Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичного інжинірингу та робототехнічних систем»

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри
_____
«8» 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Модернізація теплової схеми та реконструкція котельного агрегату пуско-резервної котельні Південноукраїнської АЕС.

Виконав: студент групи 47-ТЕ-22з

_____ ***Коваленко Д.М.***
(підпис)

Керівник роботи:
д.т.н., професор кафедри ЕІ та РС ПННІ НУК
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

_____ ***Харитонов Ю.М.***
(підпис)

Первомайськ - 2026 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Первомайський навчально-науковий інститут

Кафедра «Енергетичного інжинірингу та робототехнічних систем»
Спеціальність 144 – «Теплоенергетика»
Освітня програма «Теплоенергетика»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
_____
(підпис)
«23» 02 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Коваленку Денису Миколайовичу
(Прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Модернізація теплової схеми та реконструкція котельного агрегату пуско-резервної котельні Південноукраїнської АЕС.

Керівник роботи д.т.н., проф. кафедри ЕІ та РС Харитонов Ю.М.

Затверджено розпорядженням ПННІ НУК № 19 від « 19 » 02. 2026 року

2. Термін подання студентом роботи до розгляду на кафедру: 05.06.2026
Вихідні дані по роботі: . Парові котли ГМ-50-14-250 у кількості 4-х шт., установлена теплова потужність котлів – 130 Гкал/год. 2. Замість парових калориферів для попереднього підігрівання повітря перед основним повітропідігрівником встановити газовий регенеративний дробопотоковий повітропідігрівник

3. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів).

1. Загальна характеристика енергетичної установки підприємства. 2. Опис теплової схеми та обладнання до модернизації. 3. Розробка модернізованої теплової схеми котельної. 4. Розробка котельного агрегату. 5. Розробка заходів з охорони праці.

4. Перелік презентаційних матеріалів

1. Теплова схема. 2. Плані будвлі 3. Схема ХВО. 4. Креслення котла.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийн

6. Дата видачі завдання «20» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Приміт
1	Загальна характеристика енергетичної установки підприємства.	06.03.26	
2	Опис теплової схеми та обладнання до модернизації	27.03.26	
3	Розробка модернізованої теплової схеми котельної	03.04.26	
4	Розробка котельного агрегату.	29.04.26	
5	Розробка заходів з охорони праці	15.05.26	
6	Графічна частина	22.05.26	

Студент _____ Коваленко Д.М.
(підпис)

Керівник роботи _____ Харитонов Ю.М.
(підпис)

Анотація

У кваліфікаційній роботі розглянуто призначення та технічні характеристики пуско-резервної котельні Южноукраїнської АЕС тепловою потужністю 130 Гкал/год, наведено склад теплоенергетичного обладнання та його параметри. Основною метою проєктування визначено реконструкцію котельні з метою підвищення надійності її функціонування, енергоефективності та економічності роботи.

У процесі роботи проведено розрахунок теплової схеми котельні з урахуванням модернізації обладнання, що передбачає заміну парових калориферів на газові регенеративні дробопотокові повітропідігрівники для запобігання низькотемпературної корозії основного повітропідігрівника. Також забезпечено підвищення температури підігріву мазуту до 200 °С, що дозволяє оптимізувати процес його спалювання та покращити загальну економічність роботи котельного агрегату.

Окрему увагу приділено тепловому розрахунку котельного агрегату ГМ-50-14-250 після реконструкції. Визначено його ККД, проаналізовано витрату палива — високосірчистого мазуту та розглянуто шляхи підвищення ефективності паливоспалювання. Отримані результати свідчать про можливість досягнення стабільного та економічного режиму роботи котельні за умови впровадження запропонованих технічних рішень.

Крім технічних аспектів, у роботі розроблено комплекс заходів з охорони праці, спрямованих на забезпечення безпечних умов експлуатації обладнання та мінімізацію виробничих ризиків при проведенні монтажних і ремонтних робіт.

У підсумку можна зробити висновок, що виконана реконструкція пуско-резервної котельні Южноукраїнської АЕС дозволяє значно підвищити надійність і ефективність її функціонування, забезпечити економне використання палива та знизити експлуатаційні витрати, одночасно дотримуючись сучасних вимог з охорони праці та промислової безпеки.

Ключові слова: пуско-резервна котельня, котельний агрегат, економайзер, дробопотоковий повітропідігрівник, поверхня нагріву, паровий калорифер.

Abstract

The qualification work considers the purpose and technical characteristics of the start-up and standby boiler house of the South Ukrainian NPP with a thermal capacity of 130 Gcal/h, the composition of the thermal power equipment and its parameters are given. The main purpose of the design is the reconstruction of the boiler house in order to increase the reliability of its operation, energy efficiency and cost-effectiveness of operation.

In the process of work, the calculation of the thermal scheme of the boiler house was carried out, taking into account the modernization of the equipment, which involves replacing steam heaters with gas regenerative split-flow air heaters to prevent low-temperature corrosion of the main air heater. It also provides for an increase in the heating temperature of fuel oil to 200 ° C, which allows optimizing the process of its combustion and improving the overall efficiency of the boiler unit.

Special attention is paid to the thermal calculation of the GM-50-14-250 boiler unit after reconstruction. Its efficiency was determined, fuel consumption - high-sulfur fuel oil - was analyzed, and ways to increase the efficiency of fuel combustion were considered. The results obtained indicate the possibility of achieving a stable and economical operation of the boiler house provided that the proposed technical solutions are implemented.

In addition to technical aspects, the work developed a set of occupational safety measures aimed at ensuring safe operating conditions for equipment and minimizing production risks during installation and repair work.

As a result, it can be concluded that the completed reconstruction of the start-up and standby boiler house of the South Ukrainian NPP allows significantly increasing the reliability and efficiency of its operation, ensuring economical use of fuel and reducing operating costs, while complying with modern requirements for occupational safety and industrial safety.

Keywords: start-up boiler room, boiler unit, economizer, fractional air heater, heating surface, steam heater.

ЗМІСТ

ВСТУП…… 6
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПУСКО-РЕЗЕРВНОЇ КОТЕЛЬНІ…….. 8
1.1. Призначення пуско-резервної котельні…… 8
РОЗДІЛ 2. ОПИС ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДО МОДЕРНИЗАЦІЇ…… 10
2.1. Характеристика основного обладнання котельні……. 10
2.1.1 Паровий котел…….. 10
2.1.2. Теплофікаційна установка…….. 16
2.1.3. Деаераційно-живильна установка…….. 22
2.1.4. Установка хімводоочищення (ХВО)…… 24
2.1.5. Тягодуттьові машини…….. 29
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ…… 31
3.1. Мета розрахунку теплової схеми……... 31
3.2. Розрахунок теплової схеми пуско-резервної котельні АЕС для зимового режиму роботи…… 31
3.3. Результати розрахунку теплової схеми пуско-резервної котельні. 35
РОЗДІЛ 4. РЕКОНСТРУКЦІЯ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ…….. 37
4.1. Розробка та опис заходів з реконструкції котла……... 37
4.2. Тепловий розрахунок котла на номінальному навантаженні……. 38
4.2.1 Початкові дані до розрахунку…… 38
4.2.2 Конструктивні характеристики парового котла ГМ-50-14-250….. 39
4.2.3 Розрахунок об'ємів повітря та продуктів згоряння…….. 41
4.2.4 Розрахунок ентальпій повітря та продуктів згоряння……. 44
4.2.5 Складання теплового балансу котла…….. 50
4.2.6 Розрахунок топки…… 52
4.2.7 Повірочний розрахунок фестона…… 54
4.2.8 Повірочний розрахунок конвективного пучка……. 56
4.2.9 Розрахунок пароперегрівника…… 58
4.2.10 Розрахунок трубчастого повітропідігрівника……... 60
4.2.11 Конструктивний розрахунок дробопотокового повітропідігрівника…… 64
4.2.12 Конструктивний розрахунок чавунного економайзера…….. 66

4.2.13 Аеродинамічний розрахунок дробопотокового повітропідігрівника……. 68
4.2.14 Результати теплового розрахунку котла……... 68
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ…… 70
5.1. Охорона праці…….. 70
5.1.1 Вступ……. 70
5.1.2 Закон України "Про охорону праці"……. 71
5.1.3 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників обладнання котельних установок…….. 73
5.1.4 Виробниче освітлення та його розрахунок……... 73
ВИСНОВКИ…… 76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….. 77
ДОДАТКИ……... 79

ВСТУП

До складу Південноукраїнської АЕС входить пуско-резервна котельня (ПРК), яка виконує функцію теплопостачання станції. У котельні експлуатуються парові котли ГМ-50-14-250, що працюють на рідкому паливі — мазуті марок М-40 та М-100. Вміст сірки в цих видах палива становить у середньому від 2,0 до 3,5 %, що спричиняє розвиток інтенсивної низькотемпературної корозії сталевих трубчастих повітропідігрівників. Корозійні пошкодження у вигляді свищів призводять до потрапляння повітря у газоходи котла, зменшення температурного напору на хвостових поверхнях нагріву, що своєю чергою знижує температуру підігрівання повітря, коефіцієнт корисної дії котла та збільшує витрату палива. Крім цього, підвищується навантаження на дуттьові вентилятори та димососи, що зумовлює додаткові витрати електроенергії на їх роботу.

Для часткового усунення проблеми котельні агрегати обладнані паровими калориферами, які забезпечують попередній підігрів повітря до 90 °С. Однак їх використання супроводжується значними витратами пари — близько 1,2 т/год на один калорифер, що знижує загальну ефективність роботи установки.

Серед можливих технічних рішень для боротьби з низькотемпературною корозією застосовують повітропідігрівники з чавунними або скляними поверхнями нагріву, а також регенеративні установки.

У цій кваліфікаційній роботі передбачається заміна існуючих парових калориферів на газові регенеративні дробопотокові повітропідігрівники, головною перевагою яких є надійна робота при спалюванні високосірчастого мазуту. Це рішення дозволить підвищити надійність роботи котлів та повністю виключити витрати пари на підігрівання повітря.

Додатковим заходом є підвищення температури підігрівання мазуту до 200 °С, що забезпечить якісніше розпилювання палива, зниження коефіцієнта надлишку повітря у топці до 1,05 та як наслідок, зростання ККД котла. Крім того, очікується зменшення енерговитрат на привід дуттьових вентиляторів.

Мета роботи: модернізація пуско-резервної котельні Південноукраїнської АЕС з метою підвищення надійності, економічності та енергоефективності її роботи.

Об’єкт розробки: пуско-резервна котельня Південноукраїнської АЕС.

Предмет дослідження: процеси, що відбуваються у системах котельні.

Методи: аналітичні розрахунки теплових схем, котельних агрегатів, систем паливоподачі, водопідготовки та допоміжних установок.

Результати роботи: розроблено проєкт модернізації ПРК тепловою потужністю 130 Гкал/год шляхом заміни парових калориферів на газові дробопотокові повітропідігрівники, що дозволяє уникнути низькотемпературної корозії та зменшити витрату пари. Запропоновані заходи забезпечують зростання надійності, економічності та довговічності роботи котельного обладнання.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПУСКО-РЕЗЕРВНОЇ КОТЕЛЬНІ.

1.1. Призначення пуско-резервної котельні

Південноукраїнська атомна електростанція (ПАЕС), що до 2022 року мала назву Южно-Українська АЕС (ЮУАЕС), є однією з ключових атомних електростанцій України. Вона розташована у степовій місцевості на лівому березі річки Південний Буг, поруч із містом Южноукраїнськ Миколаївської області, у складі Південноукраїнського енергетичного комплексу. Експлуатацію об'єкта здійснює відокремлений підрозділ Національної атомної енергогенеруючої компанії НАЕК «Енергоатом».

Проєктування та спорудження ПАЕС від самого початку було спрямоване на створення унікального для України енергетичного вузла, який поєднує атомну електростанцію, гідроелектростанцію та гідроакумулюючу електростанцію. Завдяки цьому забезпечується комплексне використання енергетичного потенціалу регіону, а також раціональне використання водних ресурсів Південного Бугу. До складу комплексу, окрім ПАЕС, входять Олександрівська ГЕС та Ташлицька ГАЕС, що дозволяє ефективно регулювати енергосистему завдяки маневреним потужностям.

Щорічно Південноукраїнська АЕС виробляє близько 17–18 млрд кВт·год електроенергії, що становить понад 10% від загального обсягу виробництва електроенергії в Україні. Частка станції у виробництві атомної генерації країни сягає близько чверті. Таким чином, ПАЕС відіграє важливу роль у формуванні енергетичного балансу держави, особливо в південних регіонах.

Колектив підприємства є одним із найбільших у галузі: станом на 2007 рік на станції та в її підрозділах працювало понад 7100 осіб, з яких безпосередньо на блоках АЕС було задіяно більше 4800 спеціалістів. Це висококваліфіковані кадри, підготовка та професійний рівень яких відповідають сучасним міжнародним стандартам.

За результатами перевірок і оцінок МАГАТЕ, рівень надійності та безпеки експлуатації енергоблоків Південноукраїнської АЕС відповідає європейським вимогам. Це свідчить про високий рівень технічного забезпечення, належну організацію виробничих процесів і дотримання жорстких стандартів ядерної безпеки.

Пуско-резервна котельня (ПРК) виконує функцію генерації пари для забезпечення стабільної роботи теплофікаційної установки (ТФУ), яка використовується для підігрівання сіткової води. Крім цього, вона забезпечує власні потреби котельні, мазутного господарства (МХ), виробничого корпусу, а також застосовується для роботи пароежекторних установок під час проведення ремонтів на енергоблоках АЕС. Після редукційно-охолоджувальних установок (РОУ) відпрацьована пара використовується для технологічних цілей на будівельному майданчику, у тепличному господарстві та в спеціальному санітарно-побутовому корпусі (СПК).

На котельні встановлено чотири парові агрегати типу ГМ-50-14-250 із сумарною тепловою потужністю 130 Гкал/год. Котли функціонують на рідкому паливі – мазуті марок М-40 та М-100. Вміст сірки у паливі залежить від марки й становить у середньому від 2,0 до 3,5%.

РОЗДІЛ 2. ОПИС ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДО МОДЕРНИЗАЦІЇ

2.1. Характеристика основного обладнання котельні

2.1.1. Паровий котел

Котлоагрегат ГМ-50-14-250 – це двобарабанний агрегат з природною циркуляцією (рис. 2.1).

Котельний агрегат має такі характеристики:

Паропродуктивність, т/год	50
Тиск у барабані котла, МПа (абс.)	1,4
Температура перегрітої парі, °С	250
Температура живильної води, °С	100
Витрата палива (високосірчистий мазут), кг/с	0,945
Температура гарячого повітря, °С	206
Коефіцієнт корисної дії (мазут), %	91
Коефіцієнт надлишку повітря у топці	1,1
Коефіцієнт надлишку повітря у відхідних газах	1,34

Котел має П-подібне компонування з винесеним водяним економайзером. Топкова камера розміром 3700 х 5050 мм, призматична, відкритого типу. Стіни топкової камери екрановані вісьмома трубчастими панелями.

Кожна панель – це вертикальна конструкція, яка складається з верхнього колектора діаметром 219 х 11 мм, екранних труб 60 х 3 мм і нижнього колектора діаметром 219 х 11 мм.

Дистанціювання труб здійснюється за допомогою гребінок і прутиків, у колекторі є штуцера для приєднання опускних і паровідвідних труб. Екранні труби кріпляться до каркаса за допомогою тяг і скоб. Таке кріплення тримає трубу в горизонтальній площині і дозволяє переміщатися уздовж своєї осі внаслідок температурних розширень. Колектори закріплені до каркаса за допомогою опір, які дозволяють переміщатися їм тільки в горизонтальному напрямі. Між екранами і каркасом котла виконана обмурівка з шамотної цегли (перший ряд від екранів) і червоної цегли.

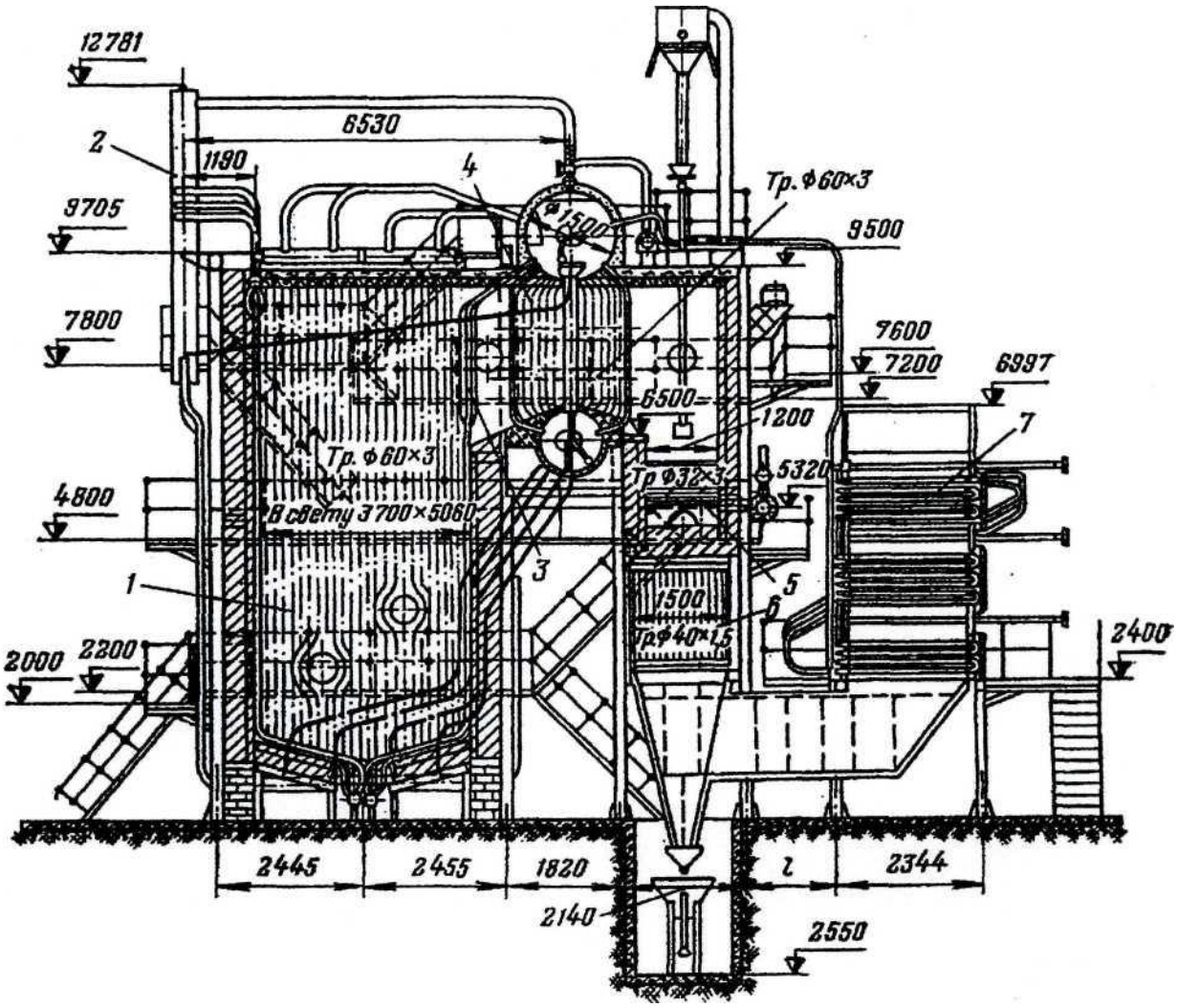


Рис. 2.1 Котел паровий Е-50-14 ГМ: 1 - топкова камера; 2 - виносний циклон; 3 - фестон; 4 - котельний пучок; 5 - пароперегрівник, 6 - трубчастий повітропідігрівник; 7 - чавунний водяний економайзер.

Топка екранована фронтовим, заднім, правим й лівим боковими екранами. Напрям рухів середовища у всіх екранах від низу до верху. Панелі фронтового та заднього екранів створюють у нижній частині холодну воронку. Труби заднього екрану утворюють у верхній частині фестон. Панелі бокових екранів утворюють у верхній частині стельовий екран. Всі нижні колектори мають дренажі для видалення залишків води. Дренажні клапани призначені також для періодичного продування.

У поворотній камері газоходу розташований котельний пучок, що складається з верхнього і нижнього барабанів, з'єднаних між собою трубами.

У конвективній шахті розташований пароперегрівник з горизонтальними змійовиками і трубчастий двосекційний повітропідігрівник вертикального

типу. Чавунний водяний економайзер установлений на окремому порталі і винесений за межі котла.

Для забезпечення процесу горіння котел обладнаний дуттьовим вентиляторами типу ВДН-15, чотирма мазутними пальниками, розташованими на бокових стінах по два пальники на кожній, та димососом типу ДН-19.

Для зручності обслуговування котел обладнаний сходинками й майданчиками.

Котельний пучок складається з верхнього барабана внутрішнім діаметром 1476 мм, товщиною стінки 36 мм, сталь 20 К, нижнього барабана внутрішнім діаметром 988 мм, товщиною стінки 22 мм, сталь 20 К і труб, які з'єднують верхній та нижній барабани. Опускними трубами є середній ряд труб (16 шт.) діаметром 219 мм і два ряди торцевих труб діаметром 133 мм (14 шт.), які розміщені в обмурівці. Решта труб котельного пучка діаметром 60 х 3 мм є підйомними.

