

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації  
та мехатроніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Моделювання параметрів автоматизованої системи підготовки води  
на теплоелектростанціях  
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи АУТПм-21-1

Рудняєв О. Д.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація

та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Автоматичне управління

технологічними процесами

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Жарікова І. В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту  
Зав. кафедри КІТАМ

\_\_\_\_\_ (підпис)

Невлюдов І. Ш.

(прізвище, ініціали)

2022 р.

*Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.*

21.12.2022

*Рудняєв Олександр Дмитрович*

# ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій  
Кафедра КІТАМ  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
Тип програми Освітньо-професійна  
Освітня програма Автоматичне управління технологічними процесами  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ \_\_\_\_\_  
(підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Рудняєву Олександрю Дмитровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання параметрів автоматизованої системи підготовки води на теплоелектростанціях

Затверджена наказом по університету від 07.11.2022 р. № 1463 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 20.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи

3.1 Параметри насосу: продуктивність – 63 м<sup>3</sup>/год;

3.2 Параметри двигуна: потужність – 22 кВт; напруга – 380 В;  
струм – 46 А; частота – 50 Гц; період обертання – 2900 об/хв;

3.3 Розробити комп'ютерну модель системи підготовки води.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі \_\_\_\_\_

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз предметної області;

4.3 Дослідження системи очищення води та її технологічні параметри;

4.4 Розрахунок технологічних параметрів та побудова комп'ютерної моделі системи очищення води;

4.5 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій

Графічний демонстраційний матеріал в форматі PowerPoint (\*.ppt) \_\_\_\_\_  
формату А4 – 12 сторінок.

6. Консультанти розділів роботи

| Найменування розділу | Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові) | Позначка консультанта про виконання розділу |      |
|----------------------|---|---|------|
|                      |   | підпис                                      | дата |
|                      |   |   |      |
|                      |   |   |      |

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №  | Назва етапів роботи  | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|----|--|--------------------------------|----------|
| 1  | Аналіз технічного завдання                                 | 11.09.22 – 12.09.22            | виконано |
| 2  | Аналіз літератури за темою роботи                          | 13.09.22 – 15.09.22            | виконано |
| 3  | Аналіз методів очищення води                               | 16.09.22 – 18.09.22            | виконано |
| 4  | Дослідження технологічних параметрів системи очищення води | 19.10.22 – 22.10.22            | виконано |
| 5  | Розрахунок технологічних параметрів                        | 23.10.22 – 26.10.22            | виконано |
| 6  | Розробка комп'ютерної моделі                               | 27.11.22 – 7.11.22             | виконано |
| 7  | Оформлювання пояснювальної записки                         | 8.12.22 – 11.12.22             | виконано |
| 8  | Подання на перевірку керівникові                           | 12.12.22                       | виконано |
| 9  | Нормоконтроль і перевірка на плагіат                       | 13.12.21 – 15.12.22            |          |
| 10 | Подання на підпис зав. кафедри                             | 16.12.22                       |          |
| 1  | Представлення до захисту в ЕК                              | 20.12.22                       |          |

Дата видачі завдання 09 листопада 2022 р.

Студент \_\_\_\_\_ Рудняєв О. Д.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доц. Жарікова І. В.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 65 с., 6 табл., 29 рис., 1 дод., 20 джерел.

ВОДОПІДГОТОВКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, МОДЕЛЮВАННЯ,  
ТЕПЛОВА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ, ЗВОРОТНИЙ  
ОСМОС, МЕТОДИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ.

Мета роботи – провести дослідження системи водопідготовки, розрахувати технологічні параметри та на їх основі побудувати комп'ютерну модель.

Об'єкт дослідження – процес підготовки води для теплової електростанції.

Предмет дослідження – технологічні параметри системи водопідготовки.

Методи дослідження – аналіз предметної області, теоретичні дослідження, комп'ютерне моделювання.

Було проведено аналіз методів очищення води, розраховано технологічні параметри системи водопідготовки, вдосконалено функціональну схему ТЕС, розроблено комп'ютерну модель системи очищення води, у програмному пакеті MATLAB в додатку Simulink.

## ABSTRACT

Explanatory note: 65 pp., 6 tables, 29 figures, 1 appendix, 20 sources.

WATER PREPARATION, AUTOMATION, SIMULATION, THERMAL POWER PLANT, MATHEMATICAL MODEL, REVERSE OSMOSIS, METHODS OF WATER PREPARATION.

The purpose of the work is to conduct a study of the water treatment system, calculate technological parameters and build a mathematical model based on them.

The object of research is the process of preparing water for thermal power generation.

The subject of the study is the technological parameters of the water treatment system.

Research methods – analysis of the subject area, theoretical research, computer modeling.

An analysis of water purification methods was carried out, the technological parameters of the water treatment system were calculated, the functional scheme of the thermal power plant was improved, a mathematical model of the water purification system was developed in the MATLAB software package in the Simulink application.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Перелік скорочень .....  | 9  |
| Вступ.....   | 10 |
| 1 Аналіз предметної області.....   | 12 |
| 1.1 Аналіз технічного завдання .....   | 12 |
| 1.2 Аналіз загальних відомостей про ТЕС.....   | 12 |
| 1.3 Аналіз методів очищення води для системи водопідготовки .....                                      | 16 |
| 1.3.1 Механічне очищення води .....  | 16 |
| 1.3.2 Сорбційні фільтри.....   | 18 |
| 1.3.3 Аероціоні фільтри .....  | 19 |
| 1.3.4 Пом'якшення води .....   | 21 |
| 1.3.5 Зворотній осмос.....   | 23 |
| 1.4 Висновки до розділу 1 .....  | 24 |
| 2 Дослідження системи очищення води та її технологічних параметрів.....                                | 26 |
| 2.1 Методика виконання хіманалізів початкової води та перміату .....                                   | 26 |
| 2.2 Технологічні параметри системи очищення води .....   | 27 |
| 2.3 Опис установок системи водопідготовки та їх технічні параметри .....                               | 30 |
| 2.3 Висновки до розділу 2 .....  | 36 |
| 3 Розрахунок технологічних параметрів та побудова комп'ютерної моделі системи підготовки води .....    | 37 |
| 3.1 Розрахунок вхідних параметрів в систему .....  | 37 |
| 3.2 Розрахунок передавальних функції для регулювання тиску.....  | 38 |
| 3.3 Комп'ютерна модель системи очищення води на тепловій електростанції та результати моделювання..... | 42 |
| 3.4 Висновки до розділу 3.....   | 54 |
| 4 Охорона праці.....   | 55 |

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| Висновки .....                 | 60 |
| Перелік джерел посилання ..... | 62 |
| Додаток А .....                | 65 |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ТЕС – теплова електростанція;

ТЗ – технічне завдання.

## ВСТУП

Автоматизація технічних та технологічних процесів є одним з найперспективніших напрямків науково-технічного розвитку та область, яка в останні роки набуває високої популярності серед розробників у багатьох областях життя. Автоматизація має широке застосування в повсякденному житті, крім того часто використовуються у промислових виробництвах.

Засоби автоматизації охоплюють: механічні, гідравлічні, пневматичні, електричні, електронні пристрої та комп'ютери, як правило, в поєднанні у складних системах, таких як: сучасні заводи, літаки та кораблі, що дає можливість скоротити терміни розробки.

Автоматизація на тепловій електростанції є актуальною, тому що метод генерації електричної енергії на теплових електростанціях (ТЕС) визнаний одним із найбільш енергоефективних методів перетворення енергії з палива на електричну енергію. Для роботи ТЕС можуть використовуватися певні види відходів, наприклад, деревна тріска, яка є економічно вигідною та безпечною сировиною, що дозволяє ТЕС виробляти доступні енергоресурси та скорочувати первинні енерговитрати.

Мета роботи – провести дослідження системи водопідготовки, розрахувати технологічні параметри та на їх основі побудувати комп'ютерну модель.

Об'єкт дослідження – процес підготовки води для теплової електростанції.

Предмет дослідження – технологічні параметри системи водопідготовки.

Методи дослідження – аналіз предметної області, теоретичні дослідження, комп'ютерне моделювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналіз існуючих методів очищення води;

- провести дослідження технологічних параметрів системи очищення води;
- виконати розрахунок технологічних параметрів системи очищення води;
- побудувати комп'ютерну модель системи очищення води;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно з [1], [2].

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Аналіз технічного завдання

Згідно технічного завдання (ТЗ) на кваліфікаційну роботу у ній необхідно виконати моделювання технологічних параметрів системи водопідготовки для ТЕС. Для цього потрібно провести аналіз методів водопідготовки, виконати розрахунок технологічних параметрів, побудувати комп'ютерну модель системи підготовки води.

## 1.2 Аналіз загальних відомостей про ТЕС

На ТЕС паливо згорає в котлі з утворенням високотемпературного полум'я. Вода проходить по трубках, що утворюють екран навколо полум'я, нагрівається та перетворюється на пару високого тиску. Пара на виході з котла, проходячи через пароперегрівач, приводить до обертання турбіну, виробляючи механічну енергію, яку генератор перетворює на електричну. Вийшовши з турбіни, пара надходить до конденсатора, де омиває трубки з холодною проточною водою, і в результаті знову перетворюється на рідину.

ТЕС визнані найбільш енергоефективним методом перетворення енергії з палива на електричну енергію, також вона працює на відходах деревної тріски, котрі є місцевою, економічно ефективною, безпечною та стійкою сировиною, яка вже використовується в деяких ТЕС, що дозволяє їм поставляти доступний енергоресурс і скорочувати первинні енерговитрати.

На рис. 1.1 наведено технологічну схему ТЕС, яка детально пояснює технологічний процес її роботи.

Розглянемо послідовність наведених процесів і принцип отримання теплової енергії, а з неї – електричної.

Для початку необхідно добути теплову енергію за допомогою парового котла, її отримують наступним чином:

– як паливо використовується тріска, яку зі складу за допомогою рухомої підлоги подають до конвеєра, а конвеєр у свою чергу подає деревну тріску безпосередньо в паровий котел, таким чином у котлі підтримується неперервне підживлення паливом для горіння;

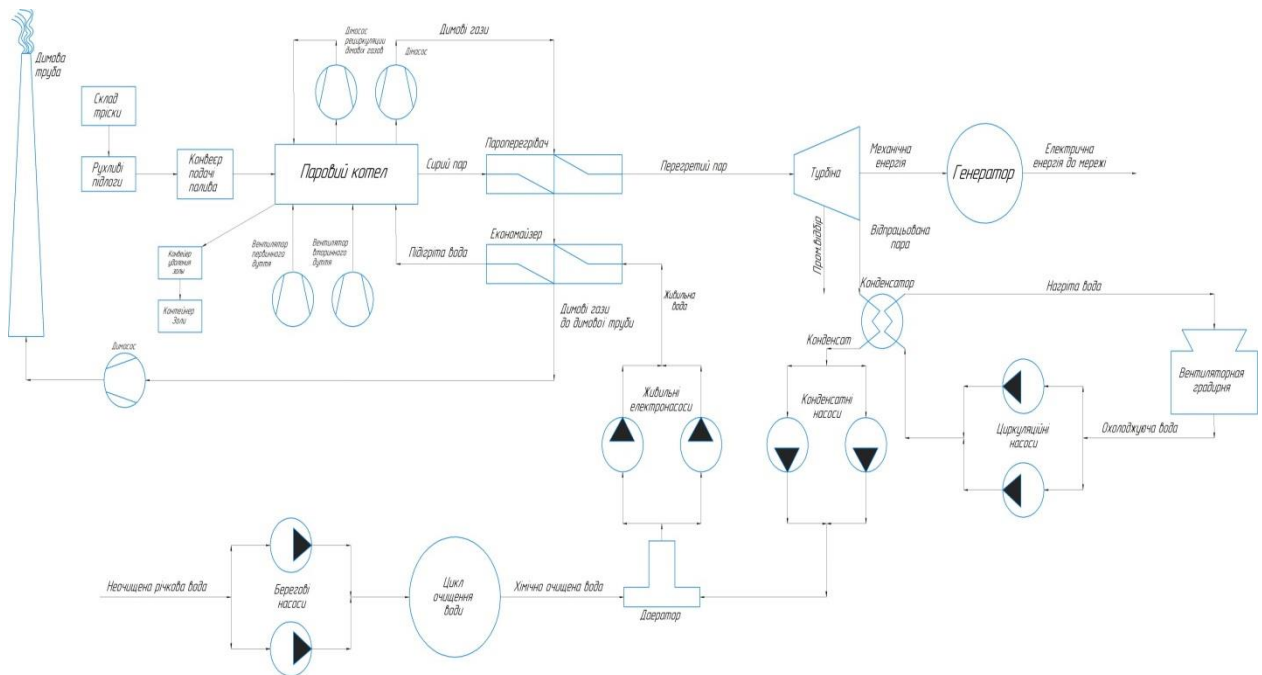


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ТЕС

– для підтримки горіння, а також розподілу високої температури по всьому котлу використовуються вентилятори, які постачають котел киснем і забезпечують циркуляцію потоку повітря в ньому;

– вода, що проходить по трубах котла, внаслідок високого тиску та високої температури випаровується в барабані котла, і таким чином отримують пар високого тиску.

Також варто відзначити, що після горіння тріски отримують такий продукт горіння, як зола, її прибирають за допомогою конвеєра для видалення золи в контейнер, окрім золи, під час згоряння палива в котлі утворюються димові гази, які за допомогою димососа видаляються з котла,

проходячи при цьому через пароперегрівач і водяний економайзер у димову трубу.

Далі добутий пар потрапляє до пароперегрівача для підвищення температури пари, у результаті чого отримують перегрітий пар, який приведе в дію парову турбіну. За рахунок тиску пари турбіна обертається та добувається механічна енергія, яку генератор перетворює на електричну.

Після цього етапу на виході з турбіни отримують відпрацьований пар, який потрапляє в конденсатор.

Конденсатор являє собою бак, в якому за допомогою насосів циркулює охолоджена вода з вентиляційних градирень і трубок всередині цього бака, в яких відпрацьований пар знову перетворюється на воду.

Щоб отримати пар, випарюють воду у паровому котлі. Але існує проблема постачання води до барабану котла, оскільки не можна використовувати просту непідготовлену воду, тому що якість води має вирішальне значення для довговічності трубопроводів, теплообмінників і котлів.

Якщо використовувати не підготовлену воду, то кисень, солі та частинки, які містить у собі вода, призведуть до неминучої корозії (рис. 1.2).



а) корозія труби



б) накип у паровому котлі

Рисунок 1.2 – Наслідки відпрацювання неочищеної води

Кисень реагує зі сталлю в трубопроводах, у той час коли солі діють як каталізатор для електрохімічної корозії. Якщо корозія буде залишатися активною, в кінцевому підсумку будуть виникати протікання, які важко виявити та дорого відремонтувати.

Також через неочищену воду в паровому котлі під час кипіння води буде відбуватися розкладання солей, які будуть утворювати нерозчинний осад, і після багаторазового нагрівання води утворюється накип. А накип приводить до наступних наслідків:

- зниження максимальної температури нагрівання;
- підвищення витрат енергоносіїв;
- перегрів зовнішніх поверхонь;
- спрацьовування захисту від перегріву;
- різна температура радіаторів;
- поява сторонніх шумів.

