

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Електротехнічний факультет
(повне найменування інституту, назва факультету)
Кафедра «Електричні машини»
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
бакалавр
(ступінь вищої освіти)

на тему: «Розрахунок блочної знесолюючої установки продуктивністю 900
м³/ГОД»

Виконав: студент IV курсу, групи Ез-250сп
Спеціальності 144 «Теплоенергетика»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
«Промислова і комунальна теплоенергетика»

Володимир ШИШМАКОВ
(ім'я та прізвище)

Керівник Ірина НАЗАРЕНКО
(ім'я та прізвище)

Рецензент Олександр ШРАМ
(ім'я та прізвище)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет “Запорізька політехніка”

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет «Електротехнічний»

Кафедра «Електричні машини»

Ступінь вищої освіти «бакалавр»

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) «Промислова і комунальна теплоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри «Електричні машини»

_____ проф., д.т.н. Дмитро ЯРИМБАШ

“ _____ ” _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТА

Шишмакова Володимира Борисовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту «Розрахунок блочної знесолюючої установки продуктивністю 900 м³/год»

Керівник проєкту Назаренко Ірина Анатоліївна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 09.05. 2023р. № 178.

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 01 червня 2023 року.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи): Продуктивність устаткування для очистки турбінного конденсату блоків № 1-4 - 900 м³/год. Діаметр целюлозно – наливних фільтрів – 2000 мм, кількість – 3 шт. Іонно-обмінна смола: КУ-2, Purolite C100, Lewatit S 1467.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Аналіз об'єкту проєктування. 2. Розрахунок блочної знесолюючої установки 3. Розрахунок фільтрів змішаної дії з засипкою КУ-2 4. Розрахунок фільтрів змішаної дії з засипкою Purolite C100. 5. Розрахунок механічного фільтру

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. План ділянки блочної знесолюючої установки на відмітці 0-0 – 1 лист. 2. Розрізи плану ділянки блочної знесолюючої установки на відмітці 0-0 – 1 лист. 3. Фільтр змішаної дії – 1 лист. 4. Мультиміщечний фільтр.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Прийняв виконане завдання
Загальний	Назаренко І.А, доцент		
Технічний	Назаренко І.А, доцент		
Нормоконтроль	Каюков Ю.М. к.т.н, доцент		

7. Дата видачі завдання 20 квітня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз об'єкту проектування	20.04.2023-01.05.2023	
2	Розрахунок блочної знесолюючої установки	01.05.2023-10.05.2023	
3	Розрахунок фільтрів змішаної дії з засипкою КУ-2	10.05.2023-12.05.2023	
4	Розрахунок фільтрів змішаної дії з засипкою Purolite C100	12.05.2023-29.05.2023	
5	Розрахунок механічного фільтру	29.05.2023-01.06.2023	
6	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки, виконання креслень	01.05.2023-01.06.2023	

Студент _____
(підпис)

Володимир ШИШМАКОВ
(ім'я та прізвище)

Керівник проекту (роботи)

(підпис) Ірина НАЗАРЕНКО
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Розрахунково - пояснювальна записка дипломного проекту бакалавра складається з 64 сторінок, містить 1 рисунки, 4 таблиці, 17 джерел посилань.

Об'єкт проектування – установка для знесолення та вилучення заліза з турбінного конденсату Запорізької ТЕЦ.

Мета проекту – підвищити ефективність роботи блочної знесольюючої установка, шляхом зміни іонічної загрузки у фільтрах змішаної дії та заміна целюлозних намивних фільтрів на мультимішечні.

Проект передбачає заміну сульфовугільну іонно-обмінну смолу на сучасну Purolite C100, що приведе до скорочення часу фільтрування та витрат води на регенерацію та власні потреби . В проекті запропоновано відмовитися від використання намивних целюлозних фільтрів та впровадити мультимішечні фільтри, які не потребують промивки.

ФІЛЬТР ЗМІШАНОЇ ДІЇ, РЕГЕНЕРАЦІЯ, ЛУГА, НАМИВНІ ТА МУЛЬТИМІШОЧНІ ФІЛЬТРИ, КОНДЕНСАТНІ НАСОСИ, СУЛЬФОВУГІЛЛЯ, НАСИПНА МАСА КАТІОНІТУ, ОБ'ЄМНА ЗДАТНІСТЬ КАТІОНІТУ, ПРЯМОТОЧНІ КОТЛИ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ	7
1.1 Аналіз стану та розвитку теплової енергетики України	7
1.3 Основне обладнання станції	10
1.4 Забезпечення водою	12
1.5. Застосування води в якості теплоносія	15
1.5.1 Класифікація, характеристика вод та їх домішок	18
1.5.2 Технологічні, якісні показники води	19
1.6 Знесолення води	23
1.6.1 Фізико-хімічні основи іонного обміну	24
1.6.2. Іонообмінні матеріали та їх характеристики	26
1.6.3. Технологія іонного обміну	29
1.7. Фільтри змішаної дії	31
1.7.1 Іонітні фільтри змішаної дії з зовнішньою (виносною) регенерацією	32
1.7.2 Іонітні фільтри змішаної дії з внутрішньою регенерацією	34
1.8 Конденсати ТЕЦ і методи їх очищення	36
1.9 Устаткування водопідготовки ТЕС до модернізації	37
1.10 Характеристика проектних рішень, щодо модернізації БЗУ	41
2 РОЗРАХУНОК БЛОЧНОЇ ЗНЕСОЛЮЮЧОЇ УСТАНОВКИ	43
2.1 Вихідні данні для розрахунку схеми знесолення турбінного конденсату	43
2.2.2 Фільтри змішаної дії з засипкою Purolite C100	54
2.2.3 Розрахунок механічного фільтру	56
ВИСНОВКИ	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	63

ВСТУП

У більшості промислово розвинених країн в даний час виробництво електроенергії в основному проводиться на електричних станціях з паротурбінними установками, що працюють на органічному паливі. Робочим середовищем на установках теплових електростанцій є вода. Вода на електростанціях використовується для заповнення контуру паротурбінної установки і компенсації втрат пари і конденсату під час роботи, підживлення теплових мереж, а також для відводу теплоти в конденсаторах турбін і допоміжних теплообмінниках. Основними завданнями раціональної організації водного режиму парогенераторів та тракту живильної води є:

а) запобігання утворенню на внутрішніх поверхнях парообразуючих і пароперегрівальних труб відкладень кальцієвих сполук і оксидів заліза, а в проточній частині парових турбін відкладень сполук міді, заліза, кремнієвої кислоти і натрію;

б) захист від корозії конструкційних металів основного і допоміжного обладнання ТЕС і теплових мереж в умовах їх контакту з водою і паром, а також при знаходженні їх у резерві.

Для надійної та економічної експлуатації устаткування електростанцій правилами технічної експлуатації розроблені норми якості живильної води і пари для всіх типів котлів, які експлуатуються в енергосистемі. Для потужних блоків норми якості за пару практично збігаються для барабанних і прямоточних котлів, в той час як норми якості по живильній воді відрізняються істотно. Це відбувається через конструкційних відмінностей між котлами. Різноманітність домішок, які повинні бути видалені з води, а також методів, застосовуваних при її обробці на ТЕС, ускладнює пошук оптимальних рішень при виборі схем і апаратів у тому чи іншому конкретному випадку. При виборі методу очищення слід враховувати при належних економічності і надійності також соціальний та екологічний фактори.

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЄКТУВАННЯ

1.1 Аналіз стану та розвитку теплової енергетики України

Відповідно до затвердженої у 2006 р Енергетичної стратегії України до 2030 року та подальшої перспективою розвитку енергетики передбачається істотне зростання споживання електроенергії. Прогнозується збільшення випуску електроенергії з 170,1 млрд. кВт/год в 2005 році до 281,7 млрд. кВт/год в 2020 та 387,5 млрд. кВт/ч у 2030р [1].

Теплові електричні станції (ТЕС) є одним з основних генеруючих джерел тепло – та електроенергії України. В той же час слід відмітити функціональні зміни в роботі ТЕС. По перше збільшення використання потужностей ТЕС для покриття навантажень, що викликано збільшенням виробітку на атомних електростанціях, що працюють у базовому режимі.

На даний час спостерігається загальносвітова тенденція за розвитком енергетики – згорання об'єктів ядерної енергетики. В нашій країні потрібно вже сьогодні поступово знижувати вклад АЕС в загальний обсяг виробництва електроенергії. Інакше очікується різкий удар по енергетиці через 10-20 років, коли діючі атомні реактори випрацюють свій ресурс, а будівництво нових економічно нездійснено із-за браку коштів[1].

Враховуючи також нову філософію світової спільноти щодо проблеми атомної енергетики в Україні після Чорнобильської катастрофи, негативні наслідки мораторію на розвиток атомної енергетики в Україні, основою електроенергетичної системи України повинні залишатися теплові електричні станції. В зв'язку з цим теплова електроенергетика повинна бути розвинута таким чином, щоб залишатися економічно ефективною та екологічно безпечною.

Однак, більшість ТЕС України будувались в 50-70 роки 20 століття і тривалість їх експлуатації є 25-50 років. У 2001 році Мінпаливенерго за доручення Президента та Кабінету Міністрів України була розроблена «Програма реконструкції теплових електростанцій України», в якій зазначено,

що основне обладнання теплових електростанцій на сьогоднішній день відпрацювало свій ресурс та морально застаріло; має низьку економічність та не задовольняє екологічним потребам.

Сучасний стан ТЕС України слід розглядати як критичний. Питома витрата умовного палива на видобуток електроенергії на ТЕС (по Україні в цілому) збільшилася на 17%, істотно збільшилися і інші експлуатаційні витрати [1].

Експлуатація обладнання ТЕС ускладнюється тим, що воно часто працює на не запроектованому паливі, у маневрених режимах, які непередбачені проектом, що призводить до швидкого зносу обладнання та зниженню техніко – економічних показників та додатковій витраті палива.

Враховуючи високі витрати на будівництво нових ТЕС, відсутність необхідних власних ділянок під будівництво нових ТЕС, пріоритетним напрямком у розвитку енергетики є технічне переобладнання, модернізація та реконструкція діючих ТЕС.

Основними задачами реконструкції і технологічного переоснащення з урахуванням забезпечення енергетичної безпеки є:

- переорієнтація розвитку енергетики на максимальне використання власних паливних ресурсів (вугілля в першу чергу) та обладнання вітчизняних підприємств;
 - зниження витрат мазуту та газу за рахунок підвищення якості вугілля, реконструкція топок, пальникових пристроїв, систем паливоприготування;
 - розширення об'ємів використання відходів виробництва ТЕС, в першу чергу утилізація золошлаковідходів;
 - впровадження високоефективних газоочисних установок під час реконструкції енергоблоків;
 - подальше підвищення рівня автоматизації роботи енергоблоків.
- Впровадження автоматизованих систем управління ТЕС.

Польща, Чехія, Угорщина та інші країни Центральної Європи, виконуючи одну з найважливіших умов вступу до ЄС, проводять широкомасштабну реабілітацію своїх ТЕС для підвищення їх ефективності, надійності, безпеки та зниження емісій шкідливих речовин до європейського рівня. Наші ТЕС мають один з низьких техніко – економічних та екологічних показників у Європі, що не тільки приносить економіці України великі збитки, але створює проблеми для європейської інтеграції України [1].

1.2 Призначення електростанції та її роль в енергосистемі

Запорізька ТЕС введена в експлуатацію у 1972 році, як структурна одиниця з 1995 р входить до складу ВАТ «Дніпроенерго» Мінпаливенерго України та Об'єднаної Енергосистеми України.

Запорізька ТЕС працює у базисній частині графіку навантажень ОЕС та регулює перемінну його частину. Відпуск електроенергії з шин електростанції здійснюється з ОРК 150 кВ (енергоблоки №1,2), шістьма лініями у енергосистему України і ОВК 330 кВ (енергоблоки №3,4) – також шістьма лініями.

Запорізька ТЕС – електростанція блочного типу, без поперечних зв'язків по основним паропроводам та підживлюючої води. Станція має сім енергоблоків. Будівництво станції здійснювалось в два етапи: 1 – 1200МВт (4 енергоблоки по 300МВт); 2 – 2400 МВт (3 енергоблоки по 800МВт). Загальна проектна потужність станції – 3600МВт. Енергоблоки другої черги переведені на спалювання природного газу ($Q_H^p = 33855 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}$) з використання мазуту ($Q_H^p = 39805 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$) і на теперішній час законсервовані [1].

Експлуатація блоків №№1-4 проводиться до майже повної виробітки ресурсу обладнання, а також експлуатація в непроектних умовах з використанням палив гіршої якості, з низькою калорійністю, високою

зольністю та вологістю. На енергоблоках проводяться капітальні середні та поточні ремонти обладнання, які підвищують його надійність та довговічність.

Встановлена електрична потужність станції на 2010 р – 3600МВт, тепла – 3302 ГДж/год. У 2010 р. виробіток електроенергії – 5033422 тис. кВт/год, відпуск споживачам – 4640046 тис. кВт/год.

Запорізька ТЕС забезпечує відпуск тепла на опалення та ГВП зовнішніх споживачів (2 райони м. Енергодар) Інші споживачі м. Енергодар забезпечуються від Запорізької АЕС.

