ефективність роботи, на увазі більш тонкого контролю технологічних параметрів. Зокрема в результаті автоматизації роботи деаератора покращується стабільність його роботи, та підвищується строк експлуатації за рахунок зменшення утворення іржі у самому деаераторі та в підключених до нього трубах.

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Галузь промисловості

Процес водопідготовки використовуються для потреб комунального господарства, та практично у всіх галузях промисловості. Де основним і самим вимогливим споживачем є парокотельні установки.

За посиланням [1] в даний час усе котельне господарство України можна розділити на три категорії: котли малої, середньої потужності, котли промислових підприємств і енергетичні котлоагрегати.

Чавунні і сталеві секційні котли малої потужності встановлюються в основному в опалювальних котельнях для автономного обслуговування одного або декількох невеликих будинків, а також шкіл, лікарень, військових гарнізонів і т.п. У табл. 1.1 приведена номенклатура котлів які знаходяться в експлуатації малої потужності.

Таблиця. 1.1 – Номенклатура котлів малої потужності

Типи котлів	Загальна кількість
НИИСТУ-5	16395 (39,3%)
«Універсал»	3587 (8,6%)
Різні	21761 (52,1%)
Усього	41743 (100%)

Котли середньої потужності є в основному котли типів ТВГ, КВГ, ДКВР і їх модифікації. У табл. 1.2 приведено стан котельного парку України середньої потужності. Вони застосовуються як для виробничих потреб, так і в комунальному господарстві, в харчовій і будівельній промисловості, при нафто і газовидобутку, в сільському господарстві і т.д.

Таблиця. 1.2 – Номенклатура котлів середньої потужності

Тип котлів	Загальна кількість
ТВГ	11568 (32,4%)
КВГ	801 (16,5%)
ДКВР	1364 (28,2%)
Різні	1109 (22,9%)
Усього	4842(100%)

У теплоенергетиці України в даний час налічується 104 енергоблоки електричною потужністю понад 100 МВт, з них 91 - на твердому паливі. Кількість і тип котельних установок на електростанціях України наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика котлоагрегатів найбільших ТЕС України

ТЕС	Потужність, МВт	Тип котла	Паро-продуктивність, т/ч
Старобешівська	9x175	ТП-100	640
	1x210	ЦКС-210	670
Курахівська	6x210	ТП-109	640
	1x200	ТП-109	640
Луганська	8x175	ТП-100	640
Зуївська	4x300	ТПП-312А	950
Слов'янська	1x720	ТПП-200-1	2550
Запорізька	4x300	ТПП-312А	950
	3x800	ТГМП-204	2550
Криворізька	6x282	ТПП-210А	475x2
	4x282	П-50	475x2
Придніпровська	2x285	ТПП-210	475x2
	2x285	ТПП-110	950
	4x150	ТП-90	500
Бурштинська	8x195	ТП-100А	640
	4x185	ТП-100	640
Ладизинська	6x300	ТПП-312	950
Добротвірська	2x150	ТП-92	500
Вуглегірська	4x300	ТПП-312А	950
	3x800	ТГМП-204	2550
Зміївська	4x275	ТПП-210А	475x2
	6x175	ТП-100	640
Трипільська	4x300	ТПП-210А	475x2
	2x300	ТГМП-314	950
Київська ТЕЦ-6	3x250	ТГМП-344А	950
Київська ТЕЦ-5	2x250	ТГМП-314А	950
Харківська ТЕЦ-5	1x250	ТГМП-344А	950



## 1.2 Технологічний процес

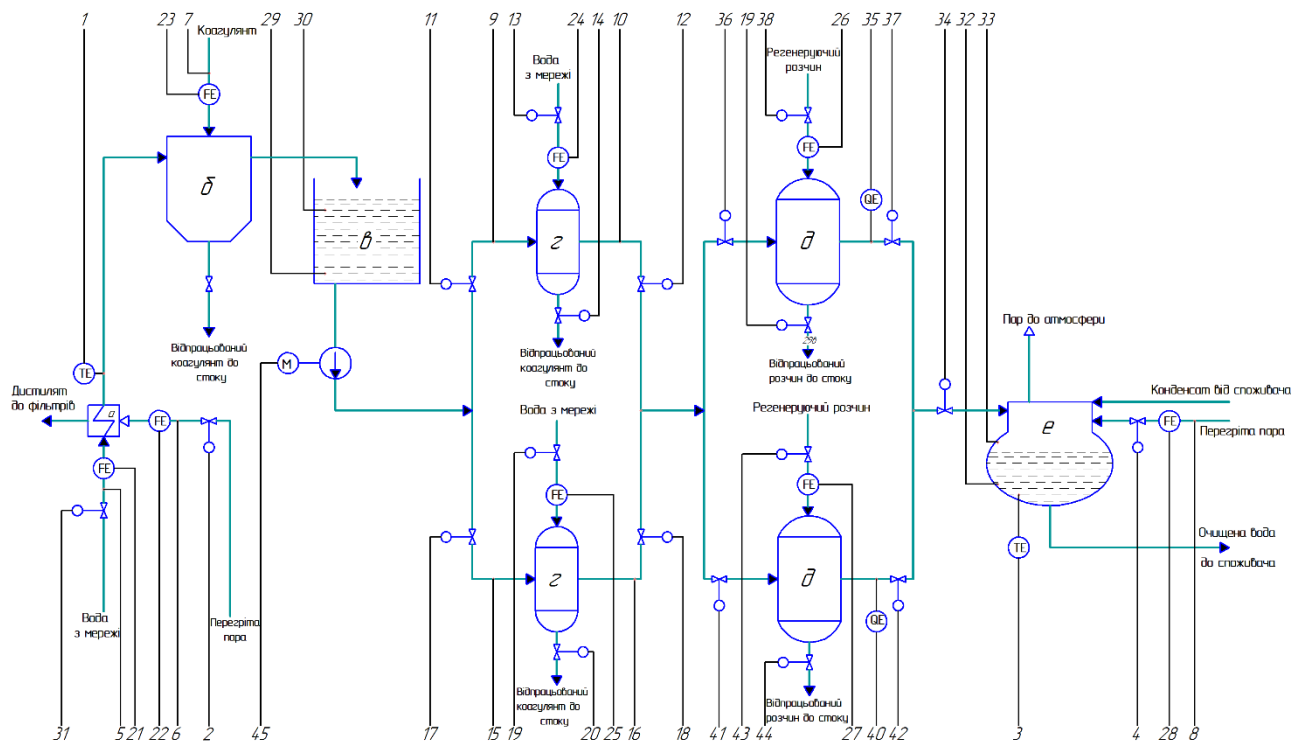
Об'єкт хіміводопідготовки складається з: підігрівача вхідної води, освітлювача, накопичувального баку, двох механічних фільтрів, двох натрій-катіонітових фільтрів та атмосферного деаератора.

Вода мережевого водопроводу підігрівається в теплообміннику вихідної води до температури 25-35°C, а потім надходить на освітлювач. В ньому вода змішується з коагулянтном, що приводить до утворення пластівців, що осідають вниз і захоплюють за собою грубодисперсні домішки.

Пройшовши освітлювач, вода поступає у накопичувальний бак. Від нього вода подається до механічних фільтрів, де вода очищується від дисперсних домішок які не випали в осад. Так як фільтр має властивість забиватися, періодично його необхідно промивати. Тому змонтовано 2 механічні фільтра. В той час як один фільтр знаходиться на промивці його функцію на себе бере другий фільтр.

Вода після механічних фільтрів подається до натрій-катіонітових фільтрів, де вода очищується від розчинених солей жорсткості. Так як катіоніт в фільтрі має властивість зношуватися, періодично його необхідно переводити на регенерацію. Тому змонтовано 2 натрій-катіонітових фільтра. В той час як один фільтр знаходиться на регенерації його функцію на себе бере другий фільтр.

Далі вода подається в деаератор де нагрівається до температури насичення та очищується від розчинених в воді газів, звідки за допомогою живильних насосів подається до споживача.



а – теплообмінник; б – освітлювач; в – накопичувальний бак; г – механічні фільтри; д – натрій-катіонітові фільтри; е – деаератор;

1 – температура після теплообмінника, 2 – подача перегрітої пари до теплообмінника; 3 – температура в деаераторі; 4 – подача перегрітої пари до деаератора; 5 – тиск питомої води; 6 – тиск перегрітої пари перед теплообмінником; 7 – тиск коагулянту; 8 – тиск перегрітої пари перед деаератором; 9-10, 15-16 – контроль тиску перед та після механічних фільтрів; 11-12, 17-18 – подача води з коагулянт до механічних фільтрів; 13-14, 19-20 – подача води для промивки механічних фільтрів; 21 – витрата питомої води; 22 – витрата перегрітої пари перед теплообмінником; 23 – витрата коагулянту; 24, 25 – витрата регенеруючого розчину; 26-27 – витрата води для промивки механічних фільтрів; 28 – витрата перегрітої пари перед деаератором; 29-30 – рівень в накопичувальному баку; 31 – подача питомої води; 32-33 – рівень в баку деаератора; 34 – подача питомої води до деаератору; 35, 40 – контроль стану катіоніта в фільтрах; 36-37, 41-42 – подача води до натрій-катіонітових фільтрів; 38-39, 43-44 – подача регенеруючого розчину до натрій-катіонітових фільтрів. 45 – насос від накопичувального баку

Рисунок 1.1 - Схема технологічного процесу хімводопідготовки

Якість роботи процесу хімводопідготовки залежить від наступних параметрів:

- витрат та якості неочищеної води, розчину для регенерації, конденсату, коагулянту;
- витрат та температури перегрітої пари на підігрів води в теплообміннику;
- витрат, температури та якості пари при очищенні води в деаeratorі;
- часу та якості очищення в механічному фільтрі;
- часу та якості очищення в натрій-катіонітових фільтрах;
- часу та якості очищення в деаeratorі;
- зносу катіоніта в натрій-катіонітових фільтрах;
- ступінь забиття механічного фільтра;
- рівень в накопичувальному баці та деаeratorі;
- внутрішнього стану об'єкту;

З цих пунктів система автоматичного регулювання (рис. 1.1) дозволяє контролювати:

- витрату неочищеної води, розчину для регенерації, конденсатів та коагулянту;
- витрату перегрітої пари на нагрів води в теплообміннику;
- витрату перегрітої пари на очищення води в деаeratorі
- знос катіоніта в натрій-катіонітових фільтрах;
- ступінь забиття механічного фільтра;
- рівень в накопичувальному баку та деаeratorі;

При регулюванні температури в теплообміннику регулюючий вплив вноситься подачею перегрітої пари в теплообмінник.

При регулюванні температури в деаeratorі регулюючий вплив вноситься подачею пари в деаerator.

При регулюванні витрат неочищеної води, розчину для регенерації та холодних конденсатів регулюючий вплив вноситься зміною їх подачі за допомогою клапанів.

При регулюванні рівня в деаeratorі регулюючий вплив вноситься зміною

подачі неочищеної води в деаератор.

При регулюванні рівня в накопичувальному баці регулюючий вплив вноситься зміною подачі неочищеної води в теплообмінник.

При контролі зносу катіоніта регулюючий вплив вноситься подачею регенеруючого розчину.

При контролі забиття механічного фільтру регулюючий вплив вноситься подачею води для промивки фільтру.

Керування роботою освітлювача, механічних фільтрів, натрій-катіонітових фільтрів та деаераторів буде здійснюється за відповідною до технологічного регламенту.

### 1.3 Об'єкт керування

#### 1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Деаерація води в необхідна для захисту всієї водонагрівальної або парогенеруючої системи. При наявності шкідливих домішок, вчасності кисню, система буде отримувати пошкодження за рахунок корозії.

Газоподібні і природні домішки можуть викликати кавітацію насоса. А вона в свою чергу може привести до гідравлічних ударів і порушить роботу насосного режиму.

