

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ**

**Кваліфікаційна робота**  
**перший бакалаврський**  
(рівень вищої освіти)

на тему Реконструкція блочної знесольюючої установки  
енергоблоку з турбінною установкою К-1000-60/1500 на Запорізькій АЕС

---

Виконав: студентка IV курсу,  
групи ТЕ-18-1бд  
спеціальності 144 «Теплоенергетика»  
(і назва спеціальності)

освітньої програми

«Теплоенергетика»

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

А. О. Градова

(ініціали та прізвище)

Керівник ст. викладач С. Є. Чижов

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

Рецензент д.т.н., проф. Чейлитко А. О.

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

Запоріжжя  
2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики

Рівень вищої освіти перший бакалаврський

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

(код та назва)

Освітня програма Теплоенергетика

(код та назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(код та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТГЕ \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ Гравовій Аліні Олексіївні \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проекту) Реконструкція блочної знесолюючої установки енергоблоку з турбінною установкою К-1000-60/1500 на Запорізькій АЕС

керівник роботи \_\_\_\_\_ ст. викладач Чижов Сергій Євгенович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом ЗНУ від « 17 » \_\_\_\_\_ січня \_\_\_\_\_ 2022 року № 90-с

- 1 Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 30. 05. 2022 р.
- 2 Вихідні дані до роботи ПТУ К-1000-60/1500; реактор ВВЕР-1000; паливо – двоокис урану; число годин використання встановленої потужності – 6960 год./рік; технічне водопостачання – бризгальні басейни, градирні
- 3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристика енергетичного об'єкту ЗАЕС. Характеристика основного та допоміжного устаткування. Принципова теплова схема, її розрахунок. Обґрунтування реконструкції фільтру змішаної дії. Підвищення ефективності роботи блочної знесолюючої установки.
- 4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Загальний обсяг графічного матеріалу за темою проекту 8 листів креслень формату А1

## 5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Перший розділ	ст. викладач Чижов С.Є.	20.02.2022	10.05.2022
Другий розділ	ст. викладач Чижов С.Є.	12.05.2022	12.06.2022

6 Дата видачі завдання 15.02.2022 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка

Студент \_\_\_\_\_ А. О. Градова \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) \_\_\_\_\_ С. Є. Чижов \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали та прізвище)

**Нормоконтроль пройдено**

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ С. Є. Чижов \_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Реконструкція блочної знесолюючої установки для енергоблоку з турбінною установкою К-1000-60/1500 на Запорізькій АЕС» містить 54 сторінки, 4 таблиці, 5 рисунків, 1 додаток, 22 джерела посилань.

АТОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ЕНЕРГОБЛОК, ТУРБІНА, ПАРОГЕНЕРАТОР,  
КОНТУР, СХЕМА РЕГЕНЕРАЦІЇ, БЛОЧНА ЗНЕСОЛЮЮЧА УСТАНОВКА,  
ДВОПОТОКОВИЙ ФІЛЬТР

У кваліфікаційній роботі розроблені технічні пропозиції по підвищенню ефективності роботи блочної знесолюючої установки шляхом реконструкції двопотокового фільтру змішаної дії.

Двопотоківі фільтри із-за своїх конструктивних особливостей не підтримують розрахункову продуктивність, що негативно позначається на всьому очищенні основного конденсату і роботи енергоблоку в цілому. Також із-за великого перепаду тиску на вході/виході двопотокових фільтрів відбувається розшарування шихти під час роботи фільтру, що знижує іонообмінну здатність шару іоніту. В результаті цього зменшується час роботи фільтру, знижується фільтроцикл і зростають витрати на регенерацію шихти, а також зменшується кількість реагентів і витрата води на власні потреби.

В цілому, реконструкція фільтрів дозволить: збільшити змінну ємкість фільтруючого матеріалу; збільшити тривалість фільтроциклу; понизити кількість регенерацій.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ЕНЕРГОБЛОКУ К1000-60/1500.....	11
1.1 Загальна схема АЕС.....	11
1.2 Архітектурно-будівельна частина.....	15
1.3 Характеристика основного і допоміжного устаткування блоку 1000 МВт.....	17
1.3.1 Призначення і пристрій блочної знесолюючої установки.....	17
1.3.2 Принцип дії блочної знесолюючої установки.....	18
1.3.3 Експлуатація електромагнітного фільтру.....	19
1.3.4 Експлуатація блочної знесолюючої установки.....	20
1.3.5 Принципова схема.....	24
1.3.6 Принципова теплова схеми II контуру.....	24
2 РЕКОНСТРУКЦІЯ БЛОЧНОЇ УСТАНОВКИ ВОДОПІДГОТОВКИ.....	30
2.1 Розробка технічних заходів щодо реконструкції блочної знесолюючої установки.....	30
2.2 Блочна знесолююча установка.....	35
2.2.1 Двопотоківий ЕМФ.....	35
2.2.2 Двопотоківий ФЗД.....	38
2.2.3 Двопотоківий ФЗД, що реконструюється.....	40
2.2.4 Розрахунок двопотоківого фільтру змішаної дії.....	45
ВИСНОВКИ.....	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	52
ДОДАТОК	

## ВСТУП

Світова ядерна енергетика на сучасному етапі переживає період усвідомлення країнами неминучості її розвитку і звідси необхідності її розвитку, вдосконалення ядерних енергетичних джерел з метою підвищення їх безпеки. Аварія на Чорнобильській АЕС активізувала розвиток цього процесу. Не дивлячись на широке впровадження у всьому світі енергозберігаючої техніки і технологій, річний вжиток енергії на земній кулі в даний час складає більше 10 млрд. т умовного палива. Згідно прогнозам, до 2025 р. середній вжиток паливно-енергетичних ресурсів на душу населення в світі збільшиться майже в три рази і складе близько 20 млрд. т умовного палива.

Якщо при цьому енергія вироблятиметься лише в результаті спалювання копального пального в кисні атмосфери Землі, то вже до кінця нинішнього тисячоліття вжиток промисловістю кисню перевищить нижній кордон його річного відтворення в природі. Економічні наслідки такого порушення балансу вжитку і виробництва кисню можуть виявитися вельми серйозними для біосфери - сукупності всіх форм життя рослин і тварин, що є єдиним організмом із складними взаємозв'язками. Тому кожна країна залежно від біологічно активної поверхні, відтворюючої кисень атмосфери, у міру досягнення певного рівня потреби в енергії рано чи пізно буде вимушена перейти на нову, не вогневу технологію промислового виробництва енергії: безпосередньо використовувати або сонячну енергію, або ядерну.

Серед багатьох чинників ядерної енергетики, що впливає на розвиток, можна виділити три, що визначають: безпеку, економічну конкурентоздатність з альтернативними джерелами енергії і можливість довготривалого паливного забезпечення.

Розглянемо концепцію перспективних ядерних енергоблоків високої безпеки. Дотримання цій концепції дозволяє забезпечити істотне зниження ризику перевищення допустимого рівня опромінення експлуатаційного персоналу, населення і забруднення довкілля при експлуатації майбутніх

енергоблоків в порівнянні з установками сучасного покоління при одночасному оптимальному задоволенні діючим і перспективним вимогам, і документам. Передбачається, що цей результат повинен досягатися, з одного боку, зниженням вірогідності будь-якої аварії в самому реакторі як основному джерелі ядерно-небезпечної ситуації, з іншого боку, посиленням засобів захисту, що впливають на масштаб і вірогідність радіоактивного викиду.

Аналіз засобів і способів захисту самого реактора показує, що найбільш надійними слід рахувати ті, які здатні діяти на основі законів природи без підведення енергії ззовні. До таких в першу чергу відносяться так звані "внутрішньо присутні властивості безпеки" компонентів реактора. Через взаємодію тепло-гідравлічних, ядерно-фізичних процесів, хімічних, міцностних і інших властивостей, певних якостей реальних конструкційних елементів вони, таким чином, міняють властивості працюючих систем при небажано змінених параметрах процесів, що відбувається "автоматичне гасіння" небажаних подій. В цьому випадку можна говорити об само захищеності реактора при виникненні в ньому аварійних ситуацій.

Найважливішими визначальними безпеку АЕС в цілому є внутрішні властивості безпеки активної зони реактора. Зовнішній захисний бар'єр енергоблоку може бути з великою вірогідністю порушений при масовому пошкодженні активної зони. Звідси можна рахувати запобігання руйнуванню активної зони при будь-яких внутрішніх висхідних подіях і помилкових діях експлуатаційного персоналу що визначає і само захищеність реактора в цілому.

Особливістю науково-технічного прогресу в ядерній енергетиці України на відміну від розвитку цієї галузі промисловості в таких країнах, як, наприклад, Японія і Франція є зростаюча економічна конкуренція з боку вогневої енергетики. При цьому вогнева енергетика, як правило, так само не вичерпала і свої екологічні можливості розвитку. Тому при виборі тієї або іншої реакторної технології в умовах паливно-енергетичного балансу України, її економічна прийнятність не менш важлива, чим її технічна здійсненність. У реалізації науково-технічного прогресу в ядерній енергетиці, і в першу чергу

підвищення її безпеки, в Україні можна відзначити три паралельні напрями робіт. Перше - комплекс технічних заходів щодо підвищення безпеки діючих енергоблоків і тих, що будуються; друге - створення нового покоління енергоблоків підвищеної безпеки на основі існуючих реакторних технологій; третє - створення перспективних енергоблоків граничної безпеки на основі корінної переробки існуючих і принципово нових реакторних технологій.

Виконання вказаної довгострокової програми робіт при забезпеченні збереження економічної конкурентоспроможності ядерної енергетики і повинно на початку третього тисячоліття закласти технічні основи широкого впровадження ядерної енергії в різні енергоємні області народного господарства.



# 1 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ЕНЕРГОБЛОКУ К1000-60/1500

## 1.1 Загальна схема АЕС

АЕС з серійними енергоблоками ВВЕР-1000 є енергетичним комплексом, що складається, як правило, з декількох окремих блоків, до складу кожного з яких входить ядерна паровиробляюча установка водо-водяного типу одиничною потужністю 1000 МВт. Технологічна схема енергоблоку - двоконтурна. Перший контур - радіоактивний, теплоносієм і сповільнювачем є знесолена вода під тиском. У нього входять головний циркуляційний контур і ряд допоміжних систем. головний циркуляційний контур, призначений для відведення теплоти, що виділяється в реакторі і передачі її у парогенераторі воді другого контуру. головний циркуляційний контур включає водо-водяний енергетичний реактор типа ВВЕР-1000 і чотири циркуляційних петлі. Кожна циркуляційна петля складається з парогенератора, головного циркуляційного контуру, головних циркуляційних трубопроводів Ду850. Компенсація об'єму теплоносія, створення і підтримка постійного тиску, а також обмеження тиску в перехідних і аварійних режимах в I контурі, здійснюється системою компенсації тиску, що складається з приєднаного до однієї з петель компенсатора тиску з барботером і запобіжними клапанами.

Питання безпеки АЕС з реактором ВВЕР-1000 вирішені на основі загальних положень забезпечення безпеки атомних станцій при проектуванні, споруді і експлуатації. Проектом АЕС передбачені технічні і організаційні заходи, що забезпечують дотримання допустимих меж опромінення персоналу АЕС, населення і забруднень довкілля радіоактивними продуктами при нормальній експлуатації і при проектних аваріях, з яких за найбільш важку прийнята так звана максимальна проектна аварія з миттєвим розривом головного циркуляційного трубопроводу Ду850.

В цілях забезпечення безпеки АЕС системи і установки I контуру розміщені в герметичній захисній оболонці, розрахованій на внутрішній тиск

0,5 МПа, що дозволяє локалізувати розподіл радіоактивного середовища при заданих проектних аваріях.

Система аварійного охолодження зони призначена для охолодження активної зони шляхом аварійної подачі в неї висококонцентрованого розчину бору при аварійній втраті теплоносія. Пасивна частина цієї системи складається з двох незалежних каналів, які у свою чергу включають дві гідроємності системи аварійного охолодження зони, систему трубопроводів і клапанів. Система, що входить в технологічну частину I контуру очищення радіоактивних вод – спец.водоочищення, що складається з семи окремих установок, призначених для підтримки водного режиму в основному і допоміжних контурах електростанції.

Окрім вказаного, технологічна частина I контуру включає систему продування-підживлення I контуру, систему технологічних газових здувань і спалювання водню, систему зниження тиску в герметичних приміщеннях, систему борного регулювання і ін.