Режим роботи енергоблоків Запорізької ТЕС – зміна навантаження в регулюючому діапазоні, число годин використання установленної потужності енергоблоку ст. №4 до реконструкції – 4756 годин.

1.3 Основне обладнання станції

На енергоблоках ст. №№ 1-2 встановлені однокорпусні прямоточні парові котли типу ТПП-312, на енергоблоках ст. №№ 3-4 котли типу ТПП-312А. Котли спроектовані та виготовлені ВАТ «Красний котельщик», розраховані на спалення Донецького вугілля марки ГСШ при рідкому шлаковидаленні та призначені для отримання пари високого тиску. На енергоблоках ст. №№ 1- 4 встановлені парові конденсаційні турбіни типу К-300-240-2 виробництва НПВ «Турбоатом» м. Харків, які представляють собою одновальний трьохциліндровий агрегат з проміжним перегрівом пари та трьома вихлопами в конденсатор.

Існуюча турбіна призначена для приводу електрогенератора змінного струму типу ТГВ-300 Харківського НПО «Електромаш».

На енергоблоках ст. №№ 5-7 встановлені однокорпусні прямоточні парові котли типу ТГМП-204 паропродуктивністю 2650т/год. Котли спроектовані та виготовлені ВАТ «Красний котельщик». На енергоблоках встановлені парові конденсаційні турбіни типу К-800-240-3 з генератором ТГВ-800.

Характеристика основного енергетичного обладнання Запорізької ТЕС представлена у таблицях 1.2 та 1.3.

Таблиця 1.2 – Характеристика існуючих котлоагрегатів

№ станції	Тип	Проектні показники номінальної проектної потужності		
		Паропроductивність т/год	Тиск пари на виході з котла, МПа	Температура пари на виході з котла, °С
№1-2	ТПП-312	1000	25,0	545
№3-4	ТПП-312А	1000	25,0	545
№5-7	ТГМП-204	2650	25,0	545

Таблиця 1.3 – Характеристика існуючих турбоагрегатів

№ станції	Тип	Проектні показники номінальної проектної потужності	
		Тиск гострої пари, МПа	Температура гострої пари, °С
№1-4	К-300-240-2	23,5	540
№5-7	К-800-240-3	23,5	540

Тягодуттьове обладнання енергоблоку ст..№1-4:

- по 2 дуттьових вентилятори типу ВДН-32-Б, продуктивністю 456 тис. м³/год;

- по 2 димососи типу ДОД-31,5-Ф, продуктивністю 967 тис. м³/год;

Характеристика газоочисного обладнання блоків ст..№1-4 представлена в таблиці № 1.4.

Уловлена в електрофільтрах зола і видалений з котлів шлак, сумісно транспортується гідравлічним засобом на золовідвал. Для викидів димових газів в атмосферу на ТЕС є дві димові труби: одна – для 4 блоків 300 МВт

висотою 320м, одна – для трьох блоків 800МВт висотою 330м, виконані в монолітному залізобетоні з внутрішнім газовідвідним стволом з кремнійбетоних царг.

Таблиця 1.4 – Характеристика газоочисного обладнання

№ блоку, корпусу	Тип газоочисного обладнання	Кількість на блок	Ефективність, %	
			Проект	Факт
1	ЕГЗ-3-177-03	2	98,0	98,20
2	ЕГБМ-2-50-12-6-3У	2	99,0	98,18
3А	ЕГЗМ-180-50-12-11-3	1	98,8	98,58
3Б	ЕГЗ-3-177-03	1	98,0	98,72
4	ЕГБМ-2-50-12-6-3У	2	99,0	98,18

Основним паливом для пиловугільних блоків №№1-4 електростанції є вугілля марки ГСШ Донецького вугільного басейну. Ємність вугільного складу – 325 т. Для підтримки стабільності процесу горіння при знижених навантаженнях котлів, а також у якості палива для розтопки використовується мазут марки М-100. На складі мазуту встановлено 3 металічних резервуарів ємністю 2000 м³.

Газопостачання енергоблоків ст.№1-4 йде від ГРП блоків 800 МВт. По газопроводу d=1120 мм газ поступає до розподільного колектору блоків 300 МВт, відкіля по газопроводу d=720 мм подається до котла.

1.4 Забезпечення водою

Для виробничого водопостачання Запорізької ТЕС використовується свіжа вода і вода повторного використання. Джерело свіжої води і технічного водопостачання Запорізької ТЕС – Каховське водосховище. Водосховище

входить до складу водогосподарського комплексу Дніпровського каскаду водосховищ.

Прямоточні котли пред'являють дуже високі вимоги до якості живильної води. Це пояснюється тим, що в прямоточних безсепараторних котлах нелеткі домішки живильної води осідають на поверхнях нагріву або несуться в турбіну [1]. В сепараторних прямоточних котлах і котлах, що працюють на промивально-сепараційної режимі, частина домішок живильної води може відводитися також у продувку. Однак повністю уникнути відкладень речовин на поверхнях нагріву котла, навіть при наявності продувки, неможливо, так як область солевідкладень досить велика, а з ростом тиску вона ще зростає. З ростом тиску кількість відкладень в прямоточних котлах зменшується, а солевміст пара збільшується внаслідок підвищення розчинювальною здібності пари. Таким чином, як при відсутності можливості відводити частину домішок живильної води в продувку (безсепараторні прямоточні котли), так і при установці сепараторів у кінці зони випаровування або на слабо перегрітому парі після упорскування живильної води для промивання пара (прямоточні котли, що працюють на промивально-сепараційної режимі) жорсткі вимоги до якості живильної води зберігаються.

Вміст у живильній воді прямоточних котлів натрієвих сполук і кремній кислоти повинно бути таким, щоб кількість цих речовин в перегрітому парі був у допустимих межах, тобто вміст натрієвих сполук (в перерахунку на сульфат натрію) було не більше 0,05 мг / кг і вміст кремнію - не більше 0,02 мг/кг. Загальне солевміст живильної води прямоточних котлів (з урахуванням також кальцієвих і магнієвих сполук, але без урахування вмісту сполук заліза і міді) залежить від солейності котла. Орієнтовно воно може бути прийнято рівним 0,06-0,09 мг/л. Таким чином, живильна вода прямоточних котлів на відміну від барабанних котлоагрегатів нормується за загальним солевмістом. Вміст у живильній воді прямоточних котлів розчиненого кисню, заліза і міді, а також величина рН повинні укладатися в норми якості живильної води барабанних котельних агрегатів [1,2].

Живильним водою прямоочних котлів може служити тільки турбінний конденсат з добавкою дистилляту випарників або знесоленої води. Видалення речовин, відкладаються на поверхнях нагріву перехідної зони прямоочного котла, проводиться шляхом періодичних промивок - водних і кислотних. Водними промивками вдається виводити з котла головним чином легко розчинні у воді речовини. При цьому для більш швидкого і повного видалення солевідкладень такі промивання виробляють приблизно через 1,5-2 міс. роботи котла з тим, щоб не допускати значної товщини відкладень.

Водні промивання прямоочного котла виконують гарячою водою, прокачуючи її через всі поверхні нагріву, починаючи з водяного економайзера, за розпалювальної схемою котла. Їх ведуть по розімкненому або замкнутому циклу. При водній промивці по замкнутому циклу гаряча вода безперервно циркулює по контуру деаератор - котел - розпалювальний сепаратор - деаератор. При промиванні котла по розімкненому циклу воду після розпалювального сепаратора скидають у дренажні баки, звідки вона надходить на харчування барабанних котлів [3]. Отже, цей спосіб промивки котла пов'язаний зі значною втратою конденсату і тому не завжди може бути застосований. Тривалість водних промивок котла встановлюється по аналізах проб промивної води: при розімкнутому циклі концентрація домішок у воді спершу наростає, а потім знижується приблизно до солевмісту вихідної води; при замкнутому циклі до кінця промивання встановлюється деяке постійне солевміст промивної води. Для видалення з прямоочного котла солей жорсткості вдаються до кислотних промивка. Їх виконують зазвичай слабким розчином соляної кислоти [4].

Для зменшення руйнування металу під дією розчину соляної кислоти в промивну воду додають невелику кількість речовин, які знижують швидкість розчинення металу. Ці речовини-сповільнювачі кислотної корозії називають інгібіторами. В якості інгібіторів при кислотних очистках котлів застосовують столярний клей або технічний уротропін. Так як швидкість корозійних процесів стали в соляній кислоті з підвищенням температури різко зростає, то промивку

котлів ведуть при невисоких температурах, порядку 50 °С. Кислотні промивання виробляють по замкнутому контуру протягом 3...4 годин. Розчин соляної кислоти з інгібітором нагнітається промивання насосом в котел. При цьому зазвичай кислотної промиванні піддають всі поверхні нагріву котла, крім водяного економайзера. З вихідного колектора пароперегрівача промивна вода зливається в бак, звідки вона знову надходить до всмоктуючого трубопроводу промивного насоса. Після кислотної промивки котел піддають луженні. Для цього протягом приблизно 10 год через нього безперервно прокачують 1...2 %-ний розчин луги. Потім котел промивають чистим конденсатом [5,6].

Незважаючи на вжиті заходи для зменшення руйнування металу, кислотні промивки прямоточних котлів повинні проводитися досить рідко (приблизно 1 раз в 5...10 років). Це пояснюється тим, що при малій швидкості загальної рівномірної корозії металу в окремих ділянках котла корозійні процеси протікають зі значно більшими швидкостями (наприклад, в зварних швах, на ділянках з місцевими підвищеними напруженнями). Крім того, при багаторазових кислотних очищеннях, ймовірно, може відбуватися порушення цілісності захисної плівки окислів на поверхні металу, що сприяє інтенсифікації корозійних процесів при подальшій роботі котельних агрегатів [7].

1.5. Застосування води в якості теплоносія

В даний час вода широко використовується в різних галузях промисловості в якості теплоносія, чому сприяє широке поширення води в природі та її особливі термодинамічні властивості, пов'язані з будовою молекул. Полярність молекул води, яка характеризується дипольним моментом, визначає велику енергію взаємного тяжіння молекул води (орієнтаційна взаємодія) при температурі (10...30) °С і відповідно більшу теплоту фазового переходу при паротворенні, високі теплоємність і теплопровідність [8]. Значення діелектричної постійної води, також залежить від дипольного моменту, визначає своєрідність властивостей води як розчинника. Основним

сховищем води на Землі є океани, в яких зосереджено більше 98% всієї кількості води. Океанська вода містить до 35 г/дм³ розчинених солей, головним чином іонів натрію і хлору. На частку вод з солемістом менше 1 г/дм³ (прісних вод) припадає лише 1,7 %, причому в річкових водах знаходиться близько 0,001 % усіх прісних вод, так як їх основна маса зосереджена в льодовиках. Але і наявна в розпорядженні людей вода не може без очищення (обробки) бути теплоносієм в теплоенергетичних установках, оскільки сучасні ТЕС і АЕС в енергетичному циклі використовують воду високої якості з вмістом домішок у межах (0,1...1,0) мг/дм³. Устаткування сучасних ТЕС і АЕС експлуатується при високих теплових навантаженнях, що вимагає жорсткого обмеження товщини відкладень на поверхнях нагріву за умовами температурного режиму їх металу протягом робочої кампанії. Такі відкладення утворюються з домішок, що надходять в цикли електростанцій, в тому числі і з додатковою водою, тому забезпечення високої якості водних теплоносіїв ТЕС і АЕС є найважливішим завданням. Використання водного теплоносія високої якості спрощує також рішення задач отримання чистої пари, мінімізації швидкостей корозії конструкційних матеріалів котлів, турбін [10,11]. Таким чином, якість обробки води на ТЕС і АЕС тісним чином пов'язане з надійністю і економічністю експлуатації сучасного високоінтенсивного котлотурбінного обладнання, з безпекою ядерних енергетичних установок. Для задоволення різноманітних вимог до якості води, споживаної при виробленні електричної і теплової енергії, виникає необхідність спеціальної фізико-хімічної обробки природної води. Ця вода є, по суті, вихідним сировиною, яка після належної обробки (очищення) використовується для наступних цілей:

- в якості вихідної речовини для отримання пари в котлах, парогенераторах, ядерних реакторах киплячого типу, випарниках, пароперетворювачах;
- для конденсації відпрацьованої в паротурбінних установках пари;
- для охолодження різних апаратів і агрегатів ТЕС і АЕС;

- в якості теплоносія в теплових мережах і системах гарячого водопостачання.