Всі труби закріплені до барабана за допомогою зварювання. Для компенсації теплових розширень верхній барабан встановлений на двох роликових опорах, які можуть рухатися у горизонтальному напрямі, проте перешкоджають вертикальним переміщенням. До барабана приварені штуцери для контрольно-вимірювальних приладів (КВП) і автоматики. Усередині барабана розташований сепараційний пристрій.

Нижній барабан підвішений на трубах котельного пучка, що дозволяє йому переміщуватись при теплових розширеннях у вертикальному та горизонтальному напрямках. Усередині нижнього барабана знаходиться пристрій попереднього підігріву під час пуску котла. Пара для перегріву береться від стороннього джерела й підводиться через штуцер, приварений до нижнього барабану.

Сепараційний пристрій виконаний за схемою триступінчастого випаровування. Перший ступінь (чистий відсік) – середня частина верхнього барабана. Другий ступінь (солоний відсік) – займає об'єм барабана з двох торців. Третій ступінь (солоний відсік) – виносні циклони. Чистий відсік обладнаний відбивачами в місці підведення пароводяної суміші, стельовими жалюзями й

дірчастими листами. У солоних відсіках встановлено 8 циклонів (по 4 у кожному відсіку). Чистий відсік відокремлений від солоних перегородками.

Пароводяна суміш з бічних екранів прямує в приймальні короби солоних відсіків, сепарується у внутрішньобарабанних циклонах, а потім відсепарована пара через щілини в перегородках подається до чистого відсіку, де змішується з парою чистого відсіку й парою з виносних циклонів. Далі пара сепарується, проходячи через стельові жалюзі й дірчасті листи, й надходить до пароперегрівника.

Циркуляційних випарних контурів дев'ять. Екрани топки розділені на вісім самостійних контурів. Дев'ятий контур – котельний пучок.

Пароперегрівник складається з верхньої камери насиченої пари діаметром 219 мм, Ст. 20, 133-х горизонтальних змійовиків з труб діаметром 32 х 3 мм, Ст. 20 і нижньої камери перегрітої пари діаметром 273 мм, на якій встановлено три запобіжні клапани. Загальна площа пароперегрівника 165 м^2. Пара з верхнього барабана котла надходить до камери насиченої пари по чотирьох трубах діаметром 102 мм. З нижньої камери перегріта пара через головну парову засувку (ГПЗ) спрямовується до головного парового колектора діаметром 500 мм. Змійовики труб розташовані в шаховому порядку. Труби між собою дистанційовані гребінками, скобами і стрічками із сталі Х20Н14С2. Кріплення змійовиків до каркаса котла здійснюється за допомогою підвісок і тяг. Камери пароперегрівника закріплюються до опор, які дозволяють переміщатися в горизонтальному напрямку при теплових розширеннях.

На котлі встановлений трубчастий двосекційний повітропідігрівник вертикального типу. Холодне повітря підводиться по коробах двома потоками, проходить між трубами секцій і далі спрямовується до пальників. Секції повітропідігрівника мають верхню та нижню трубні дошки прямокутного перерізу. Між трубними дошками зварюванням вертикально закріплені труби діаметром 40 х 1,6 мм, довжиною 2 м, по 2000 шт. у кожній секції, розташування труб шахове. Загальна площа поверхні повітропідігрівника – 496 м^2. Секції повітропідігрівника трубними дошками приварені до опорної рами. З чоти-

рьох боків куби облямовані рамами, з яких задня та фронтальна мають обшивку, бічні рами – без обшивки. До них приварені повітроперепускні короби. Повітропідігрівник опорною рамою встановлений на бічні балки каркаса конвективної шахти. У верхній частині повітропідігрівник з'єднаний з каркасом через компенсатор для сприйняття теплового розширення труб, рам, щитів. Димові гази проходять через труби повітропідігрівника зверху вниз і через короб прямують у газохід економайзера.

Для попереднього підігрівання повітря до температури 90 ^{o}С перед повітропідігрівником установлений одноходовий калорифер типу КФБ-12П з поверхнею нагріву 143 м^2. Підігрівання повітря у калорифері здійснюється парою. Для видалення зовнішніх забруднень передбачене дробоочищення поверхонь нагріву пароперегрівника й повітропідігрівника.

Водяний економайзер чавунний типу ВЭ-4-3×10 складається з шести блоків: нижній лівий, верхній лівий, нижній правий, верхній правий, середній лівий, середній правий. Загальна площа поверхні економайзера 1062 м^2.

Блоки економайзера виконані з чавунних ребристих труб внутрішнім діаметром 60 мм, з'єднаних між собою чавунними калачами. Економайзер має каркас, який складається з опорних балок й щитів: бокових, задніх та фронтових. Димові гази по газоперепускному коробу підводяться до нижнього правого блоку економайзера (1-ий ступінь), спрямовуються уверх через поворотний газохід здійснюють поворот і проходять зверху униз через верхній лівий, середній і нижній лівий блоки (2-ий ступінь). Живильна вода підводиться до нижньої частини другого ступеня, піднімається по трубам уверх. З верхньої частини другого ступеня спрямовується по чотирьох трубах до нижньої частини першого ступеня. З верхньої частини першого ступеня економайзера вода відводиться до верхнього барабана котла. Під час розпалювання котла для здійснення охолодження труб економайзера передбачена рециркуляція води між нижнім барабаном котла і другим ступенем економайзера. Очищення зовнішньої поверхні труб економайзера від сажі виконується методом відмивання.

Для обмурування котла застосована важка обмурівка. Обмурівка топки має товщину 510 мм і виконана у два шари. Перший шар – кладка з шамотної цегли товщиною шару 125 мм. Другий шар – кладка з червоної цегли товщиною шару 385 мм.

Котел обладнаний таким допоміжним обладнанням:

- дуттьовим вентилятором ВДН-15 – по одному на котел;
- димососом ДН-19 – по одному на котел;
- живильними електронасосами ЦНСГ-60/264 –5 шт.;
- деаераторами ДСА-150 – 2 шт.;
- сепаратором неперервної продувки (СНП) – 1 шт.;
- розширником періодичної продувки (РПП) – 1 шт.

Сепаратор неперервної продувки призначений для прийняття пароводяної суміші, яка надходить від циклонів котлів, відведення пари і конденсату, що утворюються у сепараторі, з утилізацією теплоти останнього для підігрівання хімочищеної води у підігрівниках. Сепаратор є сталевою циліндричною посудиною об’ємом 9 м^3. На нижньому днищі сепаратора розміщений штуцер з засувкою для зливання конденсату. Сепаратор обладнаний двома штуцерами, розміщеними дотично, для підведення продувальної води, а також регулятором рівня конденсату. Для контролю рівня конденсату установлений вказівник рівня. Усередині корпусу розташовані жалюзійний та лабіринтовий пристрій для більш ефективного розділення пароводяної суміші. На верхньому днищі корпусу розміщений штуцер для відбору пари. Для захисту СНП від можливого підвищення тиску передбачений запобіжний клапан.

Розширник періодичної продувки призначений для прийому продувальної води котлів і охолодження її перед скиданням до промзливової каналізації. Розширник виконаний у вигляді вертикальної, сталевої, циліндричної посудини об’ємом 8 м^3 з тангенціально підведеним до неї трубопроводом продування діаметром 150 мм. До розширника також підведений трубопровід технічної води для охолодження продувальної води. Усередині корпусу розташовані жалюзійний та лабіринтовий пристрій для більш ефективного роз-

ділення пароводяної суміші. Для відведення пари, що утворюється при розширенні, розширник має вихлопний трубопровід, установлений вертикально і виведений на покрівлю машинної зали ПРК. На днищі розширника розташований дренажний злив охолодженої продувальної води.

2.1.2. Теплофікаційна установка

Теплофікаційна установка (ТФУ) ПРК є одним з чотирьох джерел теплопостачання на проммайданчику АЕС і призначена для підігрівання сітьової води в пароводяних підігрівниках до температури 150°С для опалювальних, технологічних та побутових потреб.

До складу теплофікаційної установки ПРК входять:

два підігрівники сітьової води ПСВ-200У;

охолоджувач конденсату сітьових підігрівників;

три сітьових насоси І-го підйому СЭ-800-55;

три сітьових насоси ІІ-го підйому СЭ-500-70;

два насоси підживлення тепломережі 3К-6;

трубопроводи прямої й зворотної сітьової води, паропроводи, конденсатопроводи;

запірна і регулююча арматура;

контрольно-вимірювальні прилади та прилади обліку витрати сітьової води.

Параметри теплофікаційної установки ПРК:

установлена теплова потужність ТФУ – 64 Гкал/год;

номінальна теплова потужність – 32 Гкал/год;

номінальна витрата сітьової води – 800 $м^3$/год;

тиск сітьової води після насосів І-го підйому – 7,0 …7,5 $кг/см^2$;

тиск сітьової води після насосів ІІ-го підйому – 14,0 $кг/см^2$;

тиск сітьової води у зворотному трубопроводі – 1,5 … 2,0 $кг/см^2$;

температура сітьової води після ПСВ-200У – 70…150 ^{0}С;

температура сітьової води до ПСВ-200 У – 45…110 ^{0}С;

температура нагрівальної пари – 250 ^{0}С;

тиск нагрівальної пари – 13 кг/см^2.

Підігрівники сітьової води ПСВ-200 У:

поверхня нагріву – 200 м^2;

робочий тиск у трубній частині – 16 кг/см^2;

робочий тиск у корпусі – 13 кг/см^2;

температура сітьової води на вході – 110 °С;

температура сітьової води на виході – 150 °С;

витрата сітьової води через підігрівник – 800 м^3/год;

гідравлічний опір трубного пучка – 3 м. вод. ст. ;

кількість ходів з боку води – 2;

кількість труб у трубному пучку – 1020;

довжина трубного пучка – 3410 мм;

діаметр трубок – 19 х 1 мм;

матеріал трубок трубного пучка – Л68;

маса ПСВ-200У з водою в трубній системі – 8973 кг;

маса ПСВ-200У, повністю заповненого водою – 13373 кг.

Підігрівник сітьової води являє собою пароводяний теплообмінник вертикального типу, основними вузлами якого є корпус, трубна система, верхня й нижня (плаваючі) водяні камери. Корпус підігрівника складається із циліндричної обичайки 1232 х 12 мм, до нижньої частини якої приварене штамповане еліптичне днище, а до верхньої частини - фланець для з'єднання із трубною системою й верхньою камерою. У верхній частині корпусу розташований патрубок 325 х 10 мм для підведення пари, патрубок відсмоктування повітря 76 х 6 мм, муфти для приєднання водовказівного скла, а також патрубки для приєднання датчика регулятора рівня конденсату в корпусі. До еліптичного днища приварений фланець для приєднання патрубка виходу конденсату 219 х 10 мм.

Трубна система складається із двох трубних дошок, каркаса, прямих теплообмінних трубок діаметром 19 х 1 мм, виконаних з латуні марки Л68, кінці яких розвальцьовані в трубних дошках. Каркас трубної системи має поперечні сегментні перегородки, які направляють потік пари в корпусі для по-

ліпшення теплообміну й одночасно служать проміжними опорами для теплообмінних труб.

Верхня водяна камера обладнана патрубками підведення й відведення сітьової води діаметром 350 мм. Внутрішній об'єм камери розділений перегородкою, завдяки якій сітьова води робить два ходи.

У підігрівниках ПСВ-200У сітьова вода рухається по трубках, а пара – у міжтрубному просторі. Сітьова вода через вхідний патрубок надходить у ліву частину верхньої водяної камери й по трубках опускається в нижню водяну камеру, з якої другим ходом рухом уверх надходить до правої частини верхньої водяної камери й далі до відвідного патрубка. Нагрівальна пара через вхідний патрубок надходить у міжтрубний простір, де віддає теплоту сітьовій воді, конденсується й стікає до нижньої частини корпусу, звідки відводиться через конденсатопровід діаметром 200 мм у деаератор через охолодник конденсату.

Охолоджувач конденсату 600ТНВ-II-16м1/20М2-1А:

поверхня нагріву – 54 м^2;

робочий тиск у трубній частині – 16 кг/см^2;

робочий тиск у корпусі – 16 кг/см^2;

температура середовища в трубній частині і корпусі – до 200 ^{0}С;

діаметр корпусу – 628 х 14 мм;

довжина трубного пучка – 2000 мм;

кількість труб трубного пучка – 393 шт. ;

діаметр трубок – 22 × 2 мм;

матеріал труб трубного пучка – сталь нержавіюча.

Охолоджувач конденсату вертикального типу має такі основні частини: корпус, трубний пучок, верхню й нижню камери. Корпус охолоджувача виконаний з листової сталі, суцільнозвареним, діаметром 628 х 14 мм. На корпусі у верхній частині є патрубок діаметром 232 х 16 мм для підведення конденсату після ПСВ-200У, а в нижній частині – патрубок діаметром 232 х 16 мм для відведення охолодженого конденсату до деаераторів. Трубний пучок виконаний нероз'ємним, трубні дошки пучка є одночасно фланцями й прива-

рені до корпусу. До фланців трубного пучка прикріплені верхня й нижня водяні камери. Теплообмінні трубки до трубних дошок закріплені зварюванням. Верхня водяна камера має два патрубки 232 х 16 мм для підведення й відведення сітьової води. Камера розділена перегородкою, що забезпечує два ходи по воді.

Охолоджувач конденсату призначений для зниження температури конденсату після ПСВ-200У й використання теплоти конденсату для підігрівання сітьової води.

Сітьові насоси І-го підйому відцентрові, одноступінчасті типу СЭ-800-55 призначені для подачі сітьової води через підігрівники на теплопостачання а також для створення підпору на всмоктуванні насосів ІІ-го підйому.

Кількість насосів	– 3 шт.
Продуктивність	– 800 $м^3$/год.
Напір	– 55 м. вод. ст.
Кількість обертів	–1450 об/хв.
Споживана потужність	– 150 кВт.
Температура рідини, що перекачується, не більше	– 180 ^oC.
Маса насоса	– 1500 кг.
Електродвигун	– АТ3-3155-4.
Потужність	– 200 кВт.
Напруга	– 380 В.
Маса електродвигуна	– 1065 кг.

Сітьовий насос СЭ-800-55 складається з корпусу, ротора і підшипників. Корпус насоса чавунний, литий з горизонтальним рознімання. Всмоктувальний і напірний патрубки розташовані в нижній половині корпусу і спрямовані перпендикулярно осі насоса в протилежні сторони. Ротор насоса складається з вала і робочого колеса. Робоче колесо лите, чавунне, діаметром 428 мм. Опорами ротора служать підшипники кочення. Корпуси підшипників мають водяне охолодження. Сальники насоса з м'яким набиванням (ХБП), розташовані в тонкостінних чавунних камерах. З'єднання

вала насоса з валом електродвигуна здійснюється за допомогою пружної муфти.

Сітьові насоси II -го підйому відцентрові, одноступінчасті типу СЭ-500-70 призначені для подачі сітьової води на ЦТРП і базу Орса.

Кількість насосів – 3 шт.

Продуктивність – 500 $м^3$/год.

Напір – 70 м. вод. ст.

Кількість обертів – 3000 об/хв.

Споживана потужність – 120 кВт.

Температура рідини, що перекачується, не більше – 180 °С.

Електродвигун – АТ3-3155-2.

Потужність – 160 кВт.

Маса електродвигуна – 1054 кг.

Насос складається з корпусу, ротора й підшипників. Корпус насоса литий, чавунний, з горизонтальним рознімання. Вхідний і напірний патрубки розташовані в нижній частині корпуса, перпендикулярно осі насоса й спрямовані в протилежні сторони. Ротор насоса складається з вала й насадженого на нього робочого колеса двостороннього входу діаметром 250 мм. Опорами вала служать радіальні підшипники. Охолодження підшипників здійснюється водою, що проходить через камери підшипників. З'єднання вала насоса з валом електродвигуна здійснюється за допомогою пружної муфти.

Насоси підживлення тепломережі відцентрові, горизонтальні типу 3К-6 призначені для поповнення витоків сітьової води.

Кількість насосів – 2 шт.

Продуктивність – 45 $м^3$/год.

Напір – 54 м. вод. ст.

Кількість обертів – 2900 об/хв.

Споживана потужність –10,5 кВт.

Маса насоса – 193 кг.

Електродвигун – АТ2-61-2.

Потужність – 17 кВт.

Напруга – 380 В.

Маса електродвигуна – 165 кг.

Насос складається з корпусу, завитка, вала, робочого колеса. Корпус насоса чавунний, литий. У передній частині корпуса є кронштейн для приєднання завитка. Установлення вала в корпусі здійснюється на двох підшипниках, що обертаються в масляній ванні. Завиток насоса чавунний, прикріплений до кронштейна на шпильках діаметром 16 мм, має напірний патрубок діаметром 50 мм. Усередині завитка розташоване робоче колесо, що складається з двох дисків, з'єднаних лопатками. До передньої частини завитка прикріплений всмоктувальний патрубок діаметром 80 мм.

Трубопроводи теплофікаційної установки:

- трубопровід пари до ПСВ-200У умовним діаметром 400 мм;

- трубопровід пари до ПСВ-200У №1, 2 умовним діаметром 300 мм;

- конденсатопроводи від ПСВ-200У до деаераторів умовним діаметром 200 мм;

- прямі й зворотні трубопроводи сітьової води в межах ПРК умовним діаметром 400 мм;

- трубопроводи сітьової води до охолоджувача конденсату умовним діаметром 200 мм;

- трубопроводи сітьової води від будинку ПРК до ЦТРП умовним діаметром 500 мм;

- трубопроводи сітьової води від будинку ПРК на перший проммайданчик умовним діаметром 400 мм;

- трубопроводи сітьової води на базу Орса умовним діаметром 400 мм;

- трубопроводи сітьової води на "Буддвір" умовним діаметром 300 мм.

Теплова схема АЕС дозволяє відпускати теплову енергію з ТФУ ПРК або на центральний теплорозподільчий пункт (ТРП), або абонентам тепломережі – на "Буддвір", базу Орса, тепличне господарство (ПСХ), проммайданчик.

2.1.3. Деаераційно-живильна установка

Деаераційно-живильна установка (ДЖУ) ПРК призначена для видалення розчинених газів з живильної води й подачі її на живлення котлів і підживлення тепломережі. Видалення розчинених газів з живильної води засновано на властивості газів знижувати свою розчинність при підвищенні температури води. При температурі кипіння води розчинність газів практично дорівнює нулю. Термічна деаерація живильної води є основним методом боротьби з корозією металу теплосилового устаткування.

Вміст кисню (O_2) у живильній воді парових котлів ГМ-50-14-250 не повинне перевищувати 100 мкг/л, для підживлення теплових мереж – 50 мкг/л. Вуглекислота (CO_2) має бути відсутня.

Необхідні умови найбільш повного видалення розчинених газів:

- підтримання температури в деаераторі близько до температури насичення при даному тиску;

- забезпечення відведення газів, що виділилися з води;

- дотримання принципу противотечії води, що деаерується, і пари.

Ці умови найбільше точно дотримуються в термічних деаераторах з колонками атмосферного типу.

При одночасній роботі на ПРК двох і більше котлів рекомендується використовувати для деаерації живильної води одночасно два деаератори. При цьому деаератори з'єднуються по воді і парі й працюють як один деаератор. При роботі одного котла можливе використання деаератора № 1 (Д-1) для підготовки живильної води котла, а деаератора № 2 (Д-2) – для підготовки води на підживлення тепломережі. У цьому випадку передбачається підживлення деаератора № 2 частково зм'якшеною водою по трубопроводу діаметром 150 мм із хімічного цеху.

Контроль за роботою деаератора здійснюється з центрального теплового щита (ЦТЩ) ПРК по приладах на панелі котла № 1.

До складу ДЖУ входять:

- деаератори атмосферного тиску (Д-1, 2) – 2 шт;

- охолоджувач випару ОВА-16 – 2 шт;

- живильні електронасоси (ПЭН-1-5) – 5 шт.

Основні характеристики деаератора ДСА-150:

- тип деаератора ..……..... атмосферний, змішувальний;
- номінальна продуктивність……150 т/год;
- робочий тиск (абсолютний)……..…….....0,12 МПа (1,2 кгс/см^2) ;
- температура деаерованої води...……. ....104 ^{o}С;
- корисна місткість бака-акумулятора…… .....50 м^3.

Деаератор ДСА-150 (рис.2.2) складається з горизонтального бака-акумулятора діаметром 3020 х 10 мм і довжиною L = 6800 мм з двома конічними днищами, у верхній частині якого розташована деаераційна колонка діаметром 1216 × 8 мм і висотою Н = 1500 мм зі сферичним днищем.