Парогенератор є загальним устаткуванням I та II контурів АЕС і призначені для вироблення сухої насиченої пари для турбіни.

Устаткування, арматура і трубопроводи I контуру виконані з неіржавіючої сталі аустенітного класу або із спеціальних сталей з неіржавіючим наплавленням.

II контур нерадіоактивний. Він призначений для вироблення насиченої пари, передачі його на турбіну та виробництва електроенергії. Включає: паровиробляючу частину парогенератора, паропроводи, турбоагрегат і допоміжне устаткування машинного відділення, сепаратори-пароперегрівачі, систему регенерації і т.п.

Турбіна має циліндри високого і низького тиску. Пара, що поступає з парогенератора, проходить циліндр високого тиску, потім прямує в сепараційно-пароперегрівачій пристрій і далі - в циліндр низького тиску.

У комплект турбоустановки входить конденсаційна установка. Система регенерації турбіни складається з підігрівача низького тиску і підігрівача

високого тиску, в яких конденсат і підживлююча вода підігріваються за рахунок нерегульованих відборів пари. Подача конденсату з конденсатора в деаератор здійснюється за допомогою конденсатних насосів I і II ступеня. Деаераційно-підживлююча установка складається з деаератора і живильних турбонасосних агрегатів.

Окрім вказаних установок до II контуру відноситься система технічного водопостачання відповідальних і невідповідальних споживачів, циркуляційного водопостачання і ін.

Електротехнічне устаткування призначене для вироблення електроенергії і передачі її в енергосистему. До основного електротехнічного устаткування відносяться генератор турбіни, силові трансформатори, розподільні пристрої, роз'єднувачі, вимикачі та ін.

Для забезпечення живлення споживачів власних потреб в нормальному режимі роботи АЕС служать мережі електропостачання власних потреб. На випадок втрати електроживлення в цих мережах електропостачання для відповідальних споживачів передбачений перехід на аварійне живлення від акумуляторних батарей до резервної дизельної електростанції.

АЕС з енергоблоками ВВЕР-1000 оснащена спеціальним транспортно-технологічним устаткуванням, призначеним для проведення операцій, пов'язаних з прийманням свіжого палива в реакторі, транспортуванням касет в басейні витримки, вивезення витриманого палива з території АЕС. Основні операції, пов'язані з підйомом та переміщенням устаткування, виконуються мостовими кранами реакторного і машинного відділень.

Системи технологічного контролю, дистанційне і автоматичне регулювання забезпечують плановий пуск та останов енергоблоку і АЕС, ведення нормального експлуатаційного режиму, аварійний останов енергоблоку, а також контроль за цими режимами. Централізований контроль і управління основними технологічними процесами на енергоблоці здійснюється з блокового щита управління (БЩУ). На випадок аварійного виходу зі строю

блокового щита управління передбачений резервний щит управління, з якого можливе управління аварійним розвантаженням і останком блоку.

Окрім вказаних, на АЕС передбачені системи і установки біологічного захисту, безпеки і локалізації наслідків вірогідних аварій, радіаційного контролю і спеціального контролю АЕС, які забезпечують безпеку персоналу АЕС, довкілля і населення.

Архітектурні вирішення АЕС підпорядковані цілям надійності і безпеки експлуатації, зручності експлуатації і спорудження АЕС. Компоновка будівель, споруд, а так само генеральний план АЕС забезпечують можливість будівництва АЕС індустріально-потоким методом з максимальним використанням будівельних конструкцій заводського виготовлення, а так само можливість незалежного ведення робіт на кожному енергоблоці. В зв'язку з цим для серійної АЕС з енергоблоками ВВЕР-1000 розроблена моноблочна компоновка ядерної паровиробляючої установки із співвісним розташуванням реактора та турбіни в окремому головному корпусі, який складається з реакторного, машинного, деаераторного відділень і приміщень електротехнічних пристроїв. Реакторне відділення включає герметичну частину, у вигляді захисної циліндрової оболонки з внутрішнім діаметром 15 м, і негерметичну частину, що складається з фундаментної частини, оббудівлі захисної оболонки, вентиляційної труби. Захисна циліндрова оболонка має сферичний купол і виконана з попередньо-напруженого монолітного залізобетону.

Для забезпечення герметичності по внутрішній поверхні оболонки передбачено металеве облицювання.

Проектом серійної АЕС з реактором ВВЕР-1000 передбачено широке використання в будівництві сталевих і армопалоблокових блок-вічок заводського виготовлення, із заздалегідь встановленими в них технологічними прохідками і заставними деталями.

У складі АЕС окрім головного корпусу передбачені загально-станційні допоміжні будівлі і споруди, такі як спец.корпус та об'єднано-допоміжний корпус.

У будівлі спец.корпусу розміщені блок спец.водоочищення, санітарно-побутовий блок і блок майстерень.

У об'єднано-допоміжному корпусі розміщені: цех хім.водоочищення, центральний матеріальний склад, ремонтно-будівельний цех і лабораторні приміщення.

На майданчику АЕС окремо розміщуються: дизель-генераторна станція, корпус газового господарства, блокова насосна станція, сховище слабоактивних твердих відходів, технологічні трубопроводи на естакадах, об'єднане маслогосподарство, відкритий розподільний пристрій, підводячий і відводячий канали та ін.

## 1.2 Архітектурно-будівельна частина

Серійна АЕС складається з енергоблоків розміщених в окремих будівлях. Кожен енергоблок з реактором В-320 (ВВЕР-1000), турбогенератором К-1000-60/1500 є моноблоком. Така компоновка дозволяє здійснити потоковий метод спорудження АЕС шляхом організації паралельного незалежного методу ведення робіт на енергоблоках. Об'єм пускового комплексу значно скорочується, оскільки не залежить від інших енергоблоків АЕС, що складаються з реакторного відділення, машинного залу, відділення деаератора і приміщення резервного щита управління.

Між корпусами енергоблоків розміщені дизель-генераторні електростанції для аварійного живлення енергоблоків.

Об'єднаний спец.корпус на шість енергоблоків сполучений з енергоблоками естакадою технологічних трубопроводів, що складається з верхнього закритого поверху для брудних трубопроводів і нижнього,

відкритого для чистих трубопроводів. Спец.корпус також сполучений з енергоблоками залізничною колією.

Реакторні відділення енергоблоків мають залізничні в'їзди для подачі і транспортування палива і устаткування.

Об'єднаний допоміжний корпус з установками для хім.водоочищення, майстернями, лабораторно-побутовий корпус і адміністративний корпус розміщені на одному майданчику і сполучені між собою.

До спец.корпусу примикає корпус переробки радіоактивних відходів. Кожен енергоблок має свою блокову насосну станцію.

Реакторне відділення призначене для розміщення ядерної паровиробляючої установки і допоміжного устаткування, що забезпечує роботу ядерної паровиробляючої установки. І контур розміщений в герметичній зоні - циліндровій бетонній оболонці фанерованою зсередини сталевим листом. Оболонка (циліндр діаметром 45 м з кульовим куполом загальною висотою 67,45 м) встановлена на фундаментну негерметичну частину будівлі. Відмітка низу герметичної оболонки - 13,2 м. У фундаментній частині розміщується устаткування систем аварійного охолодження зони реактора і забезпечення роботи ядерної паровиробляючої установки. У фундаментній частині розташовані герметичний транспортний коридор, що з'єднаний через транспортний шлюз з реакторним відділенням і герметичне приміщення бака аварійного запасу бору.

Довкола циліндрової частини будівлі розташована оббудівля висотою 41,4 м. На даху оббудівлі - вентиляційна труба енергоблоку. У оббудівлі розташовані системи вентиляції, деаератори підживлення і борного регулювання і інше устаткування станційних систем. Вхід в герметичну зону здійснюється через шлюзи на відмітках 19,3 і 36,9 м.

Машинний зал і деаераторне відділення розміщені в будівлі каркасного типу 127x57 м, заввишки 42 м. Устаткування розташоване відкрито, оскільки II контур АЕС не радіоактивний. Відмітка обслуговування турбоагрегату 15 м. Машинний зал має залізничний і автомобільний в'їзди.

Технологічні зв'язки здійснені відкритою естакадою трубопроводів.

Для виконання основних операцій з паливними касетами призначені:

- прийом, зберігання і підготовку "свіжого" палива до завантаження в реактор (вузол "свіжого палива в спец.корпусі);
- перевантаження палива в реакторі;
- витримка відпрацьованого палива в басейні;
- відправка відпрацьованого палива з басейну витримки.

Вузол "свіжого" палива пов'язаний з реакторними відділеннями енергоблоків транспортними коридорами на естакаді.

У вузлі розміщуються:

- чохла для герметичних каналів – 3х18 пеналів;
- чохла для "свіжих" касет – 13х18 касет;
- контейнери для "свіжого" палива – 45 шт.;
- кантувальник контейнерів – 1 шт.

Вузол призначений для прийому, огляду і підготовки касет до завантаження. Перевантаження палива в реакторі виробляється один раз в рік, при цьому замінюється, приблизно, одна третина палива (до 55 касет). Операції по перевантаженню палива виробляються підлоговою перевантажувальною машиною МП-1000 під шаром барированої води. Для охолодження води басейну є система розхолодження, що забезпечує допустиму температуру води в басейні. Басейн витримки касет примикає безпосередньо до шахти реактора і з'єднується з нею перевантажувальним каналом. Відпрацьовані касети в басейні встановлюються перевантажувальною машиною на стелажі. Для ревізії верхнього блоку співвісно з басейном витримки є дві шахти ревізії устаткування, що також заповнюються водою.

### 1.3 Характеристика основного і допоміжного устаткування блоку 1000 МВт

#### 1.3.1 Призначення і пристрій блочної знесолюючої установки

Конденсат з турбін є основною складовою живильної води ядерної установки, тому очищення конденсату являється по суті і очищенням живильної води.

Конденсатоочищення призначене для видалення з води продуктів корозії, кількість яких особливо велика при пуску енергоблока, і водорозчинних речовин, які включають і вуглекислий газ. Коефіцієнт знезалізнення конденсатоочищення - близько 5, коефіцієнт знесолювання - не менше 10.

Розглянемо конденсатоочищення турбоустановки К-1000-60/1500 блоку ВВЭР-1000.

Турбоустановка включає в себе конденсатори турбіни, конденсатні насоси першого ступеня, блочну знесолюючу установку, конденсатні насоси другого ступеня, підігрівачі низького тиску, деаератори, турбоживильні насоси, підігрівачі високого тиску, парогенератори, міжтрубну частину і турбіну.

Конденсат з конденсатора турбіни поступає на всас конденсатора насосів I ступеня. Конденсатними насосами конденсат прокачується через блочну знесолюючу установку, в якій очищається від забруднень (розчинних солей і зважених часток).

Після блочної знесолюючої установки конденсат прокачується конденсатними насосами II ступеня через підігрівачі низького тиску і поступає в деаератор. В деаераторі конденсат очищається від кисню та вуглекислоти і прямує на турбоживильні насоси. Вони прокачують живильну воду через підігрівачі високого тиску, і подають її в міжтрубний простір парогенераторів. В парогенераторах живильна вода перетворюється на пару і поступає на турбіну. Турбіна обертає генератор, а він виробляє електричну енергію.



### 1.3.2 Принцип дії блочної знесолюючої установки

Блочна знесолююча установка призначена для очищення усього конденсату (основного конденсату турбіни, конденсату турбіни, знесоленої води) від продуктів корозії, що змиваються з поверхні устаткування і трубопроводів другого контура, а також хімічних домішок, що поступають з додатковою водою, присосами охолоджуваної (технічної) води в основний конденсатор турбіни. Присоси охолоджуваної води в головний колектор не більше 0,05 % від паропроодуктивності паротурбінної установки. Блочна знесолююча установка складається з електромагнітного фільтру, п'яти паралельно включених фільтрів змішаної дії, пасток зернистих матеріалів, регенераційної установки, трубопроводів, арматури і КПП. Блочна знесолююча установка працює два тижні після пуску енергоблока після планово-запобіжного ремонту.

Очищення води на блочній знесолюючій установці проводиться в два етапи:

- знезалізування води (на електромагнітний фільтр);
- іонообмінне очищення (на фільтр змішаної дії).