Тому, щоб уникнути непотрібних проблем у роботі котла та досягти довговічності трубопроводів, у системі водопідготовки позбавляються від солей, кисню та домішок у воді.

Розроблювана система водопідготовки від берегових насосів до деаератора показана на рис. 1.3.

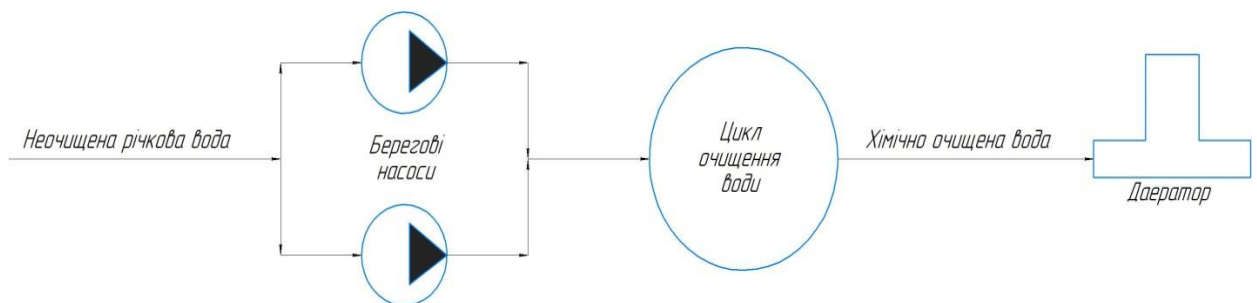


Рисунок 1.3 – Система очищення води

Завершальний етап підготовки після очищення так званої живильної води для котла – це деаерація води, процес, під час якого з води видаляються всі розчинені в ній гази [3].

### 1.3 Аналіз методів очищення води для системи водопідготовки

#### 1.3.1 Механічне очищення води

У процесі механічного очищення води відокремлюються тверді та зважені частинки. Це попередній етап підготовки до скидання або повторного використання, у процесі якого середовище готується до біологічної чи фізико-хімічної очистки.

Основні механічні методи очищення води підприємств:

**Проціджування.** Це первична ступень очищення води, у процесі якої стоки пропускаються через решітки для очищення води, які затримують волокна та нерозчинні домішки.

**Відстоювання** – із води видаляються зважені частинки. Метод заснування на дії сил гравітації — забруднення опускаються на дно ємності для відстоювання.

**Фільтрування** – відділення зважених речовин шляхом проходження через дрібнопористі сітки або пористі матеріали (антрацит, кварцовий пісок, гравій або інший матеріал).

**Центрифугування у гідроциклонах** – відділення твердих частинок у потоці оберткових середовищ.

Після механічного водоочищення проводиться зневоднення облоги води, воно також складається з декількох етапів.

Підготовчий етап – попереднє зневоднення облоги вод здійснюється за допомогою фільтрів-пресів шляхом кондиціонування органічною флокуляцією – агрегуванням облоги за допомогою флокулянтів. Це сприяє підвищенню віддачі осадом води.

Основний етап – одержання після попереднього етапу зневоднення осаду води куля затверділих частинок покривається негашеною известкою і перетворюється на гранули. У процесі реакції температура кулі затверділих частинок зростає до + 80°C. Це сприяє зневодненню та знезараженню осаду.

Фінальний етап – залишкового зневоднення осаду води шляхом механічної дії (відцентровою силою, розрядженням чи тиском) на кулю затверділих частинок.

Основні елементи споруд для механічного очищення води від забруднень:

- грати;
- пісколовки;
- відстійники.

За допомогою решіток для очищення води із середовища видаляються великі плаваючі забруднення. Грати можуть бути рухомими та нерухомими. У процесі експлуатації решітки для очищення стічних вод потрібно регулярно очищати від налиплих забруднень.

Пісколовки призначені для очищення стічних вод від мінеральних забруднень. Швидкість проходження стічних вод через пісколовки повинна бути такою, щоб у них осідали тільки важкі мінеральні забруднення, а органічні або дрібніші частинки відносилися потоком води. Залежно від напрямку руху стоків пісколовки діляться на 3 типи:

- горизонтальні;
- вертикальні;
- щілинні.

Відстійники (жироловки) – це резервуари для механічного очищення води, у яких із рушійної вертикально чи горизонтально середовища виділяються домішки. Вони можуть як осідати на дні резервуарів, так і спливати на поверхню води [4].

### 1.3.2 Сорбційні фільтри

#### 1.3.2.1 Сорбція на фільтрах з активованим вуглем

Для дезодорації води сорбцією використовують гранульоване і порошкоподібне активне вугілля, активований антрацит, вуглеві волокнисті матеріали та неуглеві адсорбенти (кліноптилоліт, цеоліти). Сорбційний метод дезодорації є значно надійнішим порівняно з окисним, оскільки він заснований не на трансформації органічних речовин, а на їх вилучення з води. З відомих сорбентів найбільш ефективні – активне вугілля. Вони добре сорбують феноли, поліциклічні ароматичні вуглеводні, у тому числі канцерогенні, більшість нафтопродуктів, хлор і фосфорорганічні пестициди, багато інших органічних забруднень. Так, є речовини, які ними не затримуються (наприклад, органічні аміни) або затримуються погано (наприклад, синтетичні поверхнево-активні або регенерації речовини). Хімічний метод передбачає попередню обробку вугілля гострим паром, а потім лугом. Метод складний, трудомісткий і недостатньо ефективний, тому що не відновлює сорбційну здатність матеріалу повністю.

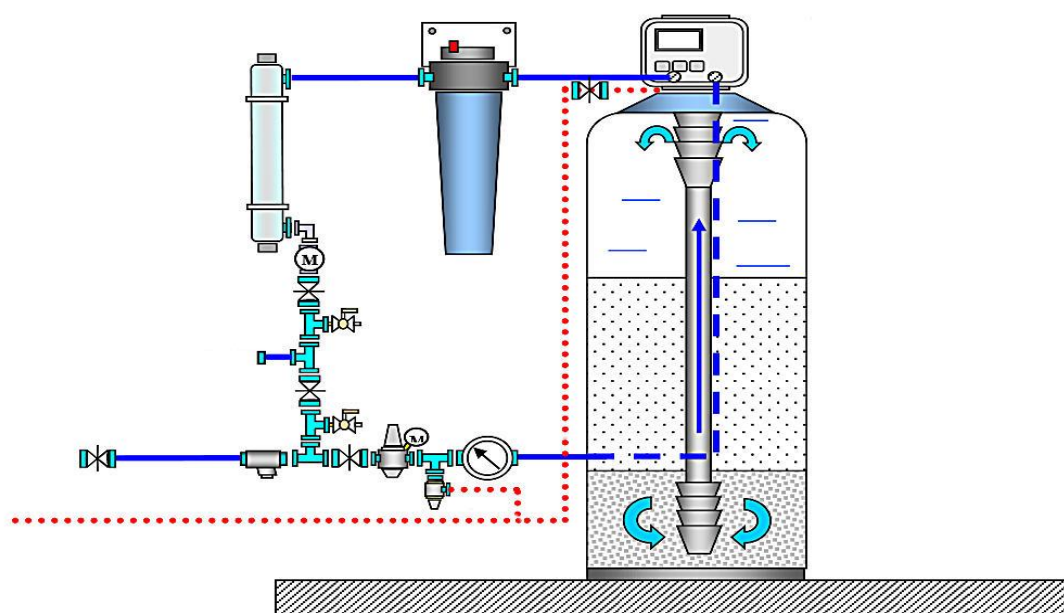


Рисунок 1.4 – Сорбційний фільтр для води

### 1.3.2.2 Сорбція на іонних установках

Іонна смола вже давно себе зарекомендувала як оптимальну речовину для видалення різних домішок. Метод полягає в іонозаміщенні при цьому можуть використовуватися різні види смол, залежить від характеристик води та типу домішок. Стандартне очищення складається з одного етапу фільтрації. Потік води надходить у колону, де знаходиться іонна смола. Проходячи через елемент, що фільтрує, домішки притягуються до гранул смоли, а вона, у свою чергу, виділяє натрій. Таким чином і відбувається заміщення іонів. Іонна смола синтетично розроблений продукт під безпосередні потреби фільтрації. З часом, запас натрію зменшується, очищувальна здатність погіршується і потрібна промивка фільтра. Очищається він за допомогою регенерації. Для цього завантажувальний матеріал промивають концентрованим розчином солі забруднення та пом'якшувати воду. Термін експлуатації смоли досить великий. Але періодично потрібна підсипка.

Активоване вугілля має гарні поглинаючі здібності. Але багато залежить від величини та розміру пір. Тому матеріал можна розділити на кілька категорій з великими порами з дрібними порами і змішані по діаметру осередки також поділяються. з усіма молекулами, крім водню і кисню. Вбираючі здібності не повинні бути обмежені за часом. Тобто і при малому контакті з водою повинна починатися реакція.

Сам процес сорбції може бути статичним або динамічним. Статичне очищення має на увазі рух домішок навколо сорбційного матеріалу, на рис.1.4 показано сорбційний фільтр [5].

### 1.3.3 Аероціонні фільтри

Очищення від заліза води зі свердловини аерацією відноситься до безреагентних технологій знезалізнення. В результаті обробки видаляється не

тільки залізо, а й марганець, сірководень, метан, вуглекислий газ та інші газоподібні домішки.

На рис.1.5. показано аероціоний фільтр, суть технології знезалізнення води аерацією полягає в тому, що при насиченні води киснем розчинене в ній двовалентне залізо окислюється, і набуває тривалентної, нерозчинної форми. Після цього цей зважений осад видаляється за допомогою фільтра. Контакт рідини, що очищається, і кисню відбувається в спеціальній ємності (аераційна колона або труба).

Очищення від заліза аерацією має суттєві переваги порівняно з іншими методами.

Водопровідна вода наповнює аераційну колону, після чого датчик потоку води включає компресор високого тиску. В результаті взаємодії повітря, що подається під натиском, з водою відбувається активне окислення двовалентного заліза.

Коли тиск у резервуарі перевищує допустимий, спрацьовує клапан, встановлений в оголовку колони. Після завершення процесу аерації вода через установку, що фільтрує, затримує частинки окисленого заліза, подається до споживачів.

У безнапірних системах вода подається у верхню частину ємності, де розпорошується за допомогою форсунок. Дрібні краплі води, стикаючись із повітрям у ємності, окислюють розчинене залізо. Крім цього, компресор подає повітря в воду, що знаходиться в ємності, для додаткового насичення киснем.

Найбільш компактні – ежекторні установки. Вони діють рахунок енергії потоку води у водопроводі. Ежектор особливої конструкції створює зону низького тиску, внаслідок якого внутрішньо труби засмоктується повітря. Такі системи знезалізнення аерацією найдешевші, але й ефективність їх значно нижча, ніж в установках напірного знезалізнення.

Найбільш потужною та ефективною є напірна аерація, ця безреагентна технологія знезалізнення води забезпечує максимально безпечну обробку

великого об'єму води [7].

### 1.3.4 Пом'якшення води

Жорсткість – одна з основних причин швидкого виходу з ладу промислового обладнання. Вона проявляється у вигляді сірого нальоту, накипу на нагрівальних поверхнях, що суттєво знижує теплопровідність і як наслідок ККД агрегатів. Для відновлення нормальної роботи потрібно витратити багато часу і спеціалізованих реагентів для видалення жорсткості.

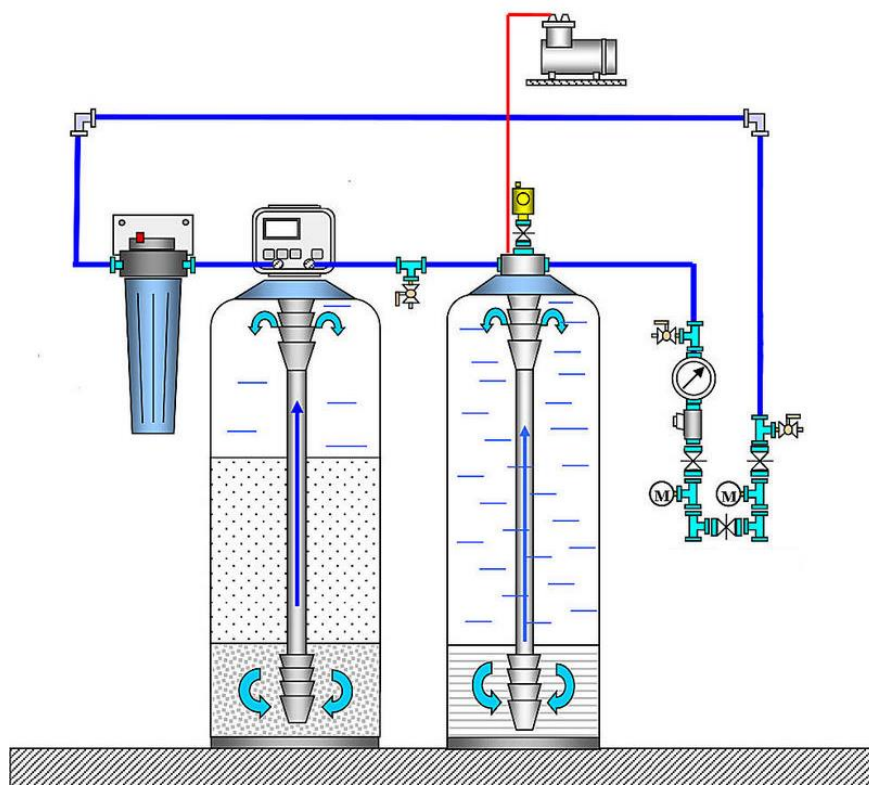


Рисунок 1.5 – Аероціонний фільтр

Цих операцій можна уникнути ще етапі планування чи модернізації виробництва, включивши систему очищення води підприємствам із стадією пом'якшення. Пом'якшення води у промисловості зводиться до зменшення вмісту у її обсязі кальцієвих і магнеєвих солей, причому залежно від кількості і специфіки кінцевого споживача води, розрізняють кілька методів зниження

жорсткості для підприємства.

Вода, яка використовується в теплоенергетиці піддається найвищому контролю щодо її жорсткості. Водопідготовка для котелень, парогенераторів, бойлерів завжди містить стадію пом'якшення, що забезпечує низький вміст солей жорсткості. Така вода не повинна містити солей, здатних до осадоутворення, спінювання води, що нагрівається, відкладення накипу на нагрівальних частинах обладнання. Практично завжди для підготовки котлової води в котельнях і теплоенергетиці використовуються системи пом'якшення безперервної дії. За високих вимог до жорсткості води для парових котлів необхідне встановлення двоступінчастих систем пом'якшення води.

Залежно від якості вихідної води та необхідної глибини пом'якшення визначається найбільш підходящий та економічно доцільний метод видалення жорсткості води промислової діаселесткості на підприємстві. Він може складатися з одного або навіть комплексу фізичних і фізико-хімічних процесів:

- зміна іонів солей жорсткості на іони, розташовані на матриці смоли;
- мембранний поділ;
- переведення солей жорсткості у нерозчинений вигляд шляхом нагрівання води;
- обробка води реагентами;
- дія магнітним полем.