На баку є два люки діаметром 800 мм зі сходами для внутрішнього огляду. Міцність конструкції бака-акумулятора забезпечується ребрами жорсткості. У нижній частині бака розташований барботажний пристрій, виконаний з легованої сталі Х18Н10Т. Барботажний пристрій складається з верхнього короба, розділеного перегородками, і нижнього з барботажною решіткою у верхній частині. У решітці є один отвір діаметром 300 мм для підведення пари по трубі діаметром 250 мм і 1035 отворів діаметром 6 мм, через які пара барботується крізь воду. Відбір пари на барботажний пристрій здійснюється після РОУ-14/7. Для регулювання тиску пари в корпусі деаератора і підтримки температури 104 ^{o}С на паропроводі установлений клапан-регулятор. Деаераційна колонка у верхній частині має змішувальний лоток висотою 200 мм, дві дірчасті тарілки діаметром 1000 мм (верхню і нижню), виконані з легованої сталі Х13. Верхня тарілка має центральний отвір діаметром 400 мм для виходу парогазової суміші й отвори діаметром 6 мм для проходу води. Нижня тарілка центрального отвору не має. У верхній частині сферичного днища колонки є штуцер для відводу парогазової суміші діаметром 50 мм.

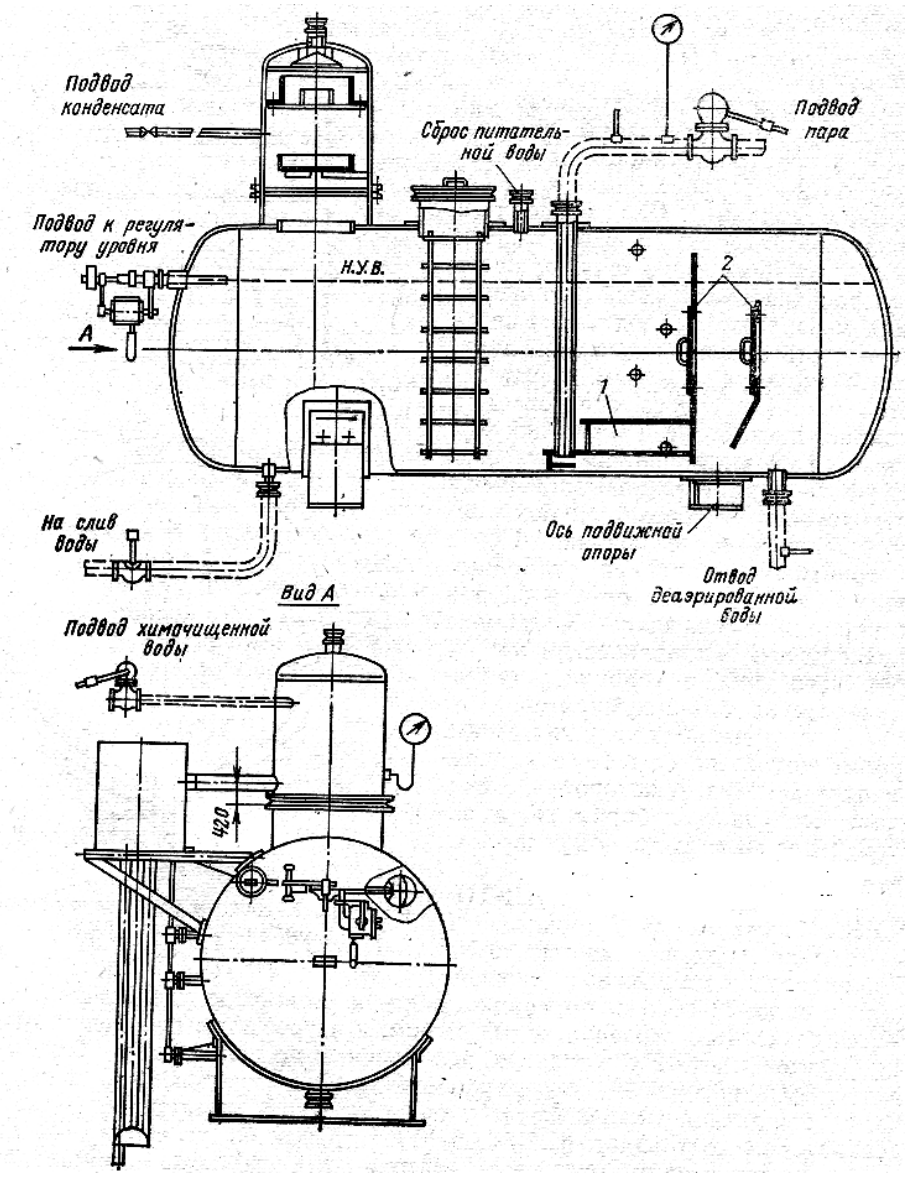


Рис. 2.2. Деаератор з колонкою та барботажним пристроєм

2.1.4. Установка хімводоочищення (ХВО)

Установка ХВО ПРК призначена для обробки і пом'якшення просвітленої води за схемою двоступеневого Na-катіонування для постачання котлів ПРК живильною водою й теплових мереж підживлювальною водою. Продуктивність установки ХВО 45 м^3/год. До комплексу ХВО входять установки для корекційної обробки живильної води.

Живлення установки ХВО ПРК здійснюється просвітленою водою по трубопроводу діаметром 108 мм , прокладеного по естакаді. В аварійних випадках передбачене живлення водопровідною водою з водопроводу.

Як фільтрувальний матеріал на установках хімводоочищення для обробки води застосовуються іонообмінні смоли (іоніти). Іоніти являють собою висо-

комолекулярні полімерні сполуки тривимірної гелевої і макропористої структури, що містять у собі функціональні групи основного або кислотного характеру. Залежно від змісту функціональних груп (кислотний або основний) і напрямку протікання реакції обміну (катіонна або аніонна) іоніти підрозділяються на аніоніти й катіоніти. У якості фільтрувального обмінного матеріалу на ХВО ПРК використовується катіоніт марки КУ-2-8.

Обробка води шляхом Na-катіонування полягає у фільтруванні через шар катіоніту, що містить обмінні катіони натрію. Катіонуванням називається процес обміну катіонів між речовинами, розчинними у воді, й твердою нерозчинною речовиною, яка занурена у цю воду й називається катіонітом. При фільтруванні твердої води через шар натрій-катіоніту відбувається обмін катіонів натрію (Na) на катіони кальцію (Ca) і магнію (Mg).

Процес протікає за такими реакціями:

$$2Na\ кат. + Ca(HCO_4)_2 = Ca\ кат._2 + 2NaHCO_3$$

$$2Na\ кат. + Mg(HCO_4)_2 = Mg\ кат._2 + 2NaHCO_3$$

$$2Na\ кат. + CaCl_2 = Ca\ кат._2 + 2NaCl$$

$$2Na\ кат. + MgSO_4 = Mg\ кат._2 + Na_2SO_4$$

де кат. – складний комплекс катіоніту, нерозчинний у воді, що виконує роль багатовалентного аніоніту.

При Na-катіонуванні змінюється тільки катіонний склад оброблюваної води. Присутні в ній аніони HCO^{3-}, $S0^{4-}$, Cl^{5-}, NO^{3-} переходять у зм'якшену воду. Отже, лужність не зменшується, що є недоліком Na-катіонного процесу. Відбувається більш-менш повна заміна катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} натрієм (Na), внаслідок чого твердість води знижується до 10 … 15 мкг-екв /кг, сухий залишок трохи зростає. Після заміни всіх обмінних катіонів Na катіонами Ca і Mg катіоніт виснажується, втрачає здатність по’мякшувати воду і підлягає регенерації.

Процеси іонного обміну оборотні, тому при високій концентрації іонів Na у розчині, реакція йде у зворотному напрямку.

$$Ca^{2+}кат.^{2-} + nNa = 2Na^{+}\ кат\ 5\text{-}0 + (n\text{-}2)Ca^{2+}.$$

Цей процес використається для регенерації виснаженого катіоніту шляхом витиснення з нього раніше поглинених іонів Ca^{2+} й Mg^{2+} концентрованим розчином NaCl.

До складу устаткування ХВО ПРК входять підігрівники сирої води, Na-катіонітові фільтри, насоси хімочищеної води, насоси розчину солі, насоси розпушення фільтрів, дренажний насос, реагентне і бакове господарство, трубопроводи й арматури.

Підігрівники сирої води, установлені на ХВО ПРК у кількості 2 шт., призначені для попереднього підігріву початкової просвітленої або питної води, що подається на Na-катіонітові фільтри. Підігрів води до температури від 30 до 40 °С підвищує ефективність процесу зм'якшення. Підігрівник являє собою двоходовой теплообмінник горизонтального типу, жорсткої конструкції, що складається з корпусу, у якому розташована трубна система, і двох кришок. Внутрішній діаметр обичайки 273 мм, товщина 7 мм. Усередині корпуса розташовані дві трубні дошки із розвальцьованими в них трубками з латуні марки ЛО-70-1 довжиною 2000 мм і діаметром 14 × 1 мм площею поверхні нагрівання 37 $м^2$. Трубні дошки приварені до корпуса. Передня кришка має два штуцери для входу й виходу води, що нагрівається. Робочий тиск пари в корпусі 6,2 $кгс/см^2$ при температурі до 180 °С, а води в трубній частині 7 $кгс/см^2$ при температурі не нижче плюс 5 °С и не вище плюс 40 °С. Конденсат пари спрямовується до деаераторів ПРК. Продуктивність підігрівника 50 т/год.

Установка хімводоочищення ПРК виконана за двоступінчастою схемою, що включає два фільтри типу БИКЗ-ХВ-040-2 (ФИПа-1,5-0,6-Na) і чотири фільтри типу Д2000-ТКЗ-08-8135002 (ФОВ-2,0-0,6) першого ступеня і три фільтри типу БИКЗ-ХВ-040-2 другого ступеня. Діаметр фільтра Д2000-ТКЗ-08-8135002 становить 2000 мм, БИКЗ-ХВ-040-2 – 1500 мм.

Na-катіонітовий фільтр складається з корпусу, нижнього і верхнього розподільного пристрою, трубопроводів і запірної арматури, пробовідбірного пристрою і фільтруючого завантаження. Корпус фільтра циліндричний, зварений, товщиною 8 мм для БИКЗ-ХВ-040-2 і 10 мм для Д2000-ТКЗ-08-

8135002 із привареними еліптичними днищами. Він обладнаний двома лазами: верхнім еліптичним, розміром 420 ´ 320 мм і нижнім, круглим, діаметром 450 мм. На рівні нижнього розподільного пристрою в корпусі фільтра є штуцер діаметром 80 мм для гідравлічного вивантаження фільтруючого матеріалу. Верхній розподільний пристрій призначений для підведення оброблюваної води, регенераційного розчину і збору розпушувальної води. Воно складається із заглушеного знизу вертикального колектора з отворами, у які радіально вставлені розподільні труби. Розподільні труби мають отвори, розташовані в шаховому порядку у два ряди на кожній трубі. Нижній розподільний пристрій призначений для рівномірного збору фільтрату, регенераційного розчину і розподілу розпушувальної води. Воно являє собою колектор колектор діаметром 80 мм із розподільними трубами діаметром 35 ´ 5 мм, до яких приварюються штуцера, на які нагвинчуються щілинні ковпачки загальною кількістю 40 штук. Нижнє днище фільтра під розподільним пристроєм залито бетоном. Трубопроводи і запірна арматури розташовані по фронті фільтра і дозволяють робити всі необхідні перемикання потоків води і регенераційного розчину. Пробовідбірний пристрій розміщений по фронті фільтра і складається із трубок, з'єднаних із трубопроводами, що підводять воду. Кожний фільтр обладнаний витратомірною діафрагмою камерного типу для вимірювання витрати води.

У якості насосів хімочищеної води на ХВО ПРК застосовані насоси типу 3К-6 у кількості 3 шт. Насоси призначені для перекачування хімочищеної води в деаератори ПРК із баків запасу хімочищеної води. Тип насоса – відцентровий, консольний, одноступінчастий з горизонтальним осьовим підведенням води і призначений для подачі води й неагресивних рідин зі схожою з водою в'язкістю з температурою до 85 °С. Продуктивність насоса 45 $м^3$/год, напір становить 54 м вод. ст., число оборотів 2900 об/хв. Споживана потужність 10,5 кВт, ККД не менш 63 %. Маса насоса 193 кг. Електродвигун короткозамкнений асинхронний типу АТ2-61-2 потужністю 17 кВт, напругою 380В. Маса електродвигуна 165 кг.

Насос складається з корпусу, завитка, вала, робочого колеса. Корпус насоса та робоче колесо литі з чавуну марки СЧ 18-36 і СЧ 15-32 відповідно. Вал виконаний з конструкційної сталі 35.

Для промивання і розпушення Na-катіонітових фільтрів використовуються насоси розпушення фільтрів (НВФ) типу 6К-12. Подача насоса 162 $м^3$/год., напір 20 м вод. ст., ККД не менш 81 %, електродвигун типу А2-61-4, потужністю 13 кВт, кількість обертів електродвигуна 1450 об./ хв. За пристроєм ідентичний до насоса типу 3К-6.

В якості насосів для перекачування розчину солі на регенерацію фільтрів застосовані насоси типу Х8/30К-2Г. Насос типу Х – хімічний, горизонтальний, консольний з безпосереднім приводом через пружну муфту. Призначений для перекачування хімічно активних і нейтральних рідин густиною до 1850 кг/$м^3$, температурою від мінус 40 до плюс 90 °С з вмістом твердих включень об'ємною концентрацією не більше 0,1 %, розміром не більше 0,2 мм. Продуктивність насоса 8 $м^3$/год, напір 30 м. вод. ст., ККД не менш 43 %, частота обертання 2900 об./хв.

Для видалення стоків із дренажного приямка машинного залу встановлений дренажний насос (ДН) НЦС-3 продуктивністю 36 $м^3$/год, напір 15,5 м вод. ст., з електроприводом типу АТ2-32-2, потужністю 4 кВт. Насос НЦС-3 – відцентровий, самовсмоктувальний, одноступінчастий, однобічного входу.

Реагентне господарство включає чарунки солі, розташовані на відкритій площадці, та вузол розчину солі. Чарунки солі розділяються на «брудну» і «чисту». «Брудна» служить для завантаження солі, її розчинення, барботажу повітрям і парою, створення концентрованого розчину, його освітлення, а друга, «чиста» – для збирання освітленого концентрованого розчину. Вузол розчину солі складається з фільтра сольового розчину, насосів розчину солі й вимірника. Фільтр солі, вимірника й ежектор служать відповідно для очищення розчину солі, вимірювання його кількості й приготування регенераційного розчину. Вимірник солі являє собою циліндричну ємність висотою 1675 мм, діаметром 1745 мм, обсягом 4 $м^3$ з конічним днищем.

Бакове господарство складається з двох вертикальних, сталевих резервуарів для зберігання запасу хімочищеної води. Об’єм кожного 100 м^3. Матеріал ст3пс6. Висота 6730 мм, діаметр 4800 мм, товщина обичайки БХОВ-1 становить 6 мм, БХОВ-2 – 4 мм. Баки мають два люки для проведення огляду та ремонту – верхній і бічний діаметром 800 мм. Зовні баки вкриті тепловою ізоляцією. Усередині баків установлений протекторний захист від електрохімічної корозії й нанесене антикорозійне покриття. Кожний бак має дренажну засувку діаметром 80 мм і переливний трубопровід діаметром 159 мм. Максимальний рівень наливу становить 6,3 м. Баки сполучаються один з одним через всмоктувальні колектори насосів хімочищеної води.

2.1.5. Тягодуттьові машини

До тягодуттьових машин відносяться дуттьові вентилятори та димососи. Дуттьові вентилятори призначені для подачі повітря до топкових пристроїв котла, а димососи – для створення розрідження і видалення газів з газового тракту котла. Димососи від вентиляторів відрізняються більшою товщиною лопаток робочого колеса. Основні технічні характеристики димососів і дуттьових вентиляторів ПРК наведені в таблиці 1.

Вентилятор і димосос складаються з наступних вузлів: електропривода, ходової частини, робочого колеса, завитка, напрямного апарата. Як електропривод використовуються асинхронні електродвигуни, змонтовані на спільній рамі з ходовою частиною і з'єднані з нею через кільцеву муфту. За місцем розташування електродвигунів димососа й вентилятора є кнопка для аварійної зупинки. Ходова частина призначена для передачі обертального моменту від електродвигуна до робочого колеса і складається з литого корпусу, вала, двох підшипників і еластичної муфти. У корпусі ходової частини передбачена порожнина, що заповнюється маслом. Робочі колеса тягодуттьових машин зварної конструкції.

Таблиця 2.1

Характеристики тягодуттьових пристроїв

Технічні характеристики	Найменування пристрою	
	Димосос	Дуттьовий вентилятор
Марка	ДН-19	ВДН-15
Тип пристрою	відцентровий	відцентровий
Напір, кПа	4,62	3,5
Подача, $м^3$/год.	105×10^3	50×10^3
ККД, %	85	83
Діаметр робочого колеса, мм	1900	1550
Температура середовища, °С	не більше 250	не більше 80
Тип електродвигуна	АОЗ-355-М6-УЗ	А02-92-6
Напруга, В	380	380
Потужність, кВт	200	90
Кількість обертів, об./хв.	750	1000
Маса (без електродвигуна), кг	4100	2495
Спосіб регулювання	осьовий напрям-ний апарат	осьовий напрямний апарат

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОЇ ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ

3.1. Мета розрахунку теплової схеми.

Розрахунок теплової схеми пуско-резервної котельні АЕС виконується у зв'язку з її реконструкцією: заміною парових повітряних калориферів на газові дробопотокові повітропідігрівники, а також підвищенням температури підігрівання мазуту до 200 ^{o}C, для чого передбачається встановлення додаткових парових мазутопідігрівників. Розрахунок виконується для зимового режиму роботи котельні з метою визначення максимального навантаження котельних агрегатів, яке складається з витрат пари на зовнішні споживачі (технологічні потреби АЕС, опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання) та внутрішні потреби котельні (підігрівники сирої води перед водопідготовкою, деаератори, підігрівання мазуту та втрати).

3.2. Розрахунок теплової схеми пуско-резервної котельні АЕС для зимового режиму роботи.

Витрата пари на технологічні потреби АЕС (задано), кг/с,	$D_{т.п} = 22,2.$
Теплова потужність теплофікаційної установки (ТФУ) АЕС (задано), кВт,	$Q_{тфу} = 36000.$
Температура живильної води, ^{o}C, (задано)	$t_{ж.в} = 104.$
Тиск у деаераторі (абсолютний), МПа, (задано)	$P_{д} = 0,12.$
Ентальпія живильної води (з табл. води і пари), кДж/кг,	$i_{ж.в} = 439.$
Ентальпія гріючої пари деаератора, (задано), кДж/кг,	$i_{д} = 2763.$
Ентальпія гріючої пари підігрівників сітьової води (ПСВ), кДж/кг, (задано),	$i_{псв} = 2923.$
Ентальпія гріючої пари підігрівників сирої води (ПВ), кДж/кг, (задано),	$i_{пв} = 2923.$
Температура конденсату після ПСВ та ПВ, ^{o}C, (прийнято)	$t_{к} = 85.$

Ентальпія конденсату після ПСВ та ПВ, кДж/кг,	$i_к = 356.$
Витрата пари на ПСВ, кг/с, $D_{псв} = \frac{Q_{тфу}}{(i_{псв} - i_к) \cdot 0{,}98}$,	$D_{псв} = 14{,}31.$
Кількість конденсату після ПСВ, кг/с, $G_{к.псв} = D_{псв}$,	$G_{к.псв} = 14{,}31.$
Температура сітьової води на вході до ПСВ, °С, (задано)	$t_{псв.вх} = 110.$
Температура сітьової води на виході з ПСВ, °С, (задано)	$t_{псв.вих} = 150.$
Теплоємність сітьової води, кДж/(кг·К),	$c_{псв} = 4{,}226.$
Витрата сітьової води, кг/с, $G_{псв} = \frac{Q_{тфу}}{c_{псв} \cdot (t_{псв.вих} - t_{псв.вх})}$,	$G_{псв} = 212{,}967.$
Кількість води для підживлення теплової мережі (1,5 % від витрати сітьової води), кг/с, $G_{підж.т.м} = 0.015 \cdot G_{псв}$,	$G_{підж.т.м} = 3{,}19$
Частка конденсату, що повертається від технологічних споживачів пари, (задано),	$\mu = 0{,}7.$
Кількість конденсату від технологічних споживачів пари, що втрачається, кг/с, $G_{к.втр} = (1 - \mu) \cdot D_{т.п}$,	$G_{к.втр} = 6{,}66.$
Кількість конденсату від технологічних споживачів пари, що повертається, кг/с, $G_{к.пов} = D_{т.п} - G_{к.втр}$,	$G_{к.пов} = 15{,}54.$
Сумарна витрата пари на технологічні потреби АЕС та на ПСВ ТФУ, кг/с, $D_{сум} = D_{т.п} + D_{псв}$,	$D_{сум} = 36{,}51.$
Витрата пари на деаератор та підігрівання сирої води у ПВ перед хімводоочищенням (приймається попередньо), кг/с, $D_{д.пв} = 0{,}08 \cdot D_{сум}$,	$D_{д.пв} = 2{,}921.$
Витрата пари на підігрівання мазуту і внутрішні втрати пари у котельні (прийнято), кг/с, $D_{мх.втр} = 0{,}04 \cdot D_{сум}$,	$D_{мх.втр} = 1{,}46.$
Сумарна кількість пари, яку мають виробляти котельні агрегати, кг/с, $D_{к.у} = D_{сум} + D_{д.пв} + D_{мх.втр}$,	$D_{к.у} = 40{,}892.$
Паропродуктивність одного котельного агрегата ГМ-50-14, кг/с,	$D_{к.а} = 13{,}889.$
Кількість котельних агрегатів пускорезервної котельні (без урахування резервного котла) $n = \frac{D_{к.у}}{D_{к.а}}$	$n = 2{,}944.$
Прийнята кількість котельних агрегатів пускорезервної	

котельні (без урахування резервного котла)	$n_{пр} = 3.$
Величина продувки (прийнято), кг/с,	$p_{пр} = 3.$
Витрата продувальної води, кг/с, $G_{пр} = p_{пр} \cdot \frac{D_{к.у}}{100}$,	Gпр = 1.227.
Ентальпія котлової води при тиску у котлі 1,4 МПа (з табл. води і пари), кДж/кг,	$i_{пр} := 830,1.$
Ентальпія насиченої пари при тиску у сепараторі неперервного продування 0,15 МПа (з табл. води і пари), кДж/кг,	$i_{п.сеп} = 2693,9.$
Ентальпія насиченої води при тиску у сепараторі неперервного продування 0,15 МПа (з табл. води і пари), кДж/кг,	$i_{в.сеп} = 467,1.$
Ступінь сухості пари на виході з сепаратора неперервного продування (прийнято)	$x_{п.р} = 0,98.$
Витрата пари на виході з сепаратора неперервного продування, кг/с, $D_{сеп} = \frac{G_{пр} \cdot (i_{пр} - i_{в.сеп})}{x_{п.р} \cdot (i_{п.сеп} - i_{в.сеп})}$,	$D_{сеп} = 0,204.$
Кількість води, яка видаляється з сепаратора неперервного продування, кг/с, $G_{в.сеп} = G_{пр} - D_{сеп}$,	$G_{в.сеп} = 1,023.$
Кількість живильної води, яка надходить до котлів, кг/с, $G_{ж.в} = D_{к.у} + G_{в.сеп}$,	$G_{ж.в} = 41,914.$
Загальна кількість води на виході з деаератора (живильна вода + вода для підживлення теплової мережі), кг/с, $G_{д} = G_{ж.в} + G_{підж.т.м}$,	$G_{д} = 45,109.$
Кількість випару з деаератора (прийнято 0,4 % від витрати води через деаератор), кг/с, $D_{вип} = 0,004 \cdot G_{д}$,	$D_{вип} = 0,18.$
Продуктивність хімводопідготовки, кг/с, $G_{хво} = G_{к.втр} + G_{в.сеп} + G_{підж.т.м} + D_{мх.втр} + D_{вип}$,	$G_{хво} = 12,518.$
Витрата сирої води на хімводоочищення, кг/с, $G_{с.в} = 1,15 \cdot G_{хво}$,	$G_{с.в} = 14,396.$
Температура сирої води перед хімводоочищенням (за підігрівником сирої води),(прийнято), °С,	$t_{с.в.хво} = 30.$
Температура сирої води перед підігрівником сирої води,	

(прийнято), °С, $t_{с.в.під} = 5$.