Виходячи з «посібника по експлуатації деаераторів атмосферного типу ДА»[2] деаератор має характеристики, які наведені в таблиці 1.4

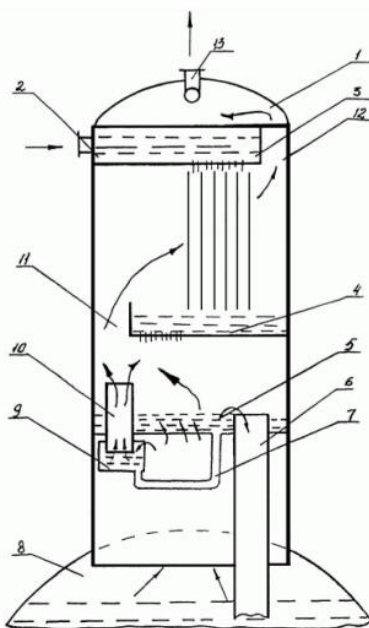
Таблиця 1.4 – Основні теоретичні характеристики атмосферного деаератора ДА-25/8

Номінальна продуктивність, т/год	25
Надлишковий робочий тиск, МПа	0,02
Температура деаерованої води, °С	104,25
Діапазон продуктивності, %	30-120
Діапазон продуктивності, т/год	7,5-30
Максимальний та мінімальний підігрів води в деаераторі, °С	50-10
Кількість розчиненого O <sub>2</sub> в питомій воді, мг/кг, не більше	20
Концентрація O <sub>2</sub> в деаерованої воді при його концентрації в питомій воді, C <sup>к</sup> O <sub>2</sub> , мкг/кг: - відповідно стану насичення:	30

## Продовження таблиці 1.4

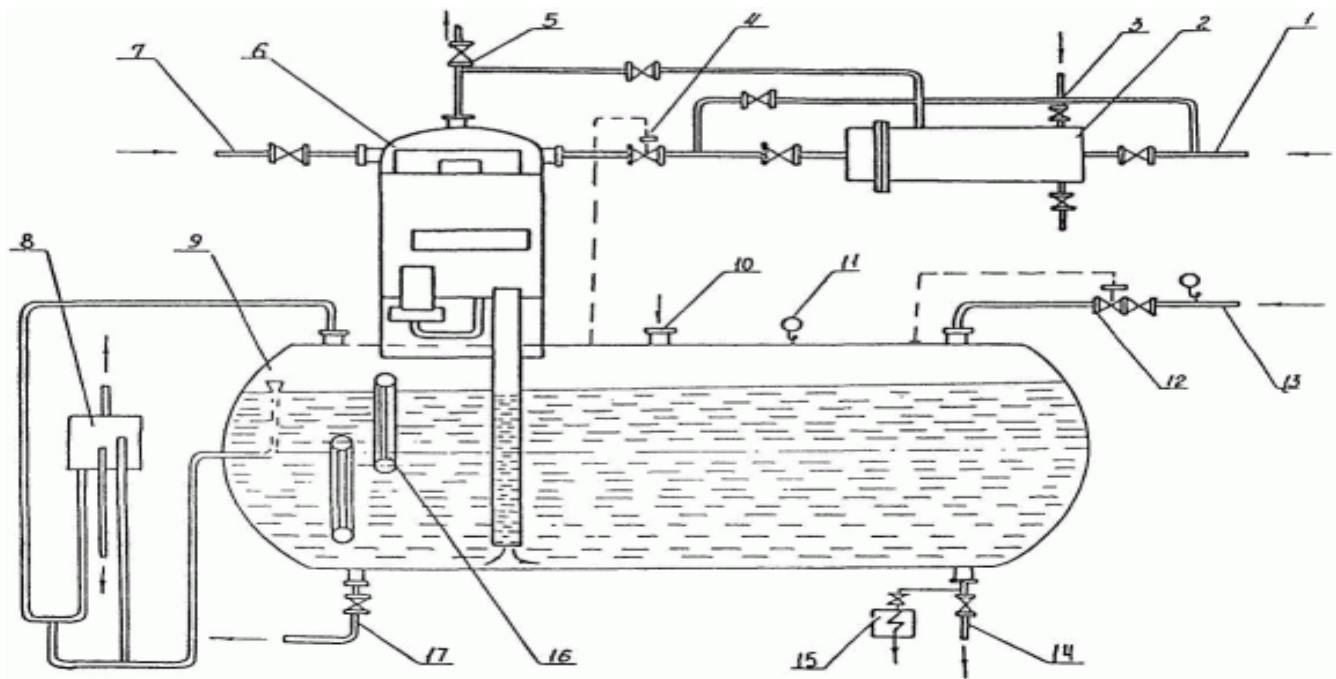
- не більше 3 мг/кг	20
Концентрація вільної вуглекислоти в питомій воді, $C^{CO_2}$ , мг/кг не більше	18
Концентрація вільної вуглекислоти в деаерованій воді, $C^{CO_2}$ , мкг/кг	сліди
Пробний гідравлічний тиск, МПа	0,294
Допустиме підвищення тиску при роботі захисного пристрою, МПа	0,166
Питома витрата випару при номінальному навантаженні, кг/т.в	2
Типовий розмір деаераційної колони: - діаметр, мм - висота, мм - маса, кг	518 2915 280
Корисна ємність акумуляторного бака, м <sup>3</sup>	8

Принципово деаератор складається з двох частин, за деаераційної колони (рисунок 1.2) привареного до акумуляторного баку (рисунок 1.3).



1 – деаераційна колонна; 2 – патрубки подачі води; 3 – верхня перфорована тарілка; 4 – перепускна тарілка; 5 – непровальний барботажний лист; 6 – зливна труба; 7 – труба заливки гідрозатвору; 8 – акумуляторний бак; 9 – гідрозатвор перепускного пристрою; 10 – пароперепускна труба; 11 – отвір між перфорованою та перепускною тарілками; 12 – зазор між верхньою перфорованою тарілкою; 13 – патрубок для виводу випару.

Рисунок 1.2 – Принципова схема деаераційної колони



1 – подача хімоводочищеної води; 2 – охолоджувач випару; 3, 5 – вихлоп в атмосферу; 4 – клапан регулювання рівня; 6 – деаераційна колона; 7 – подача основного конденсату; 8 – запобіжний пристрій; 9 – деаераційний бак; 10 – подача; 11 – подача гарячих конденсатів; 12 – клапан регулювання тиску; 13 – подача грюючого пару; 14 – відвід деаерованої води; 15 – охолоджувач проб води; 16 – показник рівня; 17 – дренаж;

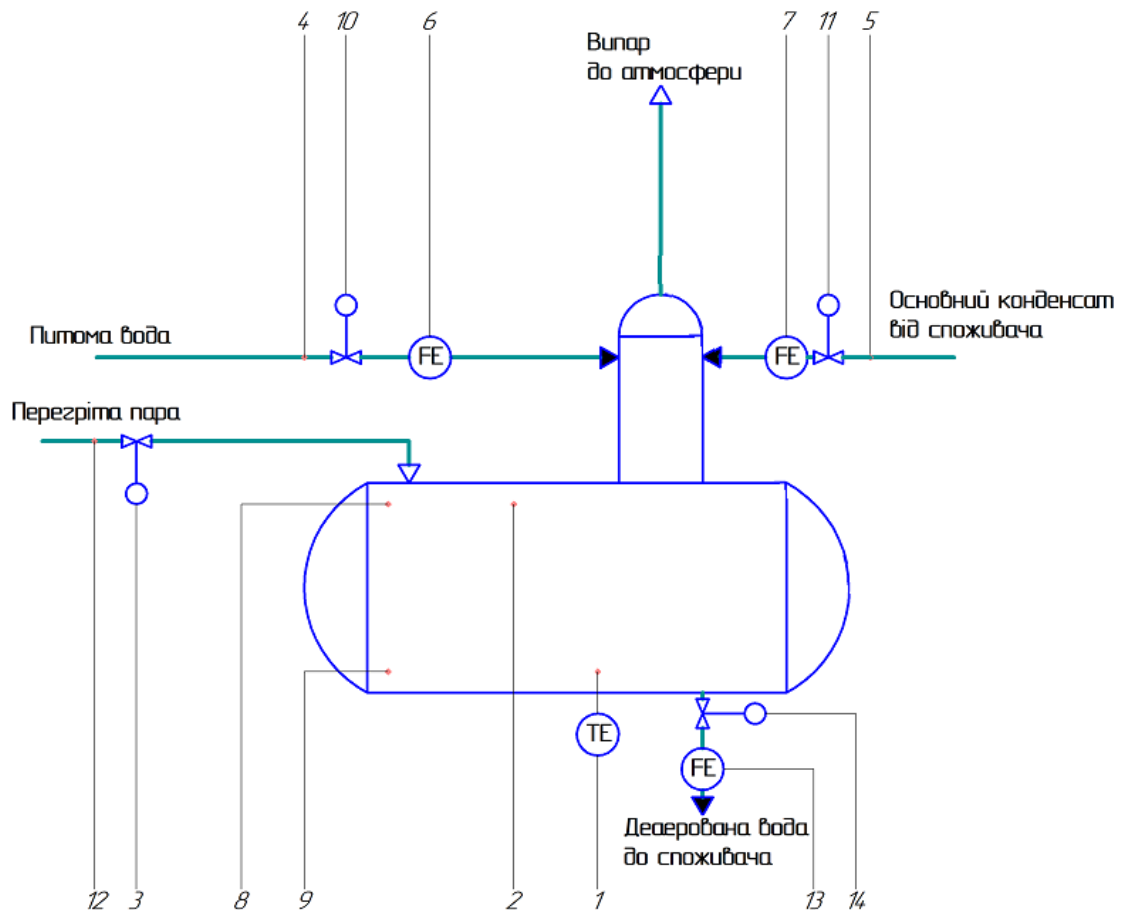
Рисунок 1.3 – Принципова схема деаератора

### 1.3.2 Структура об'єкта керування

На основі джерел [3] та [4, пункту 3.4.3] основними параметрами контролю в деаераторі є:

- тиск в баку деаератора;
- рівень в баку деаератора;
- температура води в баку деаератора;

Для контролю цих параметрів наведена наступна структура об'єкту кування (рисунок 1.4)



1 – температура води в баку; 2 – тиск в баку; 3 – подача перегрітої пари; 4 – тиск питомої води; 5 – тиск основного конденсату; 6 – витрата питомої води; 7 – витрата основного конденсату; 8-9 – рівень в деаераторі; 10 – подача питомої води; 11 – подача основного конденсату; 12 – тиск перегрітого пару; 13 – подача деаерованої води до споживача; 14 – витрата деаерованої води.

Рисунок 1.4 – Структурна схема об'єкта керування

При регулюванні тиску та температури в деаераторі регулюючий вплив вноситься за рахунок подачі пари в бак деаератора.

При регулюванні рівня в деаераторі регулюючий вплив вносимо зміною подачі питомої води та основного конденсату в колону деаератора.

У якості параметрів сигналізації використовуються:

- змінення температури води в деаераторі – так як це може призвести до порушення критерій управління;

- підвищення та зниження рівня води в деаераторі - бо це свідчить відповідно про переповнення або спустошення вказаного обладнання;

### 1.3.3 Принцип функціонування об'єкту управління

Вода, що підлягає деаерації, подається в колонку через штуцери. Тут вона послідовно проходить струминну і барботажну ступені, де здійснюється її нагрівання і обробка паром. З колонки вода струменями стікає в бак, після витримки в якому відводиться з деаератора через штуцер.

Основний пар подається в бак деаератора через штуцер, вентилює парової обсяг бака і надходить в колонку. Проходячи крізь отвори барботажної тарілки, пар піддає воду на ній інтенсивної обробці (здійснюється догрів води до температури насичення і видалення мікрокількості газів). При збільшенні теплового навантаження спрацьовує гідрозатвор пароперепускного пристрою, через яке пар пропускається в обвід барботажної тарілки. При зниженні теплового навантаження гідрозатвор заливається водою, припиняючи перепуск пари.