Найбільш затребуваними й ефективними є перші два методи, методи, що залишилися, дорогі, ненадійні та трудомісткі.

Для вирішення різних завдань на підприємстві можливе використання або промислових фільтрів пом'якшення, або установок зворотного осмосу, або комбінації цих методів. На рис.1.6 показано процес пом'якшення води [8].

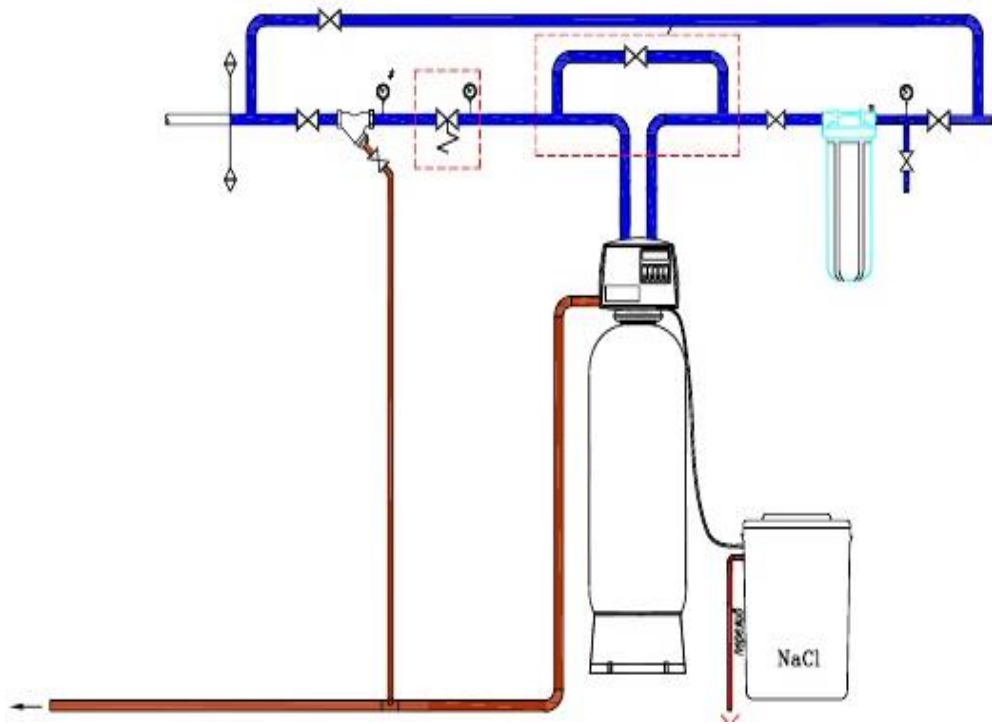


Рисунок 1.6 – Процес пом'якшення води

### 1.3.5 Зворотній осмос

Технологія підготовки води на ТЕС, використовуючи зворотний осмос, має попит. Принцип такої водопідготовчої установки ТЕС полягає в тому, що два розчини з різним вмістом солей поділяються на прозору мембрану. Вона схожа на сітку, тільки розмір її осередків дорівнює розмірам молекули. Мембрана здатна пропустити молекули води, але не проходять інші забруднення частки. В результаті під тиском води молекули води проходять через мембрану, а молекули солі залишаються на ній. На виході виходить ідеально очищена вода. Якщо тиск на воду підвищується, зростає продуктивність зворотного осмосу. Разом із молекулами води проходять і молекули кисню та газів. Це забезпечує чисту воду без неприємних запахів.

Процес зворотного осмосу – пропускання рідини під тиском від 8 атмосфер до 12 атмосфер через пористу мембрану з дрібними осередками, що затримують домішки розміром від 0,001 мкм до 0,0001 мкм. Активно використовують для очищення води від солей, сульфатів, нітратів, барвників, цукру, бактерій, вірусів. При очищенні води від газів, наприклад, хлору або

CO<sub>2</sub> установки зворотного осмосу безсилі.

Визначення зворотний щодо осмосу застосовується тому, що в природних умовах через напівпроникну мембрану вода переміщається у бік більш насиченого розчину (процес прямого осмосу). Зворотний осмос можливий лише за наявності пристроїв підвищення тиску.

Переваги зворотного осмосу у тому що сучасні технічні можливості дозволили створити, крім промислових, широкий модельний ряд побутових установок зворотного осмосу. Вони складаються з блоку очищення, до якого входять фільтри:

- механічного очищення (зазвичай, спінений поліпропілен);
- вугільний (для видалення газоподібних домішок);
- мембранний (власне, осмотичний);
- додатковий вугільний;
- оптимальна вартість, тривалий термін служби і висока надійність роботи системи в цілому;
- низьке енергоспоживання при використанні низьконапірних зворотньоосмотичних мембран;
- повна готовність системи до монтажу без будь-яких доукомплектацій і доробок на місці установки;
- система компактно змонтована на рамі і займає мінімальний об'єм приміщення;
- повна автоматизація процесу очистки води, моніторинг основних параметрів;
- просте, надійне управління за допомогою мікропроцесорного контролера;
- проста зв'язок та відмінна взаємодія різних компонентів системи;
- мінімальний обсяг скидання стічних вод (25 % від що надходить на очищення води);
- ступінь видалення солей з очищеної води – до 99,9 %;

– наявність дозвільних документів, що дозволяють використовувати системи для очищення питної води.

У блоках для питної води багато виробників встановлюють мінералізатори, що збагачують воду корисними солями, та УФ-знезаражувачі. На рис. 1.7 представлено технологію роботи зворотного осмосу [9].

#### 1.4 Висновки до розділу 1

Отже, після проведеного аналізу предметної області було визначено, для якої мети використовується кожен проаналізований фільтр для очищення води, та завдяки цьому можна буде визначити необхідні фільтри, залежно від того, яка потрапляє вода з джерела.

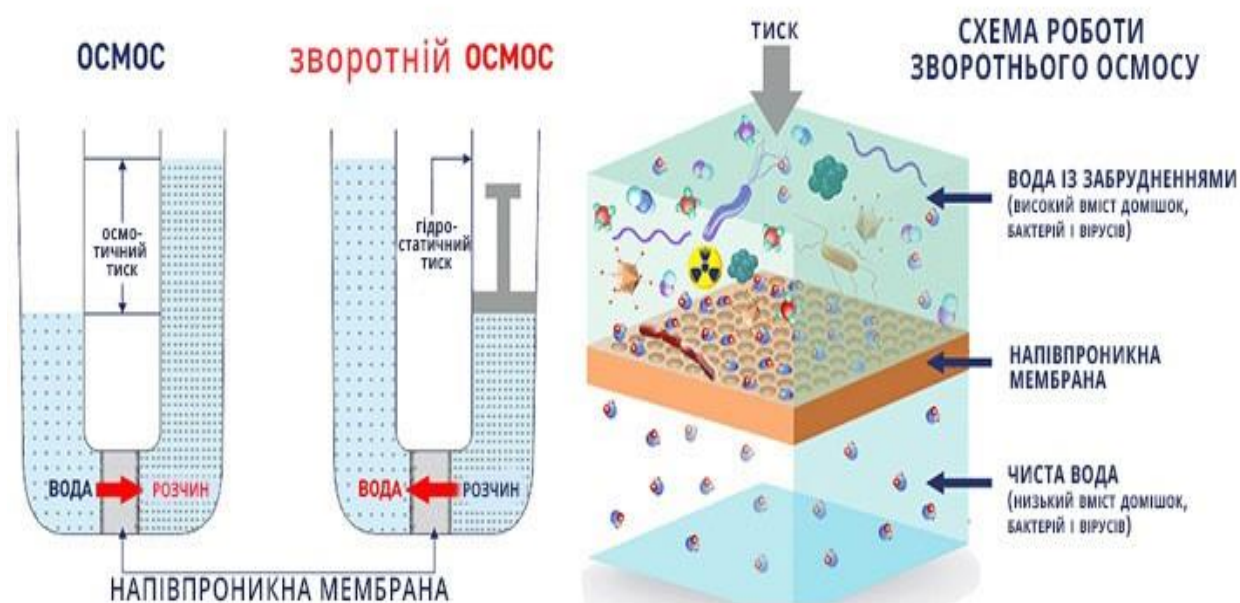


Рисунок 1.7 – Принцип роботи зворотного осмосу

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ТА ЇЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

### 2.1 Методика виконання хіманалізів початкової води та перміату

Для того щоб вибрати правильну систему очистки води необхідно визначити вміст води, для цього проводяться наступні аналізи води:

- визначення концентрації водневих іонів;
- визначення електропровідності;
- визначення загальної твердості.

Показник рН визначають у воді за допомогою індикаторного паперу. Для цього в пробірку наливають небагато води й опускають у неї смужку індикаторного паперу. Потім порівнюють колір змоченого паперу з кольоровими еталонами на упаковці індикаторного паперу. Збіг фарбування еталона й паперу, змоченою водою, вказує на величину рН. При необхідності одержання більш точних результатів визначення рН води рекомендується користуватися рН-метром. Спосіб визначення рН за допомогою цього приладу зазначений у прикладеній до нього інструкції.

Вода із солями, кислотами й лугами утворює розчини, що володіють гарною електропровідністю. Для виміру загальної кількості розчинених у воді сполук на один мільйон часток води застосовується TDS метр – це ні що інше, як індикатор якості води. Принцип дії TDS метра полягає в прямій залежності електропровідності розчину від кількості й суміші, розчинених у ньому сполук.

У конічну колбу вносять 100 мл відфільтрованої випробуваної води. Потім додають 5 мл буферного розчину, 5-7 крапель індикатору або приблизно 0,1 г сухої суміші індикатору хромоген чорного із сухим хлористим натрієм і відразу ж титрують при сильному збовтуванні розчином трилона Б до зміни фарбування в еквівалентній крапці (фарбування

повинно бути синього із зеленуватим відтінком). Загальну твердість води (X) у мкг-екв/кг обчислюють за формулою:

$$X = v \cdot 0,01 \cdot 1000 / V, \quad (2.1)$$

де  $v$  – кількість розчину трилона Б, витрачена на титрування, мл;  
 $V$  – об'єм води, узятий для визначення, мл.

## 2.2 Технологічні параметри системи очищення води

Основними параметрами зворотньоосмотичних мембран є наступні [10].

Питома продуктивність мембрани – кількість очищеної води, яка проходить за одиницю часу через одиницю площі мембрани. Іншими словами ця кількість пермеату може зробити 1 кв. м поверхні мембрани за добу або за годину. Позначення:  $G$ ,  $J$ . Одиниці вимірювання:  $\text{м}^3/\text{м}^2 \times \text{день}$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$  (метрична система); галон/кв.фут  $\times$  день (GFD), галон/кв.фут  $\times$  година (GFH) (англо-американська система).

Селективність визначається як відсоток розчиненої речовини, затриманої мембраною. У зворотному осмосі це описується термінах відбиття NaCl в певних робочих умовах (тиск, температура, рН, ступінь відбору концентрату, солеміст).

Солепроникність – це відсоткове відношення кількості солей, не затриманих мембраною і проникли у процесі зворотного осмосу в пермеат, до кількості солей у вихідній воді.

Солезатримання – це відсоткове відношення кількості розчинених солей, затриманих мембраною до кількості солей у вихідній воді. По суті – це 100 % мінус солепроникність (%). Для однокомпонентного розчину солезодержання дорівнює селективності.

Ступінь відбору пермеату (вихід пермеату) виражається у відсотках і

визначається ставленням обсягу очищеної води до обсягу води, що входить. Іноді використовується величина ступеня відбору концентрату - відношення об'єму концентрату до обсягу води, що входить.

Розглянемо послідовно ці характеристики, і навіть чинники мембранного процесу що впливають на них.

Питома продуктивність мембрани по очищеній воді (потік пермеату)  $J_w$  можна визначити з наступного виразу:

$$J_w = A \cdot (\Delta P - \Delta p) \quad (2.2)$$

де  $\Delta P$  – перепад тиску на мембрані;

$A$  – проникність води даної мембрани, величина якого залежить від коефіцієнтів розчинності та дифузії  $U_m$  води через мембрану (за температури 18 °С це значення 5.1 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>\*год\*бар, за температури 25 °С це значення 5.79 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>\*год\*бар;

$\Delta p$  – перепад осмотичного тиску на мембрані.

Таким чином, потік очищеної води через мембрани  $J_w$  насамперед залежить від різниці доданого тиску та осмотичного тиску на мембрані. При цьому осмотичний тиск залежить від загального солевмісту вихідної води:

$$\pi = R \cdot T \cdot c, \quad (2.3)$$

де  $\pi$  – осмотичний тиск;

$R$  – універсальна газова постійна;

$T$  – температура;

$c$  – концентрація.

Прийнято вважати, що кожні 100 мг/л твердих речовин, розчинених у питній воді, припадає приблизно 0,07 бар (1 psi) осмотичного тиску.

Оскільки солевміст пермеату досить низький, яке тиск трохи більше атмосферного, то осмотичним тиском з боку пермеату зазвичай нехтують.

Питома пропускна здатність мембрани, що проходить через мембрану солі (розчинених твердих речовин) – питома солепроникність мембрани  $J_s$  описується виразом:

$$J_s = B \cdot \Delta c_s, \quad (2.4)$$

де  $\Delta c_s$  – різниця концентрацій певної розчиненої речовини з обох боків мембрани ( $\Delta c_s = c_f - c_p$ );

$B$  – коефіцієнт проникності для певної розчиненої речовини для даної мембрани, величина якого залежить від коефіцієнтів розчинності та дифузії цієї розчиненої речовини через мембрану.

Очевидно, що в першу чергу потік проходить через мембрану певної розчиненої речовини залежить від його концентрації на кожній стороні мембрани і практично не залежить від різниці тисків на мембрані.

Селективність мембрани по відношенню до даного розчиненого компонента визначається як відсоток розчиненої речовини, затриманої мембраною (солотриманням), і описується виразом:

$$R = / [A \cdot (\Delta P - \Delta p) + B]. \quad (2.5)$$

Вочевидь, що у цьому вираженні лише значення перепаду тиску на мембрані є величиною змінної. Таким чином можна стверджувати, що селективність мембрани збільшується при підвищенні тиску, що пов'язано зі зменшенням концентрації певного розчиненого компонента в пермеаті.

Коефіцієнт проникності води  $A$  – величина не постійна і залежить тільки від перелічених вище величин, а й від температури.

Температурна залежність продуктивності мембрани:

$$Q_{25} / Q_t = e^x, \quad (2.6)$$

де  $Q_{25}$  – продуктивність за нормальної температури 25;  
 $Q_t$  – продуктивність при температурі  $T$ ;  
 $e$  – основа натурального логарифму ( $e = 2,71828$ ).

$$x = U [1/(T+273) - 1/298], \quad (2.7)$$

де  $U$  – характеристична стала мембрани.

Зазвичай продуктивність ГО-мембран при постійно доданому тиску збільшується приблизно на 3 % при зростанні температури на один градус. Солепроникність мембран також зростає прямо пропорційно до зростання температури, а ось співвідношення між потоками солі і води, що проникають через мембрану, залишаються, по суті, постійними при різних температурах. Тому вважається, що селективність мембрани мало залежить від температури.