Одночасно з очищенням природної води для підготовки використовуваної на електростанціях чистої води необхідно вирішувати комплексно питання, пов'язані з утилізацією різними методами утворюються при цьому стічних вод. Таке рішення є мірою захисту від забруднення природних джерел питного та промислового водопостачання. Вихідна природна вода використовується в якості вихідної сировини на водопідготовчій установці, а також для інших цілей на ТЕС і АЕС. Додаткова вода прямує в контур для заповнення втрат пари і конденсату після обробки із застосуванням фізико-хімічних методів очистки. Турбінний конденсат, що містить незначну кількість розчинених і зважених домішок, - основна складова живильної води. Поворотний конденсат від зовнішніх споживачів пара використовується після очищення від внесених забруднень. Він є складовою частиною живильної води. Поживна вода, що подається в котли, парогенератори або реактори для заміщення випарувавшись води в цих агрегатах, являє собою головним чином суміш, і конденсату регенеративних підігрівників. Котлова вода, вода парогенератора і реактора - вода, що знаходиться в елементах зазначених агрегатів. Продувна вода - вода, що виводиться з котла, парогенератора або реактора вода на очищення або в дренаж для підтримки в котловій воді заданої концентрації домішок. Склад і концентрація домішок в котловій і продувній водах однакові. Охолоджуюча або циркуляційна вода використовується в конденсаторах парових турбін для конденсації відпрацьованої пари. Підживлювальна вода подається в теплові мережі для поповнення втрат.

При експлуатації ТЕС і АЕС виникають наступні внутрішньостанційні втрати пари і конденсату: а) в котлах при безперервній і періодичній продувці, при відкритті запобіжних клапанів, при обдувці водою або паром зовнішніх поверхонь нагріву від золи та шлаку, на розпилюванні рідкого палива в форсунках, на привід допоміжних механізмів; б) в турбогенераторах через лабіринтові ущільнення і пароповітряні ежектори; в) в пробовідбірних точках;

г) у баках, насосах, трубопроводах при переливу, випаровуванні гарячої води, просочуванні через сальники, фланці і т. п. Зазвичай внутрішньостанційні втрати пари і конденсату, заповнюють додаткової живильною водою, не перевищують в різні періоди експлуатації на ТЕС 1,2-1,6%, на АЕС 0,5-1% їх загальної паропродуктивності. На промислових ТЕЦ, що відпускають пар на різні технологічні потреби підприємств, існують також зовнішні втрати пари і конденсату, по-цьому кількість додаткової води для таких ТЕЦ може досягати 10-50% кількості генерується пара [13].

1.5.1 Класифікація, характеристика вод та їх домішок

Природні води класифікують по ряду ознак, найпростішим із них є солевміст води [14]. Відповідно до солевмістом розрізняють

- прісну воду - солевміст 1 г/дм³;
- солонувату - солевміст 1-10 г/дм³;
- солону - солевміст більше 10 г/дм³.

Велике поширення отримала запропонована О.А. Альохінім система, за якою води розрізняються по переважному в них аніону: гідрокарбонатні клас вод з переважаючим аніоном або сумою аніонів (С), сульфатні води (S), хлоридні води (Cl). За переважному катіону класи вод поділяються на три групи: кальцієву (Ca), магнієву (Mg) і натрієву (Na).

Домішки природних вод за ступенем дисперсності (крупності) підрозділяють: на істинно-розчинні (іонно-або молекулярно-дисперсні), поширені у воді у вигляді окремих іонів, молекул; колоїдно-дисперсні з розміром частинок від 1 до 100 нм; грубодисперсні з розміром частинок більше 100 нм (0,1 мкм) [15,16].

Колоїдні домішки являють собою агломерати з великої кількості молекул з наявністю поверхні розділу між твердою фазою і водою. Через малих розмірів колоїдні частинки не втрачають здатності до дифузії і мають значну питому поверхню. Колоїдні частинки не виділяються з води під дією сили тяжіння, не

затримуються звичайними фільтруючими матеріалами (піском, фільтруючим папером) і помітні в розсіяному світлі (конус Тиндаля). В природних водах в колоїдно - дисперсному стані знаходяться різні похідні кремнієвої кислоти і заліза, органічні речовини - продукти розпаду рослинних і тваринних організмів.

Грубодисперсні домішки (так звані завислі речовини) мають настільки велику масу, що практично не здатні до дифузії. З плином часу встановлюється певне седиментаційних рівновагу, домішки або випадають в осад, або спливають на поверхню (при щільності частинок менше щільності води). Тривало залишаючись у зваженому стані, грубодисперсні домішки обумовлюють каламутність води. Чим більше розмір часток грубодисперсних домішок, тим швидше встановлюється седиментаційних рівновагу, і тим легше виділяються вони з води при відстоюванні або фільтрації. Так, швидкість відстоювання часток піску і мулу розміром 100 і 20 мкм складає в нерухомо воді при 10 ° С відповідно близько 7 і 0,4 мм/с.

За хімічним складом домішки природних вод можна розділити на два типи: мінеральні та органічні. До мінеральних домішок води належать розчинені в ній газу N_2 , O_2 , CO_2 , а також газу, що вносяться стічними водами, різні солі, кислоти, підстави, в значній мірі знаходяться у диссоціонованій формі, тобто у вигляді утворюючих їх катіонів та аніонів. До органічних домішок природних вод відносять гумусові речовини, що вимиваються з ґрунтів і торфовищ, а також органічні речовини різних типів, надходять у воду спільно з сільськогосподарськими стоками і другими типами недостатньо очищаються стоків [17].

1.5.2 Технологічні, якісні показники води

Залежно від характеру використання води різними споживачами визначаються і показники, необхідні для якісної та кількісної характеристики

води. Найважливішими показниками якості води для використання її в теплоенергетиці є

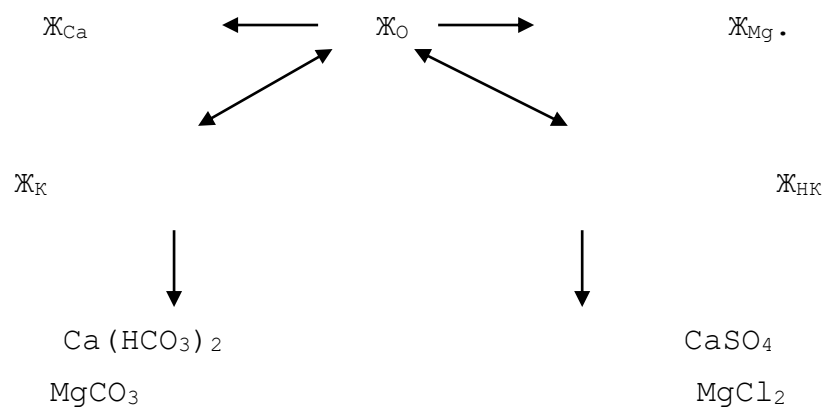
- концентрація грубодисперсних речовин (ГДП);
- концентрація істинно-розчинних домішок (іонний склад);
- концентрація корозійно-активних газів;
- концентрація іонів водню;
- технологічні показники, в які входять сухий і прожарений залишок, окислюваність, жорсткість, лужність, вміст кремнію, питома електропровідність і т.д [18].

Концентрація грубодисперсних речовин у воді може бути досить точно визначена фільтруванням води через паперовий фільтр з наступним його висушуванням при температурі 378-383 К до постійної маси. Однак на практиці воліють використовувати методи визначення грубодисперсних речовин по прозорості та каламутності води. Прозорість води визначають при підвищених концентраціях ГДП у воді за допомогою скляної трубки, залитою водою, на дні якої розташований шриффт або хрест із шириною лінії 1 мм. Висота стовпа води, при якій визначається хороша видимість шриффту або хреста, є кількісною оцінкою прозорості води. При малих концентраціях ГДП ($<3\text{мг/дм}^3$) використовується нефелометричний метод, заснований на порівнянні каламутності аналізованої води з відповідним еталоном. Концентрація ГДП може бути також визначена по різниці значень щільного і сухого залишків, отриманих при упарювання одного кубічного дециметра відповідно не фільтрованої і фільтрованої води. Сухий залишок дозволяє побічно судити про солевмісті води, тобто про суму всіх аніонів та катіонів у воді, за винятком іонів H^+ і OH^- . Однак при утворенні сухого залишку дещо змінюється іонний склад домішок за рахунок розкладу бікарбонатів. У сухий залишок входить також частина органічних і колоїдних домішок. Прожарювання сухого залишку при температурі 1073 К призводить до згоряння органічних домішок і розпаду карбонатів. Тому різниця значень щільного і сухого залишків дозволяє лише орієнтовно оцінити концентрацію органічних домішок у воді. Концентрації

окремих іонів у воді, ($\text{мг}/\text{дм}^3$ або $\text{кмоль}/\text{дм}^3$), визначати методами хімічного аналізу [19].

Сумарна концентрація всіх катіонів та аніонів у воді становить вміст води, при цьому не враховуються аніони кремнієвої кислоти через невизначеність відомостей про їх концентрації в іонній формі, полуторні оксиди і іони H^+ і OH^- . У разі міцних розчинів іони H^+ і OH^- слід враховувати при підрахунку солевмісту.

Жорсткість води є одним з найважливіших показників, що визначає шляхи використання води в теплоенергетиці. Загальною жорсткістю води Ж_0 називається сумарна концентрація іонів кальцію і магнію, що виражається в $\text{ммоль}/\text{дм}^3$, а при малих значеннях - у $\text{мкмоль}/\text{дм}^3$. За визначальним катіоном загальна жорсткість води підрозділяється на кальцієву Ж_{Ca} і магнієву Ж_{Mg} . Частина загальної жорсткості, еквівалентна концентрації бікарбонатів і карбонатів у воді, називається карбонатною жорсткістю $\text{Ж}_\text{к}$, а інша частина, еквівалентна іншим аніонам, що містяться у воді (Cl^- , SO_4^{2-} та ін), - некарбонатною жорсткістю $\text{Ж}_{\text{нк}}$



Загальною лужністю води Щ_0 ($\text{ммоль}/\text{дм}^3$) називається сумарна концентрація всіх аніонів слабких кислот та іонів гідроксиду за вирахуванням концентрації іонів водню:

$$L_0 = \sum C_{\text{AH}}^{\text{СЛ.К}} + C_{\text{OH}} - C_{\text{H}^+} . \quad (1.6)$$

Характер аніонів слабких кислот, що обумовлюють загальну лужність, дозволяє підрозділяти її на гідратну лужність (рівну концентрації іонів OH^-), силікатну, фосфатну (і), бікарбонатну і карбонатну. Зазвичай у природних водах бікарбонатна лужність істотно переважає над іншими видами лужності, тому її значення без великої похибки виражає загальну лужність води. Поправка на концентрацію іонів H^+ при визначенні лужності вводиться при присутності у воді слабких кислот у вільному стані, так як при їх дисоціації утворюються в еквівалентних кількостях аніони слабких кислот і аніони H^+ .

Питома електропровідність води (C_m/c_m) характеризується електричною провідністю шару води, що знаходиться між двома протилежними гранями куба з ребром, рівним (10...2) м. Вона побічно пов'язана з сумарною концентрацією домішки в істинно-розчиненому стані (солевмістом). У чистій воді, не містить домішок, перенесення зарядів здійснюється лише іонами H^+ і OH^- . Питома провідність такої води при температурі 293 К становить 0,04 мкСм/см. У розчинах зв'язок між електропровідністю і концентрацією іонних домішок залежить від безлічі факторів, у тому числі від температури, виду іонів, ступеня дисоціації, що істотно утрудняє вимір. Більш певний зв'язок існує в розчинах при постійних температурі і ступеня дисоціації.

Концентрація розчинених газів у воді залежить від безлічі факторів: природи газу, температури води, ступеня мінералізації води, парціального тиску газу над водою, рН води і т.п. Це в багатьох випадках істотно ускладнює їх аналітичне визначення в технологічних процесах і вимагає спеціальних методів аналізу. Концентрація CO_2 в природній воді істотно залежить від ступеня вуглекислотного рівноваги і складає приблизно 0,5 мг/дм³ (10-5 моль/дм³) при температурі 293 К. Концентрація O_2 в значній мірі залежить від вмісту у воді органічних речовин і температури. При збільшенні температури від 273 до 308 К концентрація кисню в чистій воді зменшується від 14,6 до 6,5 мг/дм³.

Показник концентрації водневих іонів (рН) води характеризує реакцію води (кисла, лужна, нейтральна) і враховується при всіх видах обробки води. Значення рН водних розчинів визначає інтенсивність дисоціації слабких кислот, що містяться в них або підстав. З пониженням рН, тобто з підвищенням активності (або концентрації) іонів H^+ , процентний вміст недиссоційованих молекул слабких кислот підвищується, а зміст їх аніонів знижується, для катіонів слабких основ спостерігається зворотне співвідношення, рН природної води зазвичай коливається в межах 6-8 і залежить в основному від співвідношення у воді концентрацій і H_2CO_3 . Вимірювання рН засноване на визначенні різниці електричних потенціалів (потенціометричний метод) двох поміщених в аналізований розчин електродів - індикаторного і електрода порівняння [20].