З барботажного листу пар направляється в струменевий лист. У струменях відбувається нагрів води до температури, близької до температури насичення, видалення основної маси газів і конденсація здебільшого пара. Частина, що залишилася парогазова суміш (випарується) відводиться з верхньої зони колонки через штуцер в охолоджувач випару або безпосередньо в атмосферу. Процес дегазації завершується в деаераторному баку, де відбувається виділення з води найдрібніших бульбашок газів за рахунок відстою. Частина пара може подаватися через штуцер в розміщене в водяному об'ємі бака барботажное пристрій, призначений для забезпечення надійної деаерації (особливо в разі використання води з низькою лужністю (0,2 ... 0,4 мг-екв / кг) і високим вмістом вільної вуглекислоти (більше 5 мг / кг) і при різко змінних навантаженнях деаератора.

Хімоочищена вода проходить всередині трубок і направляється в деаераційну колонку через штуцер. Парогазова суміш (випарується) надходить в міжтрубний простір, де пар з неї практично повністю конденсується. Решта газів відводяться в атмосферу, конденсат випару зливається в деаератор або дренажний бак.



Запобіжний пристрій підключається до деаераційного баку через штуцер переливу.

Запобіжний пристрій складається з двох гідрозатворів, один з яких захищає деаератор від перевищення допустимого тиску, а інший від небезпечного підвищення рівня, об'єднаних в загальну гідравлічну систему, і розширювального бака. Розширювальний бак служить для накопичення обсягу води (при спрацьовуванні пристрою), необхідного для автоматичної заливки пристрої (після усунення порушення в роботі установки), тобто робить пристрій самозаповнюючимся.

#### **1.4 Висновки по розділу**

За результатом аналізу деаератора як об'єкта автоматизації та об'єкта дослідження зроблено наступні висновки:

- об'єктом дослідження є процес контролю рівня води в баку деаератора;
- предметом дослідження є автоматизація процесу курування рівнем води в баку деаератора;
- метою дослідження є отримання моделі процесу зміни рівня води в баку при роботі деаератора;
- об'єктом керування є зміна рівня води в баку деаератора;
- вхідними параметрами є кількість основний конденсату від споживача та питомої води для компенсації втрат в системі. Витрати води споживачем, та витрати води на генерації пару для деаерації;
- вихідними параметрами об'єкту керування є рівень води в деаераторі;
- об'єкт керування у курсовому проєкті відноситься до класу неперервних об'єктів керування;
- для визначення моделі об'єкта керування будуть застосовані результати аналізу технологічного процесу та літературні джерела;
- для визначення моделі об'єкта керування буде застосоване графічне середовище медитаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми системи керування

Об'єктом керування є підтримка рівня води в баку деаератора. Це відбувається за допомогою засувки яка встановлена на подачі питомої води до деаератора. Вхідні сигнали йдуть в пристрій керування з датчиків, до яких належать: датчик температури в баку деаератора, датчики тиску в баку деаератора, перегрітого пару, питомої води, основного конденсату та деаерованої води, датчики витрати перегрітого пару, основного конденсату та деаерованої води, датчик рівня в баку деаератора. Вихідні сигнали йдуть з пристрою керування на виконавчі пристрої: засувки подачі перегрітого пару, питомої води та на частотний перетворювач насосу деаерованої води.

Інформація від пристрою керування передається на пульт диспетчера, та у зворотному порядку від диспетчера до пристрою керування за допомогою порту Ethernet. Загальна структурна схема зображена на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування

## 2.2 Вибір апаратного забезпечення системи керування

### 2.2.1 Вибір датчиків

Для контролю температури води в баку деаератора встановлено терморезистивний термометр. Температура води в баку деаератора становить в середньому 104°C. Для контролю було обрано дТС065-100М.В3.200 (рис. 2.2) з температурним діапазоном в -50...180 °С з похибкою в  $\pm 0,60$  °С. З поверненням уніфікованого аналогового сигналу в 4-20мА, з можливістю підключення його до пристрою керування за 3-х проводною схемою.



Рисунок 2.2 – Датчик термометру опору дТС065-100М.В3.200

Також в баку деаератора необхідно підтримувати надлишковий тиск у діапазоні 1.15 – 1.4 бар. Для контролю тиску в баку деаератора та у трубопроводах використовується було обрано датчик тиску TPGAA0701 (рис. 2.3) з діапазоном вимірювання в 0...2 бар з похибкою в  $\pm 0,5\%$  та уніфікованим сигналом в 4-20мА з підключенням до пристрою керування за 2-х проводною схемою.



Рисунок 2.3 – Датчик тиску TPGAA0701

При номінальній роботі деаератора витрачається в середньому 1.15 тони/год або 1500 м<sup>3</sup>/год перегрітого пару. Для контролю витрати перегрітого пару обрано вихровий витратомір OPTISWIRL 4070 (рис 2.4) з діапазоном вимірювання в 160-2100 м<sup>3</sup>/год з похибкою в  $\pm 1,0\%$  та уніфікованим сигналом в 4-20мА з підключенням до пристрою керування за 2-х проводною схемою.



Рисунок 2.4 – Датчик витрати перегрітого пару OPTISWIRL 4070

В системі деаератора присутні потоки питомої води, основного конденсату та деаерованої води. Деаератор має максимальну продуктивність в 30 м<sup>3</sup>/год, що відповідає максимальному потоку деаерованої води. Для контролю витрат води в трубопроводах обрано електромагнітний витратомір МПР-380 (рис 2.5) з діапазоном вимірювання в 0-60 м<sup>3</sup>/час з похибкою в  $\pm 0,5\%$  та уніфікованим сигналом в 4-20мА з підключенням до пристрою керування за 2-х або 3-х проводною схемою.



Рисунок 2.5 – Датчик витрати рідини МПР-380

Для контролю рівня в баку деаератора обрано ультразвуковий рівнемір EchoTREK (рис 2.6) з діапазоном вимірювання в 0,2 - 25м з похибкою в  $\pm 0,25\%$  та уніфікованим сигналом в 4-20мА з підключенням до пристрою керування за 2-х проводною схемою.



Рисунок 2.5 – Датчик рівня ультразвуковий EchoTREK

Технічні характеристики датчиків приведені на таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Загальні характеристики датчика

Назва параметру	Принцип дії	Тип сигналу	Діапазон зміння	Точність	Значення виходу	Напруга живлення	Потужність споживання
Температура	Термо-резистивний	Аналоговий	-50÷180°C	±0,60°C	4-20мА	24В	1.15Вт
Тиск	Тенза-резистивний	Аналоговий	0÷2 бар	±0,5%	4-20мА	24В	0.8Вт
Витрата пару	Вихровий	Аналоговий	160-2100 м <sup>3</sup> /час	±1,0%	4-20мА	24В	4.6Вт
Витрата води	Електро-магнітний	Аналоговий	0-60 м <sup>3</sup> /час	±0,5%	4-20мА	24В	1,26Вт
Рівень води	Ультразвуковий	Аналоговий	0,2 - 25м	±0,25%	4-20мА	24В	1Вт

### 2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

Для контролю подачі води та перегрітого пару використовується засувка. В якості засувки здатної для роботи як і з водою так і з перегрітим паром було обрано клапан VVG41 (рис 2.6) з приводом SQX82 (рис 2.7)



Рисунок 2.6 – VVG41 SIEMENS клапан регулюючий муфтовий



Рисунок 2.7 – SQX32.03 SIEMENS привід електричний лінійний

Для подача деаерованної води до споживача використовується циркуляційний насос SPRUT 3VP-DN40H (рис 2.8) на 29 м<sup>3</sup>/год з 3-х фазним асинхронним двигуном на 3кВт.



Рисунок 2.8 – Циркуляційний насос SPRUT 3VP-DN40H

Для управління асинхронним двигуном з короткозамкнутим ротором використовується частотний перетворювач VFC3610 (рис 2.9) з управляючим сигналом в 4-20мА



Рисунок 2.9 – Циркуляційний насос SPRUT 3VP-DN40H

Технічні характеристики виконавчих пристроїв приведені на таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Загальні характеристики виконавчих пристроїв.

Назва параметру	Тип	Напруга живлення	Потужність споживання
Привід засувки	трьохпозиційний	230 В	6.5 Вт
Вхід частотного перетворювача	Аналоговий	24 В	0.3 Вт

### 2.2.3 Вибір пристроїв управління

В якості пристрою керування використовуємо програмований логічний контролер VIPA 200V 214-2BE03 (рис 2.10). Даний контролер забезпечує достатню швидкодію, має вбудований порт Ethernet, та підтримку до 32 модулів розширення.



Рисунок 2.10 – Програмований логічний контролер VIPA 200V 214-2BE03

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики контролера VIPA 200V 214-2BE03

Найменування параметра	Значення
Напруга живлення, В	24
Максимальна кількість модулів, шт.	32
Тип інтерфейсу	Ethernet
Робоча пам'ять, КБ	96
Потужність споживання, Вт	6



Для підключення датчиків з аналоговим сигналом в 4-20мА до контролера використовуються модулі аналогового входів типу SM231-1BD40 в кількості 3 шт. Для підключення виконавчих пристроїв з аналоговим управляючим сигналом в 4-20мА використовується модуль аналогового виходу типу SM232-1BD40. Підключення виконавчих пристроїв з дискретним управляючим сигналом виконується модуль дискретного виходу типу SM 222-1BF00.

Схема підключення контролера VIPA 200V 214-2BE03 до всіх датчиків та виконавчих пристроїв наведена на рисунку 2.11.

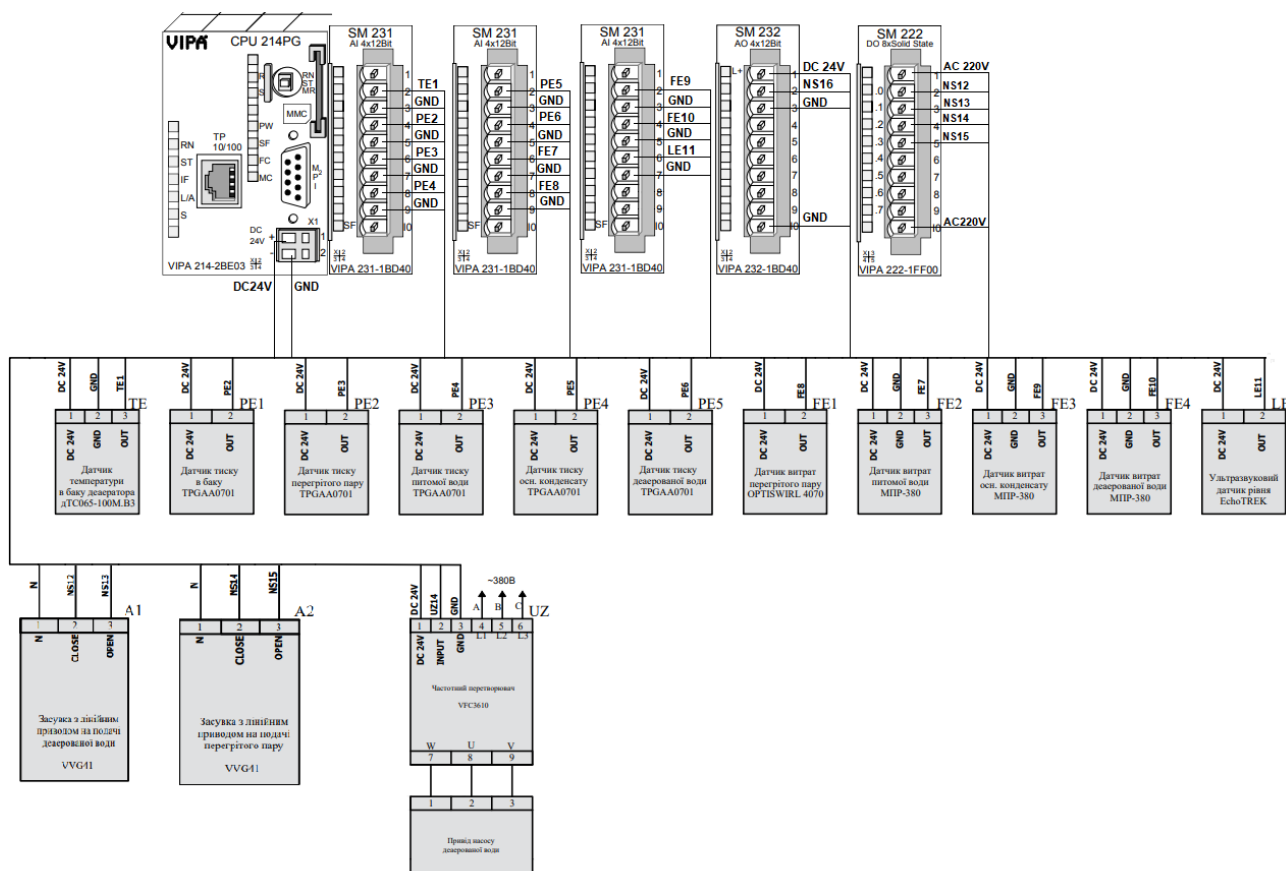


Рисунок 2.11 – Схема підключення датчиків та виконавчих пристроїв до контролера VIPA 200V 214-2BE03

На підставі обраного пристрою керування та схеми підключення датчиків і виконавчих пристроїв складено таблиця 2.4.