### 2.3 Опис установок системи водопідготовки та їх технічні параметри

У якості початкової (сирої) води для установки зворотного осмосу використовується вода з річки Чорна тиса. Накопичення та зберігання сирої води відбувається в двох бетонних ємностях розташованих на березі річки. В кожній ємності встановлено по одному свердловинному насосу марки ЕЦВ. Початкова вода з однієї з ємностей накопичення подається насосом ЕЦВ 10-63-65 або ЕЦВ 8-40-40 технічні параметри табл. 3.1, до котельного відділення ТЕС. В котельному відділенні початкова вода розподіляється між споживачами.

Таблиця 2.1 – Насоси сирої води

| Найменування   | Одиниця виміру      | Величина |
|----------------|---------------------|----------|
| Продуктивність | м <sup>3</sup> /год | 63       |

Для очищення від механічних домішок (піску, іржі, окалини і т. п.) сира вода подається на механічні фільтри розташовані на трубопроводі подачі сирої води від берегових насосів. Загалом на трубопроводах сирої води встановлено 4 фільтри, через які вона проходить до потрапляння на установку водопідготовки, технічні параметри механічних фільтрів вказані на табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Фільтри механічного очищення води

| Найменування                 | Одиниця вимірювання | Величина |
|------------------------------|---------------------|----------|
| Максимальний тиск            | бар                 | 6        |
| Площа фільтрації             | см <sup>2</sup>     | 950      |
| Розмір фільтруючого елемента | мкм                 | 100      |
| Висота фільтра               | мм                  | 465      |
| Діаметр фільтра              | мм                  | 200      |
| Максимальна температура      | °С                  | 70       |

Фільтр каламутності, технічні параметри якого вказані на табл. 2.3, призначений для видалення зважених частинок, що можуть залишитись в початковій воді після проходження фільтрів. Фільтруючим елементом є активоване вугілля. Для відновлення властивостей активованого вугілля та видалення зважених частинок, що накопичились у фільтрі каламутності кожні 24 години проводиться процедура його регенерації. Регенерація виконується початковою водою, зі її скиданням в каналізацію.

Таблиця 2.3 – Фільтр каламутності

| Найменування            | Одиниця виміру | Величина           |
|-------------------------|----------------|--------------------|
| Максимальний тиск       | бар            | 5,5                |
| Максимальна температура | °С             | 49                 |
| Мінімальна температура  | °С             | 1                  |
| Фільтруючий матеріал    | -              | Активоване вугілля |
| Висота фільтра          | мм             | 1900               |
| Діаметр фільтра         | мм             | 600                |

Процес зворотноосмотичного очищення води відбувається наступним чином. У початкову воду після проходження системи фільтрації та передочищення, дозується антискалант. Потім насос високого тиску подає воду під тиском в мембранний модуль. В процесі мембранного поділу потік вихідної води ділиться на очищену воду (перміат) і воду, збагачену присутніми в ній домішками (концентрат). Частина концентрату скидається в каналізацію, решта концентрату повертається по лінії рециркуляції на вхід насоса високого тиску і змішується з сирією водою. Витрати води, що скидається (концентрат) та рециркуляційного концентрату (рецикл), регулюються відповідними редукторами. Технічні характеристики установки зворотного осмосу табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Установка зворотного осмосу

| Найменування                    | Одиниця вимірювання | Величина  |
|---------------------------------|---------------------|-----------|
| Робочий тиск                    | бар                 | 5,7 – 8,1 |
| Витрата води на промивання      | л                   | 270       |
| Споживана потужність            | кВт                 | 4         |
| Рекомендовані робочі параметри: |                     |           |
| скидання концентрату            | л/хв                | 25 – 30   |
| рециркуляція                    | л/хв                | 50 – 80   |
| витрата перміату                | л/хв                | 68 – 75   |

Після баків перміату осмосована вода подається через насос перміату до установки пом'якшення (Na-катіонування) перміату, технічні параметри установки пом'якшення води приведено на табл. 2.5. Вона складається з двох Na-катіонітних фільтрів (один робочий, другий резервний). Установка є автоматичною, періодичної дії, регенерація фільтрів відбувається за часом або по витраті відфільтрованої води.

Таблиця 2.5 – Установка пом'якшення води

| Найменування  | Одиниця виміру | Величина    |
|---|----------------|-------------|
| Тиск робочий/максимальний   | бар            | 5 – 8       |
| Температура води  | °С             | 4 – 30      |
| Електроживлення   | В/Гц           | 220/50      |
| Витрата солі на регенерацію   | кг             | 12,5 – 15,0 |
| Об'єм стоків, які утворюються при регенерації фільтру                   | м <sup>3</sup> | 1,25        |
| Тривалість регенерації  | хв             | 80 – 110    |
| Питома витрата таблетованої солі на підготовку 1000 м <sup>3</sup> води | кг             | 50          |

На випадок зниження тиску в системі сирі води ТЕС перед установкою водопідготовки встановлено два центробіжних насоси (один робочий, другий резервний), які призначені для підтримання тиску сирі води перед установкою водопідготовки в межах від 2 бар до 4 бар.

Окрім цього на трубопроводі сирі води передбачене встановлення пластинчатого підігрівача сирі води тепловою потужністю 0,06 МВт, перед системою очищення води показано на рис. 2.1, для підтримання температури сирі води на рівні 25 °С. Підігрівання сирі води необхідне для забезпечення оптимального режиму роботи установки водопідготовки.

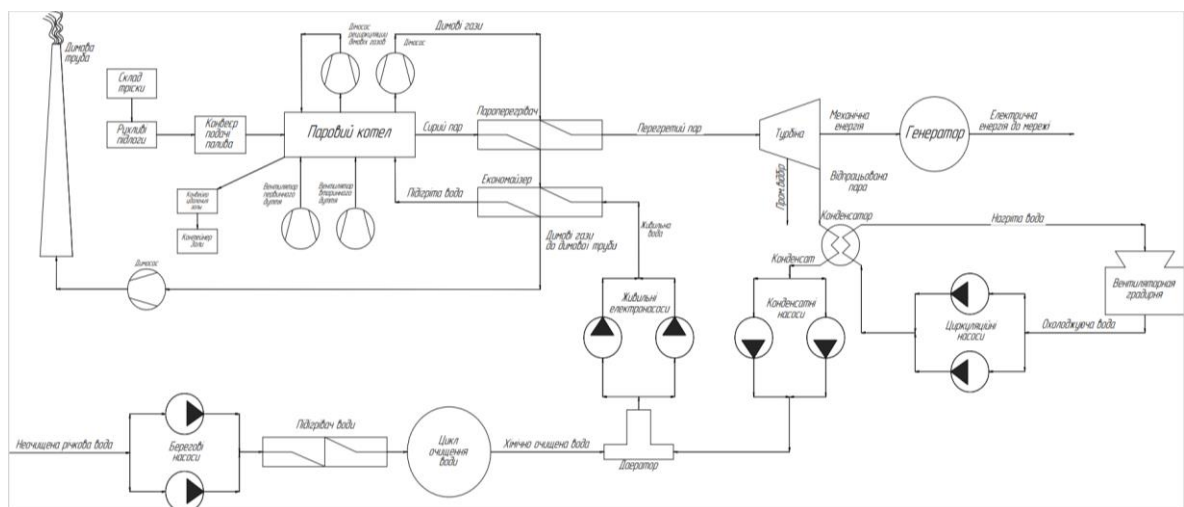


Рисунок 2.1 – Вдосконалена технологічна схема ТЕС [11]

Процес зворотноосмотичного очищення води відбувається наступним чином. У початкову воду після проходження системи фільтрації та передочищення, дозується антискалант. Потім насос високого тиску подає воду під тиском в мембранний модуль. В процесі мембранного поділу потік вихідної води ділиться на очищену воду (перміат) і воду, збагачену присутніми в ній домішками (концентрат). Частина концентрату скидається в каналізацію, решта концентрату повертається по лінії рециркуляції на вхід насоса високого тиску і змішується з сирією водою. Витрати води, що скидається (концентрат) та рециркуляційного концентрату (рецикл), регулюються відповідними редукторами.

Редуктор скидання концентрату обмежує потік води з високим вмістом солей, що скидається в каналізацію. Кількість концентрату, яку необхідно скинути в каналізацію визначають за формулою [12]:

$$\text{Кількість скидання концентрату} = (\text{витрата перміату}/0,75) - \text{витрата перміату.} \quad (2.8)$$

Редуктор рециклу підтримує робочий тиск в мембранному модулі, необхідний для виробництва перміату. Чим вище тиск в мембранному модулі, тим більше витрата виробленого перміату.

Вироблений перміат подається в два баки перміату  $V = 4 \text{ м}^3$ . Установа зворотного осмосу зупиняється, коли баки перміату повністю заповнені (за сигналом поплавкового вимикача). Повторний запуск установки відбувається після зниження рівню в баках перміату (за сигналом поплавкового вимикача).

Для управління автоматичною роботою установки зворотного осмосу встановлений ПЛК. ПЛК керує установкою зворотного осмосу, вмикаючи/вимикаючи насос високого тиску та відкриваючи/закриваючи електричні клапани для здійснення виробництва очищеної води або гідравлічної промивки мембран. Контролер зчитує сигнали реле тиску,

поплавкового вимикача, приладу вимірювання температури і електропровідності перміату і зовнішнього сигналу СТОП. Залежно від цих сигналів він визначає поточний режим роботи системи. Електропровідність перміату відображається на дисплеї контролера.

Після баків перміату осмосована вода подається через насос перміату до установки пом'якшення (Na-катіонування) перміату. Вона складається з двох Na-катіонітних фільтрів (один робочий, другий резервний). Установка є автоматичною, періодичної дії, регенерація фільтрів відбувається за часом або по витраті відфільтрованої води.

При проходженні перміату через установку Na-катіонування шкідливі іони жорсткості, при взаємодії з катіонітом, замінюються на нешкідливі іони натрію.

Регенерація відбувається автоматично під керуванням контролера установки Na-катіонування. У випадку регенерації одного з фільтрів установка автоматично вмикає в роботу резервний. Всмоктування соляного розчину проводиться ежектором керуючого клапана. Витрата солі на регенерацію регулюється за допомогою поплавка керуючого клапана, розташованого в соляному баку.

Після проходження установки Na-катіонування хімоочищена вода подається до баків запасу конденсату (БЗК).

На випадок виходу з ладу обох фільтрів Na-катіонування, передбачена можливість їх байпасування (виключення з роботи).

Для коректування рН хімоочищеної води після установки Na-катіонування передбачена станція пропорційного дозування гідроксиду натрію. Дозування виконується пропорційно у відповідності до витрати хімоочищеної води.

### 2.3 Висновки до розділу 2

Отже, у результаті проведеного дослідження технологічних параметрів, було вдосконалено систему очищення води на тепловій електростанції підігрівачем води, для того, щоб в системі очищення води на тепловій електростанції була підігріта вода до 25 °С, далі буде проведено комп'ютерне моделювання.

### 3 РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ПОБУДОВА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ

#### 3.1 Розрахунок вхідних параметрів в систему

Продуктивність мембрани залежить від робочого тиску та осмотичного тиску на неї (формула 2.2). Тому для покращення роботи системи очищення води треба регулювати робочий тиск, який залежить від температури вхідної води, тому що робочий тиск за температури 18 °С більший, ніж за температури 25 °С. Розрахунок вхідного тиску показано формулою 3.1:

$$P_{\text{вх}} = -0,34375 \cdot T_{\text{вх}} + 14,375, \quad (3.1)$$

де  $T_{\text{вх}}$  – вхідна температура води.

Розрахуємо робочий тиск системи очищення води з температурою води з джерела 18 °С та після підігріву цієї води до 25 °С.

$$P_{\text{вх1}} = -0,34375 \cdot 18 + 14,375 = 8,12 \text{ бар},$$

$$P_{\text{вх2}} = -0,34375 \cdot 25 + 14,375 = 5,78 \text{ бар}.$$

Також на систему впливає осмотичний тиск, який також залежить від температури води, розрахункова формула 2.3:

$$p_{18} = 8,31 \cdot 291 \cdot 0,00033 = 0,798009 \text{ МПа} = 7,98 \text{ бар},$$

$$p_{25} = 8,31 \cdot 298 \cdot 0,00033 = 0,817205 \text{ МПа} = 8,17 \text{ бар}.$$

Як сказано в літературі [13], при лінеаризації рівнянь і спрощенні математичного опису прикладами інерційних ланок можуть служити багато об'єктів: генератори, двигуни, електричні печі, виконавчі механізми,

електронні, магнітні підсилювачі, термопари та інше. Тому представимо перетворювач частоти, двигун та насос у вигляді інерційних ланок першого порядку та визначимо коефіцієнти передачі. Вибір приладів та їх технічні параметри наведені в попередній кваліфікаційній роботі бакалавра [14].

Для регулювання тиску в системі очищення води також слід враховувати такі елементи, як: регулятор тиску, перетворювач частоти, двигун, насос, трубопровід та для контролю датчик тиску.

Для розрахунку продуктивності мембрани в комп'ютерній моделі буде використана формула 2.2.

### 3.2 Розрахунок передавальних функції для регулювання тиску

Передавальна функція перетворювача частоти [15]:

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{K_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}}(p)+1}, \quad (3.2)$$

де  $K_{\text{пч}}$  – коефіцієнт передачі перетворювача частоти;

$T_{\text{пч}}$  – постійна часу перетворювача частоти.

Визначимо постійну часу та коефіцієнт передачі перетворювача частоти:

- струм управління перетворювачем частоти  $i_{\text{упр}} = 20$  мА;
- коефіцієнт передачі перетворювача частоти  $K_{\text{пч}} = f_{\text{н}}/i_{\text{упр}} = 50/20 = 2,5$ .

У загальному перетворювач складається з двох частин: система з фільтром із постійною часу  $T_{\text{ф}} = 0,003$  с, силова схема з постійною часу  $T_{\text{с}}$ :

$$T_{\text{пч}} = T_{\text{ф}} + \frac{1}{2 \cdot f_{\text{н}} \cdot m}, \quad (3.3)$$

де  $f_{\text{н}}$  – номінальна частота, Гц;

$m$  – число фаз.

$$T_{\text{пч}} = 0.003 + \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 3} = 0,006.$$

Отримуємо передавальну функцію частотного перетворювача:

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{2,5}{0,006p+1}. \quad (3.4)$$

Передавальна функція двигуна [16]:

$$W_{\text{д}}(p) = \frac{K_{\text{д}}}{T_{\text{д}}(p)+1}, \quad (3.5)$$

де  $K_{\text{д}}$  – коефіцієнт передачі двигуна;

$T_{\text{д}}$  – постійна часу двигуна.

Визначимо постійну часу та коефіцієнт передачі двигуна:

$$K_{\text{ад}} = \frac{\omega_{\text{н}}}{f_{\text{н}}}, \quad (3.6)$$

де  $\omega_{\text{н}}$  – оберти двигуна, 2900 об/хв переведемо в 303 рад/с;

$f_{\text{н}}$  – номінальна частота, Гц.

$$K_{\text{ад}} = \frac{303}{50} = 6,06.$$

Постійну часу двигуна приймаємо  $T_{\text{ад}} = 0,15$  с.