Теплоємність сирої води, кДж/(кг·К), $c_{рс.в} = 4{,}19$.

Коефіцієнт, що враховує втрати теплоти підігрівниками сирої води, (прийнято), $\eta_{пв} = 0{,}98$.

Витрата пари на підігрівники сирої води, кг/с,

$$D_{пв} = \frac{G_{с.в} \cdot c_{рс.в} \cdot (t_{с.в.хво} - t_{с.в.під})}{\eta_{пв} \cdot (i_{пв} - i_к)},$$ $D_{пв} = 0{,}599$.

Температура води після хімводоочищення, °С,

$t_{п.хво} = t_{с.в.хво} - 2$, $t_{п.хво} = 28$.

Ентальпія води після підігрівника хімочищеної води, яка скидається до каналізації, (прийнято), кДж/кг, $i_{в.кан} = 147$.

Температура води після підігрівника хімочищеної води, °С, $t_{п.п.хво} = t_{п.хво} + \frac{G_{в.сеп}}{G_{хво} \cdot c_{рс.в}} \cdot (i_{в.сеп} - i_{в.кан}) \cdot \eta_{пв}$, $t_{п.п.хво} = 34{,}117$

Ентальпія випару при тиску у деаераторі 0,12 МПа (з табл. води і пари), кДж/кг, $i_{вип} = 2684$.

Температура хімочищеної води після охолодника випару з деаератора, °С, $t_{в.ох.вип} = t_{п.п.хво} + \frac{D_{вип} \cdot (i_{вип} - i_к)}{G_{хво} \cdot c_{рс.в} \cdot \eta_{пв}}$, $t_{в.ох.вип} = 42{,}289$

Ентальпія хімочищеної води після охолодника випару, кДж/кг, $i_{хво} = c_{рс.в} \cdot t_{в.ох.вип}$, $i_{хво} = 177{,}189$.

Витрата пари на деаератор з рівняння теплового балансу, кг/с, $D_д = \frac{G_д \cdot i_{ж.в} + D_{вип} \cdot i_{вип}}{i_д} - \frac{D_{сеп} \cdot i_{п.сеп} + (G_{к.пов} + D_{псв} + D_{пв}) \cdot i_к + G_{хво} \cdot i_{хво}}{i_д}$ $D_д = 2{,}417$.

Перевірка: сумарна витрата пари на деаератори і підігрівники сирої води, кг/с, $D_{д.пв.пер} = D_д + D_{пв}$, $D_{д.пв.пер} = 3{,}017$

Розбіжність (має бути не більше 3...5 %):

$$\Delta D_{д.пв} = \frac{D_{д.пв.пер} - D_{д.пв}}{D_{д.пв}} \cdot 100,$$ $\Delta D_{д.пв} = 3{,}285$.

3.3. Результати розрахунку теплової схеми пуско-резервної котельні

Продуктивність деаераторів (живильна вода + вода для підживлення теплової мережі), кг/с (т/год), $G_д = 45,109.$

Витрата пари на деаератори, кг/с (т/год), $D_д = 2,417.$

Витрата пари на підігрівники сітьової води ПСВ, кг/с (т/год), $D_{псв} = 14,31.$

Витрата пари на підігрівники сирої води ПВ, кг/с (т/год), $D_{пв} = 0,599.$

Витрата сирої води на хімводоочищення, кг/с, $G_{с.в} = 14,396.$

Температура сирої води перед підігрівником сирої води, ^oC, $t_{с.в.під} = 5.$

Температура сирої води за підігрівником сирої води, ^oC, $t_{с.в.хво} = 30.$

Температура води після підігрівника хімочищеної води, ^oC, $t_{п.п.хво}= 34,117$

Температура хімочищеної води на вході до деаератора, ^oC, $t_{в.ох.вип}= 42,289$

Температура підігрівання мазуту до реконструції, ^oC, $t_{пал} = 100.$

Температура підігрівання мазуту після реконструції, ^oC, $t_{пал.р} = 200.$

Середня теплоємність мазуту, кДж/(кг·К),

$C_{пал} = (1,74 + 0,0025 \cdot t_{пал})$, $C_{пал} = 1,99.$

$C_{пал.р} = (1,74 + 0,0025 \cdot t_{пал.р})$ $C_{пал.р} = 2,24.$

Витрата мазуту на один котел, кг/с, $B = 0,958.$

Нижча теплота згоряння палива (високосірчистий мазут), кДж/кг, $Q_{iг} = 38800.$

Витрата пари на підігрівання мазуту до реконструкції, кг/с (т/год), $D_{пал} = \frac{n \cdot B \cdot C_{пал} \cdot [t_{пал} - (-10)]}{(i_{пв} - i_к) \cdot 0,98}$, $D_{пал} = 0,245.$

Витрата пари на підігрівання мазуту після реконструкції, кг/с (т/год), $D_{пал.р} = \frac{n \cdot B \cdot C_{пал.р} \cdot [t_{пал.р} - (-10)]}{(i_{пв} - i_к) \cdot 0,98}$, $D_{пал.р} = 0,527.$

Збільшення витрати пари на підігрівання мазуту після реконструкції, кг/с (т/год), $\Delta D_{зб} = D_{пал.р} - D_{пал}$, $\Delta D_{зб} = 0,282.$

Теплова потужність одного парового калорифера (задано), кВт, $N_{пк} = 860.$

Витрата пари на парові калорифери (до реконструкції), кг/с

(т/год), $D_{\text{п.к}} = \frac{n \cdot N_{\text{пк}}}{(i_{\text{пв}} - i_{\text{к}}) \cdot 0{,}98}$, $D_{\text{п.к}} = 1{,}006$.

Зменшення витрати пари у зв'язку з демонтажем парових повітряних калориферів, кг/с (т/год), $\Delta D_{\text{зм}} = D_{\text{п.к}}$ $\Delta D_{\text{зм}} = 1{,}006$.

Зменшення витрати пари на власні потреби котельні після реконструкції, кг/с (т/год), $\Delta D_{\text{ку}} = \Delta D_{\text{зм}} - \Delta D_{\text{зб}}$, $\Delta D_{\text{ку}} = 0{,}725$.

Збільшення ККД нетто котельні після реконструкції, %,

$\Delta\eta_{\text{нетто}} = \frac{100 \cdot \Delta D_{\text{ку}} \cdot (i_{\text{псв}} - i_{\text{ж.в}})}{n \cdot B \cdot Q_{ir}}$, $\Delta\eta_{\text{нетто}} = 1{,}645$

РОЗДІЛ 4. РЕКОНСТРУКЦІЯ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ

4.1. Розробка та опис заходів з реконструкції котла

Перевірочний тепловий розрахунок виконується у зв'язку з реконструкцією котельного агрегату. Замість парового повітряного калорифера передбачається використовувати для попереднього підігрівання повітря до 90 ^{o}C для запобігання низькотемпературній корозії основного повітропідігрівника газового дробопотокового регенеративного повітропідігрівника, схема якого наведена на рис. 4.1.

Дробопотоковий повітропідігрівник складається з паралельно працюючих елементів з проміжним теплоносієм (чавунний дріб діаметром 5 мм). Як у газовому, так і у повітряному об'ємі кожен елемент утворений двосторонніми жалюзями *1*, які штампуються з листової сталі. Газові і повітряні жалюзійні решітки сполучені ущільнювальним коробом *2*. У нижній частині повітряних жалюзей встановлюється нижній бункер з підпірним живильником *3*. Секторний живильник сполучений спеціальними тічками із завантажувальним пристроєм підйомника. Розвантажувальний пристрій останнього сполучається з верхнім бункером.

Простір від верхнього до нижнього бункера засипається чавунним дробом, що поставляється промисловістю для дробоочисних установок котлоагрегатів. При роботі потік дробу під дією сили тяжіння рухається одночасно по всій висоті і ширині повітропідігрівника відносно нерухомих жалюзей. У зв'язку з малими швидкостями дробу (0,01 … 0,02 м/с)) знос дробу і жалюзей незначний. Стовп дробу в ущільнювальному коробі заввишки близько 1000 мм запобігає перетіканню холодного повітря в димові гази. Транспорт дробу здійснюється ковшовим елеватором або пневмотранспортером.

Важливим чинником, що визначає розміри, інтенсивність тепло - масообміну, опір шару по газовій і повітряній сторонах дробопотокового повітропідігрівника, є матеріал набивки. Чавунні і керамічні насадки діаметром 5 … 7мм мають найкращі показники (висока теплоємність і теплопровідність, низька термокорозійність, низька вартість, висока міцність і зносостійкість).

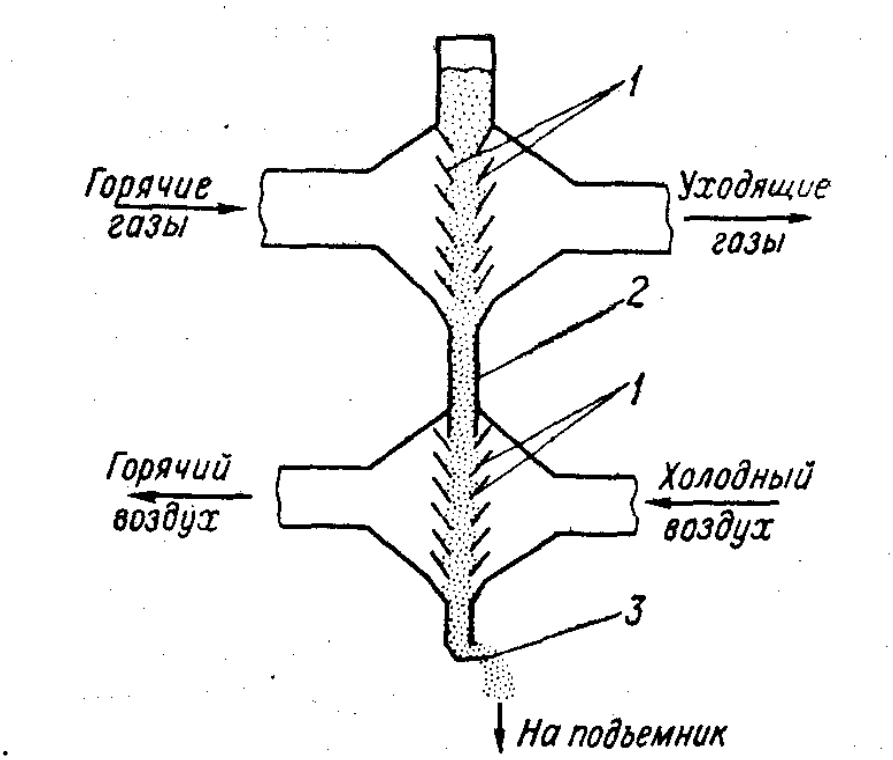


Рис. 4.1. Принципова схема дробопотокового регенеративного повітропідігрівника

Перевага такої конструкції повітропідігрівника – надійність роботи при спалюванні високосірчистого мазуту. Крім того, відпадає необхідність попереднього підігрівання повітря у зовнішньому паровому калорифері, де витрата пари на кожний калорифер становить 1,3 т/год (кількість калориферів – 8 шт.). Це дозволить також підвищити економічність роботи котельної установки.

При реконструкції котельного агрегату дробопотоковий повітропідігрівник буде змонтований на перепускному газоході між основним повітропідігрівником та економайзером.

4.2. Тепловий розрахунок котла на номінальному навантаженні

4.2.1. Початкові дані до розрахунку:

паропродуктивність котла, кг/с, D = 13,889.

тиск пари у пароводяному барабані, МПа,	$p_б$ = 1,4.
температура живильної води перед економайзером, °С,	$t_{ж.в}$ = 100.
температура перегрітої пари, °С,	$t_{п.п}$ = 250.
температура гарячого повітря, °С,	$t_{г.пов}$ = 180.
нижча теплота згоряння палива (високосірчистий мазут), кДж/кг,	Q_{ir} = 38800.

4.2.2. Конструктивні характеристики парового котла ГМ-50-14-250 [15]

Топка:

об'єм топкової камери, $м^3$,	$V_т$ = 133.
поверхня стін топкової камери, $м^2$,	$F_{ст.т}$ = 162.
променесприймальна поверхня, $м^2$,	$F_{пр.т}$ = 140.

Фестон:

поверхня нагріву, $м^2$,	$F_ф$ = 30.
діаметр труб, м,	$d_ф$ = 0,060.
крок труб, м:	
поперечний	$s_{1ф}$ = 0,210.
поздовжній	$s_{2ф}$ = 0,100.
кількість рядів	$z_{2ф}$ = 3.
розташування труб	шахове
переріз для проходу газів, $м^2$,	$f_ф$ = 9,0.

Конвективний (котельний) пучок:

поверхня нагріву, $м^2$,	$F_{к.п}$ = 344.
діаметр труб, м,	$d_{к.п}$ = 0,060.
крок труб, м:	
поперечний	$s_{1к.п}$ = 0,090.
поздовжній	$s_{2к.п}$ = 0,120.
кількість рядів	$z_{2к.п}$ = 14.
розташування труб	шахове
переріз для проходу газів, $м^2$,	$f_{к.п}$ = 3,7.

Пароперегрівник:

поверхня нагріву, $м^2$	$F_{пп} = 165.$
діаметр труб, м,	$d_{пп} = 0,032.$
товщина труб, м,	$\delta_{пп} = 0,003$
крок труб, м:	
поперечний	$s_{1пп} = 0,075.$
поздовжній	$s_{2пп} = 0,075.$
кількість змійовиків	$z_{зм.пп} = 133.$
кількість труб у ряді	$z_{1пп} = 67.$
кількість рядів	$z_{2пп} = 20.$
розташування труб	шахове
переріз для проходу газів, $м^2$,	$f_{пп} = 3,7.$

Повітропідігрівник трубчастий:

поверхня нагріву, $м^2$,	$F_{тр.повп} = 496.$
діаметр труб, м,	$d_{тр.повп} = 0,040.$
товщина труб, м,	$\delta_{тр} = 0,0016.$
крок труб (з боку повітря), м:	
поперечний	$s_{1тр.повп} = 0,060.$
поздовжній	$s_{2тр.повп} = 0,042.$
кількість рядів за ходою повітря	$z_{2тр.повп} = 48.$
кількість труб у ряді	$z_{1тр.повп} = 26.$
розташування труб	шахове

Економайзер чавунний:

поверхня нагріву I ступеня, $м^2$,	$F_{екI} = 531.$
поверхня нагріву II ступеня, $м^2$,	$F_{екII} = 531.$
діаметр труб, м,	$d_{ек} = 0,076.$
товщина труб, м,	$\delta_{ек} = 0,008.$
кількість рядів за ходою газів (I ступінь)	$z_{екI} = 15.$
кількість рядів за ходою газів (II ступінь)	$z_{екII} = 15.$

4.2.3. Розрахунок об'ємів повітря та продуктів згоряння

Склад палива (мазут високосірчистий) на робочу масу з табл. 2.3 Д [16], %:

$C_р = 83,0$; $H_р = 10,4$; $S_р = 2,8$; $O_р = 0,7$; $A_р = 0,1$; $W_р = 3,0$.

Перевірка $C_р + H_р + S_р + O_р + W_р + A_р = 100$.

Присоси повітря до газоходів котла з табл. 2.1 [16]:

до конвективного пучка $\Delta\alpha_{кп} = 0,05$.

до пароперегрівника $\Delta\alpha_{пп} = 0,03$.

до трубчастого повітропідігрівника $\Delta\alpha_{тр.повп} = 0,06$.

до дробопотокового повітропідігрівника $\Delta\alpha_{др.повп} = 0,02$.

до економайзера $\Delta\alpha_{ек} = 0,1$.

Коефіцієнт надлишку повітря після поверхні нагріву з табл. 2.1 [16]:

на виході з топки $\alpha_т = 1,05$.

на виході з фестона $\alpha_ф = 1,05$.

на виході з конвективного пучка

$$\alpha_{к.п} = \alpha_ф + \Delta\alpha_{кп} = 1,1. \quad (4.1)$$

на виході з пароперегрівника

$$\alpha_{пп} = \alpha_{к.п} + \Delta\alpha_{пп} = 1,13. \quad (4.2)$$

на виході з трубчастого повітропідігрівника

$$\alpha_{тр.повп} = \alpha_{пп} + \Delta\alpha_{тр.повп} = 1,19. \quad (4.3)$$

на виході з дробопотокового повітропідігрівника

$$\alpha_{др.повп} := \alpha_{тр.повп} + \Delta\alpha_{др.повп} = 1,21. \quad (4.4)$$

на виході з економайзера

$$\alpha_{ек} := \alpha_{др.повп} + \Delta\alpha_{ек} = 1,31. \quad (4.5)$$

Середній коефіцієнт надлишку повітря:

для топки $\alpha_{ср.т} = \alpha_т = 1,05$.

для фестона $\alpha_{ср.ф} = \alpha_ф = 1,05$.