Таблиця 2.4 – Таблиця потужності споживання модулів з врахуванням давачів та виконавчих пристроїв

Назва модулю	Пристрій	Напруга живлення	Потужність споживання
VIPA 200V 214-2BE03	Процесорний модуль	24 В	6 Вт
Вхід аналогового типу SM231-1BD40	Втрати в модулі		$3 \cdot 0.6 \text{ Вт} = 1.8 \text{ Вт}$
	Датчик температури	24 В	1.15 Вт
	Датчик тиску	24 В	$5 \cdot 0.8 \text{ Вт} = 4 \text{ Вт}$
	Датчик витрати пару	24 В	1.26 Вт
	Датчик витрати води	24 В	$3 \cdot 4.6 \text{ Вт} = 13.8 \text{ Вт}$
	Датчик рівня	24 В	1 Вт
Вихід аналогового типу SM232-1BD40	Модуль	24 В	1.5 Вт
	Вхід частотного перетворювача	24 В	0.3 Вт
Всього потужності			30,81 Вт

Потужність споживання всієї системи керування становить 30,81 Вт. За цією інформацією вибираємо джерело живлення, яке по потужності буде більше чим споживання всієї системи керування.

#### 2.2.4 Вибір пультів оператора



У якості пульта диспетчера був обраний персональний комп'ютер з підтримкою порту Ethernet (рис 2.12)

Рисунок 2.11 – Персональний комп'ютер

Схема підключення персонального комп'ютера та сенсорної панелі присутня на рисунку 2.12.

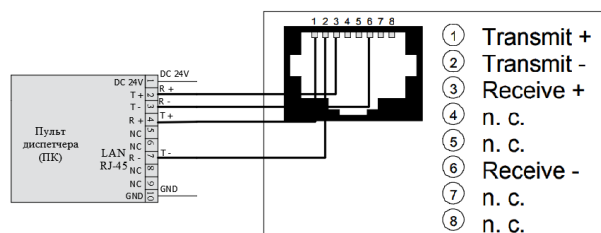


Рисунок 2.12 – Схема підключення контролера да пульта диспетчера

### 2.2.5 Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер VIPA 200V 214-2BE03, модулі, датчики, та виконавчі пристрої мають напругу живлення +24В. Також як було показано в таблиці 2.4 треба брати джерело живлення з потужністю більше 30,81Вт. Виходячи з того будемо брати джерело живлення типу PSL1 120 24 (рис. 2.13) з вихідною напругою в 24В та потужністю в 120Вт. Запас потужності майже в 4 рази був зроблений з урахуванням подачі живлення систему керування усього цеху хімводопідготовки. Технічні характеристики джерела живлення наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Технічні характеристики джерела живлення

Найменування параметру	Значення
Вхідна напруга, В	220
Вихідна напруга, В	24
Потужність, Вт	120



Рисунок 2.13 – Джерело живлення типу PSL1 120 24

### 2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

На основі обраного апаратного забезпечення була створена функціональна схема автоматизації яка приведена на листі 1 та рисунку 2.14.

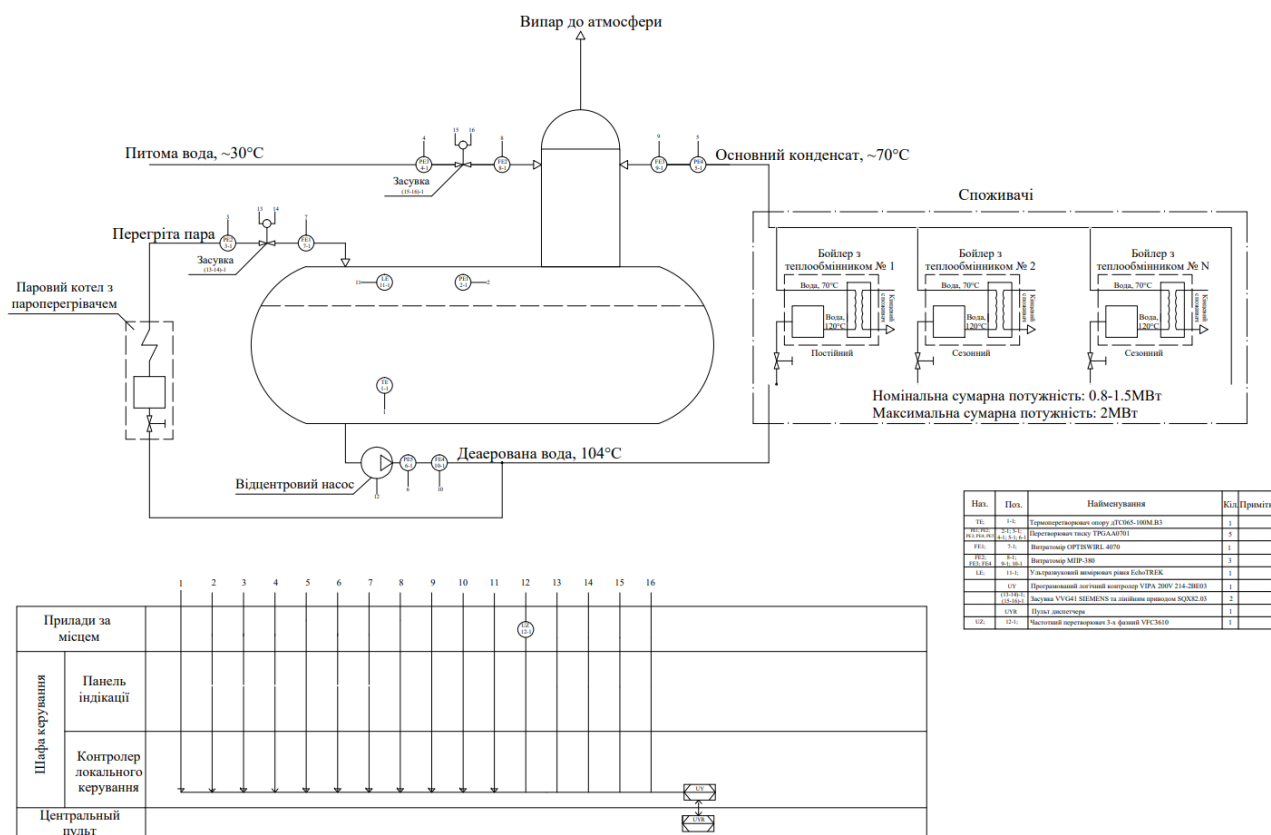


Рисунок 2.14 – Функціональна схема

В якості пристрою керування використовуємо програмований логічний контролер VIPA 200V 214-2BE03 (UY). За допомогою паралельного інтерфейсу до нього під'єднаний пульт диспетчера у вигляді персонального комп'ютера (UYR).

Контроль температури в деаераторі відбувається за допомогою термометру опору (TE 1-1).

Контроль тиску відбувається в баку деаератора (PE 2-1), в трубопроводі перегрітого пару (PE 3-1), питомої води (PE 4-1), основного конденсату (PE 5-1), деаерованої води (PE 6-1).

Контроль витрати виконується для перегрітого пару (FE 7-1) вихровим витратоміром та питомої води (FE 8-1), основного конденсату (FE 9-1), деаерованої води (FE 10-1) електромагнітним витратоміром.

Контроль рівня в баку деаератора (LE 11-1) виконується ультразвуковим рівнеміром.

Контроль продуктивності насосу деаерованої води виконується частотним перетворювачем (UZ 12-1). Контроль подачі перегрітого пару та питомої води відбувається засувками ((13-14)-1, (15-16)-1).

### 2.4 Розробка схеми електричної принципової

На основі функціональної схеми та обраного апаратного забезпечення була створена принципова схема яка приведена на листі 2 та рисунку 2.16.

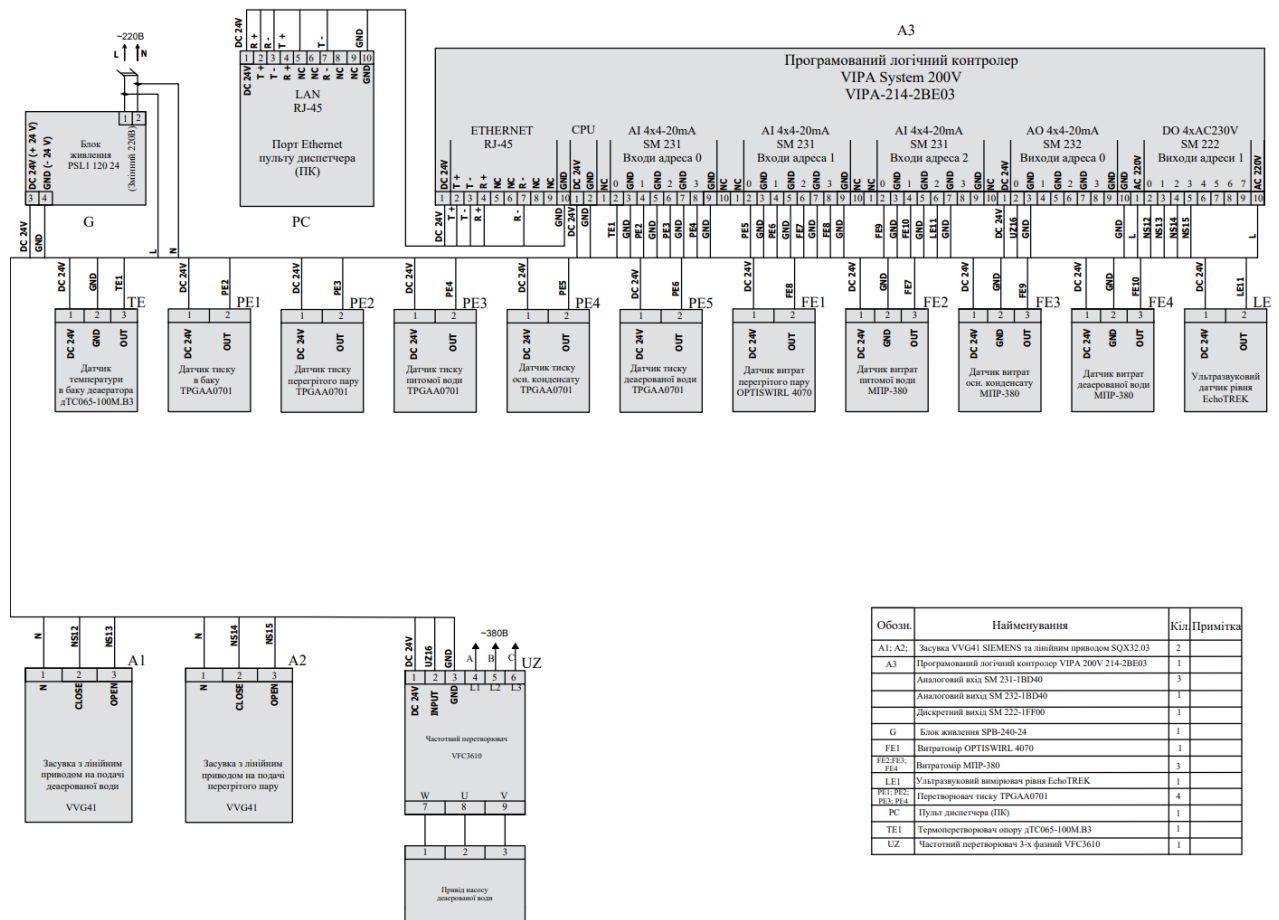


Рисунок 2.15 – Електрично принципова схема

В якості джерела живлення використовується PSL1 120 24 (G). Джерело живлення підключається до програмного логічного контролера VIPA 200V 214-2BE03. Дистанційне керування системою виконується за рахунок пульта диспетчера, який виконує роль персональний комп'ютер (PC). Зв'язок між контролерам та персональним комп'ютером виконується за рахунок порту Ethernet.