### 1.3.3 Експлуатація електромагнітного фільтру

При роботі фільтр постійно контролюється через перепад на електромагнітний фільтр і концентрацію заліза до і після фільтру (продуктивність електромагнітного фільтру - 3600 м<sup>3</sup>/год. як і усієї блочної знесолюючої установки). Виведення електромагнітного фільтру на промивання здійснюється - по збільшенню перепаду тиску на 10 % в порівнянні з первинним (2,5 кгс/см<sup>2</sup>) и проскакуванню заліза до 90 % від початкової тривалості фільтрації (більше 1 мільйона м<sup>3</sup> конденсату, тобто через (10...12) діб потрібно промивати).

Промивання електромагнітного фільтру включає в себе наступні операції:

- виведення електромагнітного фільтру з роботи;
- розмагнічування котушки електромагнітного фільтру і її знеструмлення;
- включення насоса промивальної води (відкриття промивальних засувок, промивання електромагнітного фільтру, закриття промивальних засувок і відключення насосів);
- подача напруги на котушки і включення електромагнітного фільтру в роботу;
- іонообмінне очищення фільтру змішаної дії.

При знаходженні в резерві фільтри змішаної дії завантажені отгенерируемими фільтруючими матеріалами і заповнені водою. Перед включенням фільтр змішаної дії має бути відмитий. Відмивання шихти робиться з витратою - 100 м<sup>3</sup>/год. Далі хім.водоочищення дополучення концентрації іонів натрію не більш 3 мкг/см.

Включення в роботу фільтру змішаної дії робиться в наступній послідовності:

- відкрити засувки на виході з фільтру змішаної дії на подачу конденсату зверху;
- повільним відкриттям регулювальника встановлюється необхідна витрата на фільтр змішаної дії.

Продуктивність одного фільтру змішаної дії біля 900 м<sup>3</sup>/год. Після включення робиться контроль за витратою за допомогою витартoměру. Перепад тиску на фільтрі - не більш 1,5 кгс/см<sup>2</sup>.

#### 1.3.4 Експлуатація блочної знесолюючої установки

Технічене обслуговування блочної знесолюючої установки включає в себе:

- підготовку і пуск електромагнітного фільтру, фільтру змішаної дії в роботу з резерву або після ремонту;
- промивання електромагнітного фільтру;

- заповнення бака відмивочних вод знесоленою водою;
- заповнення баків-мірників кислотою і лугом;
- регенерацію і промивання фільтру змішаної дії.

Таким чином, для підтримки якості живильної води котлів-утилізаторів на потрібному по нормах рівні технологічно передбачається блочна знесольююча установка для знесольовання турбінного конденсату і конденсату мережевих підігрівачів.

Як правило, до складу блочної знесольюючої установки входять два механічні фільтри і три фільтри змішаної дії, що включені в роботу паралельно.

На виході кожного механічного фільтру і фільтру змішаної дії встановлюється пастка смоли.

В якості фільтруючого матеріалу в механічних фільтрах використовується сильнокислотний катіоніт КУ-2-8.

В якості фільтруючого матеріалу в фільтрах змішаної дії використовується суміш сильнокислотного катіоніту і сильноосновного аніоніту (тип вживаних іонітів може бути різним).

Механічний фільтр включається до циклу регенерації, якщо зміст заліза в конденсаті за ним перевищує - 20 мкг/кг.

Фільтр змішаної дії включається до циклу регенерації, якщо провідність за ним перевищує 0,2 мкСм/см при 25 °С.

Відкриття фільтрів на промивання і регенерацію по вказаних параметрах може бути здійснено автоматично або оператором з щита управління.

Регенерація відпрацьованих смол виконується зовні на регенераційній установці.

Передбачається автоматичне управління і контроль устаткування блочної знесольюючої установки в приміщенні щитової. Кожен етап роботи і регенерації запускається оператором/апаратником з щита управління блочної знесольюючої установки, і потім протікає в автоматичному режимі. В разі несправності

устаткування блочної знесолюючої установки або аварії усі сигнали повинні контролюватися оператором візуально.

Для регенерації іонообмінних смол використовується сірчана кислота і їдкий натр.

До складу регенераційної установки входять:

- один фільтр (регенератор катіоніту);
- один фільтр (регенератор аніоніту);
- пристосування для гідроперевантаження матеріалів в/з фільтрів;
- баки-мірники сірчаної кислоти і їдкого натра загальні для блочної знесолюючої установки;

- насоси-дозатори сірчаної кислоти і їдкого натру;

- насоси власних потреб.

Скидання від регенераційної установки здійснюється наступним чином:

- вода від розпушуючого промивання скидаються в систему промливневої каналізації;

- вода гідроперевантажування і останні порції відмивальних вод збираються в баку для повторного використання;

- напірні дренажі, що потребують нейтралізації, прямують в один з двох знову встановлюваних баків-нейтралізаторів і після нейтралізації перекачуються на скидання;

- безнапірні дренажі, що потребують нейтралізації збираються в дренажному приямке приміщення вузлів регенерації, звідки за допомогою насоса відкачуються в один з баків-нейтралізаторів.

Сірчана кислота і їдкий натр подаються в баки-мірники по трубопроводах з хім.водоочищення.

Вода для приготування регенераційних розчинів і на інші операції подається насосами власних потреб з бака власних потреб і бака повторного використання, загальних для установки підготовки знесоленої води та блочної знесолюючої установки.

Устаткування блочної знесолюючої установки розташовується в головному корпусі енергоблока на від. 0,000; устаткування вузлів регенерації (баки-мірники і насоси дозатори) розміщене в окремому ізольованому приміщенні.

Якість знесолоного конденсату на виході з блочної знесолюючої установки наведена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Якість знесолоного конденсату на виході з блочної знесолюючої установки

Параметри	Одиниця виміру	Значення
Питома електропровідність Na-катіонірованої проби	мкСм/см	0,2
Зміст кремнекислоти	мкг/дм <sup>3</sup>	
Зміст натрію	мкг/дм <sup>3</sup>	
Зміст з'єднань заліза	мкг/дм <sup>3</sup>	
Загальний органічний вуглець	мкг/дм <sup>3</sup>	

Забруднений загальностанційний конденсат збирається в баку брудного конденсату і у міру накопичення після розхолодження буде подаватися на очищення.

Установка очищення забрудненого конденсату працює за схемою: «зnezалізнення на Na-катіонітних фільтрах - знесолювання на фільтрах змішаної дії».

Для znezалізнення встановлюються два Na-катіонітних фільтри, завантажених сульфувугіллям, що поєднують функції механічного і бар'єрного (застерегаючого випадкове проскакування масел у фільтрат) фільтрів.

Для подальшого знесолювання конденсату використані фільтри змішаної дії з внутрішньою регенерацією установки підготовки знесолоної води.

Для регенерації використовується устаткування (баки-мірники і насоси-дозатори) регенераційної установки блочної знесолоючої установки.

Блочна знесолоюча установка містить зазвичай дві групи фільтрів: механічні (для видалення мелкодисперсних часток) і фільтри змішаної дії (для видалення іонів). В якості механічних фільтрів успішно застосовують сульфовугільні і електромагнітні фільтри. Сульфовугільні фільтри - це звичайні механічні фільтри з шаром сульфовугілля висотою до 1 м. У зв'язку з тим, що основним продуктом корозійного забруднення води в замкнутому контурі є магнетит, використання електромагнітних фільтрів в цьому випадку високоефективно.

### 1.3.5 Принципова схема

У водо-водяному енергетичному реакторі ВВЕР-1000 на теплових нейтронах як паливо використовується збагачений двоокис урану, сповільнювачем і теплоносієм служить вода. Енергія ядерного ділення палива в активній зоні реактора використовується для підігрівання теплоносія, циркулюючого по чотирьох замкнутих петлях: реактор, парогенератор, головний циркуляційний насос, реактор. Теплоносій, що проходить через активну зону реактора та охолоджуючи її, отримує теплоту, яка передається в парогенераторах воді II контуру і головними циркуляційними насосами повертається в реактор. Вироблена в парогенераторах суха насичена пара по II контуру поступає на турбіну. Система компенсації об'єму підтримує в головному циркуляційному контурі тиск в стаціонарному режимі, а так само обмежує відхилення тиску в перехідних режимах і при аваріях. Пасивна частина система аварійного охолодження зони призначена для охолодження активної зони при розриві трубопроводу Ду850 з двостороннім виділенням теплоносія.

### 1.3.6 Принципова теплова схема II контуру

Паротурбінна установка К-1000-60/1500 призначена для роботи в серійному енергоблоці з реактором типа ВВЕР-1000 за моноблочною схемою і є енергетичним комплексом, до складу якого входить ядерна паровиробляюча установка водо-водяного типа одиничною електричною потужністю 1000 МВт. Теплова схема енергоблоку - двоконтурна, наведена на рисунку 1.1.

I контур радіоактивний, теплоносієм і сповільнювачем є знесолена вода під тиском. У нього входять головний циркуляційний контур і ряд допоміжних систем. Головний циркуляційний контур призначений для відведення теплоти, що виділяється в реакторі, і передачі її у парогенераторі воді II контуру. Головний циркуляційний контур включає водо-водяний енергетичний реактор і чотири циркуляційних петлі, кожна з яких складається з парогенератора, головного циркуляційного насоса і циркуляційних трубопроводів.

Парогенератори є загальним устаткуванням I і II контурів і призначені для вироблення сухої насиченої пари для турбіни.

II контур нерадіоактивний, призначений для вироблення сухої насиченої пари, передачі його в турбіну і виробництва електроенергії. II контур включає паровиробляючу частину парогенераторів, паротурбінну установку К-1000-60/1500, забезпечену конденсаційним пристроєм, сепараційно-пароперегрівуючим пристроєм і системою регенерації для підігрівання живильної води. Має не регульовані відбори пари на регенеративні підігрівачі низького і високого тиску і деаератор, на привідні турбіни живильних насосів, на водонагрівальну установку теплофікації і на технологічні (власні) потреби станції. Свіжа пара від парогенераторів магістральними паропроводами подається до чотирьох комбінованих стопорно-регулюючих клапанів, після яких пар поступає в циліндр високого тиску. Відпрацьована в циліндрі високого тиску пара, вологістю приблизно 10 % при тиску 11,3 кгс/см<sup>2</sup> прямує до чотирьох СПП-1000, де спочатку сепарується до міри сухості  $X=0,99$ , потім підігрівається в першому і другому рівні до температури 250 °С.