для конвективного пучка

$$\alpha_{ср.к.п} = 0,5 \cdot (\alpha_ф + \alpha_{к.п}) = 1,075. \quad (4.6)$$

для пароперегрівника

$$\alpha_{ср.пп} = 0,5 \cdot (\alpha_{к.п} + \alpha_{пп}) = 1,115. \quad (4.7)$$

для трубчастого повітропідігрівника

$$\alpha_{ср.тр.повп} = 0,5 \cdot (\alpha_{пп} + \alpha_{тр.повп}) = 1,16. \quad (4.8)$$

для дробопотокового повітропідігрівника

$$\alpha_{ср.др.повп} = 0,5 \cdot (\alpha_{тр.повп} + \alpha_{др.повп}) = 1,2. \quad (4.9)$$

для економайзера

$$\alpha_{ср.ек} = 0.5 \cdot (\alpha_{др.повп} + \alpha_{ек}) = 1,26. \quad (4.10)$$

Теоретична кількість сухого повітря, $м^3/кг$,

$$V_o = 0,0889 \cdot (C_p + 0,375 \cdot S_p) + 0,265 \cdot H_p - 0,0333 \cdot O_p = 10,205. \quad (4.11)$$

Об'єм триатомних газів, $м^3/кг$,

$$V_{RO2} = 0,0187 \cdot (C_p + 0,375 \cdot S_p) = 1,572. \quad (4.12)$$

Теоретичний об'єм водяної пари, $м^3/кг$,

$$Vo_{H2O} = 0,111 \cdot H_p + 0,0124 \cdot W_p + 0,0161 \cdot V_o = 1,356. \quad (4.13)$$

Теоретичний об'єм азоту, $м^3/кг$,

$$Vo_{N2} = 0,79 \cdot V_o = 8,062. \quad (4.14)$$

Дійсний об'єм водяної пари, $м^3/кг$:

топка

$$V_{H2Oт} := Vo_{H2O} + 0,0161(\alpha_{ср.т} - 1) \cdot V_o = 1,364. \quad (4.15)$$

фестон

$$V_{H2Oф} = Vo_{H2O} + 0,0161(\alpha_{ср.ф} - 1) \cdot V_o = 1,364. \quad (4.16)$$

конвективний пучок

$$V_{H2Oк.п} = Vo_{H2O} + 0,0161(\alpha_{ср.к.п} - 1) \cdot V_o = 1,368. \quad (4.17)$$

пароперегрівник

$$V_{H2Oпп} := Vo_{H2O} + 0,0161(\alpha_{ср.пп} - 1) \cdot V_o = 1,375. \quad (4.18)$$

трубчастий повітропідігрівник

$$V_{H2Oтр.повп} = Vo_{H2O} + 0,0161(\alpha_{ср.тр.повп} - 1) \cdot V_o = 1,382. \quad (4.19)$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$V_{H2Oдр.повп} := Vo_{H2O} + 0,0161(\alpha_{ср.др.повп} - 1) \cdot V_o = 1,389. \quad (4.20)$$

економайзер

$$V_{H2Oек} := Vo_{H2O} + 0,0161(\alpha_{ср.ек} - 1) \cdot V_o = 1,399. \quad (4.21)$$

Об'єм продуктів згоряння, $м^3/кг$,

топка

$$V_{г.т} = V_{RO2} + Vo_{N2} + V_{H2Oт} + (\alpha_{ср.т} - 1) \cdot V_o = 11{,}508. \quad (4.22)$$

фестон

$$V_{г.ф} = V_{RO2} + Vo_{N2} + V_{H2Oф} + (\alpha_{ср.ф} - 1) \cdot V_o = 11{,}508. \quad (4.23)$$

конвективний пучок

$$V_{г.к.п} = V_{RO2} + Vo_{N2} + V_{H2Oк.п} + (\alpha_{ср.к.п} - 1) \cdot V_o = 11{,}767. \quad (4.24)$$

пароперегрівник

$$V_{г.пп} = V_{RO2} + Vo_{N2} + V_{H2Oпп} + (\alpha_{ср.пп} - 1) \cdot V_o = 12.182. \quad (4.25)$$

трубчастий повітропідігрівник

$$V_{г.тр.повп} = V_{RO2} + Vo_{N2} + V_{H2Oтр.повп} + (\alpha_{ср.тр.повп} - 1) \cdot V_o = 12{,}648. \quad (4.26)$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$V_{г.др.повп} = V_{RO2} + Vo_{N2} + V_{H2Oдр.повп} + (\alpha_{ср.др.повп} - 1) \cdot V_o = 13{,}063. \quad (4.27)$$

економайзер

$$V_{г.ек} = V_{RO2} + Vo_{N2} + V_{H2Oек} + (\alpha_{ср.ек} - 1) \cdot V_o = 13{,}685. \quad (4.28)$$

Об'ємні частки триатомних газів:

топка $r_{RO2т} = \frac{V_{RO2}}{V_{г.т}} = 0{,}137.$

фестон $r_{RO2ф} = \frac{V_{RO2}}{V_{г.ф}} = 0{,}137.$

конвективний пучок $r_{RO2к.п} = \frac{V_{RO2}}{V_{г.к.п}} = 0{,}134.$

пароперегрівник $r_{RO2п.п} = \frac{V_{RO2}}{V_{г.п.п}} = 0{,}129.$

трубчастий повітропідігрівник $r_{RO2тр.повп} = \frac{V_{RO2}}{V_{г.тр.повп}} = 0{,}124.$

дробопотоковий повітропідігрівник $r_{RO2др.повп} = \frac{V_{RO2}}{V_{г.др.повп}} = 0{,}12.$

економайзер $r_{RO2ек} = \frac{V_{RO2}}{V_{г.ек}} = 0{,}115.$

Об'ємні частка водяної пари

топка $r_{H2Oт} = \frac{V_{H2Oт}}{V_{г.т}} = 0{,}119.$

фестон $r_{H2Oф} = \frac{V_{H2Oф}}{V_{г.ф}} = 0{,}119.$

конвективний пучок $r_{H2Oк.п} = \frac{V_{H2Oк.п}}{V_{г.к.п}} = 0{,}116.$

пароперегрівник $r_{H2Oп.п} = \frac{V_{H2Oп.п}}{V_{г.п.п}} = 0{,}113.$

трубчастий повітропідігрівник $r_{H2O\text{тр.повп}} = \frac{V_{H2O\text{тр.повп}}}{V_{\text{г.тр.повп}}} = 0{,}109.$

дробопотоковий повітропідігрівник $r_{H2O\text{др.повп}} = \frac{V_{H2O\text{др.повп}}}{V_{\text{г.др.повп}}} = 0{,}106.$

економайзер $r_{H2O\text{ек}} = \frac{V_{H2O\text{ек}}}{V_{\text{г.ек}}} = 0{,}102.$

Об'ємна частка суми триатомних газів

топка $r_{п.т} = r_{RO2т} + r_{H2Oт} = 0{,}255.$

фестон $r_{п.ф} = r_{RO2ф} + r_{H2Oф} = 0{,}255.$

конвективний пучок $r_{п.к.п} = r_{RO2к.п} + r_{H2Oк.п} = 0{,}25.$

пароперегрівник $r_{п.пп} = r_{RO2пп} + r_{H2Oпп} = 0{,}242.$

трубчастий повітропідігрівник $r_{п.тр.повп} = r_{RO2тр.повп} + r_{H2Oтр.повп} = 0{,}234.$

дробопотоковий повітропідігрівник $r_{п.др.повп} = r_{RO2др.повп} + r_{H2Oдр.повп} = 0{,}227.$

економайзер $r_{п.ек} = r_{RO2ек} + r_{H2Oек} = 0{,}217.$

4.2.4. Розрахунок ентальпій повітря та продуктів згоряння.

Температура продуктів згоряння, °С, $\theta_I = 100.$

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{IRO2} = 1{,}7003$; $C_{IN2} = 1{,}2958$; $C_{IH2O} = 1{,}5052$; $C_{Iпов} = 1{,}3243.$

Ентальпія теоретичного об'єму газів, кДж/кг,

$$I_{oIг} = (V_{RO2} \cdot C_{IRO2} + Vo_{N2} \cdot C_{IN2} + Vo_{H2O} \cdot C_{IH2O}) \cdot \theta_I = 1{,}516x10^3. \quad (4.29)$$

Ентальпія теоретичної кількості повітря, кДж/кг,

$$I_{oIпов} := V_o \cdot C_{Iпов} \cdot \theta_I = 1{,}351x10^3. \quad (4.30)$$

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{Iг.т} = I_{oIг} + (\alpha_т - 1) \cdot I_{oIпов} = 1{,}584x10^3.$$

конвективний пучок

$$I_{Iг.к.п} = I_{oIг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{oIпов} = 1{,}651x10^3.$$

пароперегрівник

$$I_{Iг.пп} = I_{oIг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{oIпов} = 1{,}692x10^3.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{Iг.тр.повп} := I_{oIг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{oIпов} = 1{,}773x10^3.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{Іг.др.повп} = I_{оІг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{оІпов} = 1{,}8x10^3.$$

економайзер

$$I_{Іг.ек} = I_{оІг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{оІпов} = 1{,}935x10^3.$$

Температура продуктів згоряння, °С, $\theta_{II} = 200$.

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{IIRO2} = 1{,}7873$; $C_{IIN2} = 1{,}2996$; $C_{IIH2O} = 1{,}5223$; $C_{IIпов} = 1{,}3318$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{IIг.т} = I_{оIIг} + (\alpha_т - 1) \cdot I_{оIIпов} = 3{,}206x10^3.$$

конвективний пучок

$$I_{IIг.к.п} = I_{оIIг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{оIIпов} = 3{,}342x10^3.$$

пароперегрівник

$$I_{IIг.пп} = I_{оIIг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{оIIпов} = 3{,}423x10^3.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{IIг.тр.повп} = I_{оIIг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{оIIпов} = 3{,}587x10^3.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{IIг.др.повп} = I_{оIIг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{оIIпов} = 3{,}641x10^3.$$

економайзер

$$I_{IIг.ек} = I_{оIIг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{оIIпов} = 3{,}913x10^3.$$

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{IIIRO2} = 1{,}9297$; $C_{IIIN2} = 1{,}3168$; $C_{IIIH2O} = 1{,}5664$; $C_{IIIпов} = 1{,}3544$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{IIIг.т} = I_{оIIIг} + (\alpha_т - 1) \cdot I_{оIIIпов} = 6{,}585x10^3.$$

конвективний пучок

$$I_{IIIг.к.п} = I_{оIIIг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{оIIIпов} = 6{,}862x10^3.$$

пароперегрівник

$$I_{IIIг.пп} = I_{оIIIг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{оIIIпов} = 7{,}028x10^3.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{IIIг.тр.повп} = I_{оIIIг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{оIIIпов} = 7{,}359x10^3.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{IIIг.др.повп} := I_{oIIIг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{oIIIпов} = 7{,}47x10^3.$$

економайзер

$$I_{IIIг.ек} := I_{oIIIг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{oIIIпов} = 8{,}023x10^3.$$

Температура продуктів згоряння, °С, $\theta_{IV} = 600$.

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{IVRO2} = 2{,}0411$; $C_{IVN2} = 1{,}3402$; $C_{IVH2O} = 1{,}6148$; $C_{IVпов} = 1{,}3829$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{IVг.т} = I_{oIVг} + (\alpha^т - 1) \cdot I_{oIVпов} = 1{,}014x10^4.$$

конвективний пучок

$$I_{IVг.к.п} = I_{oIVг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{oIVпов} = 1{,}057x10^4.$$

пароперегрівник

$$I_{IVг.пп} = I_{oIVг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{oIVпов} = 1{,}082x10^4.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{IVг.тр.повп} = I_{oIVг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{oIVпов} = 1{,}133x10^4.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{IVг.др.повп} = I_{oIVг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{oIVпов} = 1{,}15x10^4.$$

економайзер

$$I_{IVг.ек} := I_{oIVг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{oIVпов} = 1{,}235x10^4.$$

Температура продуктів згоряння, °С, $\theta_V = 800$.

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{VRO2} = 2{,}1311$; $C_{VN2} = 1{,}3670$; $C_{VH2O} = 1{,}6680$; $C_{Vпов} = 1{,}4114$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{Vг.т} = I_{oVг} + (\alpha_т - 1) \cdot I_{oVпов} = 1{,}388x10^4.$$

конвективний пучок

$$I_{Vг.к.п} = I_{oVг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{oVпов} = 1{,}446x10^4.$$

пароперегрівник

$$I_{Vг.пп} = I_{oVг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{oVпов} = 1{,}48x10^4.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{Vг.тр.повп} = I_{oVг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{oVпов} = 1{,}549x10^4.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{Vг.др.повп} = I_{oVг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{oVпов} = 1{,}572x10^4.$$

економайзер

$$I_{Vг.ек} = I_{oVг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{oVпов} = 1{,}688x10^4.$$

Температура продуктів згоряння, °С, $\theta_{VI} = 1000$.

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{VIRO2} = 2{,}2035$; $C_{VIN2} = 1{,}3917$; $C_{VIH2O} = 1{,}7229$; $C_{VIпов} = 1{,}4373$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{VIг.т} = I_{oVIг} + (\alpha_{т} - 1) \cdot I_{oVIпов} = 1{,}775x10^4.$$

конвективний пучок

$$I_{VIг.к.п} = I_{oVIг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{oVIпов} = 1{,}849x10^4.$$

пароперегрівник

$$I_{VIг.пп} = I_{oVIг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{oVIпов} = 1{,}893x10^4.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{VIг.тр.повп} = I_{oVIг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{oVIпов} = 1{,}981x10^4.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{VIг.др.повп} = I_{oVIг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{oVIпов} = 2{,}01x10^4.$$

економайзер

$$I_{VIг.ек} = I_{oVIг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{oVIпов} = 2{,}157x10^4.$$

Температура продуктів згоряння, С, θVII := 1200

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{VIIRO2} = 2{,}2638$; $C_{VIIN2} = 1{,}4143$; $C_{VIIH2O} = 1{,}7769$; $C_{VIIпов} = 1{,}4612$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{VIIг.т} = I_{oVIIг} + (\alpha_{т} - 1) \cdot I_{oVIIпов} = 2{,}174x10^4.$$

конвективний пучок

$$I_{VIIг.к.п} = I_{oVIIг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{oVIIпов} = 2{,}263x10^4.$$

пароперегрівник

$$I_{VIIг.пп} = I_{oVIIг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{oVIIпов} = 2{,}317x10^4.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{VIIг.тр.повп} = I_{oVIIг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{oVIIпов} = 2{,}424x10^4.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{VIIг.др.повп} = I_{oVIIг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{oVIIпов} = 2{,}46x10^4.$$

економайзер

$$I_{VIIг.ек} = I_{oVIIг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{oVIIпов} = 2{,}639x10^4.$$

Температура продуктів згоряння, ^oC, $\theta_{VIII} = 1400$

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{VIIIRO2} = 2{,}3136$; $C_{VIIIN2} = 1{,}4348$; $C_{VIIIH2O} = 1{,}8280$; $C_{VIIIпов} = 1{,}4830$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{VIIIг.т} = I_{oVIIIг} + (\alpha_т - 1) \cdot I_{oVIIIпов} = 2{,}581x10^4.$$

конвективний пучок

$$I_{VIIIг.к.п} = I_{oVIIIг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{oVIIIпов} = 2{,}687x10^4.$$

пароперегрівник

$$I_{VIIIг.пп} = I_{oVIIIг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{oVIIIпов} = 2{,}751x10^4.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{VIIIг.тр.повп} = I_{oVIIIг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{oVIIIпов} = 2{,}878x10^4.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{VIIIг.др.повп} = I_{oVIIIг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{oVIIIпов} = 2{,}92x10^4.$$

економайзер

$$I_{VIIIг.ек} = I_{oVIIIг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{oVIIIпов} = 3{,}132x10^4.$$

Температура продуктів згоряння, ^oC, $\theta_{IX} = 1600$

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{IXRO2} = 2{,}3555$; $C_{IXN2} = 1{,}4528$; $C_{IXH2O} = 1{,}8761$; $C_{IXпов} = 1{,}5018$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{IXг.т} = I_{oIXг} + (\alpha_т - 1) \cdot I_{oIXпов} = 2{,}996x10^4.$$

конвективний пучок

$$I_{IXг.к.п} = I_{oIXг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{oIXпов} = 3{,}119x10^4.$$

пароперегрівник

$$I_{IXг.пп} = I_{oIXг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{oIXпов} = 3{,}192x10^4.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{IXг.тр.повп} = I_{oIXг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{oIXпов} = 3{,}339x10^4.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{IXг.др.повп} = I_{oIXг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{oIXпов} = 3{,}388x10^4.$$

економайзер

$$I_{IXг.ек} = I_{oIXг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{oIXпов} = 3{,}633\ 10^4.$$

Температура продуктів згоряння, ^oC, $\theta_X = 1800$.

Теплоємність продуктів згоряння і повітря, кДж/(м^3·К),

$C_{XRO2} = 2{,}3915$; $C_{XN2} = 1{,}4687$; $C_{XH2O} = 1{,}9213$; $C_{Xпов} = 1{,}5177$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{Xг.т} = I_{oXг} + (\alpha_т - 1) \cdot I_{oXпов} = 3{,}416x10^4.$$

конвективний пучок

$$I_{Xг.к.п} = I_{oXг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{oXпов} = 3{,}556x10^4.$$

пароперегрівник

$$I_{Xг.пп} = I_{oXг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{oXпов} = 3{,}639x10^4.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{Xг.тр.повп} = I_{oXг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{oXпов} = 3{,}806x10^4.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{Xг.др.повп} = I_{oXг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{oXпов} = 3{,}862x10^4$$

економайзер

$$I_{Xг.ек} = I_{oXг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{oXпов} = 4{,}141x10^4.$$

Температура продуктів згоряння, ^oC, $\theta_{XI} = 2000$.

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{XIRO2} = 2{,}4221$; $C_{XIN2} = 1{,}4825$; $C_{XIH2O} = 1{,}9628$; $C_{XIпов} = 1{,}5328$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{XIг.т} = I_{oXIг} + (\alpha_т - 1) \cdot I_{oXIпов} = 3{,}84x10^4.$$

конвективний пучок

$$I_{XIг.к.п} = I_{oXIг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{oXIпов} = 3{,}997x10^4.$$

пароперегрівник

$$I_{XIг.пп} = I_{oXIг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{oXIпов} = 4{,}091x10^4.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{XIг.тр.повп} = I_{oXIг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{oXIпов} = 4{,}278x10^4.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{XIг.др.повп} = I_{oXIг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{oXIпов} = 4{,}341x10^4.$$

економайзер

$$I_{XIг.ек} = I_{oXIг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{oXIпов} = 4.654x10^4.$$

Температура продуктів згоряння, °С, $\theta_{XII} = 2200$.

Теплоємність продуктів згоряння і повітря , кДж/(м^3·К),

$C_{XIIRO2} = 2{,}4484$; $C_{XIIN2} = 1{,}4951$; $C_{XIIH2O} = 2{,}0009$; $C_{XIIпов} = 1{,}5462$.

Ентальпія дійсного об'єму газів, кДж/кг,

топка

$$I_{XIIг.т} = I_{oXIIг} + (\alpha_{т} - 1) \cdot I_{oXIIпов} = 4.269x10^4.$$

конвективний пучок

$$I_{XIIг.к.п} = I_{oXIIг} + (\alpha_{к.п} - 1) \cdot I_{oXIIпов} = 4{,}442x10^4.$$

пароперегрівник

$$I_{XIIг.пп} = I_{oXIIг} + (\alpha_{пп} - 1) \cdot I_{oXIIпов} = 4{,}546x10^4.$$

трубчастий повітропідігрівник

$$I_{XIIг.тр.повп} = I_{oXIIг} + (\alpha_{тр.повп} - 1) \cdot I_{oXIIпов} = 4{,}755x10^4.$$

дробопотоковий повітропідігрівник

$$I_{XIIг.др.повп} = I_{oXIIг} + (\alpha_{др.повп} - 1) \cdot I_{oXIIпов} = 4{,}824x10^4.$$

економайзер

$$I_{XIIг.ек} = I_{oXIIг} + (\alpha_{ек} - 1) \cdot I_{oXIIпов} = 5{,}171x10^4.$$

Діаграми I-θ показана на рис.4.1.

4.2.5. Складання теплового балансу котла

Температура підігрівання мазуту (приймається), °С, $t_{пал} = 200$.