До вхідних аналогових модулів контролера підключається датчики (TE; PE1-PE5; FE1-FE4; LE). До вихідного аналогового модулю підключається вхід частотного перетворювача (UZ). До вихідного дискретного модулю контакти засувки (A1;A2).

Розроблена принципова схема дозволяє контролювати усі необхідні параметри для підтримки рівня в баку деаератора та змінювати їх за допомогою виконавчих пристроїв.

## **2.5 Висновки до розділу**

У даному розділі було розглянута структура схеми керування, з описанням вхідних та вихідних сигналів. Обрані та описані конкретні типи датчиків та виконавчих пристроїв. Обрано пристрій керування та модулі входу виходу з наведенням схеми підключення датчиків, виконавчих пристроїв та пульта управління до контролера. Обрано пристрій живлення для роботи пристроїв які працюють від постійної напруги в 24 В. Розглянута розробка функціональної схеми автоматизації з поясненнями позиційних зображень, їх розміщення та призначення. Аналогічним чином було розглянуто розробку електричної принципової схеми.

### 3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

#### 3.1 Модель системи керування засувкою

Система керування засувкою містить в собі об'єкт керування в якому присутні засувка з виконавчим механізмом. З технічних характеристик встановлено що при ході штоку в 20 мм швидкість відкриття засувки складає 35 секунд, у системі присутній електродвигун, але так як час його включення незначне на моделі він відсутній. Мінімальне значення засувки на яке він може закритися становить 0 %, а максимальне на яке відкритися 100%.

За рахунок отриманого аналітичного опису розроблена модель засувки (рис. 3.1), яка складається з трьохпозиційного регулятора який реалізований на базі реле з від'ємним зворотним зв'язком та зоною нечутливості, також присутня елемент який задає час відкриття засувки і обмеження насичення яке не дозволяє засувці закритись нижче 0% або відкритись 100%. Наприкінці моделі присутній елемент який дозволяє перевести вихідне значення до моделі об'єкта керування поділивши його на 100.

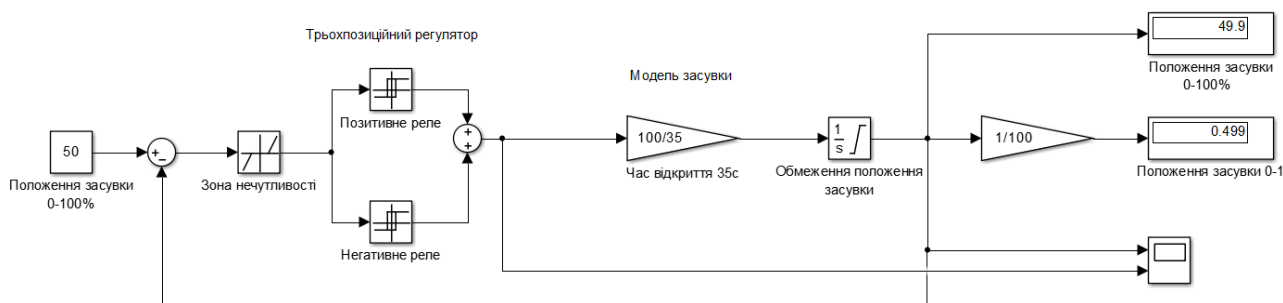


Рисунок 3.1 – Модель системи керування засувкою питомої води

Система керування засувкою виконую его відкриття та закриття за рахунок напівпровідникового реле, система має три стани відкриття, закриття та підтримання заданого положення, що може бути задано при сигналів -1, +1 та 0. Реле працюють таким чином що при помилці керування +0,1 реле відкривається, а при помилці керування -0,1 закривається. Керуючий сигнал для реле формується від'ємним зв'язком, зменшення коливання засувки виконується за рахунок полоси пропускання -0,1 +0,1.

На вхід моделі задається положення засувки від 0 % до 100 %, в даній моделі було обрано 50%, на виході отримується поточне положення засувки від 0 % до 100 % що потім переводиться на число від 0 до 1. Це вихідне значення подалі відповідає за подачі питомої води на моделі об'єкта керування.

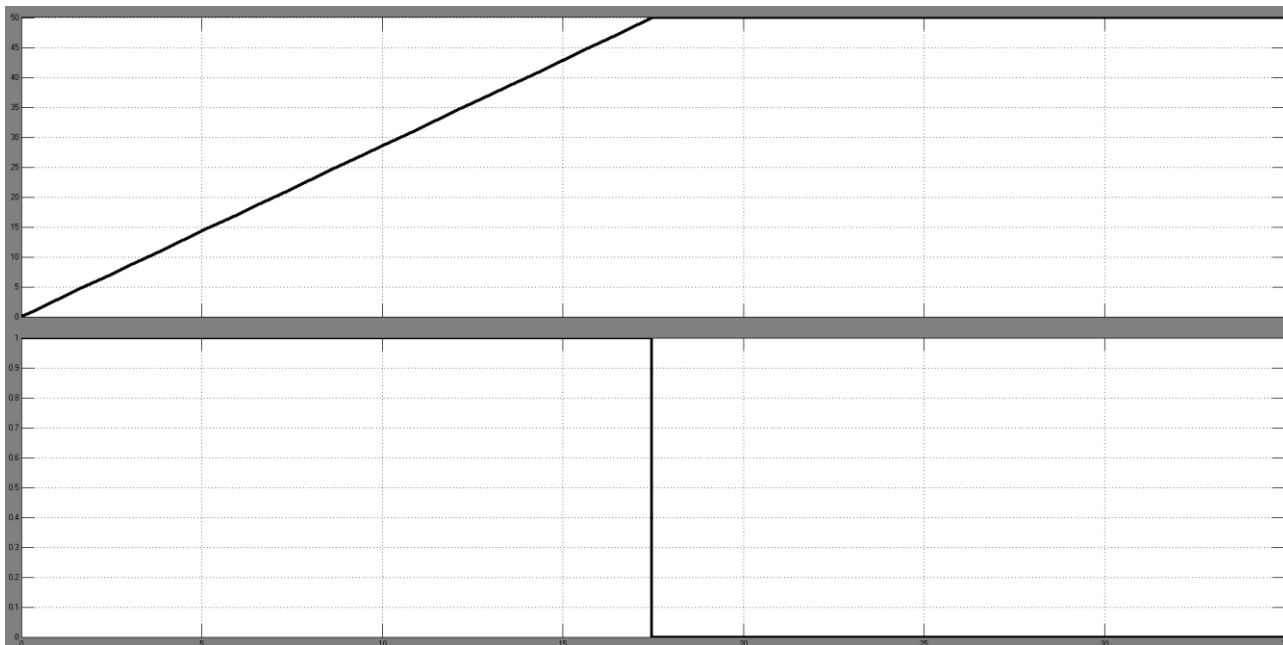


Рисунок 3.2 – Результат роботи моделі системи керування засувкою

### 3.2. Модель системи керуванням насосом

Система керування двигуном містить в собі об'єкт керування в якому присутній насос та частотний перетворювач для керуванням двигуна насосу. З технічних характеристик встановлено, що діапазон керування для частотного перетворювача є 30-50 Гц при часу на розгін в 2 секунди. Час перехідного процесу в насосі складає 4 секунди. Діапазон в 0-30 Гц відповідає моменту розгону двигуна насосу.

За рахунок отриманого аналітичного опису розроблена модель насосу (рис. 3.3), яка складається з моделі частотного перетворювача який реалізований на базі блока обмеження швидкості для реалізації часу розгону в 2 секунди та блоку ліміту для обмеження робочої частоти у діапазоні від 0 до 50 Гц. Для розділу етапів розгону двигуна насосу та моменту керування використовується блок switch, переключення якого відбувається в момент переходу межі в 30 Гц. Та



блоку передаточної функції реакції насоса з часом перехідного процесу в 5 секунд.

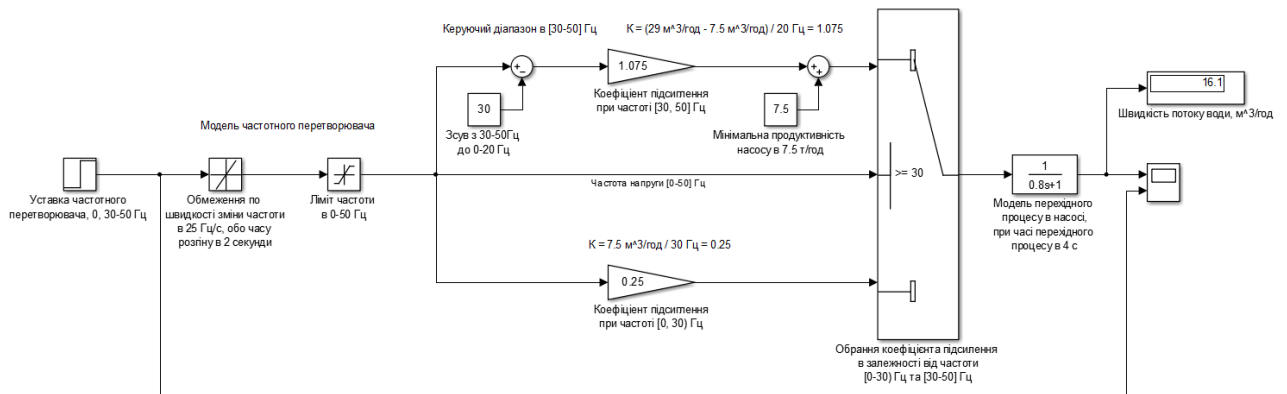


Рисунок 3.3 – Модель системи керування насосом деаерованої води через частотний перетворювач

На виході з моделі насоса відповідає витраті води відповідно до його діапазону продуктивності в діапазоні від 7.5 м<sup>3</sup>/год до 29 м<sup>3</sup>/год. Що відповідають границям діапазону керування в 30-50 Гц.