1.6 Знесолення води

За останні роки відбувається поступове зростання концентрації мінеральних речовин у всіх річках, що протікають через промислові та щільно населені області. У деяких невеликих річках через промислової і господарської діяльності людини солевміст підвищилося настільки, що воду цих річок в даний час слід вважати солонуватою, а не прісною. Основними причинами поступового підвищення солевмісту річок є скидання в них високомінералізованих шахтних і промислових вод, а також скидання дренажних вод зрошуваних земель [21]. Внаслідок цього завдання знесолення води, зокрема застосовуваної для цілей теплової і атомної енергетики, набуває винятково важливого значення. В даний час розроблені і використовуються способи часткового або повного знесолення. Їх можна класифікувати таким чином: способи, засновані на зміні фазового складу води (дистиляція, геліоопріснення, виморожування); мембранні (електродіаліз, зворотний осмос) і гемосорбційні способи (іонітні знесолення). На електростанціях найбільше застосування знайшли іонітних знесолення і дистиляція. Мембранні способи

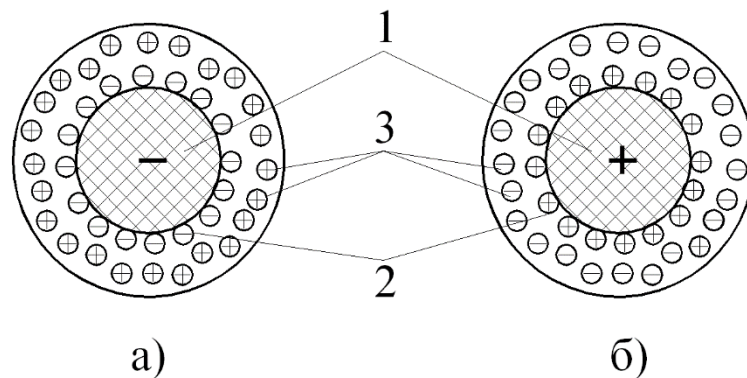
використовуються лише для часткового зменшення мінерального складу води, так як отримання цими способами глибокознесоленої води, придатної для підживлення сучасних котлів, до останнього часу вважалося неекономічним [22].

1.6.1 Фізико-хімічні основи іонного обміну

Вода, що пройшла передочищення, практично не містить в собі грубодисперсних домішок і в значній мірі звільнена від колоїдних [23]. Однак основна частина домішок в істинно-розчиненому стані залишається в цій воді і повинна бути вилучена з неї. В даний час для цього застосовують іонний обмін, а також мембранні і термічний методи. Останній метод для отримання води необхідної якості найчастіше використовують у комплексі з іонним обміном.

Сутність іонного обміну полягає у використанні здатності деяких спеціальних матеріалів (іонітів) змінювати в бажаному напрямку іонний склад домішок води. Процес іонного обміну істотно відрізняється від процесу адсорбції тим, що якщо при адсорбції відбувається лише накопичення речовини, сорбуємість з розчину на поверхні якого матеріалу, то при іонному обміні сорбція з розчину іонів одного виду обов'язково супроводжується переходом раніше сорбованих іонів іншого виду в розчин. Таким чином, при іонному обміні іони одного виду замінюються іонами іншого виду. Здатність іонітів до іонного обміну пояснюється їх будовою. Будь який іоніт складається з твердої основи (матриці), на яку тим чи іншим способом нанесені спеціальні функціональні групи, здатні при приміщенні іоніту в розчин до утворення на поверхні іоніту потенціалутворюючих іонів, тобто до виникнення заряду. Внаслідок цього навколо твердої фази створюється дифузійний шар з протилежно заряджених іонів (аніонів). Поява потенціал утворюючих іонів може відбуватися або за рахунок адсорбції функціональними групами іоніту з розчину іонів якого знака заряду (наприклад, \rightarrow), або дисоціації функціональних груп під дією молекул води (наприклад, \rightarrow). В останньому

випадку аніонами, що створюють дифузний шар, є іони, що переходять у розчин у процесі дисоціації. Іони дифузного шару володіють підвищеним запасом кінетичної енергії і можуть виходити з дифузного шару в розчин, але при цьому з розчину в дифузний шар повинні переходити іони того ж знака заряду [24]. Таким чином, іоніт можна представити як твердий електроліт, нерухома частина якого представляє одну його частину, а рухливі аніони - іншу (рис. 1.1).



а - катіоніт, б - аніоніт; 1 - матриця (твердий багатоатомний каркас іоніту); 2 - потенціалутворюючі іони (пов'язані з каркасом не рухливі іони активних груп); 3 - іони дифузного шару (обмежено рухливі іони активних груп, що здатні до обміну).

Рисунок 1.1 - Схема структури зерна іоніту

Отже, реакції іонного обміну підкоряються правилам, характерним для реакцій звичайних електролітів, зокрема правилам еквівалентності обміну іонів і оборотності цього процесу. Крім того, при іонному обміні велике значення мають селективність і швидкість встановлення іонообмінного рівноваги.

Еквівалентність обміну іонів полягає в тому, що пониження концентрація якого іона в розчині в результаті протікання іонообмінного процесу викликає еквівалентне підвищення концентрації іншого іона, що надходить в розчин з іоніту. Удавані відступи від цього закону в деяких випадках пояснюються

вторинними реакціями, в які вступають перехідні в розчин іони. Так, наприклад, якщо в результаті обміну іонів в розчин потрапляють іони H^+ , то вони можуть реагувати з іонами з утворенням CO_2 . При цьому концентрація іонів H^+ в розчині знижується, і створюється враження нееквівалентності обміну іонів [25].

Оборотність процесу обміну іонів є однією з найважливіших закономірностей, що дозволяють економічно використовувати іонообмінний матеріал в технологічних схемах. Переважний напрямок реакції іонного обміну визначається відповідно до закону діючих речовин. При виснаженні іоніту можна, підвищивши в розчині концентрацію первісних обмінних іонів, зрушити реакцію іонного обміну в напрямку відновлення іоніту в початковий стан, тобто провести регенерацію іоніту. Здатність іоніти до переважної сорбції одних видів іонів в порівнянні з іншими називається селективністю. Селективність відіграє дуже велику роль в технології іонного обміну. Фізико-хімічна сутність селективності при іонному обміні впливає із закону Кулона [26].

1.6.2. Іонообмінні матеріали та їх характеристики

Всі відомі іонообмінні матеріали по хімічному складу можна розділити на дві групи: мінеральні та органічні. Мінеральні іоніти практично не застосовуються на ТЕС через малу ємності поглинання і спо-можності до розкладання в кислому середовищі з виділенням кремнієвої кислоти [27].

В даний час на ТЕС в основному знаходять застосування лише спеціально синтезовані іоніти органічного походження. При синтезі іонітів необхідно створити матрицю і ввести в неї функціональні групи. Є декілька шляхів для цього, але в основному це здійснюється введенням функціональних груп в молекули якого наявного нерозчинного у воді органічної речовини або отриманням практично нерозчинної речовини з подальшим введенням в його молекулу функціональних груп. По першому шляху синтезу отримують різні марки сульфовугілля. Для цього фракціонований вугілля (буре, антрацит)

обробляють сірчаною кислотою. При цьому відбуваються процеси гуміфікації з утворенням карбоксильних груп і сульфировання з утворенням сульфогруп [28].

Але основний напрямок синтезу полягає в отриманні іонітів на основі штучних смол. Матриця такого іоніту являє собою сітчасту структуру з вуглеводневих ланцюгів, яка може бути отримана поліконденсацією або полімеризацією. В останні роки все частіше використовують полімеризаційні смоли, отримані на основі стиролу. Така структура володіє відомою ступенем еластичності і здатністю змінювати свій об'єм (набухати) у воді. У строгому розумінні, пор у тілі такого полімеру немає, але їх аналогом можуть служити відстані між зшивкою і ланцюгами набряклого полімеру (3 нм). Однак для спеціальних цілей в даний час виготовляються макропористі іоніти з радіусом пор від 8 до $2 \cdot 10^4$ нм. Функціональні групи, які надають матеріалу смоли іонообмінні властивості, приєднуються до бензольні ядрам, заміщаючи в них атоми водню. Групи, які надають іонітам властивості катіонітів: - COOH (карбоксильна) і - OH (фенольна). При контакті з водою функціональні групи катіонітів дисоціюють з відщепленням іонів водню, які утворюють дифузійний шар. Якість іонітів визначається рядом фізико-хімічних і технологічних властивостей, найважливішими з яких є фракційний склад, насипна щільність, хімічна стійкість, механічна міцність, обмінна ємність, кислотність або основність. У технології іонного обміну застосовуються іоніти з діаметром зерен (0,3...2) мм. Коефіцієнт неоднорідності засипати у фільтр фракції іоніту не повинен перевищувати 2 аналогічно умовам засипки механічних фільтрів. У вологому стані іоніти набухають і збільшують свій об'єм, що слід враховувати при заповненні фільтрів. Ступінь набухання визначається коефіцієнтом КН, значення якого залежить від матеріалу іоніту, іонної форми, рН та інших факторів і складає 1,05...2 [29].

При експлуатації іоніти піддаються механічним навантаженням (здавлення, тертя), тому вони частково стираються, підвищується концентрація дрібних частинок і, як наслідок цього, зростає гідравлічний опір фільтруючого

шару. Тому до іонітів пред'являється вимога достатньої механічної міцності, яке задається через коефіцієнт стираності, який визначається як втрата маси у відсотках за рік. Механічно міцні іоніти повинні мати коефіцієнт стираності не більше 0,5 % рік.

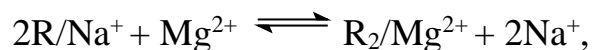
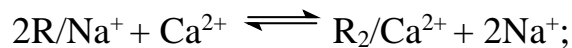
Хімічна стійкість іонітів залежить від рН середовища, природи і концентрації розчинених у ній іонів і, що особливо важливо, від температури, з підвищенням якої стійкість знижується. Ця обставина є основною перешкодою, що не дозволяє підвищувати температуру на іонообмінних фільтрах понад 313 К.

Обмінна ємність є найважливішою технологічною характеристикою іонітів. Вона виражається кількістю іонів, поглинутих одиницею маси (моль/дм³) або одиницею об'єму (моль/дм³) іоніту. Розрізняють повну обмінну ємність, ємність «до проскакування» і робочу. Обмінна ємність, визначена в момент вирівнювання концентрації поглинається іона в воді і фільтраті, називається повною. Якщо фільтрування закінчується в момент проскакування поглинається іона (концентрація його в фільтраті близька до нульової), то обмінна ємність іоніту визначається як ємність «до проскакування». Однак в експлуатації фільтрування часто припиняється в момент, коли концентрація певного поглинається іона в фільтраті складає деякий (дуже мале) значення. У цьому випадку обмінна ємність іоніту визначається як робоча, яка найчастіше настільки мало відрізняється від ємності «до проскакування», що їх можна приймати рівними один одному. Обмінна ємність залежить від багатьох факторів, у тому числі від умов регенерації, іонної форми, природи поглинаються іонів, значення рН води, швидкості потоку води, геометричних характеристик шару. Процес іонного обміну має циклічний характер. При виснаженні іоніту потрібне відновлення його обмінної здатності - регенерація, при якій використовується оборотність процесу обміну іонів. Для цього через виснажений шар іоніту пропускається регенераційний розчин, що містить початкові обмінні іони [30].

1.6.3. Технологія іонного обміну

У технології водопідготовки для видалення певних іонів з води застосовують два процеси: катіонування - видалення катіонів і аніонування - видалення аніонів. Процеси катіонування води можуть мати самостійне значення (для пом'якшення води), в той час як процеси аніонування застосовуються лише в комплексі з катіонуванням (в схемах знесолення води). Процеси аніонування здійснюють в різних апаратах, але найбільшого поширення набули насипні іонітні фільтри [31].

Na- катіонування. Цей процес застосовується для пом'якшення води і має самостійне значення при підготовці води малої лужності для котлів низького тиску та підживлення води теплових мереж. При Na-катіонуванні воду пропускають через шар катіоніту, що знаходиться в початковому стані в Na-формі. При цьому процесі відбувається видалення з води іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} в обмін на еквівалентну кількість іонів Na^+ , згідно наступних реакцій:



де R позначає комплекс матриці і функціональної групи без обмінного іона (його прийнято вважати одновалентним).

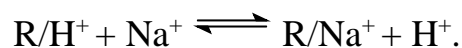
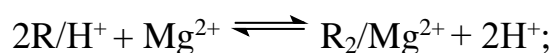
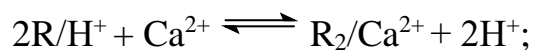
З наведених реакцій видно, що аніонний склад води при Na-катіонуванні залишається постійним, тому і сумарна концентрація катіонів, що беруть участь в цьому процесі, також залишається постійною. Однак масова концентрація катіонів у розчині дещо зростає, оскільки еквівалентна маса іона натрію вище еквівалентних мас іонів кальцію і магнію. Так, при обміні іонів Ca^{2+} на іони Na^+ солеміст води зростає в 46/40 разів, оскільки замість одного сорбованого іону Ca^{2+} в розчин надходять два іона Na^+ . Той же перерахунок при сорбції іонів магнію дасть збільшення солемісту в 46/24 рази. Таким чином, солеміст Na-

катионованої води декілька вище солевмісту вихідної. Оскільки при Na-катионування не відбувається зміни аніонного складу домішок води, лужність її не змінюється. Залишкова жорсткість фільтрату визначається умовами регенерації катіоніту і в кращому випадку складає не більше 5 мкмоль/дм³. Регенерація виснаженого катіоніту проводиться пропуском через нього розчину кухонної солі. Реакцію регенерації катіоніту розчином NaCl можна записати в наступній формі:



де n - надлишок NaCl проти його стехіометричної кількості.