Теплоємність мазуту, кДж/(кг·К),

$$C_{пал} = (1{,}74 + 0{,}0025 \cdot t_{пал}) = 22{,}4. \qquad (4.31)$$

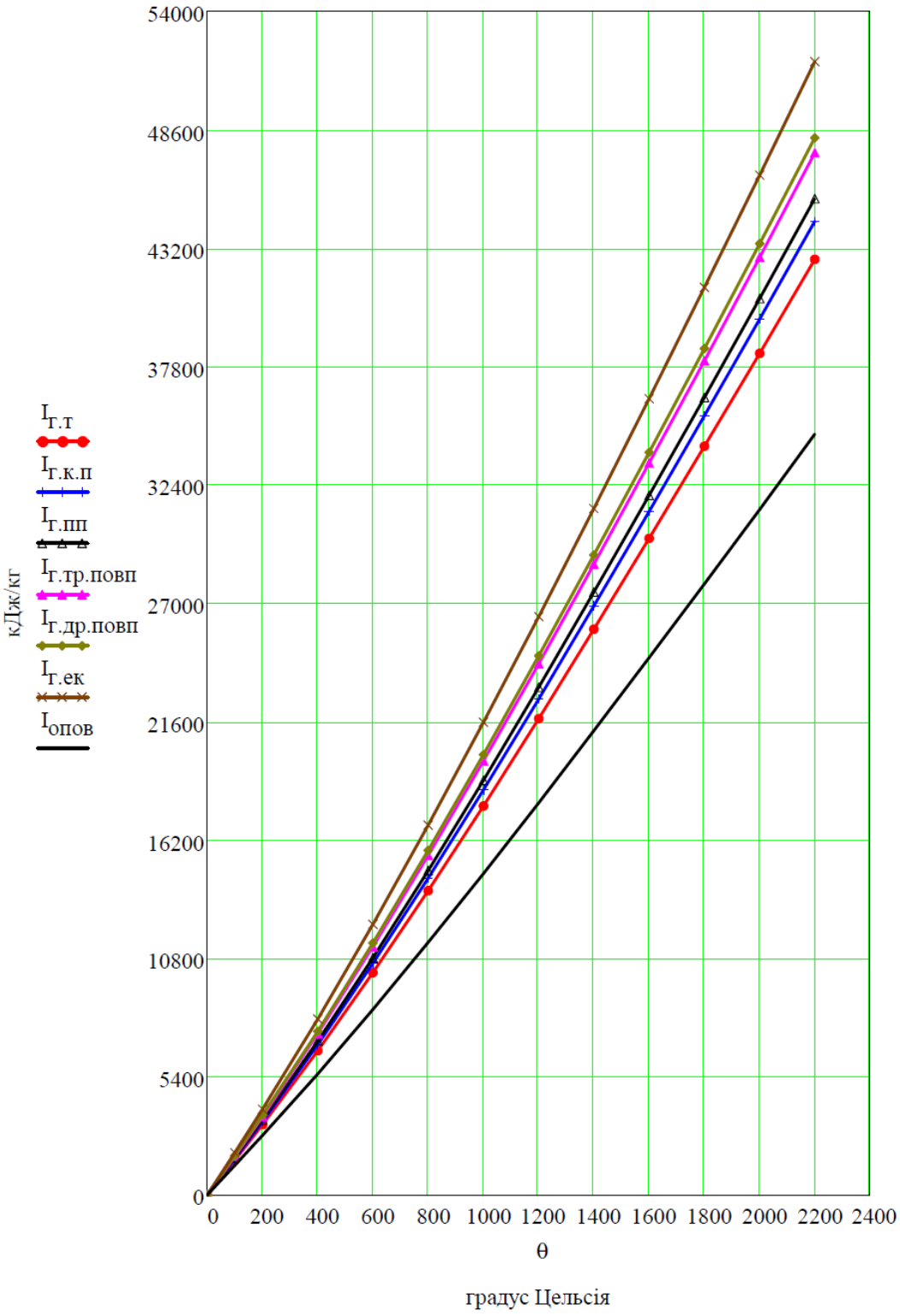


Рис. 4.1 Діаграма I-θ газів і повітря

Фізична теплота палива, кДж/кг,

$$Q_{ф.пал} = C_{пал} \cdot t_{пал} = 448. \quad (4.32)$$

Наявна теплота, кДж/кг,

$$Q_{нв} = Q_{ір} + Q_{ф.пал} = 3{,}925 \times 10^4. \quad (4.33)$$

Температура відхідних газів (приймається), °С, $\theta_{від} = 130$.

Ентальпія відхідних газів (діаграма I-q), кДж/кг, $I_{від} = 523x10^3$.

Ентальпія теоретичного об'єму холодного повітря при 30 С, кДж/кг,

$$I_{ох.пов} = 39,8 \cdot V_o = 406,148. \quad (4.34)$$

Втрата теплоти з відхідними газами,%,

$$q_2 = 100 \cdot \frac{I_{від} - \alpha_{ек} \cdot I_{ох.пов}}{Q_{НВ}} = 5,073. \quad (4.35)$$

Втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння палива,%, $q_3 = 0,5$.

Втрата теплоти від зовнішнього охолодження,%, $q_5 = 1,5$.

ККД котла, %,

$$\eta_{ка} = 100 - q_2 - q_3 - q_5 = 92,927. \quad (4.36)$$

Кількість продувальної води, %, $p_{пр} = 3$.

Ентальпія перегрітої пари, кДж/кг, $h_{п.п} = 2923,4$.

Ентальпія живильної води, кДж/кг, $h_{ж.в} = 420,1$.

Ентальпія киплячої води, кДж/кг, $h_{кип} = 830$.

Корисна потужність котельного агрегату, кВт,

$$Q_{к.а} = D \cdot (h_{п.п} - h_{ж.в}) + 0,01 \cdot p_{пр} \cdot D \cdot (h_{кип} - h_{ж.в}) = 3,494x10^4. \quad (4.37)$$

Витрата палива,кг/с,

$$B = \frac{Q_{к.а}}{Q_{НВ} \cdot 0,01 \cdot \eta_{ка}} = 0,958. \quad (4.38)$$

Коефіцієнт збереження теплоти

$$\phi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{ка} + q_5} = 0,984. \quad (4.39)$$

4.2.6. Розрахунок топки

Теплове напруження об'єму топки, кВт/м^3:

$$q_v = \frac{B \cdot Q_{НВ}}{V_T} = 282,697. \quad (4.40)$$

Коефіцієнт забруднення топкових екранів (табл.4.1, [1]) $\zeta = 0,55$.

Середній коефіцієнт теплової ефективності екранів

$$\psi_{ср} = \frac{\varsigma \cdot F_{пр.т}}{F_{ст.т}} = 0,475. \quad (4.41)$$

Ефективна товщина випромінюючого шару, м,

$$s_T = 3,6 \cdot \frac{V_T}{F_{ст.т}} = 2,956. \quad (4.42)$$

Присоси повітря до топки (вибираються з табл.2.1, [1]) $\Delta\alpha_т = 0,05$.

Ентальпія теоретичної кількості гарячого повітря (діаграма I-θ), кДж/кг, $I_{ог.пов} = 2,443x10^3$.

Теплота, яка вноситься до топки з повітрям, кДж/кг,

$$Q_{пов} = (\alpha_т - \Delta\alpha_т) \cdot I_{ог.пов} + \Delta\alpha_т \cdot I_{ох.пов} = 2,463x10^3. \quad (4.43)$$

Корисне тепловиділення у топці, кДж/кг,

$$Q_{кор} = Q_{НВ} \cdot \frac{100-q_3}{100} = 2,463x10^3. \quad (4.44)$$

Теоретична температура горіння (діаграма I-q), °С, $\theta_a = 2145,5$.

Температура газів на виході з топки (приймається), °С, $\theta_{т.вих} = 1074$.

Ентальпія газів на виході з топки (діаграма I-q), кДж/кг,

$I_{т.вих} = 1,921x10^4$.

Тиск у топковій камері, МПа, р = 0,1.

Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами, 1/(м·МПа),

$$k_{г.т} = \left(\frac{7,8+16\cdot r_{H2Oт}}{3,16\cdot\sqrt{r_{п.т}\cdot p\cdot s_т}} - 1\right)\cdot\left(1 - 0,37\cdot\frac{\theta_{т.вих}+237}{1000}\right) = 5,104. \quad (4.45)$$

Коефіцієнт ослаблення променів сажистими частинками, 1/(м·МПа),

$$k_{с.т} = 0,3\cdot(2-\alpha_т)\cdot\left(1,6\cdot\frac{\theta_{т.вих}+273}{1000} - 0,5\right)\cdot\frac{C_р}{H_р} = 3,765. \quad (4.46)$$

Ступінь чорноти несвітної частини факела

$$a_{г.т} = 1 - e^{-k_{т.т}r_{п.т}ps_т} = 0,319. \quad (4.47)$$

Ступінь чорноти світної частини факела

$$a_{св.т} = 1 - e^{-(k_{г.т}r_{п.т}+k_{с.т})ps_т} = 0,776. \quad (4.48)$$

Коефіцієнт, який характеризує відносну довжину світної частини факела, $m_т = 0,55$.

Ступінь чорноти факела

$$a_ф = m_т \cdot a_{св.т} + (1 - m_т) \cdot a_{г.т.} = 0,319. \quad (4.49)$$

Ступінь чорноти топки

$$a_т = \frac{a_ф}{a_ф+(1-a_ф)\cdot\psi_{ср}} = 0,737. \quad (4.50)$$

Параметр, який ураховує характер розподілу температур у топці,

М = 0,48.

Середня сумарна теплоємність продуктів згоряння, кДж/(кг·К),

$$V_{\text{сср}} = \frac{Q_{\text{кор}} - \text{I}_{\text{т.вих}}}{\theta_{\text{а}} - \theta_{\text{т.вих}}} = 20{,}813. \quad (4.51)$$

Температура газів на виході з топки (розрахункова), °С,

$$\theta_{\text{т.вих.р}} = \frac{\theta_{\text{а}} + 273}{\text{М} \cdot \left[\frac{5{,}67 \cdot \psi_{\text{ср}} \cdot F_{\text{ст.т}} \cdot (\theta_{\text{а}} + 273)^3}{10^{11} \cdot \phi \cdot \text{В} \cdot V c_{\text{ср}}}\right]^{0{,}6} + 1} - 273 = 1.074\text{x}10^3. \quad (4.52)$$

перевірка: $\theta_{\text{т.вих.р}} - \theta_{\text{т.вих}} = 0{,}327$ менше 100 °С.

Розрахункова ентальпія газів на виході з топки (діаграма I-θ), кДж/кг, $\text{I}_{\text{т.вих.р}} = 1{,}922\text{x}10^4$.

Теплосприймання топки, кДж/кг,

$$\text{Q}_{\text{т}} = \phi \cdot (\text{Q}_{\text{кор}} - \text{I}_{\text{т.вих.р}}) = 2{,}194\text{x}10^4. \quad (4.53)$$

4.2.7. Повірочний розрахунок фестона.

Відносний крок труб, м:

поперечний $\sigma_{1\phi} = \frac{s_{1\phi}}{d_{\phi}} = 3{,}5.$

поздовжній $\sigma_{2\phi} = \frac{s_{2\phi}}{d_{\phi}} = 1{,}667.$

Ефективна товщина випромінюючого шару, м,

$$s_{\phi} = 0{,}9 \cdot \left(\frac{4 \cdot s_{1\phi} \cdot s_{2\phi}}{\pi \cdot d_{\phi}^2} - 1\right) \cdot d_{\phi} = 0{,}347. \quad (4.54)$$

Температура газів за фестоном (приймається попередньо), °С,

$\theta_{\text{з.ф}} = 1010$.

Ентальпія газів за фестоном (діаграма I-θ), кДж/кг, $\text{I}_{\text{з.ф}} = 1{,}795\text{x}10^4$.

Теплосприймання фестона з рівняння теплового балансу, кДж/кг,

$$\text{Q}_{\text{ф.б}} = \phi \cdot (\text{I}_{\text{т.вих.р}} - \text{I}_{\text{з.ф}}) = 1{,}252\text{x}10^3. \quad (4.55)$$

Середня температура газів у фестоні, °С,

$$\theta_{\text{ср.ф}} = 0{,}5 \cdot (\theta_{\text{т.вих.р}} + \theta_{\text{з.ф}}) = 1{,}042\text{x}10^3. \quad (4.56)$$

Температура насичення при тиску у барабані котла, °С. $\text{t}_{\text{н}} = 195$.

Температурний напір, °С,

$$\Delta t_{\phi} = \frac{(\theta_{\text{т.вих.р}} - t_{\text{н}}) - (\theta_{\text{з.ф}} - t_{\text{н}})}{\ln\left(\frac{\theta_{\text{т.вих.р}} - t_{\text{н}}}{\theta_{\text{з.ф}} - t_{\text{н}}}\right)} = 846.756. \quad (4.57)$$

Коефіцієнт теплопровідності газів, Вт/(м·К), $\lambda_{\text{г.ф}} = 0{,}113$.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості газів (з табл.5.3, [1]), м^2/с,

$\nu_{г.ф} = 1{,}75\ 10^{-4}$.

Критерій Прандтля газів (з табл.5.3, [1]) $Р_{гг.ф} = 0{,}575$.

Середня швидкість газів, м/с,

$$w_{г.ф} = \frac{В \cdot V_{г.т} \cdot (\theta_{ср.ф} + 273)}{273 \cdot f_ф} = 5{,}901. \quad (4.58)$$

Відносний діагональний крок:

$$\sigma_{2д.ф} = \sqrt{\sigma_{1ф}^2 \cdot 0{,}25 + \sigma_{2ф}^2} = 2{,}417. \quad (4.59)$$

Параметр

$$ф_{\sigma ф} = \frac{\sigma_{1ф} - 1}{\sigma_{2д.ф} - 1} = 1{,}765. \quad (4.60)$$

Поправка на компоновку

$$C_{sф} = 0{,}34 \cdot ф_{\sigma ф}^{\ 0{,}1} = 0{,}36. \quad (4.61)$$

Поправка на кількість рядів

$$C_{zф} = 4 \cdot z_{2ф}^{\ 0{,}02} - 3{,}2 = 0{,}889. \quad (4.62)$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м^2·К)

$$\alpha_{к.ф} = \left[\frac{\lambda_{г.ф}}{d_ф}\left(w_{г.ф} \cdot \frac{d_ф}{\nu_{г.ф}}\right)^{0{,}6}\right] \cdot Pr_{г.ф}^{0{,}33} \cdot Cs_ф \cdot Cz_ф = 48{,}33. \quad (4.63)$$

Температура забрудненої зовнішньої поверхні стінки для мазуту, °С,

$$t_{з.ф} = t_н + 60 = 255. \quad (4.64)$$

Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами, 1/(м·МПа),

$$k_{г.ф} = \left(\frac{7{,}8 + 16 \cdot r_{H2Oт}}{3{,}16 \cdot \sqrt{r_{п.т} \cdot р \cdot s_ф}} - 1\right) \cdot \left(1 - 0{,}37 \cdot \frac{\theta_{ср.ф} + 273}{1000}\right) = 16{,}228. \quad (4.65)$$

Ступінь чорноти газового потоку

$$a_{г.ф} = 1 - e^{-k_{г.ф} \cdot r_{п.т} \cdot р \cdot s_ф} = 0{,}134. \quad (4.66)$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням від газів до стінки труб, Вт/(м^2·К),

$$\alpha_{вип.ф} = 5{,}1 \cdot 10^{-8} \cdot a_{г.ф} \cdot \left(\theta_{ср.ф} + 273\right)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_{з.ф} + 273}{\theta_{ср.ф} + 273}\right)^{3{,}6}}{1 - \frac{t_{з.ф} + 273}{\theta_{ср.ф} + 273}} = 24{,}973. \quad (4.67)$$

Коефіцієнт використання поверхні нагріву (приймається) $\xi_ф = 1$.

Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки труб, Вт/(м^2·К),

$$\alpha_{1ф} = \xi_ф \cdot (\alpha_{к.ф} + \alpha_{вип.ф}) = 73{,}303. \quad (4.68)$$

Коефіцієнт теплової ефективності поверхні (вибирається з табл.5.2 для мазуту, [1]) $\psi_ф = 0{,}65$.

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^2·К):

$$k_ф = \psi_ф \cdot \alpha_{1ф} = 47{,}647. \quad (4.69)$$

Теплосприймання фестона з рівняння теплопередачі, кДж/кг,

$$Q_{ф.т} = \frac{k_ф \cdot F_ф \cdot \Delta t_ф}{В \cdot 10^3} = 1{,}263 \text{x} 10^3. \quad (4.70)$$

Розбіжність розрахункових значень теплосприймань (має бути не більше 5%), %,

$$\Delta Q_ф = \frac{Q_{ф.т} - Q_{ф.б}}{Q_{ф.т}} \cdot 100 = 0{,}919. \quad (4.71)$$

4.2.8. Повірочний розрахунок конвективного пучка.

Відносний крок труб, м:

поперечний $\sigma_{1к.п} = \frac{S_{1к.п}}{d_{к.п}} = 1{,}5.$

поздовжній $\sigma_{2к.п} = \frac{S_{2к.п}}{d_{к.п}} = 2.$

Ефективна товщина випромінюючого шару, м,

$$s_{к.п} = 0{,}9 \cdot \left(\frac{4 \cdot s_{1к.п} \cdot s_{2к.п}}{\pi \cdot d_{к.п}^2} - 1\right) \cdot d_{к.п} = 0{,}152. \quad (4.72)$$

Температура газів за пучком (прийнято), С, $\theta_{з.к.п} = 497$.

Ентальпія газів за пучком, кДж/кг, $I_{з.к.п} = 8{,}636\ 10^3$.

Теплосприймання пучка з рівняння теплового балансу, кДж/кг,

$$Q_{к.п.б} := \phi \cdot (Iз.ф - Iз.к.п) = 9.165 \text{x} 10^3. \quad (4.73)$$

Середня температура газів у пучку, С,

$$\theta_{ср.к.п} = 0{,}5 \cdot (\theta_{з.ф} + \theta_{з.к.п}) = 753{,}5. \quad (4.74)$$

Температурний напір, °С,

$$\Delta t_{к.п} = \frac{(\theta_{з.ф} - t_н) - (\theta_{з.к.п} - t_н)}{\ln\left(\frac{\theta_{з.ф} - t_н}{\theta_{з.к.п} - t_н}\right)} = 516{,}741. \quad (4.75)$$

Коефіцієнт теплопровідності газів (з табл.), Вт/(м·К), $\lambda_{г.к.п} = 0{,}086$.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості газів (з табл.), м^2/с, $\nu_{г.к.п} = 11{,}7 \text{x} 10^{-5}$.

Критерій Прандтля газів (з табл.) $Pr_{г.к.п} = 0{,}595$.

Середня швидкість газів, м/с,

$$w_{г.к.п} = \frac{B \cdot V_{г.к.п} \cdot (\theta_{ср.к.п} + 273)}{273 \cdot f_{к.п}} = 11{,}456. \quad (4.76)$$

Відносний діагональний крок:

$$\sigma_{2д.к.п} = \sqrt{\sigma_{1к.п}^2 \cdot 0{,}25 + \sigma_{2к.п}^2} = 2{,}136. \quad (4.77)$$

Параметр

$$\phi_{\sigma к.п} = \frac{\sigma_{1к.п} - 1}{\sigma_{2д.к.п} - 1} = 0{,}44. \quad (4.78)$$

Поправка на компоновку:

$$Cs_{к.п} = 0{,}34 \cdot \phi_{\sigma к.п}^{\ 0{,}1} = 0{,}313. \quad (4.79)$$

Поправка на кількість рядів (приймається для z2 більше 10): $Cz_{к.п} = 1$.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, Вт/(м^2·К):

$$\alpha_{к.к.п} = \left[\frac{\lambda_{г.к.п}}{d_{к.пф}} \left(w_{г.к.п} \cdot \frac{d_{к.п}}{v_{г.к.п}}\right)^{0{,}6}\right] \cdot Pr_{г.к.п}^{0{,}33} \cdot Cs_{к.п} \cdot Cz_{к.п} = 69{,}05. \quad (4.80)$$

Температура забрудненої зовнішньої поверхні стінки для мазуту, °С,

$$t_{з.к.п} = t_н + 60 = 255.$$

Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами, 1/(м·МПа),

$$k_{г.к.п} = \left(\frac{7{,}8 + 16 \cdot r_{H2O к.п}}{3{,}16 \cdot \sqrt{r_{п.к.п} \cdot p \cdot s_ф}} - 1\right) \cdot \left(1 - 0{,}37 \cdot \frac{\theta_{ср.к.п} + 273}{1000}\right) = 30{,}12. \quad (4.81)$$

Ступінь чорноти газового потоку

$$a_{г.к.п} = 1 - e^{-k_{г.к.п} \cdot r_{п.к.п} \cdot p \cdot s_{к.п}} = 0{,}108.$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням від газів до стінки труб, Вт/(м^2·К),

$$\alpha_{вип.к.п} = 5{,}1 \cdot 10^{-8} \cdot a_{г.к.п} \cdot \left(\theta_{ср.к.п} + 273\right)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_{з.к.п} + 273}{\theta_{ср.к.п} + 273}\right)^{3{,}6}}{1 - \frac{t_{з.к.п} + 273}{\theta_{ср.к.п} + 273}} = 11{,}174.$$

Коефіцієнт використання поверхні нагріву (приймається) $\xi_{к.п} = 0{,}95$.

Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки труб, Вт/(м^2·К),

$$\alpha_{1к.п} = \xi_{к.п} \cdot (\alpha_{к.к.п} + \alpha_{вип.к.п}) = 76{,}213.$$

Коефіцієнт теплової ефективності поверхні (вибирається з табл.5.2 для мазуту, [1]) $\psi_{к.п} = 0{,}65$.

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^2·К):

$$K_{к.п} = \psi_{к.п} \cdot \alpha_{1к.п} = 49{,}539.$$

Теплосприймання пучка з рівняння теплопередачі, кДж/м^3,

$$Q_{к.п.т} = \frac{k_{к.п} \cdot F_{к.п} \cdot \Delta t_{к.п}}{B \cdot 10^3} = 9.192x10^3.$$

Розбіжність розрахункових значень теплосприймань (має бути не більше 2%), %,

$$\Delta Q_{к.п} = \frac{Q_{к.п.т} - Q_{к.п.б}}{Q_{к.п.т}} \cdot 100 = 0{,}291.$$

4.2.9. Розрахунок пароперегрівника.

Ентальпія насиченої пари, кДж/кг, $h_{н.п} = 2788{,}4$.

Теплосприймання пароперегрівника, кДж/кг,

$$Q_{пп} = \frac{D}{B} \cdot (h_{п.п} - h_{н.п}) = 1{,}957x10^3. \quad (4.82)$$

Ентальпія газів за пароперегрівником, кДж/кг,

$$I_{з.пп} = I_{з.к.п} - \frac{Q_{пп}}{\phi} + \Delta\alpha_{пп} \cdot I_{ох.пов} = 6{,}659x10^3. \quad (4.83)$$

Температура газів за пароперегрівником, °С, $\theta_{з.пп} = 380$.