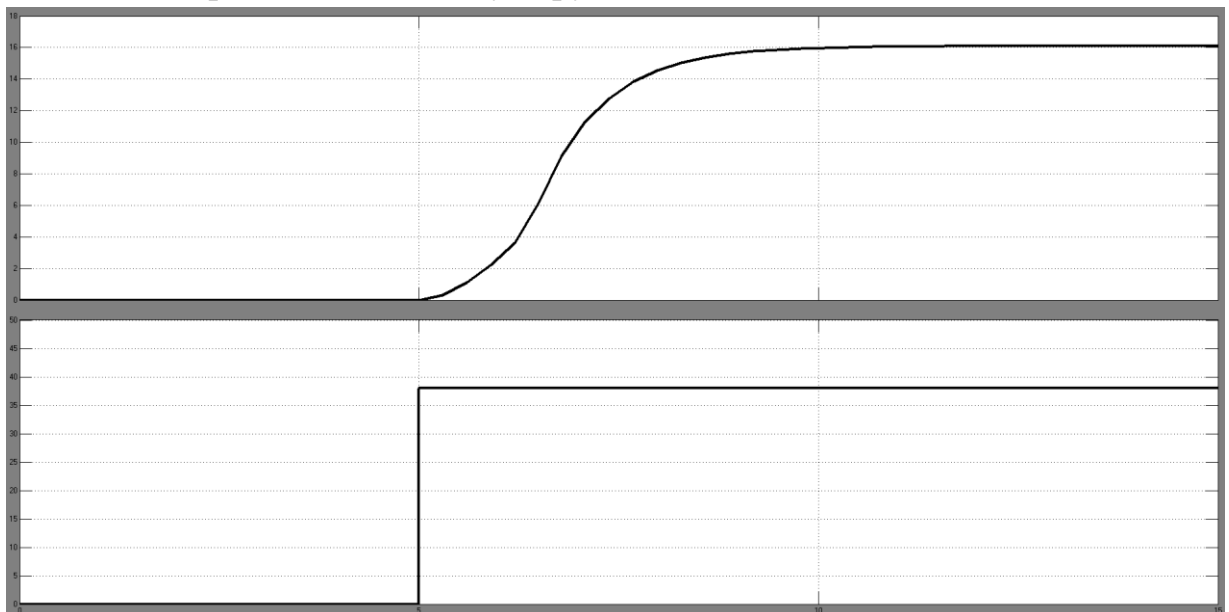


Рисунок 3.4 – Результат роботи моделі системи керування насосом

### 3.3 Модель деаератора

Система керування рівня води в бак деаератора (рисунок 2.5). Рівень води залежить від балансу витрат та надходжень в бак деаератора. Об'єм води баку обмежено 8 м<sup>3</sup>. В момент запуску деаератора в роботу в його бак вже знаходиться 8 м<sup>3</sup> деаерованої води.

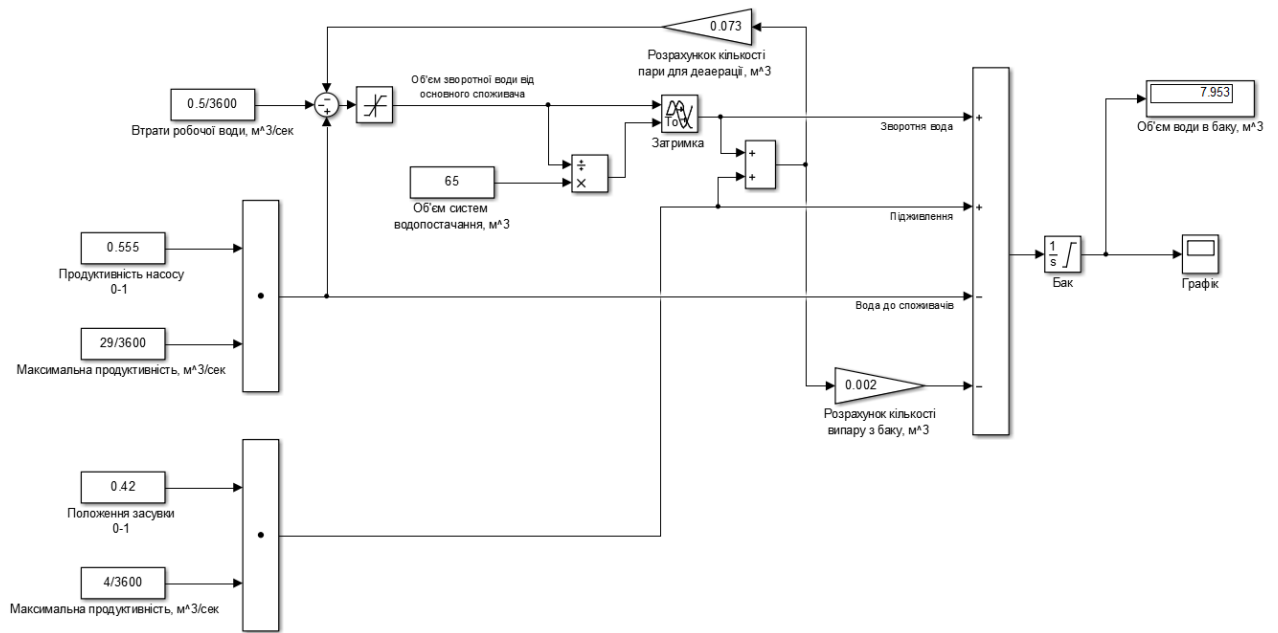


Рисунок 3.5 – Модель об'єкту керування рівнем води в деаераторі

До основного вихідного потоку відноситься вода яка відкачується з баку деаератора на потреби основних споживачів та для генерації пару для потреб самого деаератора. Який при номінальній роботі складає  $15,95 \text{ м}^3/\text{год}$  із якого  $14,785 \text{ м}^3/\text{год}$  йдуть на потреби основних споживачів, а  $1,168 \text{ м}^3/\text{год}$  на генерацію пару.

Також з баку деаератора постійно йде процес випаровування води, яке становить  $0,002$  тони води у вигляді випару на кожен тону деаерованої води. Кількість випару при номінальній роботі складає  $0,032 \text{ м}^3/\text{год}$ .

До вхідних потоків відноситься зворотна вода, після вирахування  $0,5 \text{ м}^3/\text{год}$  втрат в системі та води яка пішла на генерацію пару через часову затримку яка залежить від швидкості проходження деаерованої води через систему в  $65 \text{ м}^3$ . Що при номінальній продуктивності складає 264 хвилини. Також при номінальній роботі системи об'єм зворотної води складає  $14,3 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Так як система на момент початку роботи вже є заповненою, тому на момент запуску моделі в системі вже присутній потік зворотної води у розмірі  $14,3 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Для компенсації втрат води в системі, випару із баку та води на генерацію пару в систему подається питома вода, максимальна витрата якої становить  $4 \text{ м}^3$ . При номінальній роботі деаератора кількість питомої води складає  $1,7 \text{ м}^3/\text{год}$ .

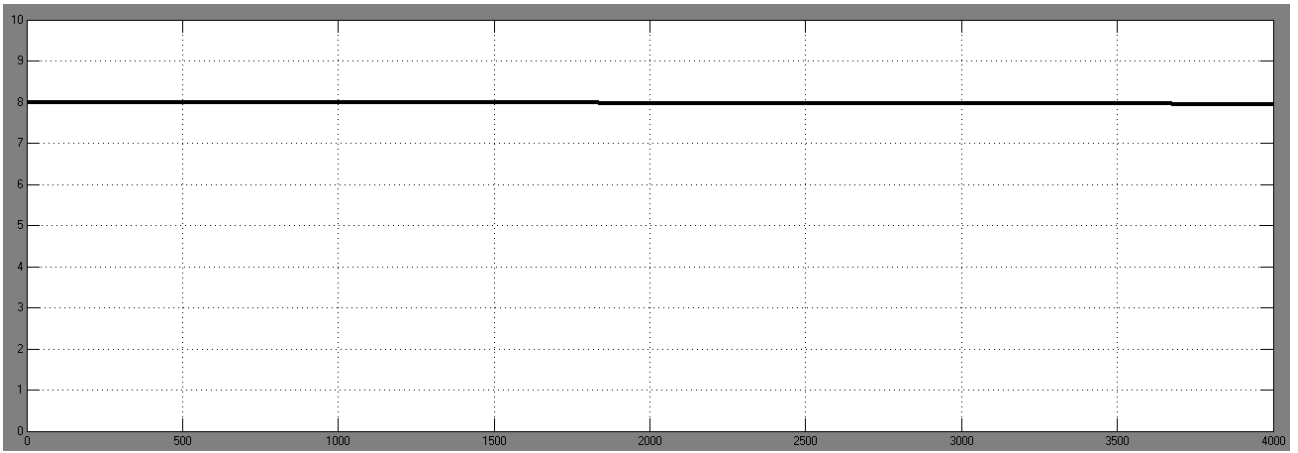


Рисунок 3.6 – Результат роботи моделі керування рівнем в баку деаератора

### 3.4 Модель об'єкта керування

Модель об'єкта керування складається з моделі засувки, моделі насосу та моделі деаератора (рис. 2.7). Як було описано вище в моделі деаератора присутній елемент засувки який стоїть на подачі питомої води, замість цього елемента ми ставимо нашу модель засувки. Змінюємо вхідне значення положення засувки для питомої води на 42%, щоб на виході моделі засувки ми отримали значення 0,42. Змінюємо це значення для того щоб спрацювало зміщення рівня води в баку деаератора.

Також в системі присутній елемент насосу який встановлений на виході з деаератора для відкачки деаерованої води. Для підтримання номінальної витрати води споживачем у розмірі 14.785 м<sup>3</sup>/год та води необхідної для генерації пару у розмірі 1.168 м<sup>3</sup>/год встановлюємо уставку частотного перетворювача двигуна в 38 Гц.

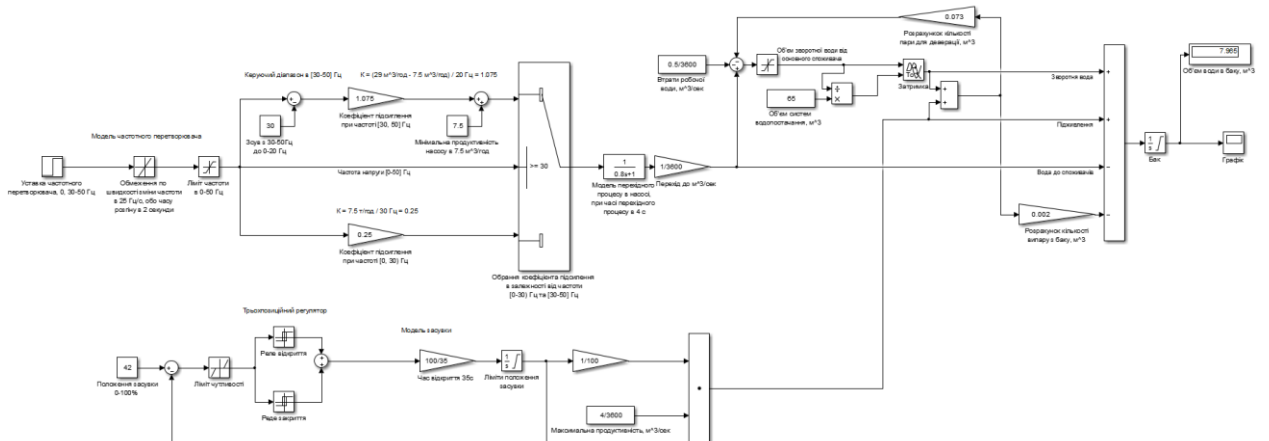


Рисунок 3.7 – Модель об'єкта керування



Рисунок 3.8 – Результат роботи моделі об'єкта керування

### 3.5 Висновки по розділу

В роботі проаналізована технологічний процес, структура об'єкта керування та вимоги до його функціонування. На підставі чого сформовані вимоги до функціонування системи керування та її програмного забезпечення.

На підставі аналізу технологічного процесу запропоновані аналітичні моделі засувки та деаератора за якими в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB розроблено модель системи керування засувкою та модель деаератора. Використовуючи отримані моделі створено модель об'єкта керування, яка подалі буде використана для створення та дослідження відповідної системи керування.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Обґрунтування доцільності автоматизації процесу контролю рівня в баку деаератора

В якості обґрунтування доцільності автоматизації процесу деаерації води порівнюємо його автоматичний контроль з ручним контролем. До переваг введення автоматичного контролю за процесом деаерації можна віднести:

- більш тонкий контроль основних параметрів дозволяє мінімізувати кількість розчинених газів, що зменшує темпи утворення іржі, та збільшує строки роботи усієї системи;

- збільшує стабільність роботи деаератора за рахунок зменшення кількості перезапусків деаератора у випадках виходу контрольованих параметрів за граничні значення. Що також збільшує середні обсяги деаерованої води;

- необхідне число робітників і обслуговуючого персоналу для контролю за роботою деаератора;

Для оцінки економічної ефективності застосування технічного вирішення задачі слід визначати річні приведені витрати, які розраховуються за формулою 4.1.

$$Z = C + E_n \cdot x \cdot K, \quad (4.1)$$

де  $C$  – собівартість річного випуску продукції, грн;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (приймається в розрахунках рівним 0,15);

$K$  – капітальні вкладення, грн..