H-катионування. Призначенням H-катионування є видалення всіх катіонів з води із заміною їх на іони водню. Воно застосовується в схемах спільно з іншими процесами іонування. Обмін катіонів при H-катионуванні протікає згідно реакціям:



Всі катіони, що надходять разом з водою на фільтруючий шар, сорбуються на початку процесу у верхніх ділянках цього шару. Однак у міру спрацьовування частини шару катіони, що володіють більшою селективністю, витісняють сорбованих на цій ділянці катіони, що володіють меншою сорбційною здатністю, і останні сорбуються на наступних по ходу води ділянках фільтруючого шару. Таким чином, утворюються зони поглинання катіонів [32].

1.7. Фільтри змішаної дії

Призначений для глибокого знесолювання підготовленої води. Фільтрування здійснюється через шар перемішаних зерен Н-катионіту і ОН-аніоніти. Цикл роботи складається з наступних операцій: іонний обмін, розпушування, регенерація й відмивка. Робочий цикл закінчується, коли солевміст фільтрату наближається до гранично допустимих значень. Стандартна швидкість фільтрування для іонітних фільтрів змішаної дії з внутрішньої регенерацією становить 50 м/год, а для іонітних фільтрів змішаної дії із зовнішньої регенерацією становить 90 м/год.

Принцип дії. Принцип роботи фільтрів заснований на напірній фільтрації води через шар зернистого матеріалу. В якості завантажувального шару застосовується суміш катионіту і аніоніти. Для завантаження ФСД використовують добре відсортовані іоніти. При цьому зерна катионіту повинні бути більшими, ніж аніоніти, з тим, щоб при розпушуванні і подальшому зниженні подачі води катионіти облягали внизу, а зверху розташовувався шар аніоніти. Фільтри змішаної дії істотно відрізняються від установок з одношаровими завантаженнями (катионітових або аніонітових фільтрів). По-перше, аніоніт і катионіт використовують в одному і тому ж корпусі. Обидві смоли безпосередньо перед використанням перемішуються потоком стисненого повітря. Таким чином, зерна різних смол знаходяться поруч і в цілому така завантаження працює як нескінченне число аніонітових і катионітових мікроустановок, що працюють послідовно.

Класична конструкція ФСД включає в себе розподільні пристрої для подачі знесолюючих води і регенераційних розчинів, а також дренажну систему і спеціальний проміжний колектор, що розташовуються на межі розділу: аніоніт - катіони. Іоніти підбирають, так, щоб у вологому стані засипана маса аніоніти була менше, ніж катионіту. На дні ФСД розташована система для подачі стисненого повітря для перемішування іонітів після регенерації. У процесі регенерації розчин кислоти вводять через нижнє дренажний пристрій і

відводять через проміжну розподільну систему. Одночасно, для того щоб кислота не потрапила в аніоніт, через нього зверху вниз пропускають збезсолену воду, відводячи її також через проміжний колектор. Відмивання катіоніту після регенерації розчином кислоти поєднують з регенерацією аніоніти, при цьому розчин лугу вводять через верхнє розподільний пристрій, розташоване над шаром аніоніти, і відводять його через проміжну розподільну систему. Збезсолену воду для відмивання катіоніту підводять так само, як і розчин кислоти (знизу вгору). Потім відмивають аніоніт, після чого іони у фільтрі перемішують стисненим повітрям і остаточно відмивають від продуктів регенерації. Щоб здійснити регенерацію смоли гідравлічно поділяють за рахунок різниці густин аніоніти (легший) і катіоніту (важчий). Регенерацію катіоніту і аніоніти проводять роздільно: перший - розчином соляної кислоти, другий - розчином їдкого натрію. Після регенерації шари відмивають і заново перемішують стисненим повітрям.

1.7.1 Іонітні фільтри змішаної дії з зовнішньою (виносною) регенерацією

Опис конструкції. Іонітні фільтри змішаної дії із зовнішньої регенерацією являють собою вертикальні однокамерні циліндричні апарати. Кожен фільтр складається з: корпусу, верхнього і нижнього розподільних пристроїв, трубопроводів, запірної арматури, пробовідбірні пристрої та фільтруючого завантаження. Корпус фільтра - циліндричний, зварний, з листової сталі, з привареними сферичними днищами. Внутрішня поверхня корпусу фільтра покрита антикорозійним покриттям. До нижнього днища приварені три опори для установки фільтра на фундамент.

Корпус фільтра забезпечений двома люками. Верхній люк призначений для завантаження фільтруючого матеріалу, ревізії верхньої розподільної системи і періодичного огляду стану поверхні фільтруючого матеріалу. Через нижній люк виконують монтаж внутрішніх конструкцій фільтрів, періодичний огляд і ремонт нижнього розподільного пристрою, нанесення антикорозійного

покриття. На обичайці корпусу фільтра розміщені оглядові вікна для спостереження за фільтруючим шаром. У центрі верхнього і нижнього днищ фільтрів приварені фланці, до яких зовні приєднані трубопроводи, а всередині - верхнє і нижнє розподільні пристрої. Вгорі циліндричної частини корпусу фільтра розташований приварний штуцер для гідравлічної завантаження фільтруючого матеріалу. Для гідроагрузки фільтруючого матеріалу у верхній частині обичайки передбачений штуцер. Для гідровигрузки фільтруючого матеріалу в нижньому еліптичному днищі передбачений штуцер. До верхнього еліптичного днища корпусу фільтра приварені два косинки для підйому корпусу фільтра при його транспортуванні і монтажі. Для відводу повітря, що скупчується у верхній частині фільтру, є трубопровід з вентиляем. Труби та запірні арматура, розташовані по фронту фільтра, дозволяють в процесі експлуатації перемикаєти всі потоки води. Пробовідбірні пристрій, розміщений по фронту фільтра, складається з трубок, з'єднаних з підвідним та відвідним трубопроводами, вентилів і манометрів, що показують тиск до і після фільтра.

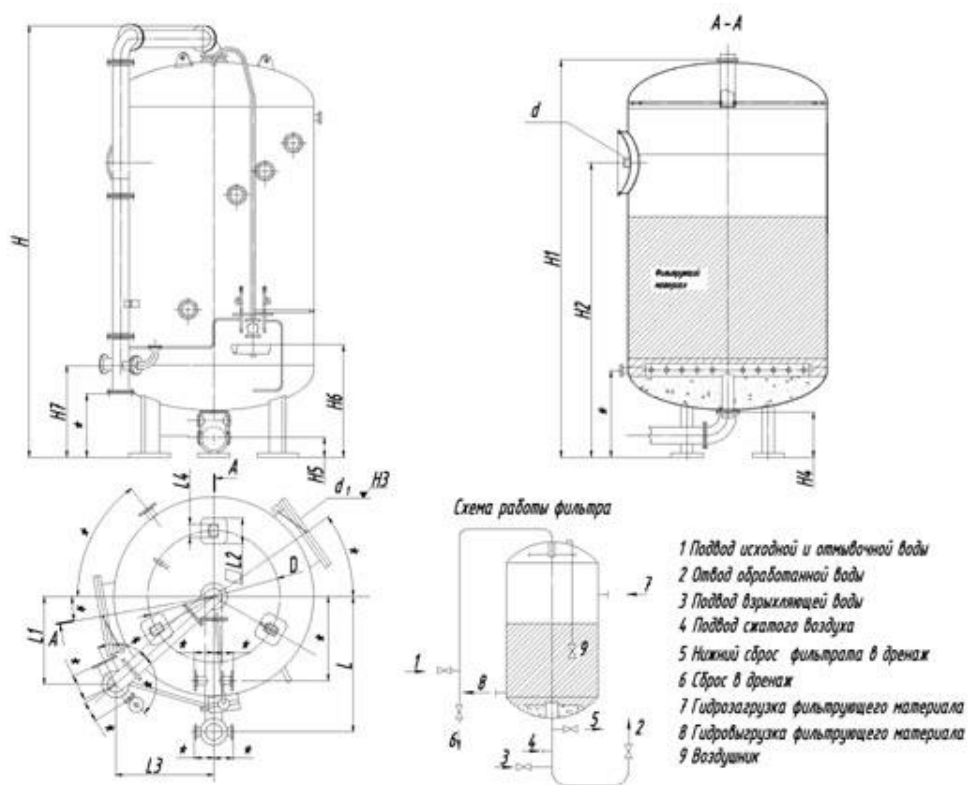


Рисунок 1.2 - Іонітні фільтри змішаної дії з зовнішньою (виносною) регенерацією

Матеріали. Корпус фільтра - вуглецева сталь, на внутрішню поверхню якої нанесене антикорозійне покриття. (Спеціальне гумове або епоксіполіуретанові покриття). Обв'язка фільтра - трубопроводи з поліпропілену або з вуглецевої сталі зі спеціальною антикорозійним захистом. Верхнє розподільний пристрій - з нержавіючої сталі. Нижня дренажно-розподільчий пристрій - з нержавіючої сталі.

1.7.2 Іонітні фільтри змішаної дії з внутрішньою регенерацією

Вертикальний однокамерний циліндричний апарат складається з корпусу, верхнього, середнього і нижнього розподільних пристроїв, трубопроводів та запірної арматури, пробовідбірні пристрої та фільтруючого завантаження.

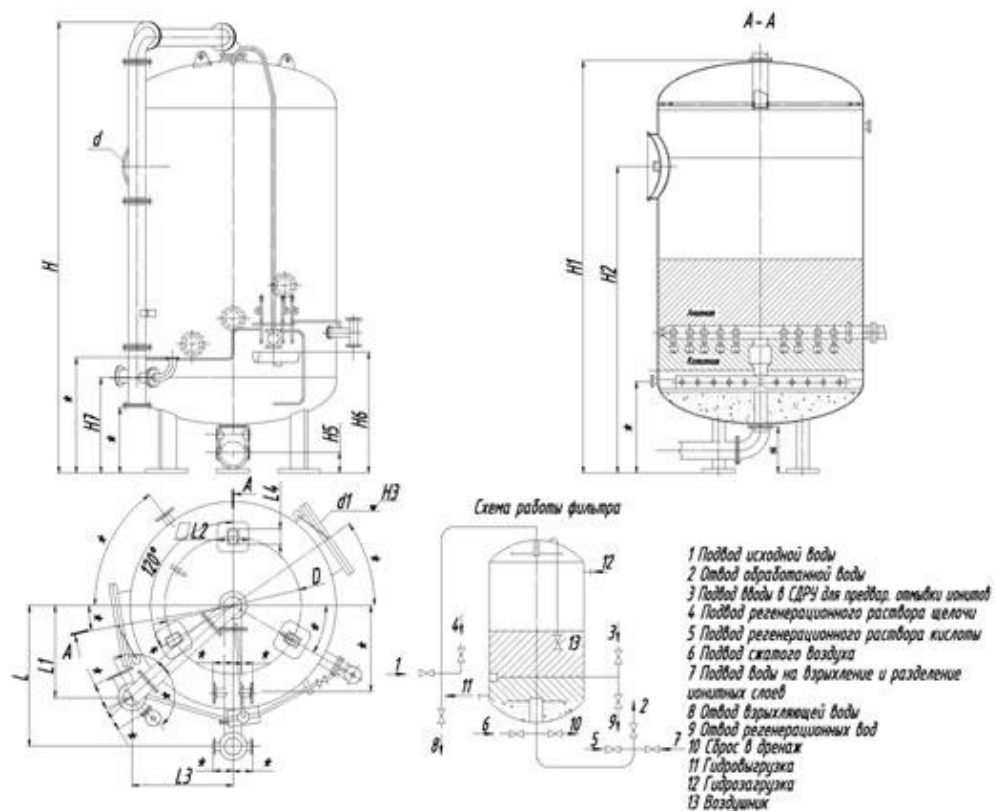


Рисунок 1.3 - Іонітні фільтри змішаної дії з внутрішньою регенерацією

Корпус фільтра забезпечений двома люками. Верхній люк призначений для завантаження матеріалу, ревізії верхньої розподільної системи і

періодичного огляду стану поверхні фільтруючого матеріалу. Через нижній люк виконуються монтаж всіх пристроїв, що знаходяться всередині корпусу фільтра, періодичні огляди та ремонт середнього та нижнього розподільних пристроїв, нанесення антикорозійного покриття. На обичайці корпусу на рівні середнього розподільного пристрою розміщені оглядові вікна, що дозволяють вести спостереження за розподілом катіоніту і аніоніти при операції пропуску регенераційних розчинів. У центрі верхнього і нижнього днищ фільтра приварені фланці, до яких зовні приєднані трубопроводи, розташовані по фронту фільтра, а всередині - верхнє, середнє і нижнє розподільні пристрої. Повітря, що скупчується у верхній частині фільтра, періодично відводиться через трубку з вентилям. Поблизу від центру нижнього еліптичного днища фільтра приварений штуцер для гідроперевантаження фільтруючого матеріалу. Через верхнє розподільний пристрій подається вода у фільтр для попередньої та остаточної отмивок іонітів від продуктів регенерації, для блокування потоку води при пропуску через катіоніт регенераційного розчину кислоти, для подачі регенераційного розчину їдкого натру при регенерації аніоніти, а також для скидання потоку води при розпушуванні і поділі іонітів. Верхнє розподільний пристрій являє собою патрубок (стакан), нижній кінець якого заглушений, і приєднаних до нього у вигляді сонця променів (перфорована труба з навитої на неї дротом з кроком не більше 0,3 мм). Конструкція може бути змінена. Середнє дренажно-розподільчий пристрій (СДРП) забезпечує скидання і відведення з фільтра регенераційних і відмивних вод при регенерації катіоніту і аніоніту. СДРУ складається з розташованого по діаметру фільтра колектора, сполученого з відповідним трубопроводом на фронті фільтра. З обох сторін колектора в його отвори вставлені розподільні труби з ковпачковими фільтруючими елементами зі щілиною 0,25 мм; торцеві кінці труб заглушені. Розподільчі труби встановлюються строго горизонтально. При нормальній роботі фільтра та під час його регенерації виникають великі зусилля, діючі на середнє розподільний пристрій у вертикальному напрямку як зверху, так і знизу. У зв'язку з цим передбачено спеціальне кріплення колектора і