Отримуємо передавальну функцію двигуна:

$$W_{\text{д}}(p) = \frac{6,06}{0,15p+1}. \quad (3.7)$$

Передавальна функція насоса [17]:

$$W_H(p) = \frac{K_H}{T_H(p)+1}, \quad (3.8)$$

де  $K_H$  – коефіцієнт передачі насосу;

$T_H$  – постійна часу насосу.

Визначимо постійну часу та коефіцієнт передачі насоса:

$$K_d = \frac{Q_H}{\omega_H}, \quad (3.9)$$

де  $Q_H$  – продуктивність насоса,  $64 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $0,01778 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$$K_d = \frac{0,01778}{303} = 5,868 \cdot 10^{-5}.$$

Постійну часу приймаємо  $T_H = 1 \text{ с}$ .

Отримуємо передавальну функцію насоса:

$$W_H(p) = \frac{5,868 \cdot 10^{-5}}{p+1}. \quad (3.10)$$

Для переведення витрати в  $\text{м}^3/\text{год}$  нам знадобиться коефіцієнт, який дорівнює 3600.

Передавальну функцію трубопроводу представимо у вигляді безінерційної ланки з коефіцієнтом передачі:

$$K_T = \frac{P_{\text{вх}}}{Q_H}. \quad (3.11)$$

де  $P_{\text{вх}}$  – робочий тиск системи, бар;

$Q_H$  – продуктивність насоса,  $\text{м}^3/\text{год}$ .

$$K_T = \frac{8,1}{63} = 0,128571.$$

Передавальну функцію датчика тиску як трубопроводу представимо безінерційною ланкою та поставимо цей коефіцієнт на вхід системи для перетворювання тиску у струмовий сигнал:

$$K_{дт} = \frac{i_{упр}}{P_H}, \quad (3.12)$$

$$K_{дт} = \frac{20}{8,1} = 2,469.$$

Розрахунок передавальної функції регулятора тиску буде виконано на модульний оптимум [18].

Передавальна функція регулятора:

$$W_p(p) = \frac{W_n(p)}{W_i(p) \cdot W_d(p)}, \quad (3.13)$$

де  $W_n(p)$  – бажана передавальна функція (пропорційний коефіцієнт);

$W_i(p)$  – передавальна функція об'єкта управління (інтегральний коефіцієнт);

$W_d(p)$  – передавальна функція зворотного зв'язку (диференціальний коефіцієнт).

$W_n(p)$  на модульний оптимум має вигляд:

$$W_n(p) = \frac{1}{2 \cdot T_\mu p (T_\mu p + 1)}, \quad (3.14)$$

де  $T_\mu$  – мала некомпенсована постійна часу об'єкта управління, 0,06 с.

Знаходимо передавальну функцію регулятора:

$$\begin{aligned}
 W_p(p) &= \frac{1}{0,012p(0,006p+1)} \cdot \frac{0,006p+1}{2,5} \cdot \frac{0,15p+1}{6,06} \cdot \frac{p+1}{5,868 \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{1}{0,203125} \cdot \frac{1}{3600} \cdot \frac{8.1}{20} = \\
 &= 95,82145 + \frac{83,323}{p} + 12,49845p. \quad (3.15)
 \end{aligned}$$

Отримали передавальну функцію регулятора, далі побудуємо комп'ютерну модель для отримання графіків перехідних процесів, залежних від вхідної температури в систему.

### 3.3 Комп'ютерна модель системи очищення води на тепловій електростанції та результати моделювання

Моделювання – це метод дослідження різних явищ і процесів, вироблення варіантів управлінських рішень. Моделювання ґрунтується на заміщенні реальних об'єктів їх умовними зразками, аналогами. Методом моделювання описуються структура об'єкта (статична модель), процес його функціонування та розвитку (динамічна модель). У моделі відтворюються властивості, зв'язки, тенденції досліджуваних систем і процесів, що дає змогу оцінити їх стан, зробити прогноз, прийняти обґрунтоване рішення. Форми моделювання різноманітні та залежать від видів структурних моделей і сфери застосування. Виділяють предметне та знакове моделювання. Предметне припускає створення моделей, що відтворюють просторово-часові, функціональні, структурні й інші властивості оригіналу (конкретно-наукові моделі). Знакове полягає в репрезентації параметрів об'єкта за допомогою символів, схем, формул, пропозицій мови (логіко-математичні моделі). Гносеологічний зміст моделювання створює основу для переносу результатів, одержаних у ході вивчення моделей, на оригінал.

Моделювання систем управління земельними ресурсами є одним з найважливіших напрямів процесу пізнання управлінської діяльності й управлінських відносин і тому виступає як найважливіша функція управління

поряд з нормативно-ціннісним регулюванням й інформаційним забезпеченням.

Для моделювання системи очищення води на тепловій електростанції буде використовуватися програма Simulink, яка є додатком в пакеті MATLAB.

Пакет Simulink дуже зручний і природний для опису типових блоків фізичних систем. Зручний інтерфейс нагадує конструктор, в якому за допомогою різних блоків можна швидко зібрати модель будь-якої складності, – від антиблокувальної системи автомобіля до найскладнішого винищувача F-16. При цьому користувачу надана можливість створювати власні блоки та об'єднувати вже існуючі підсистеми, що дає можливість побачити загальну структуру, не захаращену вторинними блоками. Переваги такого підходу повною мірою виявляються, коли кількість блоків на схемі перевищує за сотню. Плюс до цього більшість toolbox'ів також мають кошти для імпорту своїх інтерфейсів у Simulink [19].

Після того, як ми відкрили програму MATLAB, нам необхідно відкрити додаток Simulink, як показано на рис. 3.1.

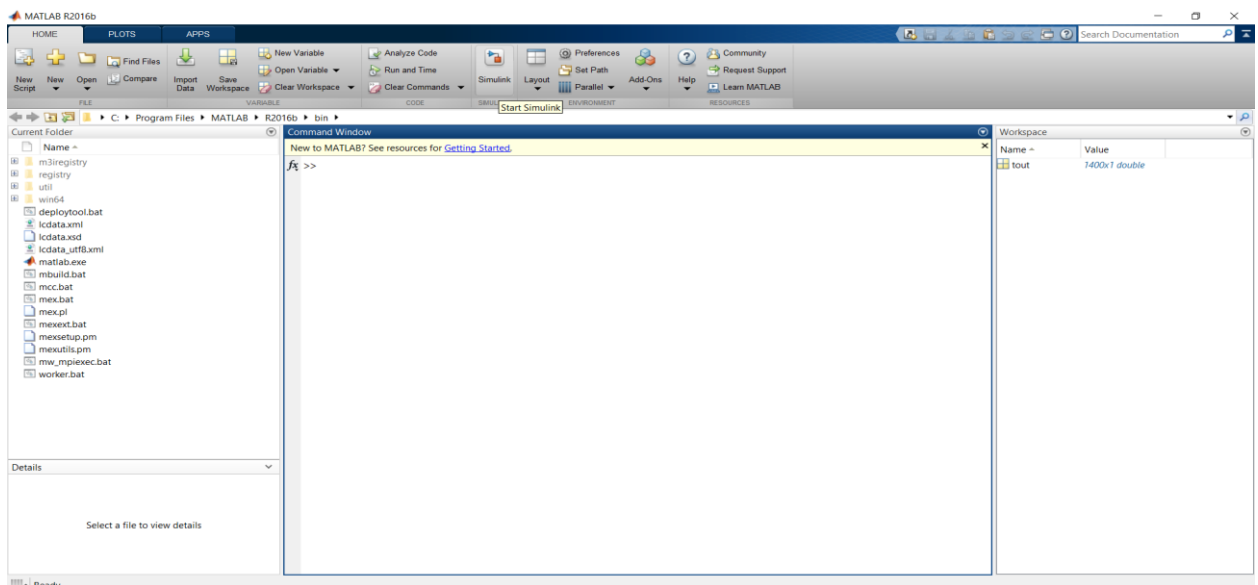


Рисунок 3.1 – Запуск програми

Після того, як ми запустили додаток, у нас вже відкриється сам Simulink, у якому зможемо промоделювати передавальні функції (рис. 3.2).

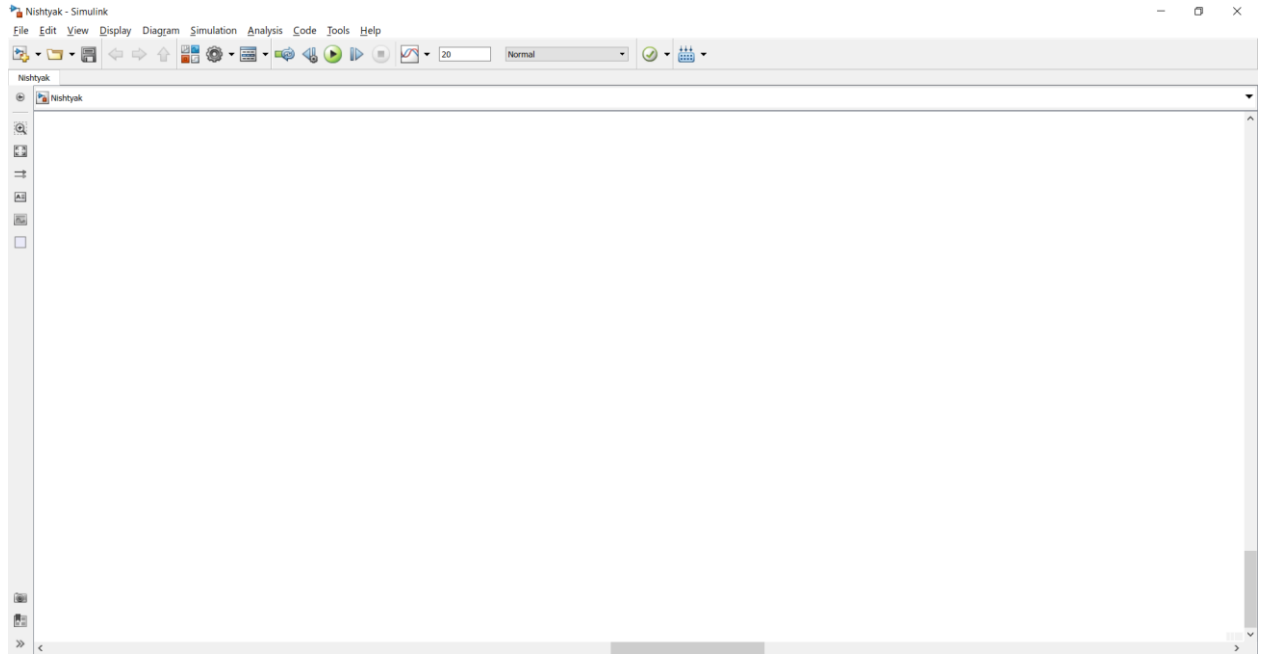
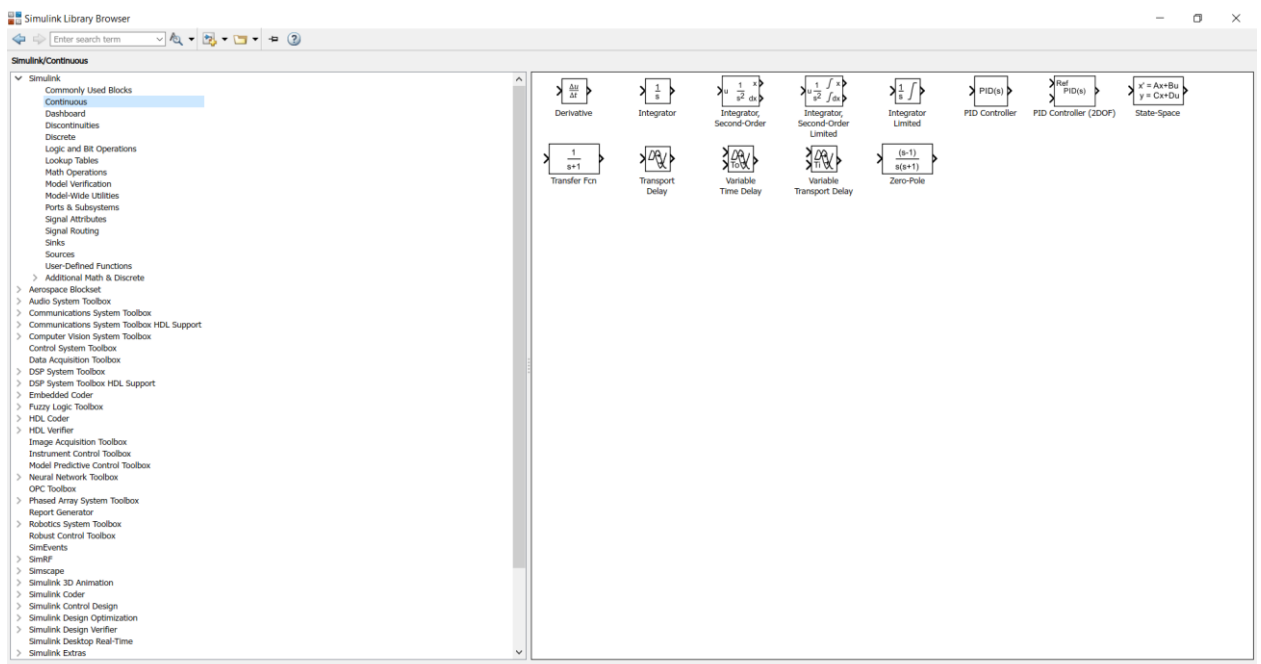


Рисунок 3.2 – Simulink

Далі в бібліотеці Simulink обираємо необхідні блоки для створення власної моделі (рис. 3.3).



### Рисунок 3.3 – Бібліотека у додатку Simulink

Побудуємо систему регулювання тиску та залежність продуктивності мембрани від температури в Matlab Simulink, а також промодельємо систему та отримаємо графіки перехідних процесів на виході ПД-регулятора, перетворювача частоти, асинхронного двигуна, насоса та трубопроводу, а також кількість води, яка проходить через мембрану за температур від 18 °С до 25 °С. Комп'ютерна модель системи очищення води у Matlab/Simulink представлена на рис. 3.4.