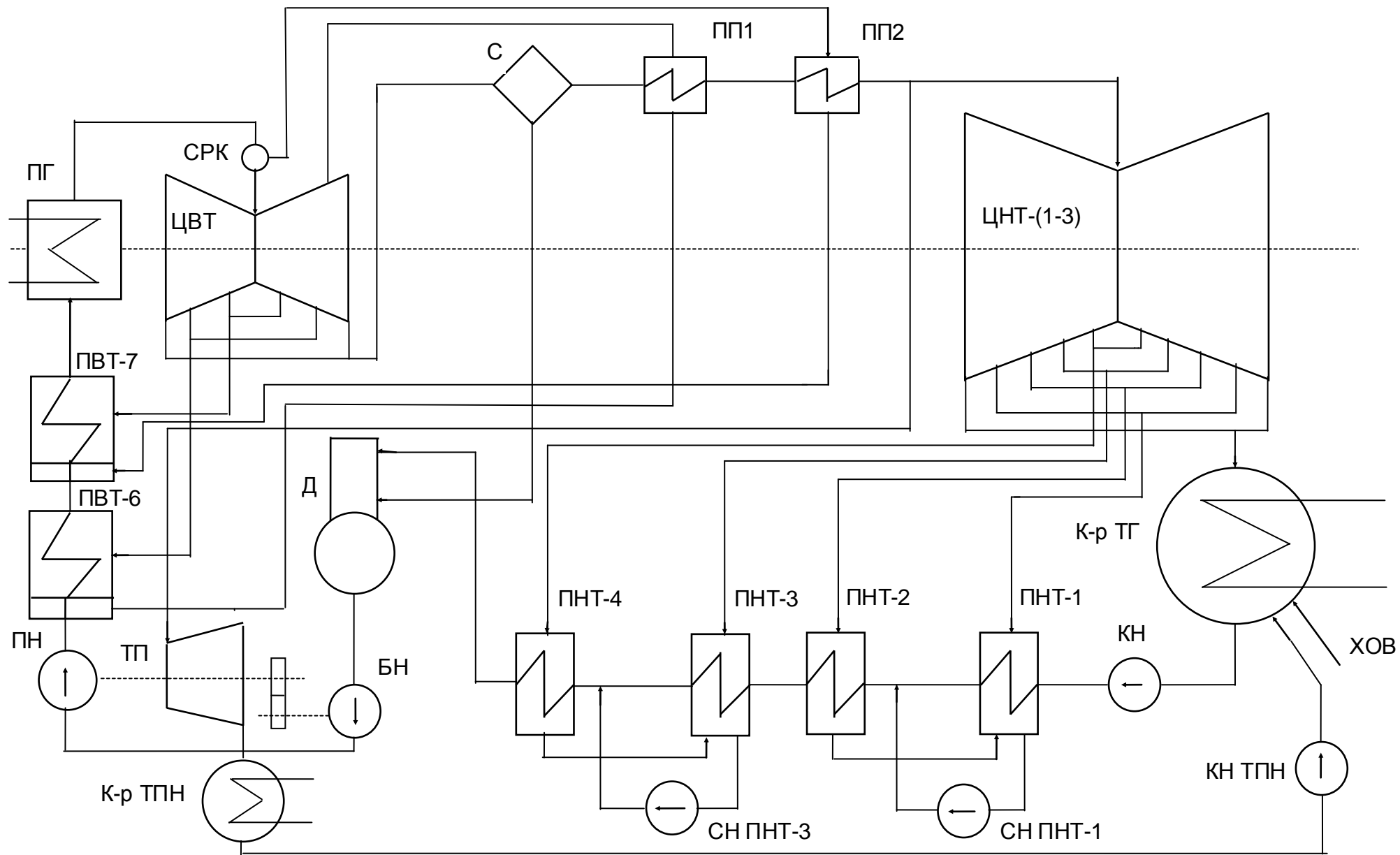


Рисунок 1.1 - Теплова схема енергоблоку К-1000-60/1500



Для підігрівання пари до необхідної температури виконаний відбір свіжої пари після стопорно-регулюючих клапанів з температурою 274,3 °С, тиском 59,0 кгс/см<sup>2</sup> на пароперегрівач II ступеня.

Після сепараційно-пароперегрівачного пристрою перегріта пара з тиском 10,5 кгс/см<sup>2</sup> чотирма нитками ресиверів, що переходять далі в два ресивери, прямує в три циліндри низького тиску. От двох сепараційно-пароперегрівачних пристроїв перегріта пара відбирається для живлення приводних турбін живильних насосів 1, 2.

З циліндру низького тиску відпрацьована пара через перехідні патрубки поступає в конденсаційний пристрій, що призначений для конденсації відпрацьованої пари і складається з 3-х конденсаторів підвального виконання, розташованих під турбіною, повітровидаляючого пристрою, конденсатних насосів. Тиск в конденсаторах при номінальному режимі роботи 0,04 кгс/см<sup>2</sup> (абс.).

Дані про відбори пари для потреб регенерації, пром.перегріву, турбоприводів живильних насосів, теплофікації і технологічних потреб станції приведені нижче.

Конденсатними насосами I ступеня (КН-1) конденсат подається на блочну знесолюючу установку. Пройшовши процес очищення конденсатними насосами II ступеня (КН-2), конденсат подається на деаераційну установку через групу регенеративних підігрівачів низького тиску, що складається з чотирьох підігрівачів низького тиску поверхневого типу, що обігриваються парою 4, 5, 6 і 7 відборів турбіни.

Деаераційна установка призначена для деаерації основного конденсату шляхом нагріву його до температури насичення, при якій розчинність газів (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> і ін.) прагне до нуля, створення необхідного запасу води в баках акумуляторах для компенсації небалансу між витратою живильної води і витратою основного конденсату на період перехідних режимів, використання її як джерело постійного тиску для забезпечення бескавітаційного режиму роботи передвключених насосів, живлення парою основних ежекторів, ежектора

відсмоктування з кінцевих ущільнень і подачі пари на кінцеві ущільнення турбогенератора, підігрівання живильної води.

Установка складається з двох деаераторів, зв'язаних між собою зрівняльними трубопроводами по парі і воді. Кожен деаератор складається з бака-акумулятора і двох деаераційних колонок.

Пройшовши процес термічної деаерації, живильна вода турбопривідними живильними насосами 1-2, через групу регенеративних підігрівачів високого тиску, що складається з двох груп підігрівачів ПВТ-6АБ і ПВТ-7АБ поверхневого типу, що обігриваються парою відповідно від другого і першого відборів турбіни, з параметрами 230 °С і тиском 29,0 кгс/см<sup>2</sup> для вироблення свіжої пари, подається в парогенератори 1-4.

Велику роль в підтримці нормованих показників якості води парогенератора і живильного тракту грає система очищення турбінного конденсату - блочна знесолююча установка. Вона повинна забезпечувати нормальний водно-хімічний режим контуру в різних умовах роботи блоку. Окрім конденсату турбін, через конденсатоочищення проходить конденсат, повертаємий з системи власних потреб, а також знесолена вода, що додається в цикл для заповнення втрат.

Схема блочної знесолюючої установки дозволяє:

- робити очищення всього турбінного конденсату спочатку на електромагнітний фільтр, потім на фільтри змішаної дії;
- відключати електромагнітний фільтр і пропускати весь конденсат мимо електромагнітного фільтру на очищення на фільтри змішаної дії;
- очищати весь конденсат лише на електромагнітний фільтр з пропуском його окрім фільтрів змішаної дії;
- пропускати весь конденсат мимо блочної знесолюючої установки перед включенням системи в роботу.

Завдяки конденсатоочищенню зменшується забрудненість живильної води парогенератора продуктами корозії конструкційних матеріалів, а також іонодисперсними домішками. Знижується забрудненість внутрішньої поверхні пароутворюючих труб і проточної частини турбіни, що подовжує робочу кампанію енергоблоку між експлуатаційними промиваннями парогенератора і проточної частини турбіни; прискорюється пуск і вихід на розрахункові параметри енергоблоку після капітальних і поточних ремонтів.

Основну масу нерозчинених забруднень конденсату складають продукти корозії конструкційних матеріалів пароводяного тракту, в першу чергу з'єднання заліза, міді, цинку.

Особливо необхідна надійно працююча знезалізуюча частина в схемі блочної знесолюючої установки в перехідні періоди роботи, тобто під час пусків, зниження і подальшого підйому навантаження, коли потрібне швидке і глибоке уловлювання значних кількостей продуктів корозії.

У даній кваліфікаційній роботі розглянуті питання підвищення ефективності роботи блочної знесолюючої установки шляхом реконструкції двопотокового фільтру.

## 2 РЕКОНСТРУКЦІЯ БЛОЧНОЇ УСТАНОВКИ ВОДОПІДГОТОВКИ

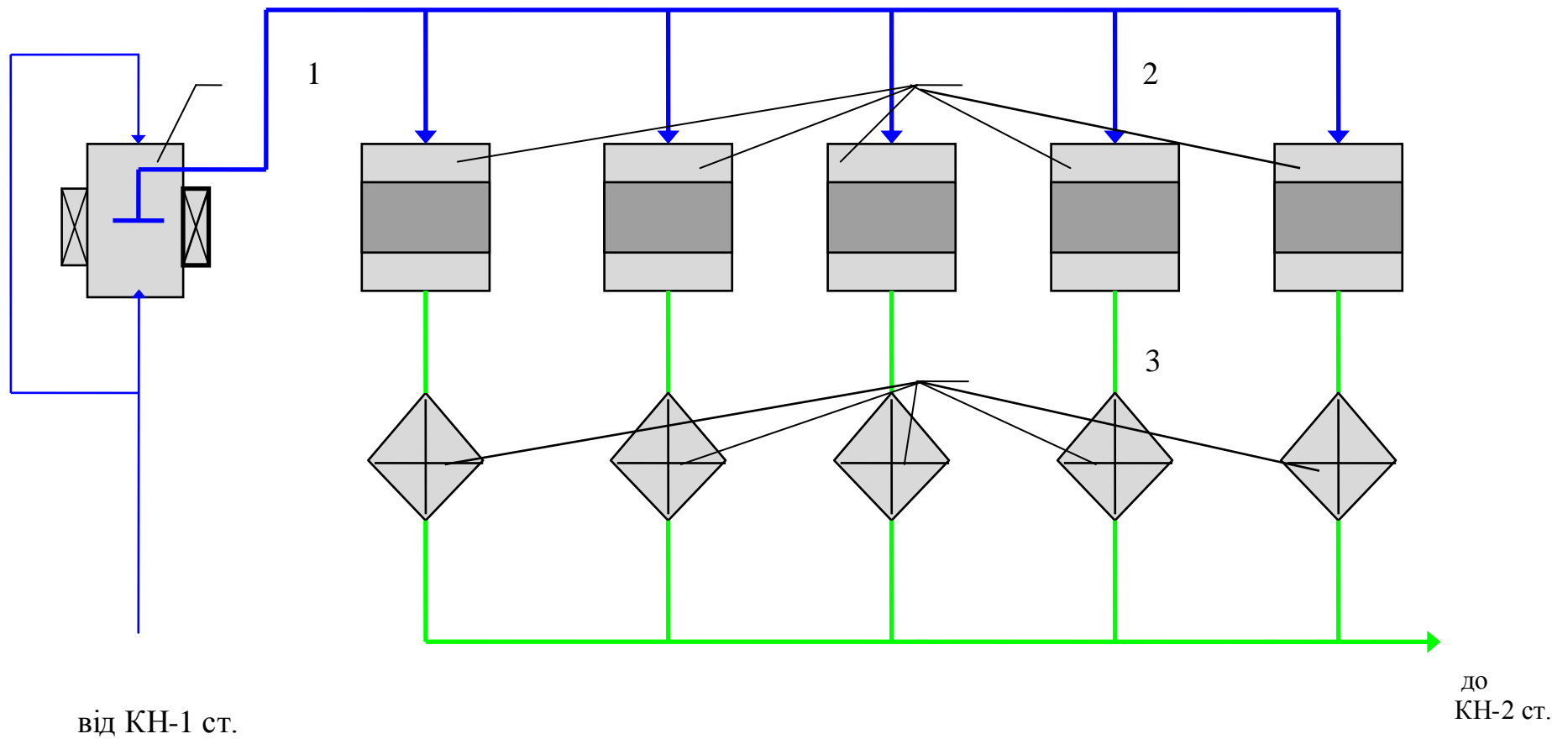
### 2.1 Розробка технічних заходів щодо реконструкції блочної знесолюючої установки

Блочна знесолююча установка складається з електромагнітного фільтру, п'яти паралельно включених фільтрів змішаної дії, пасток зернистих матеріалів, регенераційної установки (див. рисунок 2.1).

Конденсат з конденсатора турбіни поступає на всас конденсатних насосів I ступеня. Конденсатними насосами I ступеня конденсат прокачується через блочну знесолюючу установку, на якій очищається від забруднень (розчинених солей і зважених часток).

Після блочної знесолюючої установки конденсат прокачується конденсатними насосами II ступеня через підігрівачі низького тиску і поступає в деаератор. У деаераторі конденсат очищається від кисню і вуглекислоти, і прямує на турбоживильні насоси. Турбоживильні насоси прокачують живильну воду через підігрівачі високого тиску, і подають її в міжтрубний простір парогенераторів. У парогенераторах живильна вода перетворюється на пару і поступає на турбіну. Турбіна обертає генератор і генератор виробляє електричну енергію.

Спосіб глибокого знезалізнення турбінного конденсату на Запорізькій АЕС виконується за допомогою електромагнітного фільтру з намагніченим кульковим завантаженням, встановленого в схемі блочної знесолюючої установки перед фільтрами змішаної дії. Дана схема найбільш раціональна, оскільки через електромагнітні фільтри при цьому можна пропускати весь потік конденсату, що очищається. При такому включенні на електромагнітних фільтрах лежить основне навантаження по виведенню залізоокисної суспензії з контуру енергоблоку.



1 - електромагнітний фільтр; 2 - фільтр змішаної дії;  
 3 - пастка зернистого матеріалу

Рисунок 2.1 - Принципова схема установки очищення основного конденсату блочної знесолюючої установки

Як видно з рисунка 2.1 в схемі блочної знесолюючої установки передбачено дві послідовні стадії очищення конденсату:

- знезалізнення;
- іонування.

Знезалізнення конденсату здійснюється на електромагнітному фільтрі.