розподільних труб розподільного пристрою до нижнього корпусу фільтра. Конструкція може бути змінена. Нижня розподільний пристрій призначений для збору знесоленої і обезкременених вод при остаточному відмиванні фільтруючого шару, а також підведення води при розпушуванні іонітової шихти і поділі іонітів, підведення стисненого повітря при перемішуванні іонітів, підведення регенераційних розчинів кислоти при регенерації катіоніту та блокуючої води при регенерації аніоніти розчином їдкою натру. Нижня розподільний пристрій складається з вертикального колектору з заглушених верхнім кінцем, чотирьох колекторів-відводів, вставлених в радіальні отвори вертикального колектору і розташованих для максимального наближення до днища фільтра під кутом до горизонтальної площини. Від кожного колектора-відводу з одного і з іншого боку також відходять перфоровані розподільні труби, по нижньої твірної яких в два ряд розташовані отвори, до них приєднані штуцера різної довжини (копіювання днища фільтра), в які приварені (вкручені) щілинні ковпачки з шириною щілини 0,2 мм. Конструкція може бути змінена. Труби та запірна арматура по фронту фільтра дозволяє перемикає всі потоки води і конденсату, регенераційних розчинів і стисненого повітря в процесі експлуатації фільтра. Пробовідбірні пристрій розміщено по фронту фільтра і складається з трубок, з'єднаних з трубопроводами води, що подається на обробку і обробленої води, вентилів і манометрів, що показують тиск до і після фільтрів [32].

1.8 Конденсати ТЕЦ і методи їх очищення

Конденсати є основним складником живильної води котлів будь-яких тисків і продуктивностей, але особливо для високих і надвисоких тисків. Їх цінність полягає у відсутності кремнієвої кислоти, солей і високої температури деяких потоків. Конденсати ТЕС поділяються на такі групи:

1. Найбільш чисті турбінні конденсати, що містять лише гази NH_3 , CO_2 і сліди O_2 , незначну кількість продуктів корозії.

2. Конденсати пари регенеративних підігрівачів низького і високого тисків: містять в значно більших кількостях продукти корозії, ніж турбінні конденсати.

3. Конденсати пари мережних підігрівників: корозійно-агресивні, при порушенні трубної системи може потрапити мережна вода. конденсату підігрівачів сирії і хімічно очищеної води: $T=50...100$ °C, можуть бути забруднені продуктами корозії і солями (при нещільності трубок підігрівачів).

4. Зовнішні виробничі конденсати від технічних споживачів: можуть бути забруднені оксидами металів, солями, газами та іншими домішками залежно від виду виробництва.

5. Крім того, на ТЕЦ мають місце конденсати підігрівачів сирії і хімічно очищеної води, дренажні конденсати і т.д. С

Скорочення втрат конденсату, запобігання забруднення, збір, повернення на ТЕС і в разі необхідності очищення є основними завданнями персоналу турбінного та хімічного цехів ТЕЦ. Для цієї мети на всіх теплових станціях проектується спеціальні конденсатоочисники. Для ТЕС з прямоточними і барабанними котлами, які працюють в режимі частих пусків і зупинок, передбачається знезалізнення та знесолення всіх загальностанційних забруднених конденсатів.

Для знесолення застосовуються ФЗД з внутрішньої регенерацією при швидкості фільтрування 50 м/год. Очищення конденсатів від нафтопродуктів здійснюється методом відстою в спеціальних ємностях і сорбцією у фільтрах, завантажених антрацитом, коксом, напівкокс, активованим вугіллям.

1.9 Устаткування водопідготовки ТЕС до модернізації

Потреба ТЕС в хімічно очищеній (пом'якшеній) та знесоленій воді визначається необхідною її кількістю для:

- поповнення втрат при непереривній продувці котла та при продувці випарників;

- поповнення втрат в тепловій мережі.

Підготовка знесоленої та пом'якшеної води для підпитку цикла ТЕС, підпитку теплової мережі та інших потреб станції здійснюється на водо підготовчому устаткуванні.

Проектна потужність хімводоочистки:

- по пом'якшеній воді 340 м³/год;
- по хімзнесоленій воді 515 м³/год.

У зв'язку з тим, що проектом модернізації не передбачається заміна котлів на інший тип, а також виходячи з того, що якість водо підготовки конденсату, дистилляту та живильної води на існуючій водо підготовці відповідає «Правилам технічної експлуатації електричних станцій та мереж» та проектна продуктивність ХВП достатня для поповнення втрат, схема водо очистки залишається без істотних змін. Витрата ісходної води також залишається без змін.

В склад існуючої водо очистки входять наступне устаткування та спорудження.

Передочистка. Передочистка Запорізької ТЕС працює по схемі: вапнування з коагуляцією в освітлителях та фільтрацією на механічних фільтрах.

Устаткування для приготування знесоленої води. Воно призначене для поповнення втрат пари та конденсату в циклі ТЕС. Продуктивність установки 515 м³/год. Устаткування працює з блочним включенням фільтрів – «ланцюг». Встановлено чотири ланцюжка: два з них робочі, один – на регенерації, один – резервний. «Ланцюжок» працює за схемою двохступеневого знесолювання на:

- Н – катіонітних фільтрах (предвключені);
- Н – катіонітних фільтрах першої ступені;
- аніонітних фільтрах першої ступені з низькоосновним аніонітом;
- декарбонізаторах;
- Н – катіонітних фільтрах другої ступені;
- аніонітних фільтрах другої ступені з високоосновним аніонітом.

Глибоке знесолення води здійснюється на фільтрах змішаної дії з внутрішньою регенерацією.

Фільтри завантаженні іонітними смолами фірми «П'юролайт» та їх вітчизняними аналогами. Регенерацію фільтрів проводять розчином січаної кислоти. Регенерацію аніонітних фільтрів проводять розчином едкого натру.

Знесоленні води хімоводоочистки після регенерації іонітних смол нейтралізуються в баках – нейтралізаторах та сумісно з шламовими водами перед очистки скидаються крізь систему гідро видалення на існуючий золовідвал.

Устаткування пом'якшеної води для підпитку теплової мережі з відкритим водо розбором працює по схемі:

- Н – катіонування на Н – катіонітних фільтрах з «голодною» регенерацією;
- Н – катіонування на буферних Н – катіонітних фільтрах;
- декарбонізація.

Устаткування очистки загальностанціонного конденсату (АЗУ) працює за схемою:

- збір забрудненого конденсату в бак;
- обеззалізування на намивних целюлозних фільтрах;
- знесолення конденсату на фільтрах змішаної дії;
- регенерація.

Устаткування розташовано в окремій будівлі з устаткуванням для обеззалізуванням та знесоленням турбінного конденсату блоків №1 та №3 під електрофільтрами енергоблоку №1.

Склад реагентів. Склад розраховано на прийом та зберігання місячної витрати реагентів, а також подачу їх на технологічні потреби устаткування ХВО.

Склад реагентів складається:

- склад рідких реагентів (баки січаної кислоти та баки едкого натру);

- склад сипких реагентів (склад сухого зберігання вапна в залізобетонних бункерах, склади мокрого зберігання коагулянту та солі).

Окрім складу рідких та сипких реагентів передбачено склад для зберігання матеріалів для фільтрування.

Хімічні лабораторії. Контроль якості пари, живильної води, добавочної води для підживлення котлів та теплової мережі, а також інших водних середовищ. Що використовуються для поповнення втрат пари та конденсату ТЕС здійснюється за допомогою:

- автоматичного безперервного хімічного контролю;
- ручного періодичного контролю.

Хімічний контроль потрібен для своєчасного виявлення порушень в роботі енергоблоку при контролі параметрів живильної та котлової води, а також параметрів насиченої, перегрітої пари та конденсату. Ручний періодичний контроль роботи теплотехнічного обладнання енергоблоків здійснюється в експрес лабораторіях. Що розташовані в машинному залі головного корпусу. Лабораторії укомплектовані стандартним обладнанням та приборами, які необхідні для якісного впровадження ручного контролю.

Устаткування для знесолення та видалення заліза турбінного конденсату (БЗУ) призначене для очищення турбінного конденсату від продуктів корозії та мінеральних домішок.

Продуктивність устаткування для очищення турбінного конденсату блоків № 1-4 - 900 м³/год. Устаткування працює за схемою:

- видалення заліза в наливних целюлозних фільтрах;
- знесолення конденсату на фільтрах змішаної дії з зовнішньою регенерацією.

Продуктивність устаткування для очищення турбінного конденсату блоків № 5-7 - 2650 м³/год. Устаткування працює за схемою:

- видалення заліза на сульфугольних фільтрах;
- знесолення конденсату на фільтрах змішаної дії з зовнішньою регенерацією.

Регенерацію іонітних смол ФЗД виконують на регенераційній установці, що складається з фільтрів- регенераторів та реагентного вузла, що включає в себе: вимірювальними сірчаної кислоти, насоси – дозатори солі, мірники єдкого натру (луги), насосів – дозаторів луги.

Устаткування розташовано в окремих будівлях:

- БЗУ блоків №1 та №2 під електрофільтрами ст.бл №1 в вісях 1-8 за віссю Г котельного відділення головного корпусу на відм.0.000;
- БЗУ блоків №3 та №4 під електрофільтрами ст.бл №3;
- БЗУ блоків №5 та №7 розташовані на відм.0.000 по ряду Б в КТЦ-2.

На існуючому устаткуванні для очищення турбінного конденсату блоку №1 передбачена технологія видалення заліза та знесолення усього забрудненого конденсату по двоступеневій схемі очистки на целюлозно – наливних фільтрах та фільтрах ФЗД з зовнішньою регенерацією. Діаметр целюлозно – наливних фільтрів – 2000 мм, кількість - 3шт. Діаметр ФЗД – 2600 мм, кількість - 3шт.

Одною з основних умов нормальної експлуатації енергоблоків є забезпечення надійної та ефективної роботи БЗУ.

Згідно до акту обстеження технічного стану від 10.04.2005р. ЦНФ морально та фізично застарілі. Целюлоза з ЦНФ потрапляє на верхній шар ФЗД та ускладнює іонний обмін, що збільшує перепад тиску на ФЗД та погіршує якість очищеного турбінного конденсату.

1.10 Характеристика проектних рішень, щодо модернізації БЗУ

З метою підвищення надійної роботи БЗУ блоку №1 пропонується замінити 3 целюлозно – наливних фільтри на два мультимішечні фільтри з тонкою очисткою діаметром 1150 мм , продуктивністю 500 м³/год.

Мультимішечні фільтри тонкої очистки не потребують промивки. Тверді сполуки у вигляді окислу заліза після мішечних фільтрів у кількості приблизно 50 кг/ рік складуються в контейнер.

Заміна целюлозно - намівних фільтрів на мультимішечні дозволить:

1. Зменшити кількість фільтрів (замість трьох ЦНФ будуть встановлені два мультимішечних);
2. Спростити обслуговування БЗУ;
3. Скоротити кількість води на власні потреби та зменшити сбрати стічних вод.

Планується заміна у фільтрах змішаної дії іонообмінної засипки з вітчизняної (сульфувугілля) на сучасну (пьюролайт С-100).

2 РОЗРАХУНОК БЛОЧНОЇ ЗНЕСОЛЮЮЧОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Вихідні данні для розрахунку схеми знесолення турбінного конденсату

Для покриття втрат в основному та пароводяному трактах ТЕЦ вода повинна бути знесолена, т.б. з неї повинні бути видалені як катіони та аніони розчинених домішок.

Устаткування передбачає очистку турбінного конденсату від продуктів корозії та мінеральних домішок.

Продуктивність устаткування для очистки турбінного конденсату блоків № 1-4 - 900 м³/год.

Устаткування працює за наступною схемою:

- видалення заліза на намивних целюлозних фільтрах;
- знесолення конденсату на фільтрах змішаної дії з зовнішньою регенерацією;

Регенерація іонітних смол фільтрів змішаної дії виконується на регенераційній установці, що складається з фільтрів регенераторів та регенераторного вузла, що складається з:

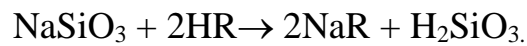
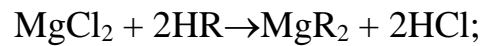
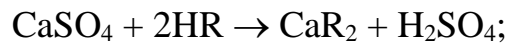
- мірника сірчаної кислоти;
- насосів дозаторів сірчаної кислоти;
- мірників луги (їдкого натру);
- насосів – дозаторів луги.