Складовою економічної оцінки є розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат.

## 4.2 Розрахунок капітальних витрат для автоматизації процесу контролю рівня в баку деаератора

Капітальні витрати включають в себе витрати на закупівлю обладнання, витрати на транспортування та витрати на монтаж та наладку і розраховуються за формулою 4.2.

$$K = B_o + B_{mp} + B_m, \quad (4.2)$$

де  $B_o$  – витрати на обладнання, грн.;

$B_{mp}$  – витрати на транспортування, грн;

$B_m$  – витрати на монтаж та наладку, грн.

Таблиця. 4.1 – Перелік комплектуючих

№	Найменування витрат	Кількість	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	Датчик дТС065-100М.ВЗ	1	312,91	312,91
2	Датчик ТРГАА0701	5	1050,87	5254,35
3	Датчик МПР-380	3	5360,00	16080,00
4	Датчик OPTISWIRL 4070	1	4114,69	4114,69
5	Датчик EchoTREK	1	9100,00	9100,00
6	Пристрій керування VIPA-214-2BE03	1	15 560,60	15 560,60
7	Модуль аналогового входу SM 231-1BD40	3	5662,62	16987,86
8	Модуль аналогового виходу SM 232-1BD40	1	6144,60	6144,60
9	Модуль дискретного виходу SM 222-1FF00	1	2962,57	2962,57
10	Блок живлення SPB-240-24	1	3 336,05	3 336,05
11	Засувка VVG41 SIEMENS	2	6 990,00	13980,00
12	Лінійним приводом SQX32.03	2	8656,90	17313,8
13	Насос циркуляційний SPRUT 3VP-DN40H	1	11330,00	11330,00
14	Перетворювач частоти VFC3610	1	7752,00	7752,00
Усього				130 229,43

Витрати на транспортування складають 6511,47 грн (5% від вартості обладнання).

Витрати на монтаж, пуск і налагодження системи складаються з витрат на

заробітну плату слюсаря-монтажника і інженера-електронщика, в обов'язки яких входить даний вид роботи. Роботу виробляють протягом чотирьох днів. В фонд заробітної плати включена преміальна надбавка в розмірі 20%.

Таблиця. 4.2 – Витрати на монтаж, пуск і налагодження системи

№	Найменування професії	Розряд	Кількість працюючих, чол	Тариф (грн/день)	Кіл-ть днів	Фонд зар. плати(грн)
1	Слюсар монтажник	6	1	400	4	1 600,00
2	Інженер електронщик	-	1	320	4	1 280,00
	Разом:					2 880,00
	ЄСВ (22%):					633,00
	Усього:					3 513,00

$$K = 130\,229,43 + 6511,47 + 3\,513,00 = 140\,253,9 \text{ грн}$$

Капітальні витрати на придбання та налагодження обладнання складають 140253,9 грн.

### 4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат для автоматизації процесу контролю рівня в баку деаератора

До основних статей експлуатаційних витрат відносять:

- амортизація основних засобів  $C_a$ ;
- заробітна плата обслуговуючого персоналу  $C_3$ ;
- відрахування на соціальні заходи від заробітної плати  $C_c$ ;
- витрати на ремонт та технічне обслуговування  $C_{p.m.o.}$ ;
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування  $C_{ee}$ ;
- інші витрати  $C_{ини}$ .

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{p.m.o.} + C_{ee} + C_{ини}, \quad (4.3)$$

Обладнання належить до 4 групи за нормами нарахування амортизації основних засобів. Передбачуваний термін експлуатації становить 5 років. При

використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається за формулою:

$$H_a = (2 / T) \cdot 100, \quad (4.4)$$

де  $T$  – термін корисного використання об'єкта, роки;

$H_a$  – норма амортизації, %;

$$\begin{aligned} H_a &= (2 / 5) \cdot 100 = 40 \\ C_a &= (ПВ \cdot H_a) / 100, \end{aligned} \quad (4.5)$$

$C_a$  – річна сума амортизаційних (річна);

$ПВ$  – первісна вартість, що дорівнює капітальним витратам, грн;

Отже, норма амортизації складе 40%., а сума амортизаційних відрахувань становитиме:

$$C_a = (140253,9 \cdot 40) / 100 = 56101,56 \text{ грн.}$$

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{\text{ном.рік}} = (T_k - T_{\text{вих.св}} - T_{\text{відп}}) \cdot T_{\text{зм}} \quad (4.6)$$

де,  $T_k$  – календарний фонд робочого часу, дні ( $T_k = 365$ );

$T_{\text{вих.св}}$  – вихідні дні та свята, дні ( $T_{\text{вих.св}} = 118$ );

$T_{\text{відп}}$  – відпустка, дні ( $T_{\text{відп}} = 21$ );

$T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, год ( $T_{\text{зм}} = 8$ ).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{ном.рік}} = (366 - 118 - 21) \cdot 8 = 1816 \text{ годин}$$



Безпосередньо у процесі задіяний один оператор.

Розрахунок річного фонду заробітної плати працівників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в таблиці 4.3.

Таблиця. 4.3 – Розрахунок заробітної плати персоналу

Професія	Число працюючих, чол	Годинна тарифна ставка, грн	Номінальний річний фонд робочого часу	Основна заробітна плата, грн	Додаткова заробітна плата, грн	Річний фонд заробітної плати
Оператор	1	41,15	1816	74728,40	7472,84	82201,24

Відрахування на соціальні заходи складуть:

$$C_c = 0,22 \cdot C_z \quad (4.7)$$

$$C_c = 0,22 \cdot 82201,24 = 18084,27 \text{ грн.}$$

Річні витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт електротехнічного встаткування й мереж включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтником.

Витрати, пов'язані з ремонтом та технічним обслуговуванням нового обладнання, становлять 4 % від вартості капітальних вкладень, тобто:

$$C_{p.t.o.} = 140253,9 \cdot 0,04 = 5610,16 \text{ грн.}$$

Розрахуємо вартість електроенергії, споживаної пристроями автоматизаціями:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_d \cdot T, \quad (4.9)$$

де  $K_e$  – кількість електроенергії, що споживається за годину, кВт/год;

$K_{dp}$  – кількість днів у році,  $K_{dp} = 365$  днів;

$T$  – тариф на електроенергію для підприємств, складає 1.83 грн за кВт/год.

Виходячи з технічних характеристик споживання електроенергії для автоматизації процесу контролю рівня в баку деаератора за годину, становить 0,03 кВт/год.

Витрати на електроенергію будуть становити:

$$C_{ee} = 0,03 * 365 * 24 * 1.83 = 480,93 \text{ грн.}$$

Інші витрати з експлуатації системи містять витрати з охорони праці, на спецодяг та інше. Згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{\text{інш}} = C_z * 0,04 \quad (4.10)$$

$$C_{\text{інш}} = 82201,24 * 0,04 = 3288,04 \text{ грн.}$$

За формулою 4.3 розраховуємо річні експлуатаційні витрати:

$$C_e = 56101,56 + 82201,24 + 18084,27 + 5610,16 + 441,51 + 3288,04 = 165\,726,74 \text{ грн.}$$

Розраховані експлуатаційні витрати представлено в таблиці 4.4.

Таблиця. 4.4 – Склад експлуатаційних виплат

Найменування показника	Сума, грн
Сума нарахованої амортизації	56101,56
Фонд заробітної плати	82201,24
Відрахування на соціальне страхування	18084,27
Ремонт і технічне обслуговування	5610,16
Електроенергія	441,51
Інші витрати	3288,04
Разом	165 766,24

#### **4.4 Висновки по розділу**

В розділі був проаналізований економічний стан автоматизацій процесу контролю рівня в баку деаератора. Був зроблений розрахунок капітальних витрат який встановить 140 253,9 грн.. При розрахунку капітальних витрат були розраховані: витрати на обладнання, витрати на транспортування та витрати на монтаж та наладку. Також були розраховані річні експлуатаційні витрати які встановлять 165 726,74 грн.. При розрахунку річних експлуатаційних витрат були розраховані: амортизація основних засобів, заробітна плата обслуговуючого персоналу, відрахування на соціальні заходи від заробітної плати, витрати на ремонт та технічне обслуговування, вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників**

Цех хімводопідготовки включає представляє собою комплекс етапів для очищення води від механічних домішок, солей жорсткості та розчинених газів. Для цього вода поетапно проходить 3 етапи: коагуляцію з подальшим очищенням в механічних фільтрах, заміна солей в катіонітових фільтрах, та процес дегазації у деаераторі.

Згідно з ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі промислові фактори» [12] до потенційним небезпечним при роботі в цеху хімводопідготовки відноситься:

- безпека отримання опіків, в наслідок контакту з нагрітим корпусом деаератора, контактом з парою на виході деаератора чи при пошкодженні трубопроводів перегрітої пари або баку деаератора.

- безпека ураження електричним струмом, внаслідок недотримання правил електробезпеки або виходу з ладу електроприладів;

- негативний вплив вібрацій та шуму на психоемоційний стан, який пов'язаний з роботою насосів та деаератора;

- ураження слизистих оболонок у разі контакту з розчином коагулянта, або його сухим компонентом.

### **5.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці**

Компонування основного і допоміжного устаткування в приміщенні цеху хімводопідготовки виконано згідно з НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском» [13] і передбачає можливість демонтажу і монтажу устаткування в умовах діючого виробництва.

Також за НПАОП 0.00-1.81-18 [13] крім робочого освітлення передбачено аварійне електричне освітлення.

Для захисту персоналу від опіків пов'язаних з контактом до поверхні деаератора передбачено використання теплоізоляції, яка забезпечує температуру

поверхні не більше 45°C при температурі повітря в 25°C. Пошкодження якої повинно своєчасно усуватися.

В якості теплоізоляції обрано теплоізолятор URSA GEO M-25 який окрім теплоізоляційних властивостей є негорючим та звукоізолюючим. В якості покривного матеріалу використовується оцинкований або алюмінієвий лист для захисту шару теплоізолятора від випадкових пошкоджень.

Згідно ГОСТ 16860-88 «Деаераторі термічні. Типи, основні параметри та методи контролю» [14] у комплект деаератора входить запобіжна арматура для захисту від аварійних ситуацій пов'язаних з перевищенням рівня води або тиску в баку деаератора.

Також за тим же ГОСТ 16860-88 [14] деаератор повинний піддаватися технічним оглядам (внутрішнім оглядам і гідравлічних випробувань при тиску 0,294 МПа) відповідно до правил зазначеними в НПАОП 0.00-1.81-18 [13] кожні 5 років.

Для додаткового захисту забороняється знаходитися поряд з фланцевими з'єднаннями і арматурами трубопроводі, запобіжними клапанами та люками, у випадках не пов'язаних з необхідністю обслуговування.

Згідно НПАОП 01.41-1.11-10 «Правил безпечної експлуатації насосних станцій водогосподарських систем» [15] працівники, які здійснюють технічну експлуатацію насосних станцій, забезпечуються спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до НПАОП 0.00-3.08-09 «Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам водного господарства» [16].

Згідно «Правила улаштування електроустановок» [17] цех хімоводопідготовки відноситься до приміщення з особливо небезпечних за ураженням електричним струмом. Через підвищену вологість від апаратів ХВО, підвищеної температури від роботи насосів та деаератора та можливості наявності струмопровідної підлоги.