Фізичну основу роботи знезалізнюючого електромагнітного фільтру складає закономірність, що полягає в тому, що сила тяжіння намагнічених часток затримуваної суспензії до сферичних магнітних полюсів (кулькам) повинна перевищувати механічну силу рухомого потоку, прагнучого винести частки з робочої зони фільтру. Дотримання цієї умови дозволяє отримувати високий ефект затримання феромагнітної залізоокисної суспензії в шарі намагнічених кульок, складових завантаження фільтру, і забезпечити залишковий вміст заліза в очищеному конденсаті менше 10 мкг/л.

У схемі блочної знесолюючої установки Запорізької АЕС передбачена установка на одному енергоблоці п'яти однотипних фільтрів змішаної дії, причому на 1, 3 блоках - двопотокові фільтри змішаної дії, а на 2, 4, 5, 6 блоках - однопотокові.

Всі фільтри змішаної дії підключені паралельно (див. рис. 2.1). Конструктивно фільтри змішаної дії порівняно прості, надійні і володіють чималою одиничною продуктивністю (900 м<sup>3</sup>/год.).

Конденсат, що очищається, подається в двопотоковий фільтр змішаної дії через верхнє і нижнє розподільні пристрої, очищений конденсат виводиться через середній розподільний пристрій.

Однопотоковий фільтр змішаної дії відрізняється від двопотокового тим, що конденсат, який очищується, подається в нього лише через верхній розподільний пристрій, а очищений конденсат виводиться через нижній розподільний пристрій.

Фільтри змішаної дії з нерухомим шаром іоніту застосовують на АЕС для водопідготовки і очищення конденсату. Фільтр змішаної дії простий і надійний апарат, що випускається серійно. Він до цих пір є основним у водопідготовці і

очищенні конденсату. Фільтри змішаної дії є високоефективними і забезпечують високу питому продуктивність при малому солевмісті розчинів. Всі процеси іонообмінного циклу проводять у фільтрі послідовним пропусканням відповідних розчинів через шар іоніту. При цьому оброблюваний розчин пропускають до «проскакування», тобто до моменту, коли концентрація визначального компонента не перевищить норми. Після цього іоніт піддають регенерації. Крім того, періодично завантаження іоніту розпушують потоком води або повітря знизу для усунення каналів, що утворилися в шарі іоніту, і застійних зон і видалення механічних забруднень.

При цьому мають величезне значення конструкційні особливості фільтрів і висота завантаження іонообмінної смоли, оскільки при поганому розподілі розчину по перетину фільтру можливо каналутворення і місцеве «проскакування» розчину, у той час коли основний об'єм іоніту ще не насичений. Це різко знижує ефективність очищення і робочу ємкість смол.

Збільшення висоти апарату привабливе, оскільки при цьому зростає робоча ємкість, проте зростає і гідравлічний опір. Тому високі апарати використовують для проведення повільних процесів при малих швидкостях розчину. У нашому випадку, коли ми маємо високу швидкість розчину при швидких процесах і малу концентрацію розчину, краще використовувати фільтри з висотою іонообмінного матеріалу (0,7...1,5) м. Також найбільш поширена подача рідини у фільтрах зверху вниз, що дозволяє на реконструюємих двопотокових фільтрах змішаної дії досягати при відповідному тиску дуже великої швидкості руху розчину, і спрощує конструкцію та експлуатацію апарату, що незмінно веде до збільшення змінної ємкості фільтруючого матеріалу, збільшення фільтроциклу і зниження кількості регенерацій.

Для порівняння розглянемо виробничі характеристики двопотокового фільтра змішаної дії і реконструюємого двопотокового фільтра змішаної дії.

Ці дані наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Характеристика фільтрів

Характеристики фільтрів	Двопоточковий фільтр змішаної дії	Реконструюємий двопоточковий фільтр змішаної дії
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год.:		
- проектна;	900	900
- дійсна	600	900
Перепад тиску вхід/вихід, кгс/см <sup>2</sup> :		
- проектний;	1,5	1,5
- дійсний	(0,8...-1,2)	0,4
Перепад тиску між шарами:		
- проектний;	0,3	-
- дійсний	0,2	-
Робочий тиск, атм.	16	16
Висота фільтруючого шару, мм	2300	1350 і 1350
Площа фільтрування, м <sup>2</sup>	5,25	9,1
Діаметр фільтру, мм	2600	2600
Фільтруючий матеріал	КУ-2-8 АВ-17-8	КУ-2-8 АВ-17-8
Об'єм завантаженого іоніту, м <sup>3</sup>	14,5	14,5
Розмір зерен, мм	(0,3...1,2)	(0,3...1,2)
Кількість, шт.	5	5

Як видно з представлених даних, двопоточкові фільтри із-за своїх конструкторських особливостей не підтримують розрахункову пропускну спроможність (продуктивність), що негативно позначається на всьому очищенні основного конденсату і роботи енергоблоку в цілому. Також із-за великого перепаду тиску на вході/виході двопоточкових фільтрів відбувається розшарування шихти під час роботи фільтру, що знижує іонообмінну здатність шару іоніту. В результаті цього зменшується час роботи фільтру, знижується



фільтроцикл і зростають витрати на регенерації шихти (кількість реагентів і води на власні потреби).

Запропонована реконструкція дозволяє збільшення змінної ємкості фільтруючого матеріалу, збільшення фільтроциклу, а також зниження кількості регенерацій.

## 2.2 Блочна знесолююча установка

Головними складовими води II контуру є турбінний конденсат і конденсат гріючої пари регенеративних підігрівачів низького, високого і середнього тисків.

Забруднення в конденсат турбіни у вигляді як розчинених солей, так і суспензій можуть поступати з сиріючої води, що охолоджує конденсатори, в результаті присосів її через нещільність в конденсаторах. Основну масу нерозчинних забруднень складають продукти корозії конструкційних матеріалів пароводяного тракту, в першу чергу оксиди заліза, міді.

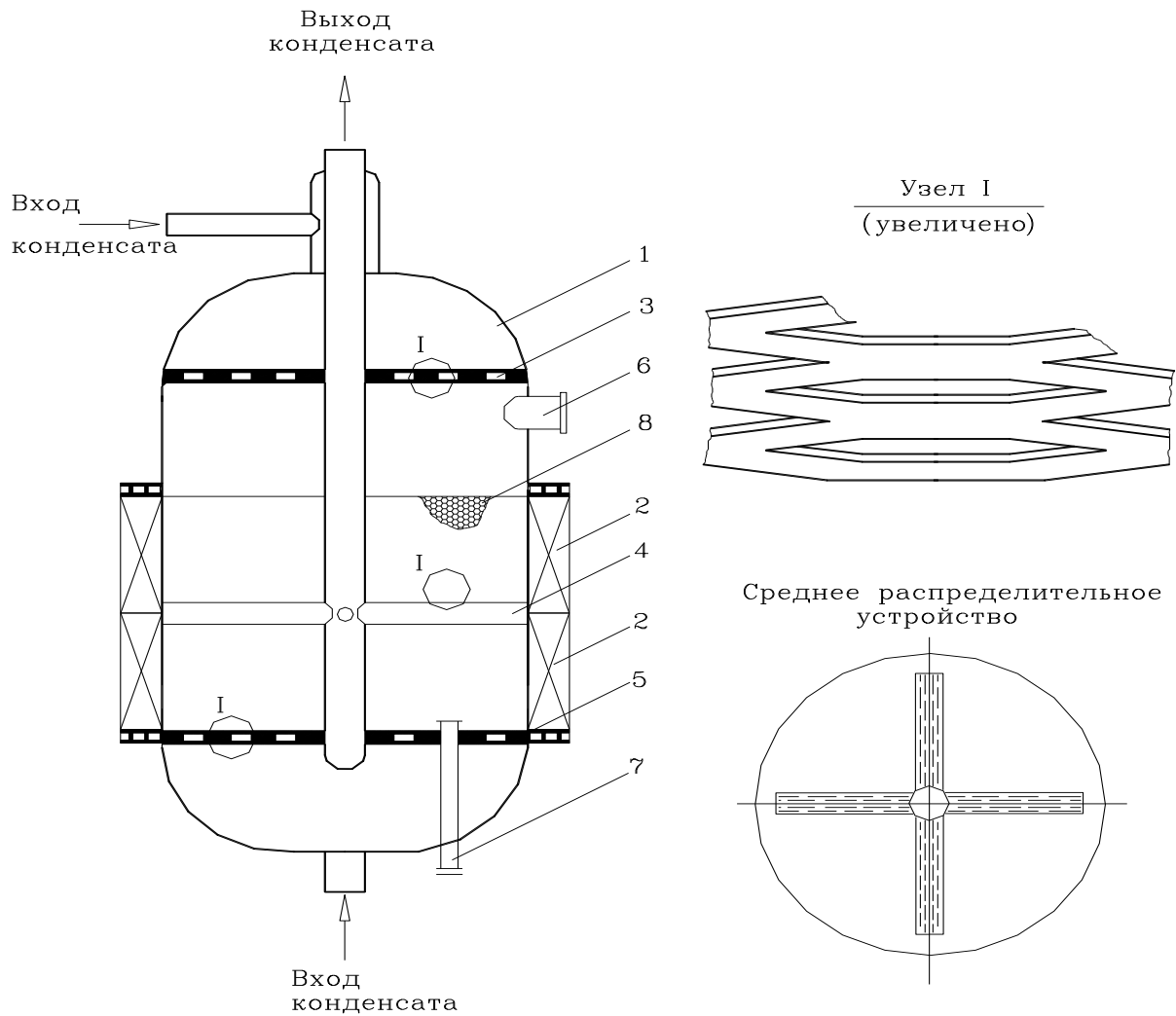
### *Опис блочної знесолюючої установки*

Очищення конденсату від всіх можливих забруднень проводиться на блочній знесолюючій установці.

Від зважених забруднень конденсат звільняється на I ступені в електромагнітному фільтрі. Вживання магнітного способу очищення засноване на тому, що в турбінному конденсаті оксиди заліза знаходяться головним чином у вигляді феромагнітних часток. Пройшовши через електромагнітне поле в електромагнітному фільтрі вони стають постійними магнітами і з'єднуються між собою, утворюючи укрупнені флокули, які взаємодіють з полюсами кулькового завантаження електромагнітного фільтра і затримуються між кульками.

## 2.2.1 Двопоточковий електромагнітний фільтр

Двопоточковий електромагнітний фільтр (див. рисунок 2.2) є циліндровою судиною з аустенітної (немагнітної) сталі з трьома патрубками для підведення і відведення води.



1 - корпус; 2 - електромагнітна котушка; 3 - верхній розподільний пристрій (ВРП); 4 - середній розподільний пристрій (СРП); 5 - нижній розподільний пристрій (НРП); 6 - люк-лаз; 7 - штуцер для вивантаження кульок; 8 - кулькове завантаження

Рисунок 2.2 - Двопоточковий електромагнітний фільтр

Усередині електромагнітний фільтр має нижні щілинні ґрати для підтримки кулькового завантаження і верхню для запобігання винесенню кульок при промиванні фільтру. Діаметр кульок (4...8) мм. Крім того, ґрати виконують роль ВРУ і НРУ, до яких зверху і знизу підводиться конденсат на очищення. Ширина щілин решіток 4 мм. На половині висоти кулькового завантаження (на відстані 1150 мм від нижніх решіток) розташований середній розподільний пристрій, в якому верхній і нижній потоки турбінного конденсату, пройшовши через кулькове завантаження, сходяться і відводяться з електромагнітного фільтру.

Середній розподільний пристрій є чотирма радіальними патрубками Ду350 з щілинами шириною 4 мм, з намотаною на них сіткою з неіржавіючої сталі з вічками 3 мм. Патрубки врізаються в центральну вертикальну трубу діаметром 55 мм, яка відводить незалізнений турбінний конденсат від електромагнітного фільтру.

Зовні електромагнітний фільтр має дві електромагнітні котушки, які розташовані одна над іншою по висоті фільтру. Також електромагнітний фільтр обладнаний пробовідбірними крапками, манометрами і повітродушниками.

При роботі електромагнітного фільтру турбінний конденсат, що очищується, проходить через намагнічені кульки і феромагнітні оксиди заліза, що містяться в конденсаті, притягуються до них - конденсат очищається. Перед промиванням електромагнітного фільтру кульки розмагнічуються і потоком води від низу до верху затримані при роботі оксиди заліза виносяться з промивальною водою - кулькове завантаження промивається.

Промивання здійснюється дистанційним або автоматичним керуванням електромагнітного фільтру.