На існуючій установці очистки турбінного конденсату блоку №1 передбачена технологія видалення заліза за знесолення усього забрудненого конденсату за двоступеневою схемою очистки на целюлозно – намивних фільтрах (ЦНФ) та фільтрах змішаної дії з зовнішньою регенерацією.

Діаметр целюлозно – намивних фільтрів – 2000 мм, кількість – 3 шт.

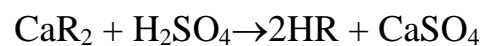
Діаметр ФЗДзр – 2600 мм, кількість – 3 шт.

В схемі знесолення води фільтри змішаної дії призначені для видалення усіх розчинених кат іонів:



Вода після фільтрів буде кислою.

Для відновлення обмінних властивостей Н-катионитних фільтрів використовується розчин сірчаної кислоти:



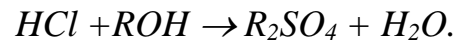
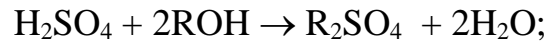
Основне навантаження по аніонам приймає на себе фільтр Н₁, мг-екв/кг.

$$\sum U_{\text{H}_1} = \text{Ж}_0^{\text{ост}} + 2,15\text{Na}^{2+} = 3,07 + 2,15 \cdot 0,34 = 3,801.$$

В фільтрі Н₂ видаляються катіони в кількості, мг-екв/кг:

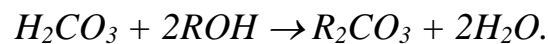
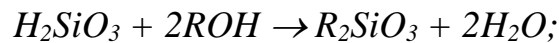
$$\sum U_{\text{H}_2} = 0,3.$$

Для видалення з води аніонів в схемі знесолення встановлені аніонітні фільтри А₁, А₂, частина ФСД. Обмінним аніоном в цих фільтрах є аніон ОН-. Фільтри першого ступеня завантажені низькоосновним аніонитом АН-31 і призначені для видалення аніонів сильних кислот по реакціях:



$$\Sigma U_{A1} = \Sigma A_{\text{кисл}} + K_{Fe} = 2,31 + 0,4 = 2,71 \text{ мг-екв/кг.}$$

Аніонітні фільтри 2-ї ступені завантажені високоосновним аніоном АВ-17-8 та призначені для видалення слабких кислот, а також проскакування після першого ступеня аніоніонування:

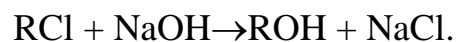


$$\Sigma U_{A2} = SiO_3^{\text{зал}} + CO_2^{\text{зал}},$$

де $CO_2^{\text{зал}}$ - залишкова концентрація CO_2 після декарбонізатора.

$$\Sigma U_{A2} = 0,28 + 0,114 = 0,394 \text{ мг-екв/кг.}$$

Регенерацію фільтрів здійснюють 4 % розчином NaOH:



Якість після ФЗД:

- солевміст не більше 0,1 мг/кг;

- кремнієва кислота не більше 0,03 мг/кг.

Вибір катіоніту.

Сульфовугілля, що наразі використовується на ТЕЦ є органічним іонітом (катіонітом) природного походження, що відносно дешевий, але має ряд істотних недоліків, - дуже низька обмінна місткість, міцність і так далі.

Для заміни сульфовугілля обираємо декілько варіантів загрузки:

1. Іонно-обмінна смола Purolite C100. Це сильнокислотна катіонообмінна смола на основі сульфонованого полістиролу. Вона використовується для зм'якшування води (у Na^+ формі), так і для знесолювання води (у H^+ формі). Її основними характеристиками є висока фізична, хімічна і термічна стабільність, хороша іонообмінна кінетика і висока обмінна місткість;

- Lewatit S 1467. Він відноситься до групи сильнокислотних катіонітів гелів на основі сополімера стиролу-дивінілбензолу. Зерна продукту мають сферичну форму і монодисперсний розподіл розмірів гранул. Монодисперсні гранули мають надзвичайну хімічну і механічну стабільність і високу осмотичну стійкість. Поліпшена кінетика веде до значно кращого використання потужностей в порівнянні з аналогічними гетеродисперсними смолами.

Обмінна місткість у катіонообмінних смол в 5 разів більше, ніж у сульфовугілля, міцність на порядок вища.

При застосуванні іноземних аналогів скорочення експлуатаційних витрат досягається за рахунок збільшення тривалості фільтроцикла у тому числі:

- зменшення витрати солі на регенерацію;
- зменшення витрати води на власні потреби;
- зниження об'ємів скидних вод і, відповідно, втрат тепла;
- зменшення витрат на досипання матеріалу.

Для чіткішого розуміння показників економії розглянемо типовий порівняльний розрахунок витрат на експлуатацію установки знесолення конденсату при використанні сульфовугілля та іонообмінної смоли Purolite C100.

2.2 Розрахунок схеми знесолення

2.2.1 Фільтри змішаної дії з засипкою КУ-2 (сульфовугілля)

При проектуванні ВПУ необхідно приймати мінімальну кількість обладнання максимальної одиничної продуктивності.

Розрахунок починаємо з кінця схеми технологічного процесу.

Необхідна площа фільтрування, м²

$$F = \frac{Q}{\omega}, \quad (2.1)$$

де Q - продуктивність фільтру без урахування витрати води на власні потреби, м³/год;

ω - швидкість фільтрування, 45 м/год;

$$F = \frac{900}{45} = 20.$$

Число встановлених фільтрів $m = 3$, однакового діаметру.

Необхідна площа фільтрування кожного з фільтрів, м²

$$f = \frac{20}{3} = 6,67.$$

Приймаємо 3 фільтри ІФСДНр 3,0-0,6 з наступними характеристиками: $p=0,6$ МПа; $d=3$ м; $h=4,2$ м; витрата води – 650 м³/год.

Перераховуємо площу фільтрування з урахуванням зміни діаметру, м²

$$f_{cm} = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (2.2)$$

$$f_{cm} = \frac{3,14 \cdot 3,0^2}{4} = 7,065 .$$

Тривалість фільтроциклу, год кожного фільтру для (m-1) фільтрів, при одному резервному або ремонтному

$$T_{\text{фсд}} = \frac{10^4 \cdot f_{cm} \cdot (m-1) \cdot h}{Q_{\text{фсд}}} , \quad (2.3)$$

де f_{cm} – перетин фільтру, м² (стандартного);

m – число встановлених фільтрів однакового діаметру.

$$T_{\text{фсд}} = \frac{10^4 \cdot 7,1 \cdot (3-1) \cdot 4,2}{900} = 659,4 .$$

Кількість регенерацій за добу

$$n = \frac{24}{T + t} , \quad (2.4)$$

де t – тривалість операцій, що пов'язана з регенерацією фільтрів, t = 4.

$$n = \frac{24}{659,4 + 4} = 0,036 .$$

Робоча обмінна здатність катіоніту, г-екв/м³

$$E_p = e \cdot V_{\text{км}} , \quad (2.5)$$

де e – обмінна здатність катіоніту, г-екв/м³;

$V_{\text{км}}$ – об'єм катіоніту, що завантажено до фільтру, м³.

$$E_p = e \cdot V_{\text{км}} = 300 \cdot 1,4 = 420.$$

Витрата 100%-ої H_2SO_4 на регенерацію ($b_K = 70 \text{ кг/м}^3$), кг

$$\sigma^{\text{H}_2\text{SO}_4} = f \cdot h_{\text{КАТ}} \cdot b_K,$$

$$\sigma^{\text{H}_2\text{SO}_4} = 7,1 \cdot 0,6 \cdot 70 = 298,2$$

Добова витрата 100%-ої H_2SO_4 на регенерацію, кг

$$\sigma_{\text{доб}}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = \sigma^{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot n, \quad (2.6)$$

$$\sigma_{\text{доб}}^{\text{H}_2\text{SO}_4} = 298,2 \cdot 0,036 = 10,73$$

Витрата 100%-ого NaOH на регенерацію ($b_{\text{щ}} = 100 \text{ кг/м}^3$), кг

$$\sigma^{\text{NaOH}} = f \cdot h_{\text{щ}} \cdot b_{\text{щ}}, \quad (2.7)$$

$$\sigma^{\text{NaOH}} = 7,1 \cdot 0,6 \cdot 100 = 426.$$

Добова витрата 100%-ого NaOH на регенерацію, кг

$$\sigma_{\text{доб}}^{\text{NaOH}} = \sigma^{\text{NaOH}} \cdot n,$$

$$\sigma_{\text{доб}}^{\text{NaOH}} = \sigma^{\text{NaOH}} \cdot n = 426 \cdot 0,036 = 15,33.$$

Витрата води на розділення змішаної шихти, м^3 ($\omega_{\text{розд}} = 10 \text{ м/год}$, $\tau_{\text{розд}} = 25 \text{ хв}$)

$$V_{\text{розд}} = \frac{\omega_{\text{розд}} \cdot f \cdot \tau_{\text{розд}}}{60}, \quad (2.8)$$

$$V_{\text{розд}} = \frac{10 \cdot 7,1 \cdot 25}{60} = 29,6.$$

Об'єм води на встановлення зустрічних потоків води до початку регенерації ($\omega_{\text{в.п}} = 5 \text{ м/год}$, $\tau_{\text{в.п}} = 10 \text{ хв}$), м^3

$$V_{\text{в.п}} = \frac{2 \cdot \omega_{\text{в.п}} \cdot f \cdot \tau_{\text{в.п}}}{60}, \quad (2.9)$$

$$V_{\text{в.п}} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 7,1 \cdot 10}{60} = 11,8.$$

Витрата води на приготування 3%-ої H_2SO_4 , м^3

$$V_3^{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{\sigma^{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot 100}{C \cdot 10^3}, \quad (2.10)$$

$$V_3^{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{298,2 \cdot 100}{3 \cdot 10^3} = 9,94.$$

Витрата води на приготування 4%-ого NaOH , м^3

$$V_4^{\text{NaOH}} = \frac{\sigma^{\text{NaOH}} \cdot 100}{C \cdot 10^3}, \quad (2.11)$$

$$V_4^{NaOH} = \frac{426 \cdot 100}{4 \cdot 10^3} = 10,65.$$

Витрата води на роздільну одночасну обмивку катіоніту зустрічними потоками ($\omega_{p.o} = 5$ м/ГОД, $\tau_{p.o} = 60$ хв), м³

$$V_{p.o} = \frac{2 \cdot \omega_{p.o} \cdot f \cdot \tau_{p.o}}{60}, \quad (2.12)$$

$$V_{p.o} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 7,1 \cdot 60}{60} = 71$$

Витрата води на довідмивку змішаної шихти після перемішування її з повітрям ($a_{H_2O} = 5$ м³/м³), м³

$$V_{до} = f \cdot h_{cl} \cdot a_{H_2O}, \quad (2.13)$$

$$V_{до} = 7,1 \cdot 1 \cdot 5 = 355.$$

Сумарна витрата води на власні потреби ФЗД, м³

$$V_{\Sigma} = V_{разд} + V_{B.П} + V_3^{H_2SO_4} + V_4^{NaOH} + V_{p.o} + V_{до}, \quad (2.14)$$

$$V_{\Sigma} = 29,6 + 11,8 + 9,94 + 10,65 + 71 + 355 = 487,99.$$

Годинна витрата води на власні потреби ФЗД, м³/год

$$q_{c.n}^{\text{ФЗД}} = \frac{n \cdot V_{\Sigma}}{24}, \quad (2.15)$$

$$q_{c.n}^{\text{ФЗД}} = \frac{0,036 \cdot 487,99}{24} = 0,73$$

Час перепуску регенераційного розчину ($\omega_k = 5$ м/год), хв.

$$\tau_k = \frac{V_3^{H_2SO_4} \cdot 60}{f \cdot \omega_k}, \quad (2.16)$$

$$\tau_k = \frac{9,94 \cdot 60}{7,1 \cdot 5} = 16,8.$$

Час пропуску регенераційного розчину луги ($\omega_{щ} = 5$ м/год), хв

$$\tau_{щ} = \frac{V_4^{NaOH} \cdot 60}{f \cdot \omega_{щ}}, \quad (2.17)$$

$$\tau_{щ} = \frac{10,65 \cdot 60}{7,1 \cdot 5} = 18.$$

Час довідмивки змішаної шихти ($\omega_{до} = 10$ м/год), хв.

$$\tau_{до} = \frac{V_{до} \cdot 60}{f \cdot \omega_{до}}, \quad (2.17)$$

$$\tau_{до} = \frac{V_{до} \cdot 60}{f \cdot \omega_{до}} = \frac{355 \cdot 60}{7,1 \cdot 10} = 300.$$