Для вибору засобів захисту від ураження електричним струмом спочатку визначимо силу ураження у випадку контакту працівника схемою рука-земля (рис 5.1):

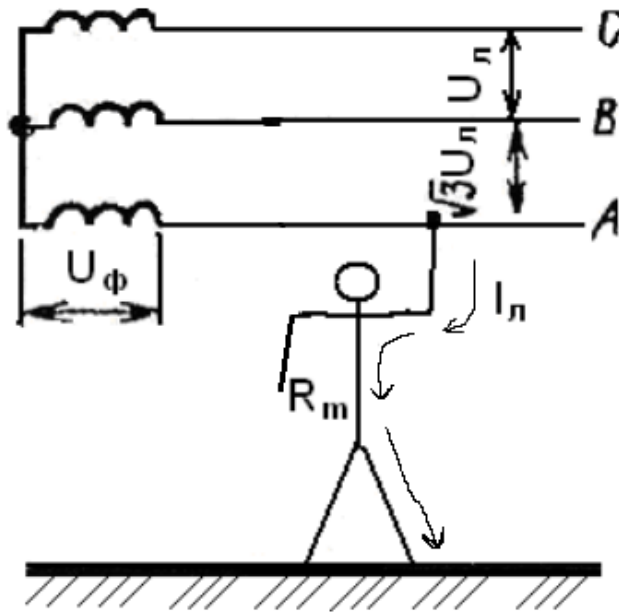


Рисунок 5.1 - Схема контакту до струмопровідної частини рука-земля

Розрахуємо величину струму яка пройде через людину при контакті рука-земля за формулою:

$$I_{\phi} = I_{л} = \frac{U_{\phi}}{R_m} \quad (5.1)$$

Де  $I_{\phi}$  – сила струму однофазний однофазного дотику, мА;

$I_{л}$  – сила струму яка проходить через людину, мА;

$U_{\phi}$  – фазна напруга, В

$R_m$  – опір тіла людини, Ом (приймаємо за 1000 Ом).

В якості об'єкту дотику оберемо фазу двигуна насосу з фазною напругою в 380 В змінного струму.

$$I_{\phi} = I_{л} = \frac{380}{1000} = 0,38\text{А} = 380\text{мА}$$

Ураження струмом такої величини призведе до фібриляції серця та паралічу дихання менш ніж за 2-3 с.

В якості заходів для захисту людини від ураження електричним струмом в умовах цеху ХВО обрано:

- НПАОП 01.41-1.11-10 [15] застосовуються огорожувальні пристрої для обмеження контакту з джерелами небезпеки. А також нанесено на виробниче устаткування і комунікації розпізнавального пофарбування і знаків безпеки. При тому розміщуються так що би виділятися на навколишньому фоні, але цьому не відволікаючи увагу працівників;

- виконано заземлення струмопровідних частин електроустановок;

- використання захисного занулення. Згідно з нормативами електричних приладів, при напрузі 1000 В допустимий опір заземлювального пристрою не перевищує 4 Ом;

- застосування захисного відключення. Однофазне коротке замикання або замикання при контакті до однієї фази із трьох при схемі рука-нога може статися в корпусі електричного обладнання в мережі, де є ізолюваний нейтраль. Захисний пристрій відключення дозволяє захистити людину від довгочасного протікання струму. Їх струм відключення є малим, порядку 10-30 мА, тому вони реагують на струм замикання на землю та струм витoku, зменшуючи опір ізоляції мережі, а їх швидкість (0,1-0,2 с) забезпечує майже миттєве відключення установки;

- використання засобів індивідуального захисту, такі як діелектричні рукавиці.

Забороняється проводити огляд, обслуговування, ремонт обладнання під час їх роботи та які знаходяться під тиском або напругою. При тому забороняється навіть короточасний запуск механізмів без закріплених запобіжних огорожень.

За підручником «Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки» [18] допустимий рівень звуку для приміщень де ведеться робота, що вимагає зосередженості, такі як місця з пультами у кабінах нагляду

та дистанційного управління, складає до 75 дБ. Рекомендований індекс звукоізоляції між робочими кабінетами і технічними приміщеннями повинен бути 68 дБ.

Згідно з ДНАОП 0.03-33.14-85 «Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях» [19] в якості методу захисту від шуму та вібрацій виконано впровадження дистанційного та автоматичного контролю для мінімізації кількості та часу знаходження робітників поряд з джерелами шуму та вібрацій.

Для захисту від шуму обслуговуючого персоналу на у цеху ХВО використовуються окремі приміщення для розміщення операторської. У приміщеннях операторів, які стежать за технічними процесами ХВО, додатково використовується звукоізоляційні матеріали, такі як акустичні панелі «Ecorphon» для стін та дверей та шумоподавляюча вата ущільнювач «ISOVER», акустичні екрани.

У випадках необхідності знаходження поряд з джерелами шуму та вібрацій згідно з ГОСТ 12.4.275-2014 «Засоби індивідуального захисту органів слуху» [20] працівниками використовуються засоби індивідуального захисту по типу протишумових навушників а вставок. В якості додаткового способу зменшення шуму використовується своєчасне проведення технічного обслуговування обладнання яке є джерелом шумового забруднення.

В якості коагулянтів використовуються коагулянти на основі заліза або алюмінію. Більшість з них є нетоксичними, окрім хлорного заліза яка може викликати отруєння, інші можуть викликати подразнення слизових оболонок. Тому згідно з ГОСТ Р 51642-2000 «Коагулянти для господарсько-питного водопостачання» [21] для захисту очей та органів дихання під час підготовки коагуляційного розчину використовуються засоби індивідуального захисту, такі як: респіратори, захисні окуляри та захисні перчатки.

У результаті протікань в трубопроводах та підйому пилу при роботі з коагулянтом, відповідно до ГОСТ Р 51642-2000 [21] використовується приточно-витяжна вентиляція для підтримки параметрів повітря відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [22]



Робота пов'язана за катіонітовими фільтрами не пов'язана з високим тиском або температурами. Також натрій-катіоніт не є агресивною речовиною, але беручі у увагу малі розміри гранул, порядку 1мм, як і з іншими іонообмінними матеріалами треба не допускати попадання у очі або у середину організму. Для цього при заміні катіоніту використовуються засоби індивідуального захисту, такі як маски та перчатки. Періодичність заміни залежить від кінцевої марки, але в середньому складає заміну кожні 12 місяців.

### **5.3 Пожежна профілактика**

В процесі хімводопідготовки не використовуються горючі речовини і її вихід за межі установок або трубопроводів не призведе до утворення вибухонебезпечних обставин. Тому за ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою» [23] цех ХВО відноситься до класу Д зниженопожежно-небезпечна.

Але речовини ХВО є токопровідними і при збільшенні їх кількості у випадку протікань при порушенні електробезпеки можуть викликати короткі замикання, наприклад двигунів насосу, з подальшим ризиком виникнення пожежі.

До профілактичних мір відноситься регулярне технологічне обслуговування устаткування та трубопроводів для мінімізації або ліквідації протікань. А також обслуговування апаратури яка знаходиться під напругою з метою перевірки якості ізоляції та заземлення.

Також згідно «Правила пожежної безпеки в Україні» [24] на електродвигуни, світильники, інші електричні машини, апарати та обладнання, встановлені у пожежонебезпечних зонах, повинні бути нанесені знаки, що вказують на їх ступінь захисту згідно з чинними стандартами.

При виникненні пожежі в електрообладнанні при можливості необхідно вимкнути подачу електроенергії. У випадку ліквідації пожежі силами персоналу об'єкта для гасіння електрообладнання яке може знаходитися під напругою згідно «Правил пожежної безпеки в Україні» [24] використовуються порошкові

вогнегасники місткістю не менше 5кг згідно з НАПБ Б.01.008-2018 «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» [25].

#### **5.4 Висновки до розділу**

В розділі охорони праці були проаналізовані шкідливі та небезпечні фактори які можуть з'явитися в цеху хімводопідготовки. Серед яких було проаналізовано: отримання опіків при контакті з корпусом деаератора, можливості ураження електричним струмом, зокрема ураження по схемі контакту рука-земля, негативного психофізичного впливу шуму установок ХВО та можливість подразнення слизистих оболонок при контактах з реактивами коагуляції та натрій-катіонування. Розроблені пропозиції що до профілактики та захисту по ним. Проаналізована профілактика та пожежна безпека у цеху хімводопідготовки.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі було досліджено процес підтримки рівня в баку деаератора. Було проаналізовано що об'єктом керування є підтримання рівня води в баку деаератора, вхідним параметрам об'єкта керування зворотна вода від споживача та питома вода, вихідними параметрами об'єкту керування є вода на генерацію пару, випар із баку деаератора та втрати в системі споживача, об'єкт керування у курсовому проекті відноситься до класу неперервних об'єктів керування.

В роботі проаналізована технологічний процес, структура об'єкта керування та вимоги до його функціонування. На підставі чого сформовані вимоги до функціонування системи керування.

Розроблено та розглянуто функціонально та принципову електричну схеми для контролю рівня в баку деаератора. Обрано та описано датчики, виконавчі пристрої та пристрій контролю зі списком модулів входу виходу.

На підставі аналізу технологічного процесу запропоновані аналітичні моделі засувки та деаератора за якими в графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB розроблено модель системи керування засувкою, частотним перетворювачем та модель деаератора.

Проведено економічний розрахунок доцільності автоматизації процесу контролю рівня в баку деаератора. Та проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів пов'язаних з роботою у цеху ХВО, та інженерно-технічні заходи що до їх усунення чи зменшення їх впливу на працівників.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стан котельного господарства в Україні та напрямки його модернізації [Електронний ресурс] / 2012-2013 – Режим доступу до ресурсу: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-3/part-1/section-2/2-13>
2. Посібник по експлуатації деаераторів атмосферного типу ДА – Режим доступу до ресурсу: [https://tt-k.ru/Pasport\\_DA.pdf](https://tt-k.ru/Pasport_DA.pdf)
3. Плетньов Г.П. Автоматизовані системи управління об'єктами теплових станцій / 1995
4. Типова інструкція з експлуатації автоматизованих деаераційно установок підживлення тепломережі / 1984 – Режим доступу до ресурсу: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294844/4294844607.htm>
5. Положення про навчально-методичне забезпечення освітнього процесу Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, Є.А. Коровяка, В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 23 с.
6. Положення про організацію атестації здобувачів вищої освіти НТУ «Дніпровська політехніка» / Укладачі: Ю.О. Заболотна, О.О. Конопльова, В.О. Салова, В.О. Салов; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т. «Дніпровська політехніка» – Д. : НТУ «ДП», 2018. – 40 с.
7. Стандарт вищої освіти України. Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень. Ступінь вищої освіти бакалавр. Спеціальність 151 Автоматизації та комп'ютерно-інтегровані технології. МОН України. – Київ. – 2018. – 17 с.
8. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [чинний від 2017-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 27 с.
9. ДСТУ 1.5:2015. Правила розроблення. Викладання та оформлення національних нормативних документів оформлювання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [чинний від 2017-02-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 61 с.

10. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання / Нац. стандарт України. – Вид. офіц. – [Уведено вперше ; чинний від 2016-07-01]. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 17 с.

11. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного управління для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.

12. ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі промислові фактори»

13. НПАОП 0.00-1.81-18 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском»

14. ГОСТ 16860-88 «Деаераторі термічні. Типи, основні параметри та методи контролю»

15. НПАОП 01.41-1.11-10 «Правил безпечної експлуатації насосних станцій водогосподарських систем».

16. НПАОП 0.00-3.08-09 «Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам водного господарства»

17. Правила улаштування електроустановок, Київ 2017, затверджено Наказом Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476

18. Голінько В.І., Фрундін В.Ю. Охорона праці в галузі електротехніки та електромеханіки – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2011. – 235с

19. ДНАОП 0.03-33.14-85 «Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях»

20. ГОСТ 12.4.275-2014 «Засоби індивідуального захисту органів слуху»

21. ГОСТ Р 51642-2000 «Коагулянти для господарсько-питного водопостачання»

22. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»

23. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою»

24. «Правила пожежної безпеки в Україні» від 05 березня 2015 р. за № 252/26697

25. НАПБ Б.01.008-2018 «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників»