Очищення конденсату від розчинених домішок здійснюється у фільтру змішаної дії, що вміщують катіоніт і аніоніт в одному фільтрі, завантажені у фільтру змішаної дії в співвідношенні 1:1,5. Очищення конденсату від розчинених домішок засноване на вживанні іонообмінних реакцій, що протікають на поверхні твердих іонообмінних матеріалів.

Суть іонного обміну полягає у витяганні з водних розчинів різних іонів за допомогою обміну їх на інші іони, що входять до складу фільтруючих матеріалів іонітів.

Іоніти діляться на два класи:

- аніоніти, що обмінюються аніонами;
- катіоніти, що обмінюються катіонами.

На блочній знесолюючій установці застосовуються сильнокислотний катіоніт КУ-2-8 і сильноосновний аніоніт АВ-17-8. У фільтрі змішаної дії фільтрування (глибоке знесолювання) води здійснюється через шар, що складається з рівномірної суміші катіоніту і аніоніту.

На блочних знесолюючих установках змонтовано два типа фільтрів змішаної дії. На блочній знесолюючій установці - 1, 2, 3 встановлені двопотокові фільтри змішаної дії, на блочній знесолюючій установці - 4, 5, 6 встановлені однопотокові блокові знесолюючі установки.

### 2.2.2 Двопотоковий ФЗД

Двопотоковий ФЗД (див. рис. 2.3) є вертикальною циліндровою судиною з двома сферичними днищами. Корпус фільтру виготовлений із звичайної вуглецевої сталі, тому внутрішня поверхня покрита антикорозійною епоксидною шпаклівкою.

Усередині ФЗД має шість збірно-розподільних пристроїв.

1). Верхній розподільний пристрій (ВРП) призначений для підведення всього конденсату, що поступає на очищення, при роботі ФЗД. Він складається з двох вертикальних співвісних розташованих дірчастих циліндра із заглушеними денцями. Вода проходить через отвори спочатку одного циліндра, потім другого в радіальному напрямі. При цьому гаситься енергія потоку, запобігає розмивання шару іонітів і забезпечується рівномірне фільтрування води по перетину ФЗД.

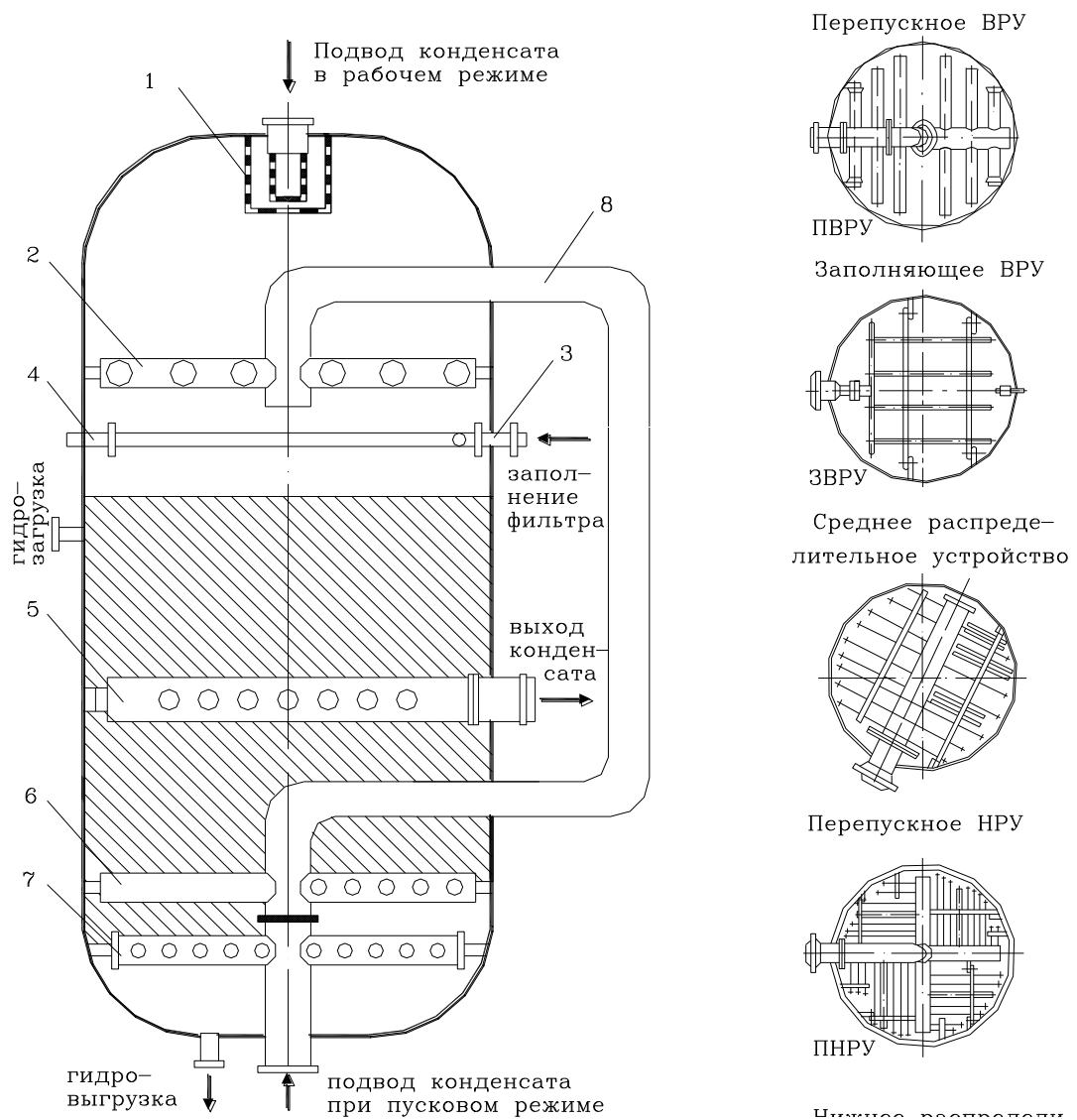
2). Заповнюючий ВРП призначений для повільного заповнення ФЗД конденсатом, після перемішування свіжозавантаженої шихти стислим повітрям. Він складається з чотирьох горизонтальних труб Ду50 мм, приєднаних до колектора Ду80. Труби мають отвори діаметром 8 мм, направлені вгору.

3). Середній розподільний пристрій (СРП) призначений для відведення знесоленого конденсату. Він є трубчастою системою, що складається із збірного колектора Ду350 і 18 відведень Ду100, розташованих в горизонтальній площині. Кожне відведення має 9 рядів щілинних жолобків з розміром щілин 0,25x4 мм.

4). Перепускний ВРП призначений для підведення відпрацьованої води до нижньої частини фільтруючого завантаження, а також для розподілу фільтруючого матеріалу, розташованого в нижній частині ФЗД. Він складається з двох колекторів діаметром 20 мм. До отворів цих колекторів приєднано 12 відведень діаметром 100 мм з отворами 8 мм.

5). Нижній розподільний пристрій (НРП) призначений для підведення конденсату при включенні ФЗД в роботу, а також для підведення води при гідрозавантаженні шихти з ФЗД для регенерації. Він складається з чотирьох радіально розташованих труб діаметром 150 мм, які вварюють в трубопровід, що підводить, діаметром 250 мм. До труб приєднано 32 відведення діаметром 50 мм з двома щілинними жолобами на кожному відведенні з розміром щілин 0,25x4 мм. Щілини направлені вгору.

6). Перепускний НРП призначений для відвантаження фільтруючого матеріалу з нижньої частини фільтру, а також для підведення і розподілу потоку оброблюваної води до нижнього шару завантаження. Він складається з 4 колекторів діаметром 150 мм, до отворів цих колекторів приєднано 32 відведення діаметром 50 мм.



1 - верхній розподільний пристрій; 2 - перепускний ВРП (ПВРП); 3 - заповнючий ВРП (ЗВРП); 4 - сигнальна трубка; 5 - середній розподільний пристрій; 6 - перепускний нижній розподільний пристрій (ПНРП); 7 - нижній розподільний пристрій; 8 - перепускна трубка

Рисунок 2.3 - Двопоточковий фільтр змішаної дії

7). Сигнальна трубка – трубка, яка забезпечена щілинним жолобковим патрубком. Вона служить для сигналізації закінчення дренавання ФЗД перед перемішуванням іонів стислим повітрям.

8). У верхній циліндровій частині корпусу фільтру розташований штуцер для гідрозавантаження, а в нижній частині днища – для гідровивантаження

шихти. На корпусі фільтру є також нижній і верхній лази, які призначені для внутрішніх оглядів, монтажу і ремонту дренажно-розподільних пристроїв. Крім того, ФЗД обладнаний пробовідборними точками, манометрами і повітродушниками.

### 2.2.3 Двопотоковий ФЗД реконструюємий

Двопотоковий ФЗД реконструюємий (див. рис. 2.4) є вертикальною судиною з двома сферичними днищами. Корпус апарату вертикальний, складається з циліндрової зварної обичайки з двома еліптичними штампованими днищами і має спідничну опору. Усередині корпусу фільтру розташовані збірно-розподільні пристрої.

Загальним для всіх варіантів реконструкції фільтрів БЗУ є максимально можливе збереження елементів існуючого устаткування.

Пропонована реконструкція двопотокового фільтру полягає в переобладнанні фільтру, що складається з однієї камери, в двокамерний фільтр.

Камери існуючого двопотокового фільтру (висота близько 6,5 м) дозволяють здійснити його переробку з двокамерною фільтрацією в обох камерах в напрямі зверху вниз.

Двокамерний фільтр забезпечує первинну продуктивність при збереженні існуючої швидкості фільтрування.

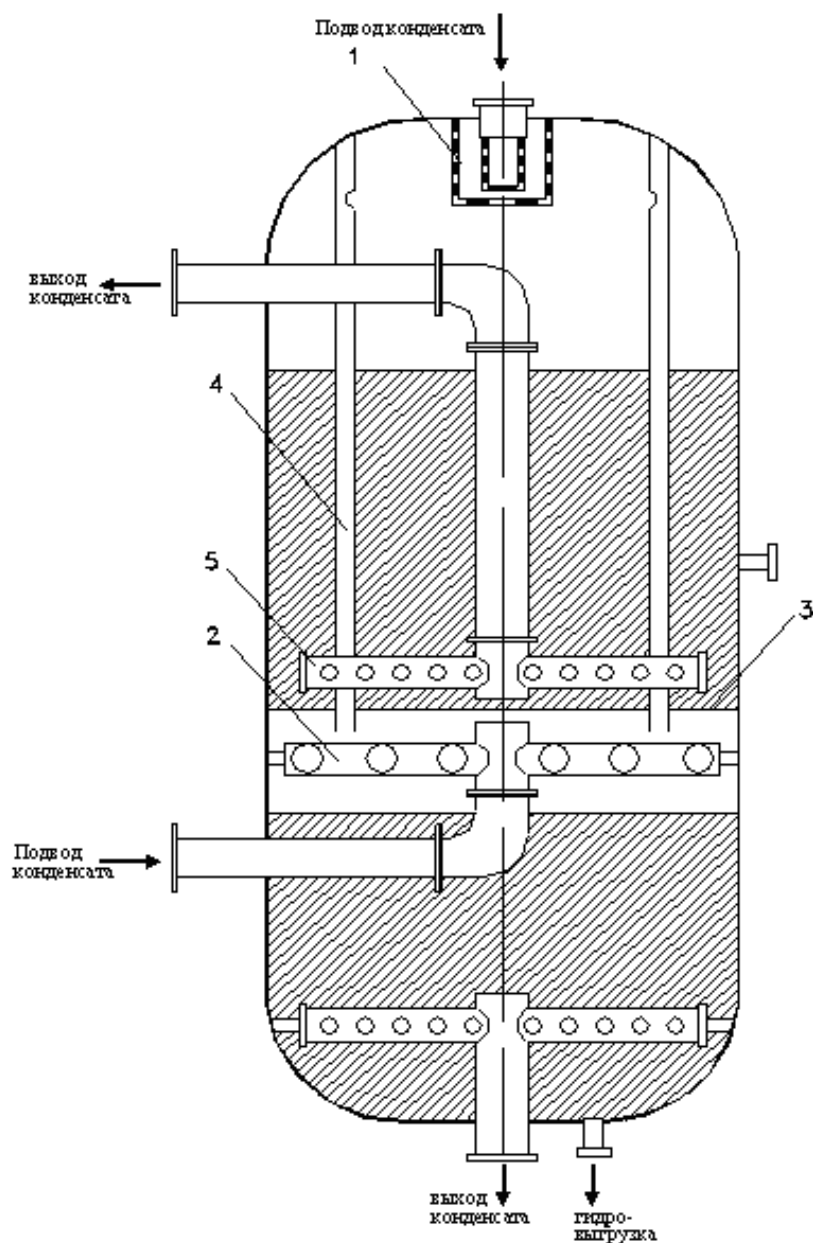


Рисунок 2.4 - Двопоточковий фільтр змішаної дії (реконструюємий).