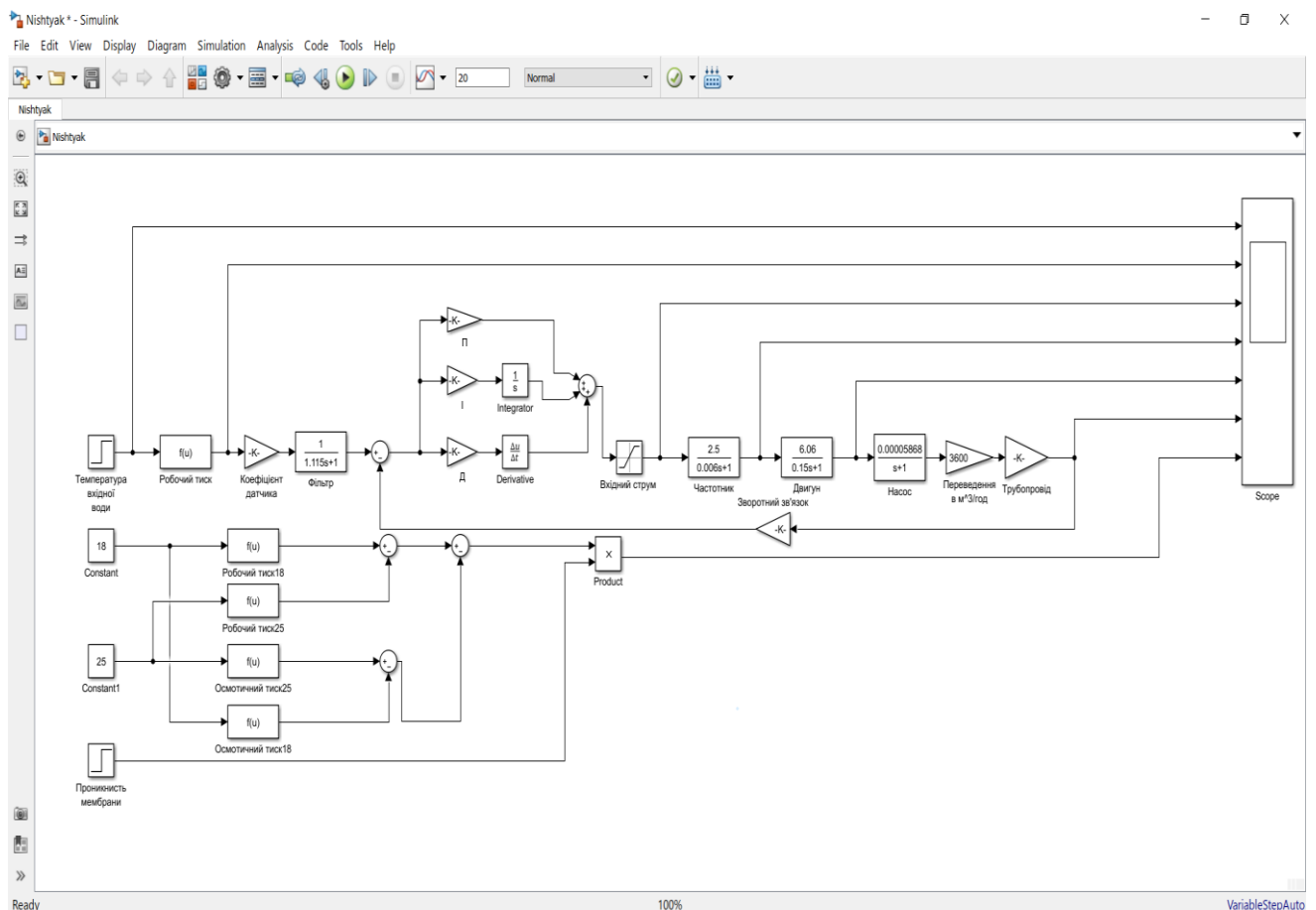


Рисунок 3.4 – Комп'ютерна модель системи очищення води

На рис.3.5 показано параметри блоку температура вхідної води

Block Parameters: Температура вхідної води

Step  
Output a step.

Parameters

Step time:  
10

Initial value:  
18

Final value:  
25

Sample time:  
0

Interpret vector parameters as 1-D  
 Enable zero-crossing detection

? OK Cancel Help Apply

Рисунок 3.5 – Параметри блоку температура вхідної води

На рисунку 3.6 показано параметри блоку проникність мембрани

Block Parameters: Проникність мембрани

Step  
Output a step.