Середня температура газів у пароперегрівнику, °С,

$$\theta_{гпп} = 0{,}5 \cdot (\theta_{з.к.п} + \theta_{з.пп}) = 438{,}5.$$

Швидкість газів у пароперегрівнику, м/с,

$$w_{гпп} = \frac{B \cdot V_{г.пп} \cdot (\theta_{гпп} + 273)}{273 \cdot f_{пп}} = 8{,}22.$$

Фізичні характеристики газів при середній температурі з табл. 5.3 [1]:

коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), $\lambda_{гпп} = 0{,}061$.

коефіцієнт кінематичної в'язкості, м^2/с, $\nu_{гпп} = 6{,}4x10^{-5}$.

критерій Прандтля $Pr_{гпп} = 0{,}63$.

Відносний крок труб, м:

поперечний $\sigma_{1пп} = \frac{S_{1пп}}{d_{пп}} = 2{,}344.$

поздовжній $\sigma_{2пп} = \frac{S_{2пп}}{d_{пп}} = 2{,}344.$

Відносний діагональний крок:

$$\sigma_{2д.пп} = \sqrt{\sigma_{1пп}^2 \cdot 0{,}25 + \sigma_{2пп}^2} = 2{,}62.$$

Параметр

$$\phi_{\sigma пп} = \frac{\sigma_{1пп}-1}{\sigma_{2д.пп}-1} = 0{,}829.$$

Поправка на компоновку:

$$Cs_{пп} = 0{,}34 \cdot \phi_{\sigma пп}{}^{0{,}1} = 0{,}334.$$

Поправка на кількість рядів (приймається для z2 більше 10): $Cz_{пп} = 1$.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від газів, Вт/(м^2·К):

$$\alpha_{к.пп} = \left[\frac{\lambda_{г.пп}}{d_{пп}}\left(w_{гпп} \cdot \frac{d_{пп}}{v_{гпп}}\right)^{0{,}6}\right] \cdot Pr_{г.пп}^{0{,}33} \cdot Cs_{пп} \cdot Cz_{пп} = 80{,}467.$$

Температура насичення при тиску у барабані, °С, $t_{н.п} = 195$.

Середня температура пари у пароперегрівнику, °С,

$$t_{срп.п} = 0.5(t_{п.п} + t_{н.п}) = 222{,}5.$$

Середній питомий об'єм перегрітої пари, м^3/кг, $v_{срп.п} = 0{,}141$.

Фізичні характеристики перегрітої пари з табл. 6.4 [1]:

коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), $\lambda_{п.п} = 4{,}05\ 10^{-2}$.

коефіцієнт кінематичної в'язкості, м^2/с, $\nu_{п.п} = 2{,}34\ 10^{-6}$.

критерій Прандтля $Pr_{п.п} = 1{,}08$.

Площа живого перерізу для проходу пари, м^2,

$$F_{п.пп} = \frac{\pi \cdot (d_{пп} - 2 \cdot \delta_{пп})^2 \cdot z_{зм.пп}}{4} = 0{,}071. \quad (4.84)$$

Швидкість пари у пароперегрівнику, м/с,

$$w_{п.пп} = \frac{D \cdot v_{срп.п}}{F_{п.пп}} = 27{,}733. \quad (4.85)$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки труб до пари, Вт/(м^2·К):

$$\alpha_{2пп} = 0{,}023 \cdot \frac{\lambda_{п.п}}{d_{пп} - 2 \cdot \delta_{пп}}\left(w_{п.пп} \cdot \frac{d_{пп} - 2 \cdot \delta_{пп}}{v_{п.п}}\right)^{0{,}8} \cdot Pr_{п.п}^{0{,}4} = 909{,}047. \quad (4.86)$$

Коефіцієнт забруднення труб ззовні, м^2·К/Вт, $\varepsilon_{пп} = 0{,}003$.

Температура зовнішньої поверхні забруднюючого шару, °С,

$$t_{з.пп} = t_{срп.п} + \left(\varepsilon_{пп} + \frac{1}{\alpha_{2пп}}\right) \cdot \frac{Q_{пп} \cdot B \cdot 10^3}{F_{пп}} = 269{,}092. \quad (4.87)$$

Ефективна товщина випромінюючого шару, м,

$$s_{пп} = 0{,}9 \cdot \left(\frac{4 \cdot s_{1пп} \cdot s_{2пп}}{\pi \cdot d_{пп}^2} - 1\right) \cdot d_{пп} = 0.173. \quad (4.88)$$

Коефіцієнт ослаблення променів триатомними газами, 1/(м·МПа),

$$k_{\text{г.пп}} = \left(\frac{7{,}8 + 16 \cdot r_{H2O\text{пп}}}{3{,}16 \cdot \sqrt{r_{\text{п.пп}} \cdot \text{p} \cdot s_{\text{ф}}}} - 1\right) \cdot \left(1 - 0{,}37 \cdot \frac{\theta_{\text{г.пп}} + 273}{1000}\right) = 33{,}921$$

Ступінь чорноти газового потоку

$$\text{a}_{\text{г.пп}} = 1 - \text{e}^{-k_{\text{г.пп}} \cdot r_{\text{п.пп}} \cdot \text{p} \cdot s_{\text{пп}}} = 0{,}132.$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням від газів до стінки труб, Вт/(м^2·К),

$$\alpha_{\text{вип.пп}} = 5{,}1 \cdot 10^{-8} \cdot \text{a}_{\text{г.пп}} \cdot (\theta_{\text{г.пп}} + 273)^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{t_{\text{з.пп}} + 273}{\theta_{\text{г.пп}} + 273}\right)^{3{,}6}}{1 - \frac{t_{\text{з.пп}} + 273}{\theta_{\text{г.пп}} + 273}} = 6{,}361.$$

Коефіцієнт використання поверхні нагріву (приймається) $\xi_{\text{пп}} = 1$.

Коефіцієнт тепловіддачі від газів до стінки труб, Вт/(м^2·К),

$$\alpha_{1\text{пп}} = \xi_{\text{к.п}} \cdot (\alpha_{\text{к.пп}} + \alpha_{\text{вип.пп}}) = 86{,}828.$$

Коефіцієнт теплової ефективності поверхні (вибирається з табл.5.2 для мазуту, [1]) $\psi_{\text{пп}} = 0{,}65$.

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^2·К),

$$k_{\text{пп}} = \frac{\psi_{\text{пп}} \cdot \alpha_{1\text{пп}} \cdot \alpha_{2\text{пп}}}{\alpha_{1\text{пп}} + \alpha_{2\text{пп}}} = 51.518. \qquad (4.89)$$

Середній температурний напір у пароперегрівнику, °С:

$$\Delta\text{t}_{\text{пп.б}} = \theta_{\text{з.к.п}} - \text{t}_{\text{п.п}} = 247.$$

$$\Delta\text{t}_{\text{пп.м}} = \theta_{\text{з.пп}} - \text{t}_{\text{н.п}} = 185.$$

$$\Delta t_{\text{пп}} = \frac{\Delta\text{t}_{\text{пп.б}} - \Delta\text{t}_{\text{пп.м}}}{\ln\left(\frac{\Delta\text{t}_{\text{пп.б}}}{\Delta\text{t}_{\text{пп.м}}}\right)} = 214{,}509.$$

Теплосприймання пароперегрівника з рівняння теплопередачі, кДж/кг,

$$Q_{\text{пп.т}} = \frac{k_{\text{пп}} \cdot F_{\text{пп}} \cdot \Delta t_{\text{пп}}}{\text{B} \cdot 10^3} = 1.903\text{x}10^3.$$

Розбіжність розрахункових значень теплосприймань (має бути не більше 3%), %,

$$\Delta Q_{\text{пп}} = \frac{Q_{\text{пп.т}} - Q_{\text{пп.б}}}{Q_{\text{пп.т}}} \cdot 100 = -2{,}752.$$

4.2.10. Розрахунок трубчастого повітропідігрівника.

Температура повітря на вході до повітропідігрівника (прийнято), °С, $\text{t}_{\text{вх.тр.пов}} = 90$.

Ентальпія теоретичної кількості повітря при $\text{t}_{\text{вх.тр.повп}}$, кДж/кг,

$I_{овх.тр.повп} = 1{,}216\ 10^3$.

Теплота, яка сприймається повітрям у повітропідігрівнику, кДж/кг,

$Q_{тр.повп.б} = (\alpha_т - \Delta\alpha_т + 0.5 \cdot \Delta\alpha_{тр.повп}) \cdot (I_{ог.пов} - I_{овх.тр.повп}) = 1{,}264x10^3$.

Середня температура повітря у повітропідігрівнику, °С,

$$t_{ср.тр.повп} = 0{,}5 \cdot (t_{вх.тр.пов} + t_{г.пов}) = 135.$$

Ентальпія теоретичної кількості присмоктуваного повітря при $t_{ср.тр.повп}$, кДж/кг, $I_{оприс.тр.} = 1{,}828x10^3$.

Ентальпія газів за повітропідігрівником, кДж/м^3,

$$I_{з.тр.повп} = I_{з.пп} - \frac{Q_{тр.повп.б}}{\phi} + \Delta\alpha_{тр.повп} \cdot I_{оприс.тр.} = 5{,}484x10^3.$$

Температура газів за повітропідігрівником, °С, $\theta_{з.тр.повп} = 301{,}9$.

Середня температура газів у повітропідігрівнику, °С,

$$\theta_{ср.тр.повп} = 0.5 \cdot (\theta_{з.пп} + \theta_{з.тр.повп})\ \theta_{ср.тр.повп} = 340{,}95.$$

Схема руху теплоносіїв у повітропідігрівнику - однократне перехрещення.

Більший температурний напір при протитечії, °С:

$$\Delta t_{б.тр.повп} := \theta_{з.тр.повп} - t_{вх.тр.пов} = 211{,}9.$$

Менший температурний напір при протитечі, °С:

$$\Delta t_{м.тр.повп} = \theta_{з.пп} - t_{г.пов} = 200.$$

Температурний напір при протитечії, С:

$$\Delta t_{прт.тр.повп} = \frac{\Delta t_{б.тр.повп} - \Delta t_{м.тр.повп}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{б.тр.повп}}{\Delta t_{м.тр.повп}}\right)} = 214{,}509.$$

Перепад температур середовищ, °С:

газів $\tau_г = \theta_{з.пп} - \theta_{з.тр.повп} = 78{,}1$.

повітря $\tau_{пов} = t_{г.пов} - t_{вх.тр.пов} = 90$.

Параметр

$$P_{повп} = \frac{\tau_г}{\theta_{з.пп} - t_{вх.тр.пов}} = 0{,}269. \qquad (4.90)$$

Параметр

$$R_{повп} = \frac{\tau_{пов}}{\tau_г} = 1{,}152.$$

Коефіцієнт перерахунку з номограми: $\psi_{\Delta t} = 0{,}94$.

Температурний напір у повітропідігрівнику, °С:

$$\Delta t_{\text{тр.повп}} := \psi\Delta t \cdot \Delta t_{\text{прт.тр.повп}} = 193{,}539.$$

Прийнята кількість рядів труб повітропідігрівника після реконструкії (для однієї секції) $z_{2\text{тр.повп.пр}} = 32$.

Прийнята кількість труб повітропідігрівника після реконструкії (для однієї секції)

$$z_{\text{тр.повп.пр}} = z_{2\text{тр.повп.пр}} \cdot (z_{1\text{тр.повп}} - 0{,}5) = 816.$$

Висота труб повітропідігрівника (з креслення), м, $h_{\text{тр.повп}} = 1{,}6$.

Прийнята поверхня нагріву повітропідігрівника після реконструкії, м^2,

$$F_{\text{тр.повп.пр}} = 2 \cdot z_{\text{тр.повп.пр}} \cdot h_{\text{тр.повп}} \cdot \pi \frac{d_{\text{тр.повп}} + (d_{\text{тр.повп}} - 2 \cdot \delta_{\text{тр}})}{2} = 315{,}008. \quad (4.91)$$

Площа живого перерізу для проходу газів, м^2,

$$f_{\text{г.тр.повп}} = z_{\text{тр.повп.пр}} \cdot [0{,}785 \cdot (d_{\text{тр.повп}} - 2 \cdot \delta_{\text{тр}})^2] = 0{,}867. \quad (4.92)$$

Середня швидкість газів, м/с,

$$w_{\text{г.тр.повп}} = \frac{\text{B} \cdot V_{\text{г.тр.повп}} \cdot (\theta_{\text{ср.тр.повп}} + 273)}{2 \cdot 273 \cdot f_{\text{г.тр.повп}}} = 15{,}706.$$

Ширина повітропідігрівника (з креслення), м, $b_{\text{тр.повп}} = 1$.

Площа живого перерізу для проходу повітря, м^2,

$$f_{\text{пов.тр.повп}} = h_{\text{тр.повп}} \cdot (b_{\text{тр.повп}} - z_{1\text{тр.повп}} \cdot d_{\text{тр.повп}}) = 0{,}864.$$

Середня швидкість повітря, м/с,

$$w_{\text{пов.тр.повп}} = \frac{\text{B} \cdot (\alpha_{\text{т}} - \Delta\alpha_{\text{т}} + 0{,}5 \cdot \Delta\alpha_{\text{тр.повп}}) \cdot V_o \cdot (t_{\text{ср.тр.повп}} + 273)}{2 \cdot 273 \cdot f_{\text{пов.тр.повп}}} = 8{,}709. \quad (4.93)$$

Коефіцієнт теплопровідності газів (з табл.), Вт/(м·К), $\lambda_{\text{г.тр}} = 0{,}0524$.

Коефіцієнт кінематичної в'язкості газів (з табл.), м^2/с, $\nu_{\text{г.тр}} = 5{,}06\text{x}10^{-5}$.

Критерій Прандтля газів (з табл.) $Pr_{\text{г.тр}} = 0{,}646$.

Поправка на ділянку теплової стабілізації (приймається): $C_l = 1$.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від газів до стінки труб, Вт/(м^2·К),

$$\alpha_{\text{тр.повп}} = 0{,}023 \cdot \frac{\lambda_{\text{г.тр}}}{d_{\text{тр.повп}} - 2 \cdot \delta_{\text{тр}}} \left(w_{\text{г.тр.повп}} \cdot \frac{d_{\text{тр.повп}} - 2 \cdot \delta_{\text{тр}}}{\nu_{\text{г.тр}}} \right)^{0{,}8} \cdot Pr_{\text{г.тр}}^{0{,}4} = 48{,}476.$$

Відносний крок труб, м:

поперечний $\sigma_{1\text{тр.повп}} = \frac{S_{1\text{тр.повп}}}{d_{\text{тр.повп}}} = 1{,}5.$

поздовжній $\sigma_{2\text{тр.повп}} = \frac{S_{2\text{тр.повп}}}{d_{\text{тр.повп}}} = 1{,}05.$

Відносний діагональний крок труб у шаховому пучку:

$$\sigma_{2д.тр.повп} = \sqrt{\sigma_{1тр.повп}^2 \cdot 0{,}25 + \sigma_{2тр.повп}^2} = 1{,}29.$$

Параметр

$$\phi_{\sigma тр.повп} = \frac{\sigma_{1тр.повп} - 1}{\sigma_{2д.тр.повп} - 1} = 1{,}722.$$

Поправка на компонування пучка:

$$Cs_{повп} = 0{,}275 \cdot \phi_{\sigma тр.\ повп}^{0{,}5} = 0{,}361.$$

Поправка на кількість рядів (приймається для z2 більше 10) $Cz_{повп} = 1$.

Фізичні характеристики повітря при середній температурі з табл. 6.2 [1]:

коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), $\lambda_{пов} = 3{,}42\ 10^{-2}$.

коефіцієнт кінематичної в'язкості, $м^2/с$, $\nu_{пов} = 27{,}2\ 10^{-6}$.

критерій Прандтля $Pr_{пов} = 0{,}69$.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від стінки труб до повітря, $Вт/(м^2 \cdot К)$:

$$\alpha_{тр.повп} = \left[\frac{\lambda_{пов}}{d_{тр.повп}}\left(w_{тр.повп} \cdot \frac{d_{тр.повп}}{\nu_{пов}}\right)^{0{,}6}\right] \cdot Pr_{пов}^{0{,}33} \cdot Cs_{повп} \cdot Cz_{повп} = 79{,}544.$$

Коефіцієнт використання поверхні повітропідігрівника (приймається з [1]): $\xi_{тр.повп} = 0{,}8$.

Коефіцієнт теплопередачі, $Вт/(м^2 \cdot К)$,

$$k_{тр.повп} = \xi_{тр.повп} \cdot \frac{\alpha_{г.тр.повп} \cdot \alpha_{пов.тр.повп}}{\alpha_{г.тр.повп} + \alpha_{пов.тр.повп}} = 24.096.$$

Теплосприймання повітропідігрівника з рівняння теплопередачі, кДж/кг,

$$Q_{тр.повп.т} = \frac{k_{тр.повп} \cdot F_{тр.повп.пр} \cdot \Delta t_{тр.повп}}{В \cdot 10^3} = 1.533x10^3.$$

Розрахункова ентальпія теоретичної кількості повітря при температурі повітря за повітропідігрівником, кДж/кг,

$$I_{ог.пов.р} = \frac{Q_{тр.повп.т}}{\alpha_т - \Delta\alpha_т + 0{,}5 \cdot \Delta\alpha_{тр.повп}} + I_{овх.тр.повп} = 2{,}705x10^3. \quad (4.94)$$

Розрахункова температура гарячого повітря, °С $t_{г.пов.р} = 199$.

Відхилення температури гарячого повітря від попередньо прийнятої (допускається не більше 40 °С), °С,

$$t_{г.пов} - t_{г.пов.р} = -19.$$

4.2.11. Конструктивний розрахунок дробопотокового повітропідігрівника.

Температура повітря на вході до повітропідігрівника (прийнято), °С,

$t_{вх.др.пов} = 30.$

Ентальпія теоретичної кількості повітря при $t_{вх.др.повп}$, кДж/кг,

$I_{овх.др.повп} = 404{,}357.$

Теплота, яка сприймається повітрям у повітропідігрівнику, кДж/кг,

$$Q_{др.повп.б} = \left(\alpha_т - \Delta\alpha_т + \frac{\Delta\alpha_{тр.повп}+\Delta\alpha_{др.повп}}{2}\right) \cdot \left(I_{овх.тр.повп} - I_{овх.др.повп}\right) = 843.831.$$

Середня температура повітря у повітропідігрівнику, °С,

$$t_{ср.др.повп} = 0{,}5 \cdot (t_{вх.тр.пов} + t_{вх.др.пов}) = 60.$$

Ентальпія теоретичної кількості присмоктуваного повітря при $t_{ср.др.повп}$, кДж/кг,

$I_{оприс.др.} = 809{,}519.$

Ентальпія газів за повітропідігрівником, кДж/м^3,

$$I_{з.др.повп} = I_{з.тр.повп} - \frac{Q_{др.повп.б}}{ф} + \Delta\alpha_{др.повп} \cdot I_{оприс.др.} = 4{,}643x10^3.$$

Температура газів за повітропідігрівником, °С, $\theta_{з.др.повп} = 253{,}4.$

Середня температура газів у повітропідігрівнику, °С,

$$\theta_{ср.др.повп} = 0{,}5 \cdot (\theta_{з.тр.повп} + \theta_{з.др.повп}) = 277{,}65.$$

Схема руху теплоносіїв у повітропідігрівнику – протитечія.

Більший температурний напір при протитечії, °С:

$$\Delta t_{б.др.повп} = \theta_{з.др.повп} - t_{вх.др.пов} = 223{,}4.$$

Менший температурний напір при протитечії, °С:

$$\Delta t_{м.др.повп} = \theta_{з.тр.повп} - t_{вх.тр.пов} = 211{,}9.$$

Температурний напір при протитечії, °С:

$$\Delta t_{др.повп} = \frac{\Delta t_{б.др.повп} - \Delta t_{м.др.повп}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{б.др.повп}}{\Delta t_{м.др.повп}}\right)} = 217{,}599.$$

Діаметр дробу насадка (керамічних частинок), м, $d_д = 0,02$.

Пористість насадка $m_{др} = 0,22 \cdot d_д^{0,252} = 0,082$.

Питома поверхня насадка, $м^2/м^3$,

$$a = \left(1 - m_{др}\right) \cdot \frac{6}{d_д} = 275,373.$$

Швидкість фільрації газів, м/с, $w_{г.ф.} = 2$.

Швидкість фільрації повітря, м/с, $w_{пов.ф.} = 2$.

Площа перерізу для проходу газів (для однієї секції), $м^2$,

$$f_{г.др.повп} = \frac{B \cdot V_{г.др.повп} \cdot (\theta_{ср.др.повп} + 273)}{2 \cdot 273 \cdot w_{г.ф.}} = 6,31.$$

Площа перерізу для проходу повітря (для однієї секції), $м^2$,

$$f_{пов.др.повп} = \frac{B \cdot (\alpha_т - \Delta\alpha_т + 0,5 \cdot \Delta\alpha_{тр.ровп}) \cdot V_o \cdot (t_{ср.др.повп} + 273)}{2 \cdot 273 \cdot w_{пов.ф.}} = 3,071.$$

Частка поверхні нагріву з боку газів

$$x_г = \frac{f_{г.др.повп}}{f_{пов.др.повп} + f_{г.др.повп}} = 0,673.$$

Частка поверхні нагріву з боку повітря

$$x_{пов} = \frac{f_{пов.др.повп}}{f_{пов.др.повп} + f_{г.др.повп}} = 0,327.$$

Фізичні характеристики газів при середній температурі з табл. 6.2 [1]:

теплопровідності газів (з табл.), Вт/(м·К), $\lambda_{г.др} = 0,0448$.