У запропонованому двокамерному фільтрі в середній частині корпусу встановлена плоска суцільна перегородка, що розділяє фільтр на дві порожнини.

В якості дренажного пристрою нижньої камери використовується пусковий пристрій двопоточкового фільтру з декількома зміненими променями, що мають більшу (по відношенню до первинного варіанту) кількість рядів водозбірних отворів, перекритих дренажними жолобами.



Під поперечною перегородкою розміщений розподільний пристрій нижньої камери, в якості якого використовується верхній внутрішній розподільний пристрій первинного фільтру.

Підведення конденсату до нього здійснюється через патрубок, який служить для підведення води в нижній внутрішній розподільний пристрій. З'єднання патрубка з розподільним пристроєм нижньої камери здійснюється за допомогою елементів реконструюємого фільтру (коліно і трубчасті царги).

У верхній камері в якості розподільного пристрою використовується те, що існує, а як дренажний – знов виготовлений пристрій променевого типу. Конденсат з дренажного пристрою відводиться через патрубок, що раніше служив для підведення до верхнього внутрішнього розподільного пристрою.

У верхню камеру іоніти завантажуються через існуючий патрубок, а в нижню - через новий, розміщений в кришці, перекриваючий патрубок, що раніше призначався для відведення конденсату з середнього дренажно-розподільного пристрою.

Гідровивантаження іонітів з нижньої камери відбувається через існуючий патрубок, а з верхньої – через патрубок, раніше призначений для повільного заповнення фільтру.

З метою забезпечення максимально повного вивантаження іонітів з плоского днища верхньої камери фільтру в ній передбачені спеціальні пристрої гідровивантаження.

Обидві камери забезпечено лазами. Для вирівнювання тиску і гідравлічного розвантаження плоскої перегородки верхні (не заповнені іонітами) порожнини обох камер з'єднані анкерними трубами.

Гідністю пропонованої конструкції є можливість використання в двокамерному фільтрі великої кількості деталей і вузлів реконструюємого апарату.

Крім того, використання готових патрубків, забезпечених фланцевими роз'ємами, дозволяє обійтися майже без зміни корпусу, за винятком вварення в нього невеликих по діаметру сопел.

Недоліком є складність монтажу і демонтажу внутрішніх устроїв фільтру в заводських умовах, і монтаж лише через лази.

Вся система служить для відведення відпрацьованого конденсату, підвода стислого повітря і транспортуючої води для гідроперезавантаження іонітів на регенерацію, яку забезпечує трубопровід гідроперезавантаження.

Використання ФЗД в якості завершальної стадії обробки конденсату вимагає захисту подальшого тракту від попадання в нього зернистих матеріалів унаслідок винесення їх з фільтрів при виникненні дефектів дренажної системи або за рахунок подрібнення фільтруючого завантаження. Для цієї мети використовують фільтри-пастки, що діють за принципом «перфорована труба в трубі». Механічні частки, потрапляючи у фільтр-пастку, затримуються на сітці, що приводить до зростання перепаду тиску в пастці. Пастки розташовані за кожним ФЗД і обладнані приладами, що сигналізують про винесення з ФЗД катіоніту або аніоніту.

Фільтр-пастка зернистих матеріалів складається з горизонтального циліндрового корпусу і фільтруючого з'ємного патрона. Корпус має два типа штуцерів Ду 350 мм для входу і виходу знесоленого конденсату.

Зерна іоніту в разі їх винесення з ФЗД затримуються верхнім шаром сітки фільтру-пастки. Дві інші сітки грають роль каркасу для запобігання розриву основної сітки.

Корпус пастки має три пари штуцерів для підключення манометрів до і після сітки, дифманометра і дренажних трубопроводів. Для промивання сітки передбачено підведення промивальної води із скиданням її в лінію гідроперезавантаження іонітів.

При номінальному навантаженні блоку в роботі повинні знаходитися ЕМФ і 1-5 ФЗД залежно від якості конденсату в другому контурі. При цьому ЕМФ забезпечує очищення всього конденсату. Навантаження кожного ФЗД складає в межах - 720 м<sup>3</sup>/год. При сталому режимі блоку і відсутності присосів охолоджуючої води в конденсаторі ( $X_n$  за КН-1  $ст \leq 0,25$  мкг/кг,  $Na \leq 2,0$  мкг/кг)

по розпорядженню НСХЦ в роботі можуть знаходитися ЕМФ і 1-2 ФЗД БЗУ. Мінімальне навантаження ФЗД допускається не менше 300 м<sup>3</sup>/год.

На період проведення промивання, ЕМФ короткочасно відключається, і весь конденсат пропускається мимо ЕМФ. При цьому він очищається лише на ФЗД. Одночасно може робитися або промивання ЕМФ, або заміна виснаженої шихти одного ФЗД.

Використання ФЗД у складі конденсатоочищення блочних знесолюючих установок вимагає обов'язкового спорудження спеціальної установки для регенерації відпрацьованої змішаної шихти. Ця установка називається регенераційною.

Розділення фільтрів на робочі (ФЗД) і регенераційні (ФРК, ФРА) унеможлиблює контакт регенераційних розчинів з оброблюваним конденсатом.

Бак відмивальних вод (БВВ) призначений для накопичення в ньому знесолоної води, що витрачається на власні потреби. Заповнення БВВ здійснюється з хім.водоочищення ХВО.

Фільтр-регенератор катіоніту призначений для відновлення катіоніту КУ-2-8, фільтр-регенератор аніоніту призначений для відновлення аніоніту АВ-17-8.

Баки-мірники кислоти і лугу призначені для подачі в них кислоти H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> і луги NAOH та визначення кількості реагентів, що пішли на регенерацію. Подача концентрованих реагентів в БМК і БМЩ здійснюється із складу кислоти і лугу системи ОУН хім.водоочищення.

Дренажний бак призначений для збору дренажних вод регенераційної установки. Збирані в дренажний бак дренажі відкачуються насосом перекачування дренажних вод в баки радіаційного контролю системи ХВО.

Насоси-дозатори кислоти і лугу призначені для подачі концентрованих реагентів на приготування регенераційних розчинів для регенерації шихти в регенераторах ФРК і ФРА.

При виснаженні змішаного шару в робочому ФЗД оператор блочної знесолюючої установки включає резервний ФЗД в роботу, а відпрацьований

ФЗД відключає на регенерацію. Одночасно може робитися регенерація шихти лише на одному ФЗД.

Таблиця 2.2 - Показники закінчення довідмивання і включення ФЗД в роботу

Електропровідність	0,3 мкг·см/см
Вміст натрію Na <sup>+</sup>	4 мкг/кг
Вміст СІ	3 мкг/кг

#### 2.2.4 Розрахунок двопотокового фільтру змішаної дії

Необхідна площа фільтрування при швидкості фільтрування 100 м/год., м<sup>2</sup>

$$F = \frac{Q}{W} = \frac{900}{100} = 9,0$$

Виходячи з міркувань можливих ремонтів, ревізії устаткування і регенерації, число фільтрів вибирають не менше трьох (два з них - робочі).

Площа одного фільтру повинна складати не менше, м<sup>2</sup>

$$f = \frac{F}{n} = \frac{9,0}{2} = 4,5$$

Вибираємо наявний ФЗД з  $d=3,4$  м,  $h_{зш} = 0,95$  м.

Дійсна швидкість фільтрування, м/год.

$$W_n = \frac{Q}{n} \cdot f = \frac{900}{2} \cdot 4,5 = 49,6$$

Швидкість при одному відключеному ФЗД, м/год.

$$W_{n-1} = \frac{Q}{n-1} \cdot f = \frac{900}{2-1} \cdot 4,5 = 99,23$$

Тривалість фільтроциклу ФЗД при співвідношенні в шихті катіоніт (КУ-2-8):аніоніт (АВ-17-8)=1:1,5 з урахуванням того, що змішаний шар регенерують після пропуску  $10^4$  м<sup>3</sup> води на 1 м<sup>3</sup> суміші іонітів, умовно приймаємо рівною, год.

$$T + t = 10^4 \cdot f \cdot h_{\text{зш}} \cdot \frac{n}{Q} = 10^4 \cdot 9,07 \cdot 0,95 \cdot \frac{2}{900} = 191,5$$

Добове число регенерацій всіх фільтрів, рег./доб.

$$m = 24 \cdot \frac{n}{(T + t)} = 24 \cdot \frac{2}{(191,5)} = 0,25$$

Витрата 100 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на регенерацію, кг

$$\sigma_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{100} = f \cdot h_{\text{кат}} \cdot b_{\text{к}} = 9,07 \cdot 0,392 \cdot 160,7 = 571,5$$

Добова витрата 100 % сірчаної кислоти на регенерацію, кг

$$(\sigma_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{100})_{\text{доб}} = \sigma_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{100} \cdot m = 571,5 \cdot 0,25 = 142,86$$

Витрата 100 % NaOH на регенерацію, кг

$$\sigma_{\text{NaOH}}^{100} = f \cdot h_{\text{ан}} \cdot b_{\text{щ}} = 9,07 \cdot 0,57 \cdot 68,6 = 354,78$$

Добова витрата 100 % луги на регенерацію, кг

$$(\sigma_{\text{NaOH}}^{100})_{\text{доб}} = \sigma_{\text{NaOH}}^{100} \cdot m = 354,78 \cdot 0,25 = 88,69$$

Витрата води на розділення шихти у ФЗД ( $W_{\text{розд}}=40$  м/Год.,  $t_{\text{розд}}=20$  хв.), м<sup>3</sup>

$$V_{\text{розд}} = W_{\text{розд}} \cdot f \cdot \frac{t_{\text{розд}}}{60} = 40 \cdot 9,07 \cdot \frac{20}{60} = 120,9$$

Витрата води на гідроперезавантаження аніоніту у ФРА ( $W_{\text{ан}}=30$  м/год.,  $t_{\text{ан}}=30$  хв.), м<sup>3</sup>

$$V_{\text{ан}} = W_{\text{ан}} \cdot f \cdot \frac{t_{\text{ан}}}{60} = 30 \cdot 5,44 \cdot \frac{30}{60} = 81,6$$

Витрата води на ущільнення розділеної шихти ( $W_{\text{ущ}}=10$  м/год.,  $t_{\text{ущ}}=10$  хв.), м<sup>3</sup>

$$V_{\text{ущ}} = W_{\text{ущ}} \cdot f \cdot \frac{t_{\text{ущ}}}{60} = 10 \cdot 9,07 \cdot \frac{10}{60} = 15,12$$

Витрата води на приготування 5 % сірчаної кислоти, м<sup>3</sup>

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4}^3 = \sigma_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{100} \cdot \frac{100}{c \cdot 10^3} = 571,5 \cdot \frac{100}{55 \cdot 10^3} = 11,43$$

Витрата води на приготування 5 % луги, м<sup>3</sup>

$$V_{\text{NaOH}}^3 = \sigma_{\text{NaOH}}^{100} \cdot \frac{100}{c \cdot 10^3} = 354,78 \cdot \frac{100}{55 \cdot 10^3} = 7,09$$

Витрата води на одночасне відмивання катіоніту і аніоніту, м<sup>3</sup>

$$V_{\text{ВВ}} = 2 \cdot W_{\text{ВВ}} \cdot f \cdot \frac{t_{\text{ВВ}}}{60} = 2 \cdot 30 \cdot 9,07 \cdot \frac{60}{60} = 544,2$$

Довідмивання змішаної шихти після перемішування повітрям, м<sup>3</sup>

$$V_{\text{до}} = f \cdot t_{\text{зш}} \cdot \alpha_{\text{H}_2\text{O}} = 9,07 \cdot 0,95 \cdot 5 = 43,08$$

Загальна витрата води на власні потреби ФЗД, м<sup>3</sup>

$$V_{\text{вп}}^{\text{ФЗД}} = V_{\text{розд}} + V_{\text{ен}} + V_{\text{ущіл}} + V_{\text{H}_2\text{SO}_4}^3 + V_{\text{NaOH}}^3 + V_{\text{ес}} + V_{\text{до}} = 823,42$$