Parameters

Step time:  
10

Initial value:  
5.1

Final value:  
5.79

Sample time:  
0

Interpret vector parameters as 1-D  
 Enable zero-crossing detection

? OK Cancel Help Apply

Рисунок 3.6 – Параметри блоку проникність мембрани

На рис.3.7. показано параметри блоку робочий тиск

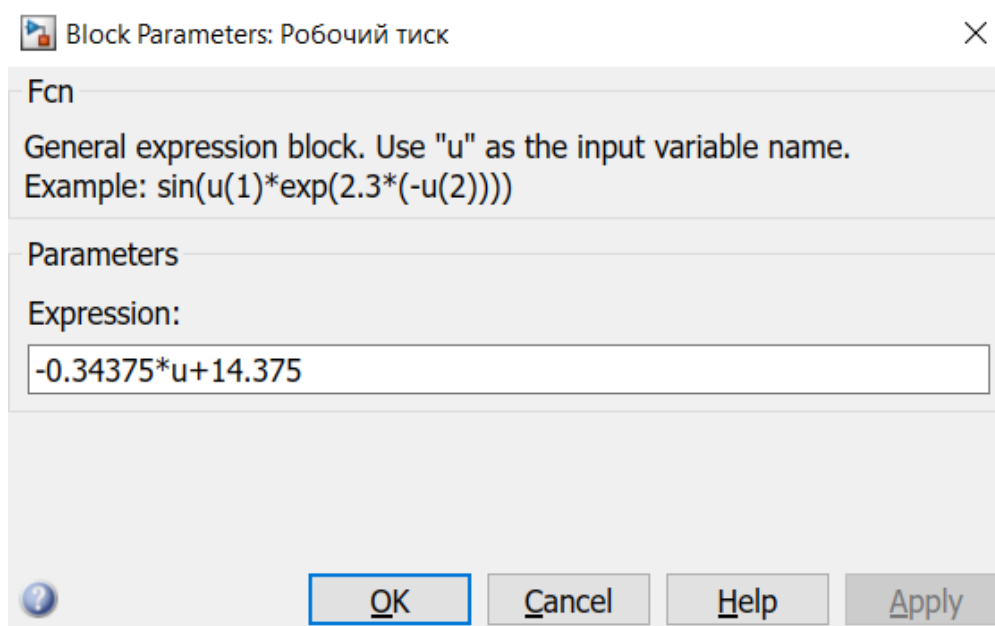


Рисунок 3.7 – параметри блоку робочий тиск

На рисунку 3.8 показано параметри блоку осмотичний тиск

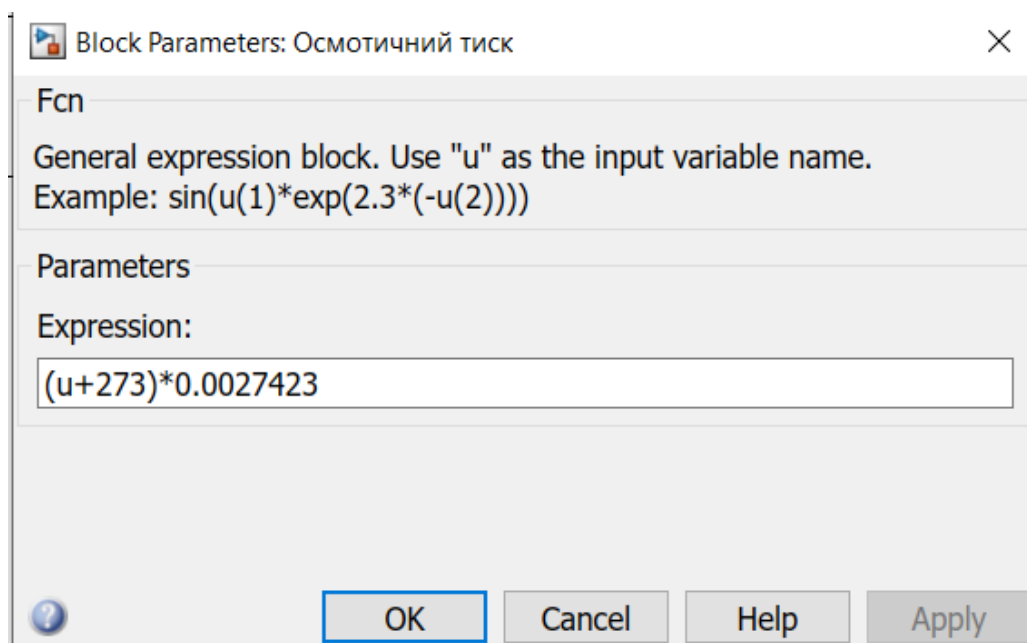


Рисунок 3.8 – параметри блоку осмотичний тиск

На рисунку 3.9 показано параметри блоку коефіцієнт датчика

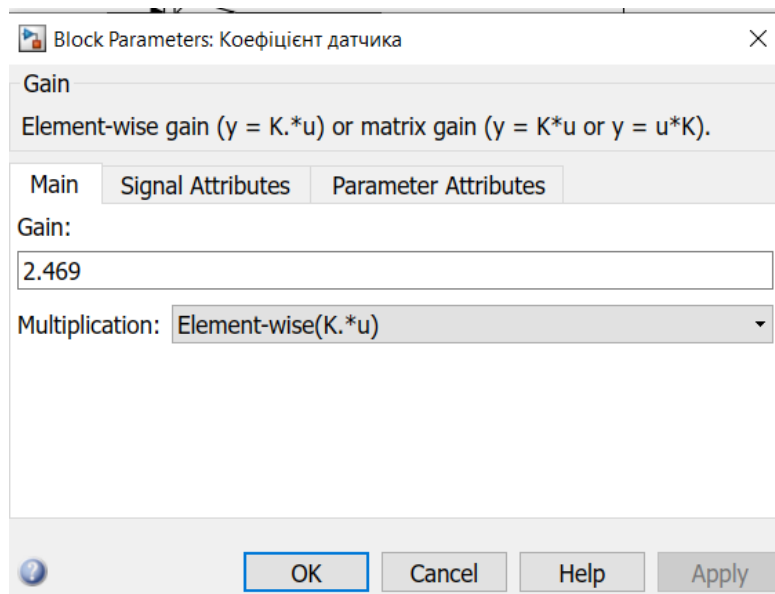


Рисунок 3.9 – параметри блоку коефіцієнт датчика

На рис.3.10 показано параметри блоку фільтр

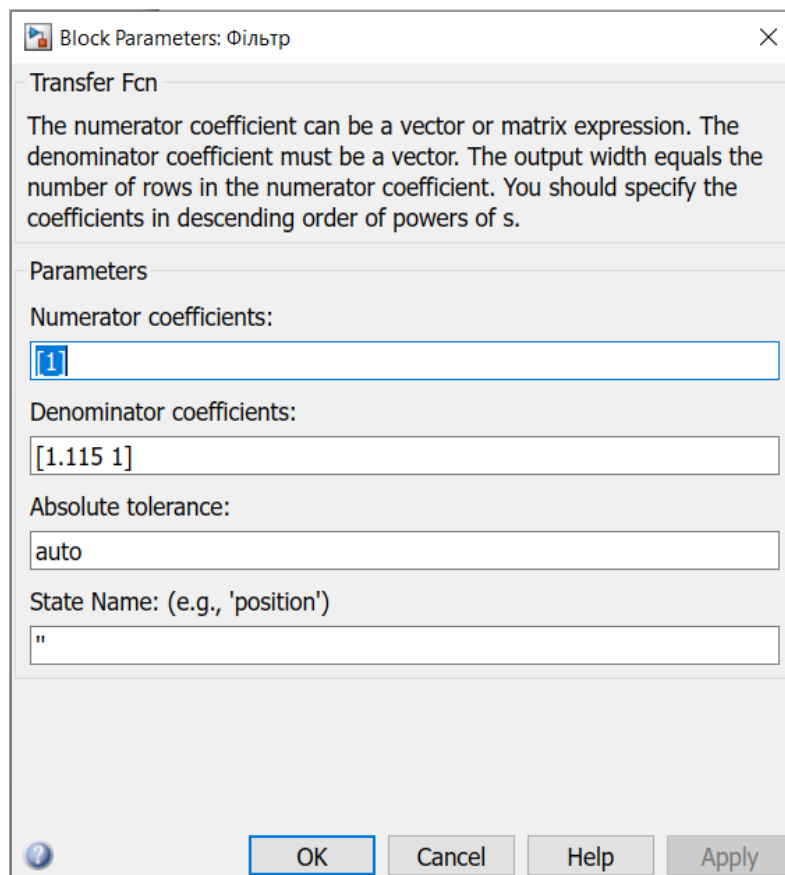


Рисунок 3.10 – параметри блоку фільтр

На рис.3.11 показано параметри блоку пропорційний коефіцієнт

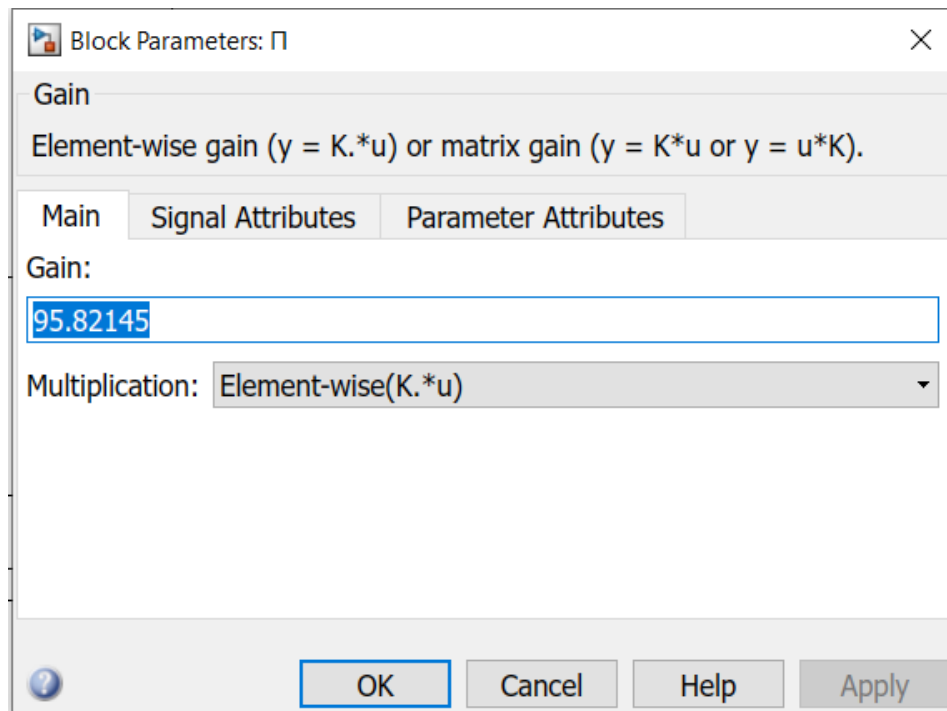


Рисунок 3.11 – параметри блоку пропорційний коефіцієнт

На рис.3.12 показано параметри блоку інтегральний коефіцієнт

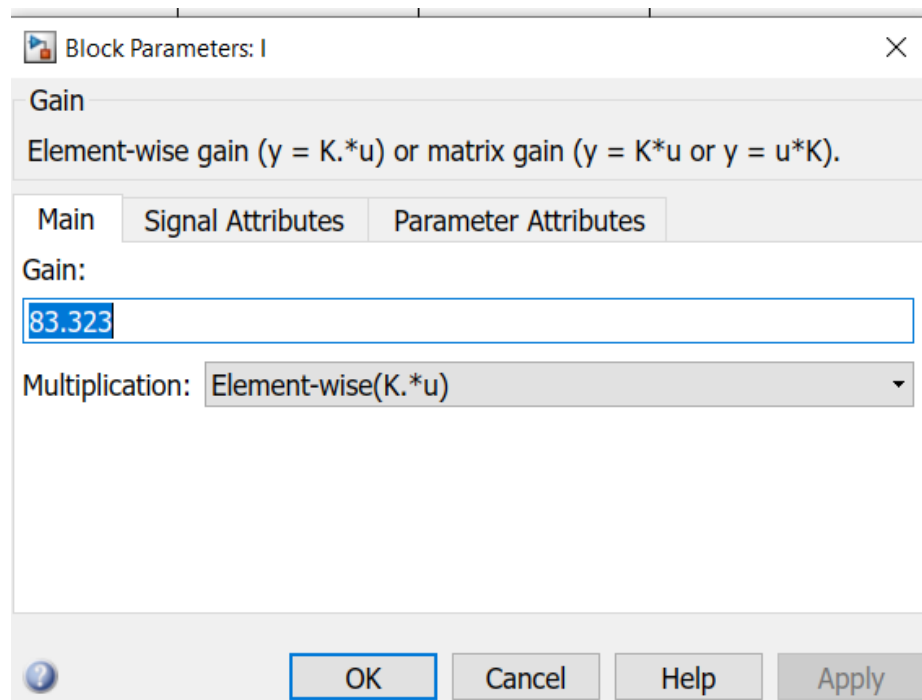


Рисунок 3.12 – параметри блоку інтегральний коефіцієнт

На рис.3.13 показано параметри блоку диференціальний коефіцієнт

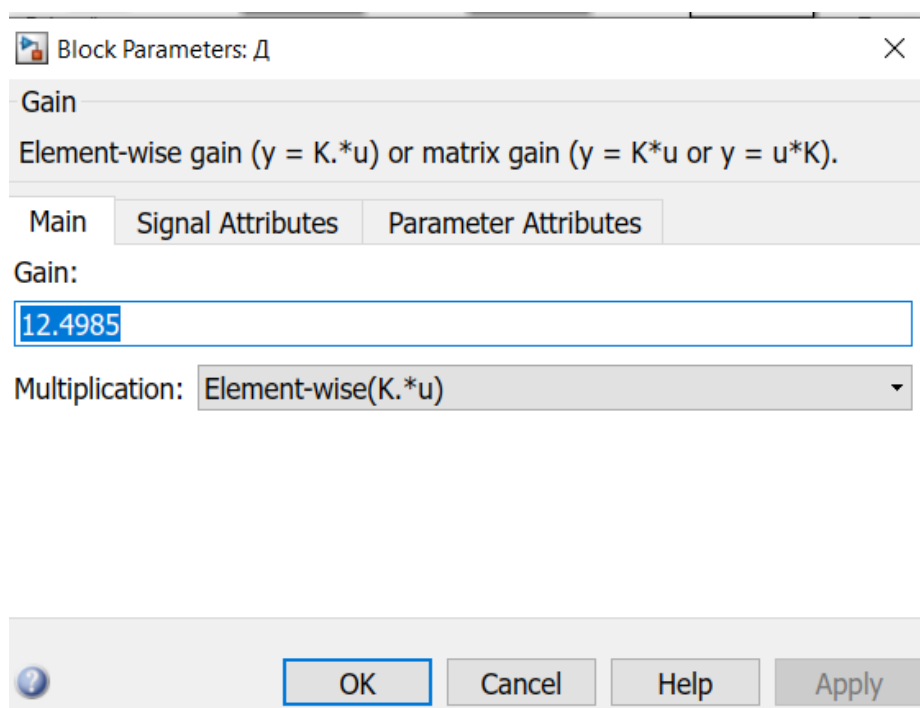


Рисунок 3.13 – параметри блоку диференціальний коефіцієнт

На рис.3.14 показано параметри блоку вхідний струм

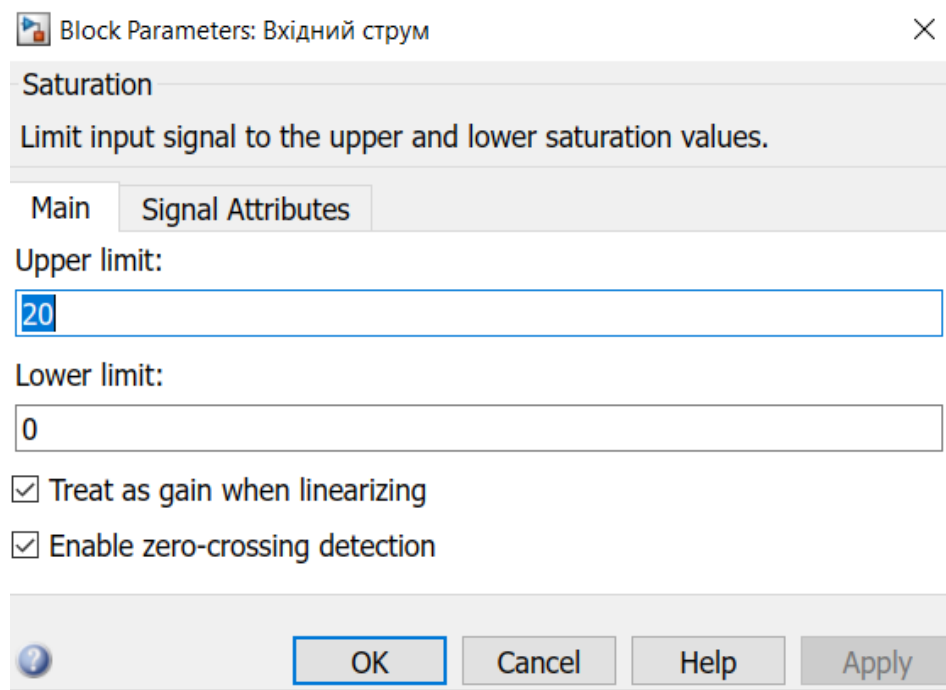


Рисунок 3.14 – параметри блоку вхідний струм

На рис.3.15 показано параметри блоку частотник

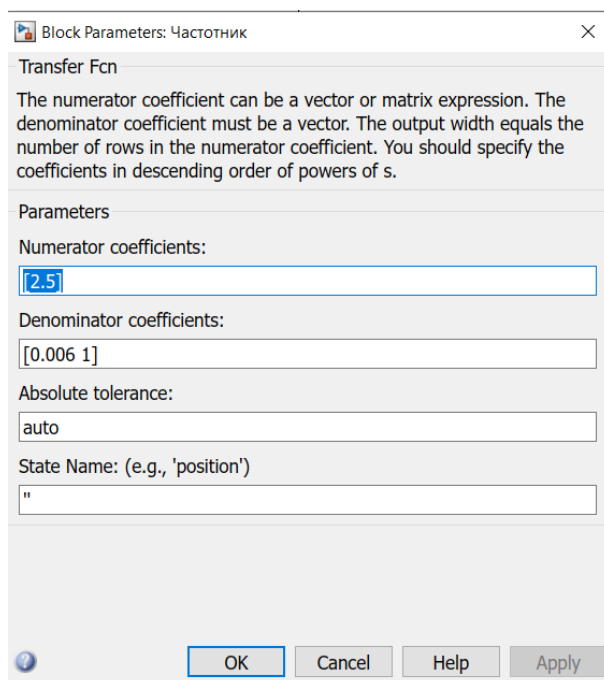


Рисунок 3.15 – параметри блоку частотник

На рис.3.16 показано параметри блоку двигун

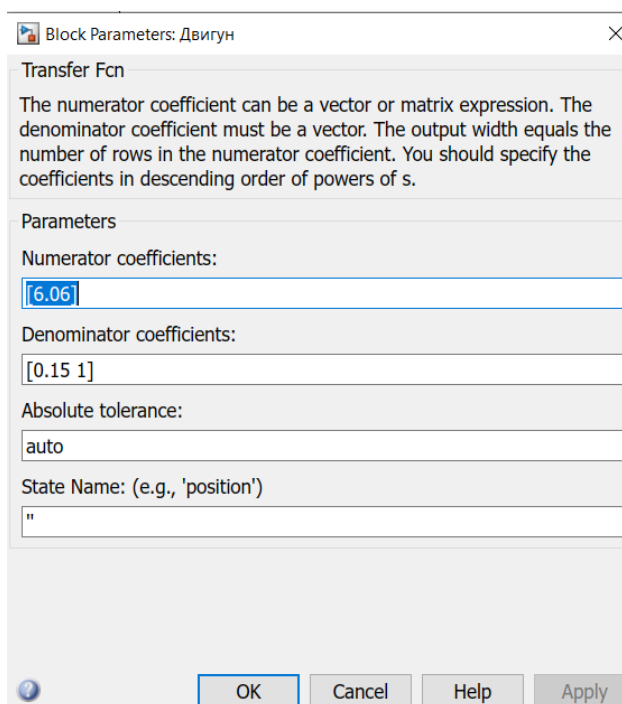


Рисунок 3.16 – параметри блоку двигун

На рис.3.17 показано параметри блоку насос

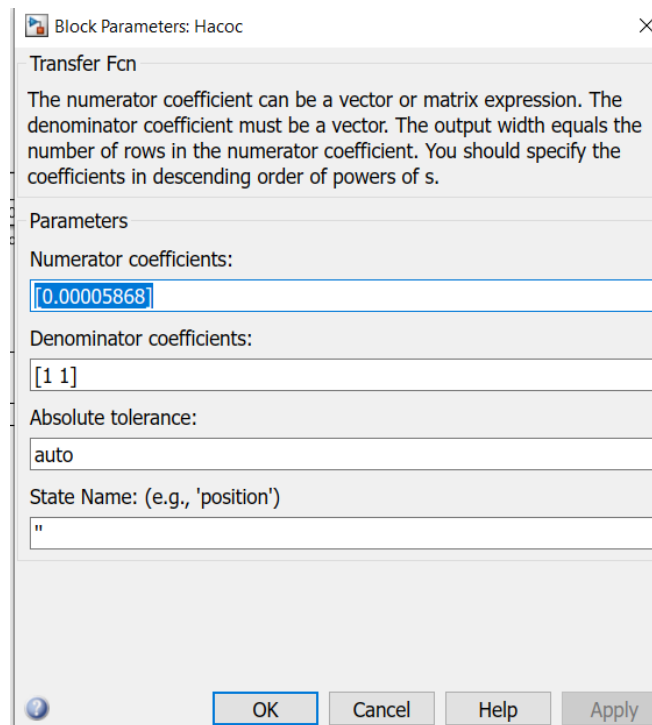


Рисунок 3.17 – параметри блоку насос

На рис.3.18 показано параметри блоку переведення в м<sup>3</sup>/год

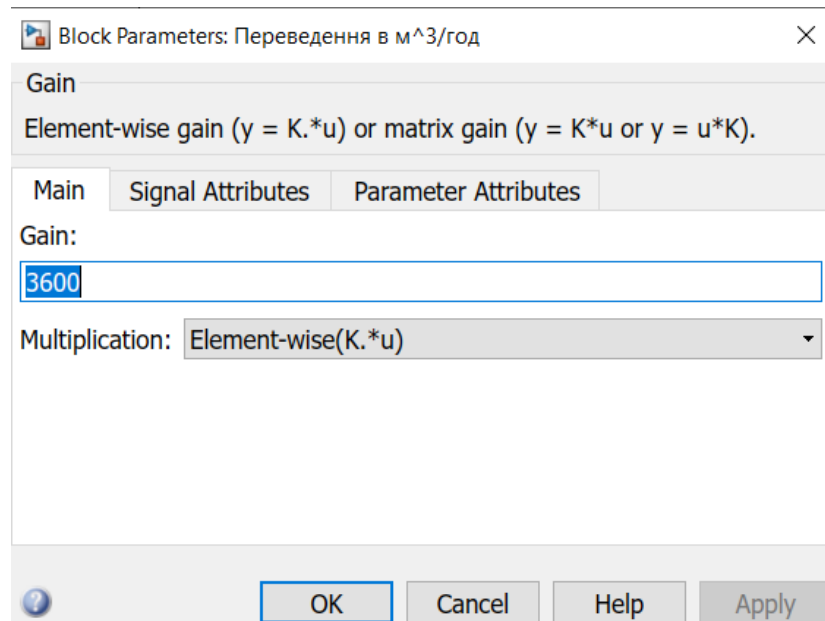


Рисунок 3.18 – параметри блоку переведення в м<sup>3</sup>/год

На рис.3.19 показано параметри блоку трубопровід

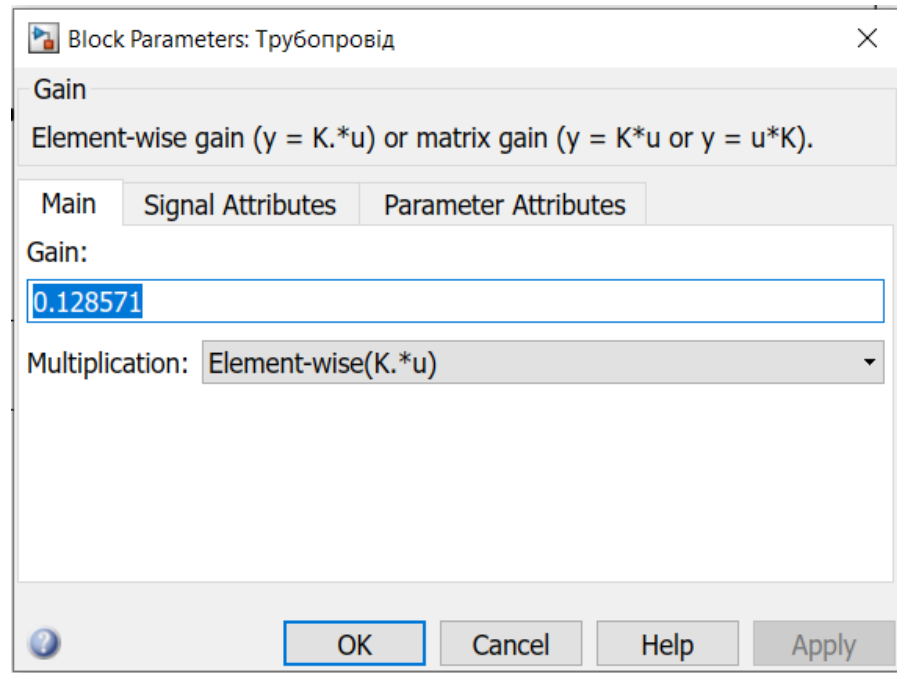


Рисунок 3.19 – параметри блока трубопровід

На рис.3.20 показано параметри блока зворотний зв'язок

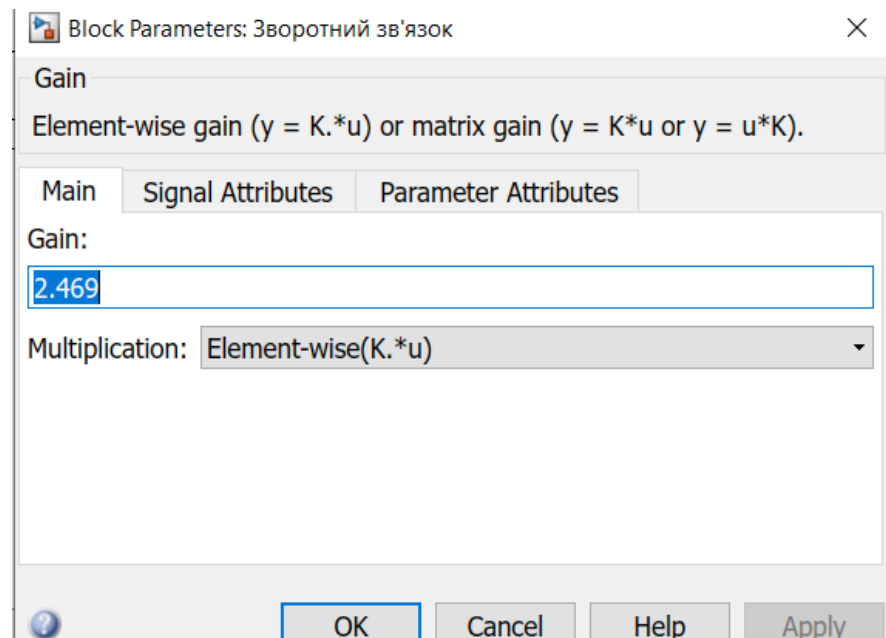


Рисунок 3.20 – параметри блока зворотний зв'язок

У результаті моделювання було отримано графіки перехідних процесів, показані на рис. 3.21.