Сумарний час регенерації ФЗД с врахуванням часу на перемішування шихти ($\tau_{пер} = 30$ хв) та витрат часу на невраховані операції ($\tau_{невр} = 30$ хв)

$$\tau_{ФЗД} = \tau_{разд} + \tau_{В.П} + \tau_{ц} + \tau_{р.о} + \tau_{пер} + \tau_{до} + \tau_{невр}, \quad (2.18)$$

$$\tau_{ФЗД} = 16,8 + 18 + 300 = 334,8$$

Об'єм набухших катіонітів в фільтрах, м³

$$V_{KV}^{ВЛ} = V_{AB}^{ВЛ} = 0,5 \cdot f \cdot h_{сл} \cdot n, \quad (2.19)$$

$$V_{KV}^{ВЛ} = 0,5 \cdot 7,1 \cdot 1 \cdot 2 = 7,1.$$

Об'єм кожного аніоніту в повітряному стані ($K_{KV}^{НАБ} = 1,03$), м³

$$V_{KV}^{СУХ} = \frac{V_{KV}^{ВЛ}}{K_{KV}^{НАБ}}, \quad (2.20)$$

$$V_{KV}^{СУХ} = \frac{7,1}{1,03} = 6,9.$$

Кількість повітряно сухих іонітів, що, загружено у фільтри ($\rho_{KV}^{СУХ} = 0,71$ т/м³), т

$$\sigma_{KV}^{СУХ} = V_{KV}^{СУХ} \cdot \rho_{KV}^{СУХ}, \quad (2.21)$$

$$\sigma_{KV}^{CVX} = 6.9 \cdot 0.71 = 4.9$$

Витрата катіоніту за перший рік експлуатації при температурі до 40 ° С (втрата катіоніту складає 15%, аніоніта-10%), т

$$\Delta\sigma_{KV}' = 0.15 \cdot \sigma_{KV}^{CVX}, \quad (2.22)$$

$$\Delta\sigma_{KV}' = 0.15 \cdot 4.9 = 0.735$$

Витрата катіоніту в кожний наступний рік (втрата катіоніту складає 10%), т

$$\Delta\sigma_{KV}^{ГОД} = 0.10 \cdot \sigma_{KV}^{CVX}, \quad (2.23)$$

$$\Delta\sigma_{KV}^{ГОД} = 0.10 \cdot 4.9 = 0.49$$

Повна кількість катіоніту КУ-2 (термін служби катіоніту 5 років), який треба заготовити для роботи ФЗД протягом 5 років, т

$$\sigma_{KV}^{ПОЛН} = \sigma_{KV}^{CVX} + 0.15 \cdot \sigma_{KV}^{CVX} + (5-1) \cdot 0.1 \cdot \sigma_{KV}^{CVX}, \quad (2.24)$$

$$\sigma_{KV}^{ПОЛН} = 4.9 + 0.735 + 4 \cdot 0.49 = 7.595.$$

2.2.2 Фільтри змішаної дії з засипкою Purolite C100

Робоча обмінна здатність катіоніту за формулою (2.5), г-екв/м³

$$E_p = e \cdot V_{км} = 1900 \cdot 1.1 = 2090.$$

Об'єм набухших катіонітів в фільтрах, м³

$$V_{c100}^{BП} = V_{AB}^{BП} = 0,5 \cdot f \cdot h_{cl} \cdot n,$$

$$V_{c100}^{BП} = 0,5 \cdot 7,1 \cdot 1 \cdot 2 = 7,1$$

Об'єм кожного аніоніту в повітряному стані ($K_{c100}^{HAB} = 2$), м³

$$V_{c100}^{CVX} = \frac{V_{c100}^{BП}}{K_{c100}^{HAB}},$$

$$V_{c100}^{CVX} = \frac{7,1}{2} = 3,55$$

Кількість повітряно сухих іонітів, що, загрузені в фільтрі ($\rho_{c100}^{CVX} = 0,5$ т/м³),

т

$$\sigma_{c100}^{CVX} = V_{c100}^{CVX} \cdot \rho_{c100}^{CVX}, \quad (2.27)$$

$$\sigma_{c100}^{CVX} = 3,55 \cdot 0,5 = 1,8$$

Витрата катіоніту за перший рік експлуатації при температурі до 40 ° С (втрата катіоніту складає 15%), т

$$\Delta\sigma_{c100}' = 0,15 \cdot \sigma_{c100}^{CVX}, \quad (2.28)$$

$$\Delta\sigma_{c100}' = 0,15 \cdot 1,8 = 0,27$$

Витрата катіоніту в кожний наступний рік (втрата катіоніту складає 10%),

T

$$\Delta\sigma_{c100}^{ГОД} = 0,10 \cdot \sigma_{c100}^{CVX}, \quad (2.29)$$

$$\Delta\sigma_{c100}^{ГОД} = 0,10 \cdot 1,8 = 0,18$$

Повна кількість катіоніту пьюролайт-100 (термін служби катіоніту 5 років), яку треба заготовити для роботи ФСД протягом 5 років, т

$$\sigma_{KV}^{ПОЛН} = \sigma_{c100}^{CVX} + 0,15 \cdot \sigma_{c100}^{CVX} + (5-1) \cdot 0,1 \cdot \sigma_{c100}^{CVX}, \quad (2.30)$$

$$\sigma_{c100}^{ПОЛН} = 3,55 + 0,27 + 4 \cdot 0,18 = 4,53$$

2.2.3 Розрахунок механічного фільтру

Розрахункова продуктивність, м³/год

$$Q = 900.$$

Для механічного фільтру задамося швидкістю фільтрування $\omega=30$ м/год

Необхідна площа фільтрування, м²

$$F = \frac{Q}{\omega},$$

$$F = \frac{900}{30} = 30.$$

Оберемо число фільтрів

$$n = n_{\text{раб}} = 3.$$

Площа одного фільтру, м²

$$f = \frac{F}{n}, \quad (2.33)$$

$$f = \frac{30}{3} = 10.$$

Характеристика стандартного фільтру, м/м²

$$\frac{d}{f},$$

де d - діаметр фільтру, $d = 2000$ мм;

f – площа перетину фільтру, $f = 3,14$ м².

$$\frac{d}{f} = \frac{2.0}{3,14} = 0,64.$$

Дійсна швидкість фільтрування, м/год

$$w = \frac{Q_{\text{фзх}}}{f \cdot n},$$

$$w = \frac{900}{3,14 \cdot 3} = 95,5.$$

Обираємо тип завантаженого матеріалу - целюлоза.

Визначаємо для стандартного фільтру $h_{\text{сл}} = 1,0$ м

Знаходимо тривалість фільтроциклу, год

$$T + \tau_{\Sigma} = \frac{1000 \cdot f \cdot h_{\text{сл}} \cdot \Gamma \cdot n}{Q \cdot C_B},$$

де f - загальна забрудненість фільтрів, кг;

Γ - питома грязеемність фільтруючого матеріалу (з коагуляцією), $1,5 \text{ кг/м}^3$;

C_B - концентрація зважених речовин у воді, що надходить на фільтри, 10 мг/кг .

$$T + \tau_{\Sigma} = \frac{1000 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 3}{900 \cdot 10} = 15,7.$$

Добове число регенерацій усіх фільтрів, рег./доб.

$$m = \frac{24 \cdot n}{T + \tau_{\Sigma}},$$

$$m = \frac{24 \cdot 3}{15,7} = 4,6.$$

Питома витрата води на розпушування фільтра, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$

$$i = 12.$$

Час розпушування фільтра, хв

$$\tau_{\text{взр}} = 15.$$

Витрата води на розпушування фільтра, м³

$$V_{\text{взр}} = \frac{f \cdot i \cdot \tau_{\text{взр}} \cdot 60}{1000}$$

$$V_{\text{взр}} = \frac{3.14 \cdot 12 \cdot 15 \cdot 60}{1000} = 33.9 .$$

Питома витрата води на відмивку фільтра, м³/м³

$$a = 1.$$

Витрата води на відмивку фільтра, м³

$$V_{\text{отм}} = f \cdot h_{\text{сл}} \cdot a ,$$

$$V_{\text{отм}} = f \cdot h_{\text{сл}} \cdot a = 13.14 \cdot 1 \cdot 1 = 3.14$$

Сумарна витрата води на регенерацію, м³

$$V_{\Sigma} = V_{\text{взр}} + V_{\text{отм}} ,$$

$$V_{\Sigma} = 33.9 + 3.14 = 37.052$$

Часовий витрата води на власні потреби, м³/год

$$q_{\text{см3}}^{\text{с.н}} = \frac{V_{\Sigma} \cdot m}{24} ,$$

$$q_{cm3}^{c.n} = \frac{37.052 \cdot 4,6}{24} = 7.1$$

Швидкість відмивки, м/год

$$\omega_{omm} = 8.$$

Час відмивки, хв.

$$\tau_{omm} = \frac{V_{omm} \cdot 60}{f \cdot \omega_{omm}},$$

$$\tau_{omm} = \frac{3.14 \cdot 60}{3.14 \cdot 8} = 7,5$$

Сумарний час регенерації фільтру, хв.

$$\tau_{\Sigma} = \tau_{всп} + \tau_{omm}, \quad (2.42)$$

$$\tau_{\Sigma} = 15 + 7,5 = 22,5$$

2.3 Вибір основного та допоміжного обладнання

Цилюлозно наливні фільтри морально та фізично застаріли. Цилюлоза з ЦНФ потрапляє на верхній слой ФЗД та ускладнює іонний обмін, що збільшує перепад тиску на ФЗД та погіршує якість очищеного конденсату, тому пропонується встановлення двох мультимішечних фільтрів BF-M20-304-DN300 тонкої очистки діаметром 1150 мм, продуктивністю 500 м³/год.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики мультимішочного фільтру

Максимальний робочий тиск (атм)	
Максимальна робоча температура	75(°C)
Внутрішній об'єм фільтру, м ³	
Діаметр фільтру, мм	
Фільтруючі елементи	Поліпропіленові мішки розміру № 2 (діаметр 7", довжина 32")
Кількість фільтроелементів (штук)	
Площа фільтрації одного фільтроелементу, м ²	
Площа фільтрації фільтру (20 фільтроелементів), м ²	
Пропускна спроможність, м ³ /год.	

У конструкції фільтру використовується принцип тонкошарового фільтрування через високопористий матеріал, поліпропілен або поліестер. Максимальний робочий тиск фільтру - 10 атм. Допустимий перепад тиску на фільтрі 1,5 атм, після перевищення перепаду тиску, необхідно замінити фільтроелементи.

Заміна целюлозно – наливних фільтрів дозволить зменшити кількість фільтрів, спростити обслуговування БЗУ, скоротити кількість води на власні потреби та зменшити скид стічних вод.

ВИСНОВКИ

У наш час проблема скорочення водопостачання стає все більш актуальною. Приймаються нові рішення щодо вирішення даної проблеми. На підприємствах необхідно проводити заходи, спрямовані на скорочення водоспоживання за рахунок раціональної технології виробництва.

В загальній частині проекту було проаналізовано існуючі схеми очистки конденсату, наведено вимоги, що пред'являються до нього. Виконано аналіз схеми блочної знесолюючої установки та обладнання, що входить до її складу. Розглянуто сучасні іонообмінні смоли, що можуть використовуватися у якості засипки у фільтрах змішаної дії.

В даному дипломному проєкті передбачено заміну сульфовугільну іонно-обмінну смолу на сучасну Purolite C100, що приведе до скорочення часу фільтрування та витрат води на регенерацію та власні потреби. В проєкті виконано заміну наливних целюлозних фільтрів на сучасні мультимішечні фільтри VF-M20-304-DN300 тонкої очистки, які не потребують промивки. Заміна целюлозно – наливних фільтрів дозволить зменшити кількість фільтрів, спростити обслуговування БЗУ, скоротити кількість води на власні потреби та зменшити скид стічних вод.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. План розвитку Об'єднаної енергетичної системи України на 2016 – 2025 роки. / ДП «НЕК «Укренерго». – Електрон. дан. – Режим доступу: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/>
2. Степаненко О.М., Рейтер Л.Г., Ледовських В.М., Іванов С.В. Загальна та неорганічна хімія: у 2-х ч. Київ : Пед. преса, 2002. – 520 с.
3. Рейтер Л.Г., Степаненко О.М., Басов В.П. Теоретичні розділи загальної хімії. – К.: Каравела, 2003. – 352 с.
4. Глінка М.Л. Загальна хімія. Київ: Вища шк. / Пер. з 20-го рос. видання. / М.1979 / Головне вид-во, 1982. – 608 с
5. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. Київ: Вища школа, 2005. – 671 с.
6. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання. Рівне: РДТУ, 2001. – 429 с.
7. Шпак А.П., Ульберг З.Р. Коллоидно-химические основы нанонауки. Київ: Академперіодика, 2005.–466с.
8. Кульський Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. Київ: Вища школа, 1986. – 352 с.
9. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін та ін. Київ: Лібра, 2000. – 552 с.
10. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. Київ: Вища шк., 2005 – 671 с.
11. Кульський Л. А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. Київ: Наук. думка, 1980. – 564 с
12. Кульський Л. А., Гороновский И. Т., Когановский А. М., Шевченко М. А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. Київ: Наук. думка, 1980. – Ч. 1, 2. – 1206 с.

13. Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды/ Под ред. Гончарука. Київ: Наукова думка, 2005. – 400 с.
14. Левківський С.С., Падун М.М. Раціональне використання і охорона водних ресурсів. Київ: Либідь, 2006. – 280с.
15. Хоружий П.Д., Хомуцька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2008. – 534 с.
16. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання. Київ: Знання, 2009. – 735 с.
17. Кишневський В.А. Технологии подготовки воды в энергетике. Одесса: Фенікс, 2008 – 400 с