Годинна витрата води на власні потреби ФЗД, м<sup>3</sup>/год.

$$q_{\text{вп}}^{\text{ФЗД}} = m \cdot \frac{V_{\text{вп}}^{\text{ФЗД}}}{24} = 0,25 \cdot \frac{823,42}{24} = 8,58$$

Час пропуску регенераційного розчину кислоти, хв.

$$\tau_{\text{к}} = V_{\text{H}_2\text{SO}_4}^3 \cdot \frac{60}{f \cdot W_{\text{к}}} = 11,43 \cdot \frac{60}{9,07 \cdot 3} = 25,12$$

Час пропуску регенераційного розчину луги, хв.

$$\tau_{\text{л}} = V_{\text{NaOH}}^3 \cdot \frac{60}{f \cdot W_{\text{л}}} = 7,09 \cdot \frac{60}{9,07 \cdot 3,01} = 15,58$$

Час довідмивання змішаної шихти ФЗД, хв.

$$\tau_{\text{до}} = V_{\text{до}} \cdot \frac{60}{f \cdot W_{\text{до}}} = 43,08 \cdot \frac{60}{9,07 \cdot 10} = 28,5$$

Сумарний час регенерації ФЗД з врахуванням часу перемішування шихти повітрям і витрат часу на невраховані операції, хв. (год.)

$$\begin{aligned} \tau^{\text{ФЗД}} &= \tau_{\text{розд}} + \tau_{\text{ен}} + \tau_{\text{ущіл}} + \tau_{\text{к}} + \tau_{\text{ес}} + \tau_{\text{перс}} + \tau_{\text{до}} + \tau_{\text{неср}} = \\ &= 20 + 30 + 10 + 25,12 + 60 + 30 + 28,5 + 30 = 233,62 \text{ (3,53)} \end{aligned}$$

## ВИСНОВКИ

Розроблений в кваліфікаційній роботі проект реконструкції є актуальним на енергоблоках АЕС, оскільки його впровадження приведе до поліпшення надійності роботи блочної знесолюючої установки, а також роботи енергоблоків в цілому.

У кваліфікаційній роботі в детальній формі даний опис основного і допоміжного устаткування енергоблоку з турбінною установкою К-1000-60/1500.

Реконструкція блочної знесолюючої установки дозволить:

- збільшення змінної ємкості матеріалу, що фільтрує;
- збільшення фільтроциклу;
- зниження кількості регенерацій.

В цілому реконструкція дозволить на енергоблоках 1000 МВт Запорізької АЕС скоротити число годин недовиробітку електроенергії, а відповідно збільшити прибуток підприємства.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Аркадьев Б. А. Режимы работы турбоустановок АЭС. - Харьков, Энергоатомиздат, 2009.
2. Годовой отчет калькуляции себестоимости электроэнергии ЗАЭС. - Энергодар, 2016.
3. Иванов В. Г., Иванов С. В., Рубан Ю. С., Тулупов С. Д. Охрана труда в электроустановках. - Харьков, 1997.
4. Инструкция по охране труда при работе на тепломеханическом оборудовании, 2016.
5. Инструкция по эксплуатации турбины К-1000-60/1500-2 ХТЗ и турбинного оборудования, 2016.
6. Сепаратор циклонный ЦС-82. Технические условия ТУК-17066. – Ленинград: 1987.
7. РТМ 108.301.03-86. Сепараторы-пароперегреватели турбин АЭС.
8. Сорокин Ю. Л. и др. Плёночные сепараторы в ресиверах турбоустановок АЭС. - М. : Атомиздат, 1989.
9. Лагуцев А. Р. Методика оценки конкурентоспособности продукции, и ее особенности в энергетическом производстве. – Харьков : УИПА. 1990.
10. Лагуцев А. Р. Методические указания по выполнению экономической части дипломного проекта. - Харьков : УЗПИ 1985.
11. Маргулова Т. Х. Атомные электрические станции. - М. : Высшая школа, 1984.
12. Нормы радиационной безопасности. - М. : Энергоатомиздат, 1988.
13. Правила технической эксплуатации. - М. : Энергоатомиздат, 1989.
14. Прузнер С. Л., Златопольский А. Н. и др. Организация, планирование и управление энергетическим предприятием. - М. : Высшая школа, 1981.

15. Разумов И. И. и др. Сетевые графики в планировании. - М. : Высшая школа, 1981.
16. Ривкин С. Л., Александров А. А. Термодинамические свойства воды и водяного пара. - М. : Энергия, 1980.
17. Рыжкин В. Я. Тепловые электрические станции. - М. : Энергия, 1976.
18. Секунда А. Т. Паровые и газовые турбины. Методические указания по выполнению курсового проекта. - Харьков : УИПА, 1985.
19. Теплотехнический справочник. Том. 1. - М. : Энергия, 1975.
20. Типовая инструкция по содержанию и применению первичных средств пожаротушения на предприятиях Минтопэнерго Украины. - К. : Энергоперспектива, 2000.
21. Щегляев А. В. Паровые турбины. - М. : Энергия, 1976.
22. Долин П. А. Справочник по технике безопасности. 6-е издание. - М. : Энергоатомиздат, 1984.

Таблиця - Технічні характеристики устаткування

Найменування устаткування, тип, технічні характеристики	Значення
1	2
<p>1. Реактор ВВЕР-1000:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- номінальна електрична потужність, МВт;</li> <li>- номінальна теплова потужність, МВт;</li> <li>- кількість ТВС, шт.;</li> <li>- кількість ТВЕЛ в ТВС, шт.;</li> <li>- крок між ТВЕЛ, мм;</li> <li>- діаметр ТВЕЛ, мм;</li> <li>- завантаження паливом, т;</li> <li>- еквівалентний діаметр активної зони, мм;</li> <li>- висота стовпа палива, мм;</li> <li>- склад палива;</li> <li>- збагачення ізотопом <math>^{235}\text{U}</math>, %;</li> <li>- витрата теплоносія через одну ТВС, м<sup>3</sup>/год.</li> </ul> <p>2. Парогенератор, ПГВ-1000М:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теплова потужність, МВт;</li> <li>- паропродуктивність, кг/с;</li> <li>- тиск пари, що генерується, МПа;</li> <li>- температура пари, що генерується, °С;</li> <li>- температура живильної води, °С;</li> <li>- температура аварійної живильної води, °С;</li> <li>- температура теплоносія на вході, °С;</li> <li>- температура теплоносія на виході, °С;</li> <li>- тиск теплоносія, МПа;</li> <li>- опір ПГ на I контурі, МПа;</li> <li>- опір ПГ по паровому тракту, МПа.</li> </ul> <p>3. Головний циркулярний насос, ГЦН-195М:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- продуктивність, кг/с;</li> <li>- температура перекачуваного теплоносія, °С;</li> <li>- тиск на всмоктуванні, МПа;</li> <li>- натиск розвивається, МПа;</li> <li>- споживана потужність, кВт;</li> <li>- частота обертання, об./хв.</li> </ul> <p>4. Електродвигун ВАЗ 215/109-6 АМО 5:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- число полюсів, шт.;</li> <li>- напруга, кВ;</li> <li>- частота обертання, об./хв.</li> </ul>	<p>1000</p> <p>3200</p> <p>163</p> <p>312</p> <p>12,75</p> <p>9,1</p> <p>80</p> <p>3160</p> <p>3530</p> <p>спечений порошок ИО2</p> <p>4,4</p> <p>515±55</p> <p>750</p> <p>408,3</p> <p>6,4±0,2</p> <p>278</p> <p>222±2</p> <p>5...40</p> <p>320±3,5</p> <p>286±2</p> <p>16±0,2</p> <p>0,1475</p> <p>0,11</p> <p>5555,56</p> <p>300</p> <p>15,6</p> <p>0,675</p> <p>5100</p> <p>1000</p> <p>3</p> <p>6,3</p> <p>1000</p>

## Продовження таблиці

1	2
5. Турбіна К-1000-60/1500-2:	
- потужність, МВт;	1000
- тиск свіжої пари, МПа;	6
- температура свіжої пари, °С;	274,3
- температура пари за СПП, °С;	250
- витрата пари на турбіну, кг/с;	1786,1
- температура живильної води, °С;	224
- питома витрата теплоти, брутто, кДж.	9734,3
6. Конденсатор К-33160:	
- площа охолоджуваної поверхні, м <sup>2</sup> ;	33160
- витрата пари, кг/с;	272,86
- питоме парове навантаження, МПа;	292
- витрата води, що охолоджує, кг/с;	15722,2
- кількість трубок в конденсаторі, шт.;	27940
- активна довга трубок, мм;	14060
- число ходів по воді:	2
- діаметр трубок, мм;	28-26
- матеріал трубок	МНЖ-5-1
- гідравлічний опір, МПа;	0,076
- кратність охолодження;	54
7. Підігрівач низького тиску ПН-1200-25-6:	
- витрата основного конденсату, кг/с;	1038,22
- витрата пари, кг/с;	17,1
- тиск трубної частини, МПа;	2,5
- тиск парової частини, МПа.	0,5
8. Підігрівач низького тиску ПН-1200-25-16:	
- витрата основного конденсату, кг/с;	1319,44
- витрата пари, кг/с;	80,36
- тиск трубної частини, МПа;	2,5
- тиск парової частини, МПа.	1,5
9. Підігрівач високого тиску ПВ-2500-97-28А:	
- поверхня нагріву, м <sup>2</sup> ;	2500
- номінальна витрата живильної води, кг/с;	906,97
- розрахунковий тиск в паровій частині, МПа;	3,6
- розрахунковий тиск у водяній частині, МПа.	12,0
10. Підігрівач високого тиску ПВ-2500-97-18А:	
- поверхня нагріву, м <sup>2</sup> ;	2500
- номінальна витрата живильної води, кг/с;	906,97
- розрахунковий тиск в паровій частині, МПа;	2,1
- розрахунковий тиск у водяній частині, МПа.	12,0

## Продовження таблиці

1	2
11. Живильний насос, ПГ-3750-75:	
- продуктивність, кг/с;	1041,6
- тиск, що розвивається, МПа;	10
- натиск, м вод. ст.;	808
- потужність, МВт;	9,1
- температура, °С;	100
- витрата, кг/с.	0,972
12. Параметри ПВС, що відсисається:	
- тиск, МПа;	0,087
- витрата, кг/с.	2,513
13. Сепаратор-пароперегрівач, СПП-1000:	
Пара, що нагрівається:	
- теплова потужність, МВт;	46,2
- витрата пари на вході, кг/с;	327,78
- тиск на вході, МПа;	1,03
- температура на вході, °С;	184,8
- вологість на вході, %;	11,6
- температура за I рівнем, °С;	207,9
- температура за СПП, °С;	250±5
- гідравлічний опір, МПа.	0,0343±0,001
Гріюча пара I рівня:	
- витрата, кг/с;	10,472
- тиск на вході, МПа;	2,6
- температура на вході, °С;	228,1
- вологість на вході %.	7
Гріюча пара II рівня:	
- витрата, кг/с;	18,03
- тиск на вході, МПа;	5,6
- температура на вході, °С;	272,3
- вологість на вході %.	0,5
Поверхня теплообміну загальна, м <sup>2</sup>	1377
Поверхня теплообміну I рівня, м <sup>2</sup>	597
Поверхня теплообміну II рівня, м <sup>2</sup>	780
14. Підігрівач мережевої води, піковий ПСВ-500-14-23:	
- тиск в трубній системі, розрахунковий, МПа;	2,4
- тиск в корпусі, розрахунковий, МПа;	1,5
- об'єм трубої системи, м <sup>3</sup> ;	3,0
- об'єм парового простору, м <sup>3</sup> .	8,4

## Продовження таблиці

1	2
15. Підігрівач мережевий ПСВ-500-3-23: <ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="284 327 1062 369">- тиск в трубній системі, розрахунковий, МПа;</li><li data-bbox="284 369 927 412">- тиск в корпусі, розрахунковий, МПа.</li></ul>	2,4 0,4
16. Насос мережевий, СЕ-1250-140-11: <ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="284 454 676 497">- продуктивність, кг/с;</li><li data-bbox="284 497 627 539">- натиск, м вод. ст.;</li><li data-bbox="284 539 751 582">- частота обертання, об./хв.</li></ul>	347,2 140 1480