### 3.4 Висновки до розділу 3

Отже, у результаті комп'ютерної моделі ми отримали графіки, на яких видно, що з підвищенням температури води в системі очищення води параметри обладнання зменшуються, але при цьому продуктивність мембрани в осмосі збільшилася приблизно на 13 %.

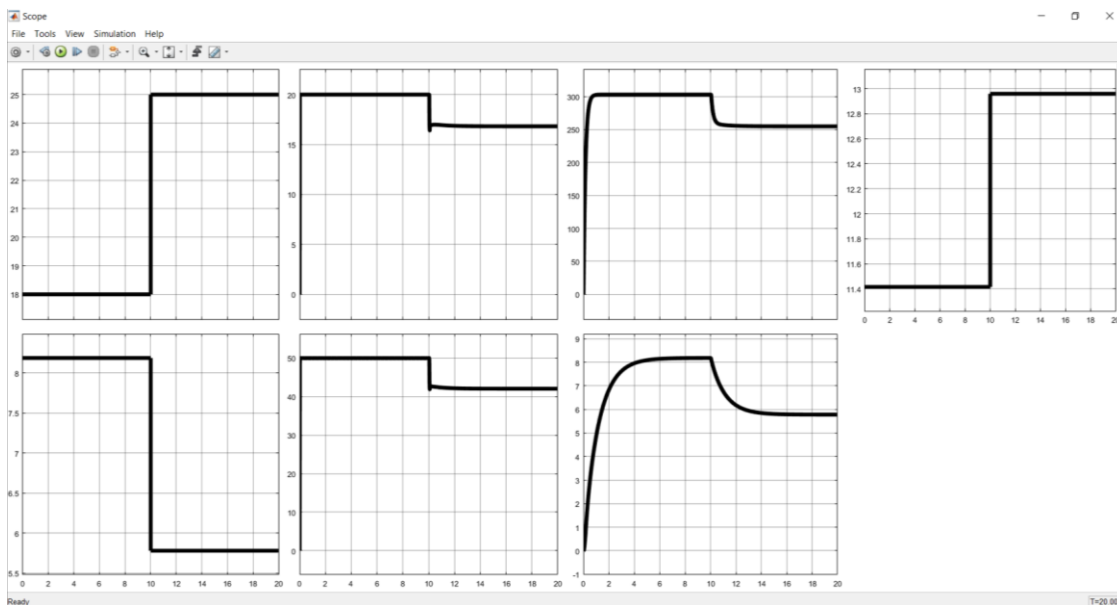


Рисунок 3.21 – Результати моделювання

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Розглянемо правила виконання робіт у діючих електроустановках. Діючі електроустановки – це такі установки, куди можуть подати напругу, або установка вже знаходиться під напругою.

Роботи в електроустановках стосовно заходів безпеки поділяються на три категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них;
- без зняття напруги віддалік від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою.

За одночасної роботи в електроустановках напругою до і вище 1000 В категорії робіт визначаються як для установок понад 1000 В.

До робіт, які виконуються зі зняттям напруги, належать роботи, які проводяться в електроустановці (або частині її), в якій зі струмоведучих частин знято напругу та доступ до електроустановки (або частини її), що знаходяться під напругою, неможливий.

До робіт, які виконуються без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них, належать роботи, що проводяться безпосередньо на цих частинах.

В електроустановках напругою вище 1000 В робота виконується на відстанях від струмопровідних частин менше тих, що вказані в табл. 5.1.

Під час визначення допустимих відстаней в електроустановках інших напруг, фактичні напруги слід відносити до наступних більших значень напруг, вказаних в наведеній таблиці.

Роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них повинні виконувати не менше двох працівників, з яких керівник робіт повинен мати групу IV, інші – групу III.

Таблиця 4.1 – Безпечна відстань роботи у діючій електроустановці

| Напруга, кВ | Відстань від людей і застосовуваних ними інструментів і пристосувань, від тимчасових огорожень, м | Відстань від механізмів і вантажопідйомних машин у робочому та транспортному положенні, від стропів, вантажозахватних механізм і вантажів, м |
|-------------|---|--|
| До 1        | 0,6   | 1  |
| 1-35        | 0,6   | 1  |
| 60-110      | 1   | 1  |
| 150         | 1,5   | 1,5  |
| 220         | 2   | 2,5  |
| 330         | 2,5   | 3,5  |
| 400-500     | 3,5   | 4,5  |

Роботою без зняття напруги віддалік від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, вважається робота, під час якої виключено випадкове наближення працюючих людей і використовуваних ними ремонтної оснастки й інструменту до струмоведучих частин на відстань меншу від зазначеного в табл. 4.1 і не потрібно прийняття технічних або організаційних заходів для запобігання такого наближення.

В електроустановках напругою вище 1000 В роботи без зняття напруги на струмопровідних частинах і поблизу них повинні проводитися із застосуванням засобів захисту для ізоляції працівника від струмоведучих частин або від землі. Під час ізоляції працівника від землі роботи слід виконувати відповідно до спеціальних інструкцій або за технологічними картами, в яких передбачено необхідні заходи безпеки.

У процесі праці в електроустановках напругою вище 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них необхідно:

- обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, що знаходяться під напругою, до яких можливий випадковий дотик;
- працювати в діелектричному взутті чи стоячи на ізолюючій підставці або на діелектричному килимі;
- застосовувати інструмент з ізолюючими рукоятками (у викруток, крім того, повинен бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолюючих засобів захисту необхідно:

- тримати ізолювальні частини засобів захисту за рукоятки до обмежувального кільця;
- розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмоведучими частинами двох фаз чи замикання на землю;
- користуватися тільки сухими та чистими ізолюючими частинами засобів захисту з непошкодженим лаковим покриттям.

За умови виявлення порушення лакового покриття чи інших несправностей ізолювальних частин засобів захисту користування ними має бути негайно припинене.

Під час роботи із застосуванням електрозахисних засобів (ізолюючі штанги та кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги) допускається наближення працівника до струмопровідних частин на відстань, яка визначається довжиною ізолювальної частини цих засобів.

Без застосування електрозахисних засобів забороняється торкатися ізоляторів електроустановки, що перебуває під напругою.

В електроустановках забороняється працювати в зігнутому положенні, якщо під час випрямлення відстань до струмоведучих частин буде меншою від зазначеної в графі 2 табл. 4.1. Під час виконання робіт поблизу не обгороджених струмоведучих частин забороняється розташовуватися так, щоб ці частини знаходилися позаду чи з обох сторін.

При експлуатації установки водопідготовки необхідно виконувати вимоги нормативної документації з охорони праці.

Експлуатація установки водопідготовки супроводжується відповідними організаційними та технічними заходами по попередженню небезпечних та шкідливих факторів, які можуть негативно впливати на персонал.

При експлуатації установки водопідготовки необхідно розробити та затвердити інструкції з охорони праці, де мають бути зазначені вимоги загальної безпеки, вимоги безпеки до початку робіт, під час проведення робіт, по закінченню робіт і дії персоналу в разі виникнення аварійних ситуацій.

Засоби індивідуального та колективного захисту, спорядження та інструмент, що використовується при обслуговуванні установки водопідготовки, підлягають огляду та опосвідченню відповідно до нормативної документації.

Про всі порушення режиму роботи установки водопідготовки, а також несправності устаткування, механізмів і пристосувань, які становлять небезпеку для персоналу чи обладнання, повідомити негайно вищому керівництву.

Стежити за чистотою робочого місця, за наявністю надписів та позначень на арматурі і трубопроводах, за відсутністю протікань з фланцевих з'єднань і устаткування. Усунути протікання при їх виявленні.

При знаходженні в приміщеннях з діючим устаткуванням носити захисні каски.

Всі гарячі частини устаткування, трубопроводи та інші елементи, які можуть викликати опіки персоналу, мають бути ізольовані, температура поверхні ізоляції не повинна перевищувати 43 °С.

Відбирати проби необхідно після перевірки стану пробовідбірних пристроїв. При виявленні в них яких-небудь несправностей відбирати проби забороняється. Про виявлені дефекти слід повідомити керівництву. Проби

відбирати з дозволу керівництва.

Ремонт електроустаткування і електроприладів повинен виконувати електротехнічний персонал.

Металеві корпуси електроустаткування і приладів, що живляться від мережі 220 В, мають бути заземлені. Забороняється користуватися електричними плитами з відкритою спіраллю. Правила описані згідно літератури [20].

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи була вивчена предметна область стосовно методів підготовки води для ТЕС.

Зокрема:

- проаналізовані вимоги до розроблюваної системи;
- обрано ефективний метод очищення води для системи водопідготовки на ТЕС.

У результаті проведеного дослідження процесу очищення води проведено розрахунки технологічних параметрів системи водопідготовки. Користуючись розрахунками, можна зробити висновок, що для більш ефективної роботи системи зворотного осмосу вода в системі повинна мати температуру 25 °С.

Побудована комп'ютерна модель системи очищення води, у якій регулюється тиск в системі залежно від температури та отримано підвищення продуктивності мембрани на 13 % за умови нагрівання води від 18 °С до 25 °С, але також варто зауважити, що при більшій температурі показники приладів менше.

Провели комп'ютерне моделювання у програмному пакеті MATLAB в додатку Simulink , у якому було відрегульовано вхідний тиск в систему, залежний від температури води, графічно відображено продуктивність мембрани, яка залежить від осмотичного та вхідного тиску.

Оскільки вода, яку качають насоси з річки «Тиса», має температуру влітку приблизно від 18 °С до 20 °С, а взимку від 4 °С до 10 °С, було вирішено додати в технологічну схему ТЕС підігрівач води перед системою водопідготовки, який буде підігрівати воду до робочої температури для системи очищення води.

За результатами виконання кваліфікаційної роботи опубліковано роботу [11], у якій було проведено дослідження технологічних параметрів та

на основі дослідження було вдосконалено систему очищення води на тепловій електростанції підігрівачем води.

У розділі з охороною праці були вказані мінімальні потрібні знання, за яких персонал допускається до роботи, тому що незнання базових правил безпеки приводить до дуже небажаних наслідків, тому завжди найголовніше безпека, допуски до роботи завжди мають надаватися тільки після інструктажу, навіть досвідченому персоналу.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К.: Держстандарт України, 2017. – 29 с.

2. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.

3. Рудняєв О. Д. Розробка автоматизованої системи водопідготовки для парового котла на тепловій електростанції / Рудняєв О. Д., Боцман І. В. // Матеріали VII Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 26 листопада 2020 [Електронний ресурс]. – К.: НУХТ, 2020.– С. 64-65.

4. Механічне очищення промислових стоків [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://ziko.com.ua/organization-solution-mekhanichne-ochyshchennya-stichnykhvod/?gclid=Cj0KCQjwkt6aBhDKARIsAAyeLJ2M1bNnwzf89UN71XqhKPT75\\_TVpbi\\_L1hlAl33vCcSOpKzLrMy0cEaAup2EALw\\_wcB](https://ziko.com.ua/organization-solution-mekhanichne-ochyshchennya-stichnykhvod/?gclid=Cj0KCQjwkt6aBhDKARIsAAyeLJ2M1bNnwzf89UN71XqhKPT75_TVpbi_L1hlAl33vCcSOpKzLrMy0cEaAup2EALw_wcB). – 27.10.2022.

5. Сорбційне очищення води [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecosoft.ua/ua/blog/sorbtsionnye-tekhnologii/>. – 25.10.2022.

6. Промислове очищення води: огляд можливих методів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vencon.ua/ua/articles/ochistka-vody-na-proizvodstve-bezopasnost-prevyshe-vsego> – 13.10.2022.

7. Аероціоні фільтри [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecosoft-market.com.ua/ua/ochistka-vody-s-pomoshchyu-napornoj-aeracii>. – 17.10.2022.

8. Установки пом'якшення води [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vencon.ua/ua/articles/chto-takoe-umyagchenie-vody-i-na-chto-ono-vliyaet> – 26.10.2022.

9. Система зворотного осмосу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecosoft.ua/ua/blog/chto-takoe-obratnyu-osmos/>. – 24.10.2022.

10. Зворотний осмос. Теорія і практика, застосування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://wwtec.ru/index.php?id=233>. – 23.10.2022.

11. Жарікова І. В., Рудняєв О. Д. Дослідження технологічних параметрів системи очищення води на ТЕС // Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference «Scientific Paradigm in the Context of Technologies and Society Development» (December 16-18, 2022, Geneva; Switzerland). – Scientific Collection «InterConf», (136), 2022. – PP. 368-372 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <https://archive.interconf.center/index.php/conference-roceeding/article/view/1954>.

12. Технологія зворотнього осмосу і ультрафільтрації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://modernsys.com.ua/uk/princip-raboty-obratnogo-osmosa-chto-takoe-obratnyu-osmos-polza-ili-vred.html> – 23.11.2022.

13. Математичний опис систем автоматичного управління [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habr.com/ru/post/506984/>. – 15.12.2022.

14. Рудняєв О. Д. Автоматизація процесу підготовки води для парового котла на ТЕС: кваліфікаційна робота освітнього рівня бакалавр [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://drive.google.com/drive/folders/1RrJj25GRhССКІ-Od\\_nmo8EHmLFlwygsM?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1RrJj25GRhССКІ-Od_nmo8EHmLFlwygsM?usp=sharing). –

15.12.2022.

15. Вибір частотного перетворювача та розрахунок передавальної функції [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7581830/page:7/>. – 15.12.2022

16. Вибір та розрахунок передавальної функції двигуна [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/736699/page:2/>. – 15.12.2022.

17. Вибір та розрахунок передавальної функції насоса [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/736699/page:2/>. – 15.12.2022.

18. Налаштування на симетричний оптимум [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/7415601/page:5/>. – 15.12.2022.

19. Переваги та недоліки Simulink [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://vuzlit.com/789870/dostoinstva\\_nedostatki\\_simulink](https://vuzlit.com/789870/dostoinstva_nedostatki_simulink). – 17.12.2022.

20. Правила безпечної експлуатації установок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text> – 15.12.2022.