кінематичної в'язкості газів (з табл.), $м^2/с$, $\nu_{г.др} = 3.86x10^{-5}$.

критерій Прандтля газів (з табл.) $Pr_{г.др} = 0,66$.

Критерій Рейнольдса газів

$$Re_г = w_{г.ф.} \cdot \frac{d_д}{\nu_{г.др}} = 1,36x10^3.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від газів до насадка, $Вт/(м^2 \cdot К)$:

$$\alpha_{1.др.повп} = 0,61 \cdot \frac{\lambda_{г.др}}{d_д} Re_г^{0,67} = 143,201.$$

Фізичні характеристики повітря при середній температурі з табл. 6.2 [1]:

коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К), $\lambda_{пов.др} = 2,93x10^{-2}$.

коефіцієнт кінематичної в'язкості, $м^2/с$, $\nu_{пов.др} = 19,2x10^{-6}$.

критерій Прандтля (з табл.) $Pr_{пов.др} = 0,694$.

Критерій Рейнольдса повітря

$$Re_{\text{пов}} = w_{\text{пов.ф.}} \cdot \frac{d_{\text{д}}}{v_{\text{пов.др}}} = 2{,}083\text{x}10^{3}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від насадка до повітря, Вт/(м^2·К):

$$\alpha_{2.\text{др.повп}} = 0{,}61 \cdot \frac{\lambda_{\text{пов.др}}}{d_{\text{д}}} Re_{\text{пов}}^{0{,}67} = 149{,}533$$

Коефіцієнт використання поверхні повітропідігрівника $\xi_{\text{др.повп}} = 0{,}5$.

Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^2·К),

$$k_{\text{др.повп}} = \frac{\xi_{\text{др.повп}}}{\frac{1}{\text{x}_{\text{г}} \cdot \alpha_{1.\text{др.повп}}} + \frac{1}{\text{x}_{\text{пов}} \cdot \alpha_{2.\text{др.повп}}}} = 16{,}227.$$

Поверхня повітропідігрівника з рівняння теплопередачі, м^2,

$$F_{\text{др.повп}} = \frac{10^{3} \cdot \text{В} \cdot Q_{\text{др.повп.б}}}{k_{\text{др.повп}} \cdot \Delta t_{\text{др.повп}}} = 228{,}933.$$

Об'єм насадка, м^3,

$$V_{\text{др.повп}} = \frac{F_{\text{др.повп}}}{\text{а}} = 0{,}831.$$

Товщина насадка, м,

$$s_{\text{др.повп}} = \frac{2V_{\text{др.повп}}}{f_{\text{г.др.повп}} + f_{\text{пов.др.повп}}} = 0{,}177.$$

Довжина насадка, м, (дивись креслення) $L_{\text{др}} = 3{,}5$.

Висота насадка, м,

з боку газів, м, $\text{Н}_{\text{г.др}} = \frac{f_{\text{г.др.повп}}}{L_{\text{др}}} = 1{,}803.$

з боку повітря, м, $\text{Н}_{\text{пов.др}} = \frac{f_{\text{пов.др.повп}}}{L_{\text{др}}} = 0{,}877.$

Витрата дробу, кг/с,

$$\text{G}_{\text{др}} = 0{,}01 \cdot 3000 \cdot \text{m}_{\text{др}} \cdot \text{s}_{\text{др.повп}} \cdot \text{L}_{\text{др}} = 1{,}528.$$

4.2.12. Конструктивний розрахунок чавунного економайзера.

Теплота, яку віддають продукти згоряння в економайзері при прийнятій температурі відхідних газів,кДж/кг,

$$\text{Q}_{\text{б.ек}} = \phi \cdot (\text{I}_{\text{з.др.повп}} - \text{I}_{\text{від}} + \Delta\alpha_{\text{ек}} \cdot \text{I}_{\text{ох.пов}}) = 2{,}126\text{x}10^{3}.$$

Ентальпія води після водяного економайзера, кДж/кг,

$$h''_{\text{ек}} = h_{\text{ж.в}} + \frac{\text{В} \cdot Q_{\text{б.ек}}}{D + \text{p}_{\text{пр}} \cdot D} = 562{,}445$$

За ентальпією і тиском води після економайзера з таблиць визначаємо температурау води на виході з економайзера, °С, $t''_{ек}$ = 134,235.

Конструктивні характеристики однієї чавунної ребристої труби:

довжина труби	2000 мм.
внутрішній діаметр і товщина стінки	60х8 мм.
розмір ребер	146х146 мм.
розмір фланців	150х150 мм.
поверхня нагріву з газової сторони	$F_{тр}$ = 2,95.
площа живого перерізу для проходження газів, м^2	$f_{тр}$ = 0,120.

Кількість труб у ряді (прийнято) z_1 = 16.

Площа живого перерізу $f_{гек}$ для проходження продуктів згоряння, м^2

$$f_{гек} = z_1 \cdot f_{тр} = 1{,}92.$$

Середня температура продуктів згоряння в економайзері, С,

$$\theta_{\text{ср.ек}} = \frac{\theta_{\text{з.др.повп}} + \theta_{\text{від}}}{2} = 191{,}7.$$

Розрахункова швидкість продуктів згоряння в економайзері, м/с:

$$w_{\text{г.ек}} = \frac{\text{В} \cdot V_{\text{г.ек}} \cdot (\theta_{\text{ср.ек}} + 273)}{f_{\text{г.ек}} \cdot 273} = 11{,}623.$$

Коефіцієнт теплопередачі з номограми, Вт/(м^2·К), $k_{ек}$ = 30,495.

Температурний напір, С:

менший температурний напір $\Delta t_м = \theta_{від} - t_{ж.в}$ = 30.

більший температурний напір $\Delta t_б = \theta_{з.др.повп} - t''_{ек}$ = 119,165.

$$\Delta t_{\text{ек}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}\right)} = 64{,}645.$$

Площа поверхні нагріву водяного економайзера, м^2:

$$F_{\text{ек}} = \frac{Q_{\text{б.ек}} \cdot \text{В} \cdot 10^3}{k_{\text{ек}} \cdot \Delta t_{\text{ек}}} = 1{,}033\text{x}10^3.$$

Загальна кількість труб економайзера :

$$z_{\text{ек}} = \frac{F_{\text{ек}}}{F_{\text{тр}}} = 350{,}16.$$

Прийнята кількість труб економайзера $z_{ек.пр}$ = 350.

Кількість рядів z_2:

$$z_2 = \frac{z_{\text{ек.пр}}}{z_1} = 21{,}875.$$

Прийнята кількість рядів труб економайзера $z_{2\text{пр}} = 22$.

Визначається нев'язка теплового балансу, кДж/м^3,

$$\Delta Q = \left(Q_{\text{нв}} \cdot \frac{\eta_{\text{ка}}}{100}\right) - \left(Q_{\text{т}} + Q_{\text{ф.б}} + Q_{\text{к.п.б}} + Q_{\text{пп}} + Q_{\text{б.ек}}\right) = 31{,}543.$$

$$\frac{\Delta Q \cdot 100}{Q_{\text{нв}}} = 0{,}08\%.$$

4.2.13. Аеродинамічний розрахунок дробопотокового повітропідігрівника.

Коефіцієнт опору шару насадка з газової сторони

$$\varsigma_{\text{г}} = \frac{36{,}3}{Re_{\text{г}}} + 0{,}4 = 0{,}435.$$

Коефіцієнт опору шару насадка з повітряної сторони

$$\varsigma_{\text{пов}} = \frac{36{,}3}{Re_{\text{пов}}} + 0{,}4 = 0{,}417.$$

Густина газів при середній температурі, кг/м^3,

$$\rho_{\text{г.др}} = \frac{273\left(1-0{,}01\cdot \text{A}_{\text{р}}+1{,}306\cdot\alpha_{\text{ср.др.повп}}\cdot V_o\right)}{V_{\text{г.др.повп}}\cdot\left(\theta_{\text{ср.др.повп}}+273\right)} = 0{,}645.$$

Густина повітря при середній температурі 60 $^{\text{o}}$C, кг/м^3, $\rho_{\text{пов}} = 1{,}063$.

Опір шару насадка з газової сторони, Па,

$$\Delta h_{\text{г.др}} = \varsigma_{\text{г}} \cdot \frac{\rho_{\text{г.др}}\cdot w_{\text{г.ф}}^2\cdot s_{\text{др.повп}}\cdot \text{a}}{2\cdot m_{\text{др}}} = 333{,}609.$$

Опір шару насадка з повітряної сторони, Па,

$$\Delta h_{\text{пов.др}} = \varsigma_{\text{пов}} \cdot \frac{\rho_{\text{пов}}\cdot w_{\text{пов.ф}}^2\cdot s_{\text{др.повп}}\cdot \text{a}}{2\cdot m_{\text{др}}} = 527{,}655.$$

4.2.14. Результати теплового розрахунку котла.

ККД котла, %,	$\eta_{\text{ка}} = 92{,}927$.
Нижча теплота згоряння палива (мазут), кДж/кг,	$Q_{\text{ir}} = 3{,}88\text{x}10^{\,4}$
Витрата палива, кг/с,	B = 0,958.
Температура гарячого повітря, $^{\text{o}}$C,	$t_{\text{г.пов}} = 180$.

Температура газів на виході з топки, ^{o}C,	$\theta_{т.вих.р}$=1,074x10^{3}.
Температура газів за фестоном, ^{o}C,	$\theta_{з.ф}$ =1,01x10^{3}.
Температура газів за конвективним пучком, ^{o}C,	$\theta_{з.к.п}$ = 497.
Температура газів за пароперегрівником, ^{o}C,	$\theta_{з.пп}$ = 380.
Температура газів за трубчастим повітропідігрівником, ^{o}C,	$\theta_{з.тр.повп}$ = 301,9.
Температура газів за дробопотоковим повітропідігрівником, ^{o}C,	$\theta_{з.др.повп}$ = 253,4.
Температура відхідних газів, ^{o}C,	$\theta_{від}$ = 130.
Поверхня нагріву трубчастого повітропідігрівника після реконструкції, м^{2},	$F_{тр.повп.пр}$ = 315,008
Необхідне при реконструкції котла зменшення поверхні нагріву трубчастого повітропідігрівника, м^{2},	$\Delta F_{тр.повп}$ = 180,992
Площа поверхні дробопотокового повітропідігрівника, м^{2},	$F_{др.повп}$ = 228,933.
Площа поверхні економайзера, м^{2},	$F_{ек}$ = 1,033x10^{3}.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1. Охорона праці

5.1.1. Вступ

Одна з найважливіших державних задач – охорона життя та здоров'я громадян в процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці. За даними Всесвітньої організації охорони праці смертність від нещасних випадків на сьогодні займає третє місце після серцево – судинних і онкологічних захворювань, причому переважно гинуть працездатні люди віком до 40 років. Аналіз причин смертності в Україні (1998 - 2005 рр.) показує, що основною причиною смертності чоловіків у працездатному віці є нещасні випадки, отруєння, травми (30 - 35% усіх смертей у цьому віці).

Охорона праці – це система правових, соціально - економічних, організаційно-технічних, санітарно - гігієнічних та лікувально - профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці. Охорона праці відіграє важливу роль, як суспільний чинник, оскільки, якими б вагомими не були трудові здобутки, вони не можуть компенсувати людині втраченого здоров'я, а тим більше життя. Окрім соціального, охорона праці має, безперечно, важливе економічне значення – це і висока продуктивність праці, зниження витрат на оплату лікарняних, компенсацій за важкі та шкідливі умови праці тощо. Фахівці Міжнародної організації праці (МОП) підрахували, що економічні витрати, пов'язані з нещасними випадками, складають 1% світового валового національного продукту. За статистичними даними МОП кількість нещасних випадків на виробництві останнім часом зросла і становить 125 млн. чол. щорічно, з них близько 220 тис. гине. Рівень травматизму і профзахворюваності значно вищий у країнах, що розвиваються, ніж у промислово розвинених державах.

На думку іноземних фахівців, які за програмою МОП працювали в Україні, велика кількість нещасних випадків зі смертельними наслідками пояснюється п'ятьма основними причинами: незадовільною підготовкою робітників і роботодавців з питань охорони праці; відсутністю належного контролю за станом безпеки на робочих місцях та виконанням встановлених норм;

недостатнім забезпеченням працюючих засобами індивідуального захисту; повільним Впровадженням засобів та приладів колективної безпеки на підприємствах; спрацьованістю засобів виробництва.

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, Закони України: "Про охорону праці", "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку", "Про використання ядерної енергії та радіаційний захист", "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення", а також Кодекс законів про працю України (КЗпП).

Основним законодавчим документом в галузі охорони праці є Закон України "Про охорону праці" , дія якого поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах. Проект реконструкції котельні має відповідати встановленим законодавчими актами нашої країни нормам про безпеку праці та життєдіяльності людини.

5.1.2. Закон України "Про охорону праці"

Цей закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом (далі - власник) і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні.

Дія закону поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності (далі - підприємство), на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах (далі - працівники).

Законодавство про охорону праці складається з цього Закону, Кодексу законів про працю України та інших нормативних актів. У разі, коли міжнародними договорами або угодами, в яких бере участь Україна, встанов-

лено більш високі вимоги до охорони праці, ніж ті, що передбачено законодавством України, то застосовуються правила міжнародного договору або угоди. Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

- пріоритету життя і здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства, повної відповідальності власника за створення безпечних і нешкідливих умов праці;
- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі національних програм з питань та урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони навколишнього середовища;
- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань;
- встановлення єдиних нормативів з охорони праці для всіх підприємств, незалежно від форм власності і видів їх діяльності;
- використання економічних методів управління охороною праці, проведення політики пільгового оподаткування, що сприяє створенню безпечних і нешкідливих умов праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці;
- здійснення навчання населення, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;
- забезпечення координації діяльності державних органів, установ, організацій та об'єднань громадян що вирішують різні проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між власниками та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами при прийнятті рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;
- міжнародного співробітництва в галузі охорони праці, використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці.

5.1.3. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників обладнання котельних установок.

Небезпечні і шкідливі виробничі чинники підрозділяються за природою дії на наступні групи: фізичні, хімічні, біологічні, психофізичні.

Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі чинники підрозділяються на наступні:

підвищена або знижена температура у робочій зоні:

підвищена або знижена відносна вологість повітря в робочій зоні.

Хімічні небезпечні і шкідливі виробничі чинники підрозділяються:

по характеру дії на організм людини на:

а) токсичні;

б) канцерогенні;

по шляху проникнення в організм людини через:

а) органи дихання;

б) шкірні покриви і слизисті оболонки.

Біологічні небезпечні і шкідливі виробничі чинники включають наступні біологічні об'єкти:

патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, гриби, прості) і продукти їх життєдіяльності.

5.1.4. Виробниче освітлення та його розрахунок

Для розрахунку освітлення приміщення котельної установки використовуємо метод коефіцієнта використання світлового потоку. Метод призначений для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальної поверхні за відсутністю великих предметів, що затінюють поверхню, з урахуванням світла, відбитого стінами і стелею.

Виконуємо розрахунок загального освітлення приміщення котельні, довжина якого A = 20 м, ширина B = 20 м, висота H = 10,5 м. Приміщення з пофарбованою білою фарбою стелею та стінами при незавішених вікнах; темна розрахункова поверхня $\rho_р$ = 10%; напруга в мережі V = 220В.

Розрахунок виконується для люмінесцентних ламп. Приймаємо відстань від стелі до світильника 3м.

Необхідна кількість світильників:

N = S/L2,

де, S – площа приміщення; L – відстань між центрами світильників; приймаємо 3 м.

$$N = 20 \cdot 20/ 32 = 44,4$$

Приймаємо 49 світильників (7 рядів по 7 шт.).

Знаходимо індекс приміщення:

$$i = A \cdot B / (H \cdot (A + B)),$$

$$i = 20 \cdot 20 / (10,5 \cdot (20+20)) = 0,9.$$

З табл. [1, 22] знаходимо коефіцієнт відбивання стелі ρп = 70% і коефіцієнт відбивання для стін ρс = 50% і для розрахункової поверхні $\rho_р$ = 10%.

Для люмінесцентних ламп з табл. [1,22] при i = 0,9 $\rho_п$ = 70%, $\rho_с$ = 50%, ρр = 10% для світильника типу ЛД знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку η = 0,42.

Знаходимо світловий потік однієї лампи:

$$Ф_р = (E_{min} \cdot S \cdot К_з \cdot Z) / (N \cdot \eta \cdot n),$$

де, E_{min} = 100 лк – нормована освітленість (номінальна або мінімальна) з табл. [1, 22]; S – площа, $м^2$; $К_з$ = 1,8 – коефіцієнт запасу, який враховує експлуатаційне зниження освітленості в порівнянні з запроектованою унаслідок забруднення огороджень, світильників, ламп, а також зменшення світлового потоку в процесі їх експлуатації; Z = 1,1–коефіцієнт мінімальної освітленості; враховує нерівномірність освітленості і залежить від відстані між світильниками та їх типу; n – кількість ламп в одному світильнику.

Отже

$$Ф_р = (100 \cdot 20 \cdot 20 \cdot 1,8 \cdot 1,1)/(49 \cdot 0,42 \cdot 2) = 2121 \text{ лм}.$$

За знайденим світловим потоком з табл. [1, 22] вибираємо лампу типу ЛБ потужністю 30 Вт, що має світловий потік 2180 лм, найближчий до розрахунко-вого. Знаходимо фактичну освітленість:

$$E_Ф = E_{min} \cdot Ф_л / Ф_р;$$

$$E_ф = 100 \cdot 2180/2121 = 103 \text{ лк};$$

$$((E_Ф - E_{min}) / E_{min}) \cdot 100\% = 3\%.$$

Еф відрізняється від E_{min} на 3% (допустима відмінність – 10 % ... 20 %).

Визначаємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{заг} = P_л \cdot N \cdot n,$$

де, $P_л$ – потужність однієї лампи; N – кількість світильників; n – кількість ламп в одному світильнику.

Таким чином загальна потужність освітлювальної установки

$$P_{заг} = 30 \cdot 49 \cdot 2 = 2952 \text{ Вт}.$$

ВИСНОВОК

Результатом кваліфікаційної роботи є модернізації пуско-резервної котельні Южноукраїнської АЕС тепловою потужністю 130 Гкал/год. Мета модернізації – підвищення надійності роботи та ефективності роботи котельні. Заходи включають заміну парових калориферів, призначених для попереднього підігрівання повітря перед основним повітропідігрівником з метою запобігання його низькотемпературній корозії, газовими регенеративними дробопотоковими повітропідігрівниками. Перевага конструкції дробопотокового повітропідігрівника – надійність роботи при спалюванні високосірчистого мазуту. Це дозволяє не тільки підвищити надійність роботи котла, а також виключити витрату пари на паровий калорифер. Крім того, передбачається підвищити температуру підігрівання мазуту до 200 ^{o}C, що дозволяє зменшити коефіцієнт надлишку повітря у топці з 1,15 до 1,05 за рахунок поліпшення якості розпилювання мазуту, знизити температуру відхідних газів до 130 ^{o}C а отже підвищити ККД котла на 1,5 % (до 92,6 %). Виконані розрахунки теплової схеми котельні та котельного агрегату, розроблену конструкцію дробопотокового повітропідігрівника.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 7525:2014 «Вода питна».
2. ДБН В.2.5-64:2012 «Внутрішній водопровід та каналізація».
3. СНиП 3.05.01-85* «Внутрішні санітарно-технічні системи».
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія».
5. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».
6. ДБН В.2.2-15-2005 «Будинки і споруди. Житлові будинки».
7. Zhuvahina, I. (2026, April). Strategic transformation of the Ukrainian peat industry: from state-owned stagnation to private-sector modernization. In *Імперативи економічного зростання в контексті реалізації Глобальних цілей сталого розвитку*. Київський національний університет технологій та дизайну.
8. ДСТУ ГОСТ 2.104:2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи».
9. ДСТУ Б А.2.4-41:2009 «Система проєктної документації для будівництва. Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря. Робочі креслення».
10. «Курсове і дипломне проєктування з вентиляції громадських і промислових будівель» В. П. Титов, Е. В. Сазонов, Ю. С. Краснов, В. І. Новожилов. Київ, 2022 р.
11. Довідник проектувальника. Внутрішні санітарно-технічні пристрої. Частина І. «Опалення» В. М. Богословський, Б. А. Крупнов, А. М. Сканаві, під редакцією І. Г. Староверова та Ю. І. Шиллєра. Київ, 2000 р.
12. Жувагіна, І. О., & Химорода, І. І. (2022, Oc tober). Стратегічні імперативи забезпечення стійкого функціонування промислових підприємств як основи розвитку національної економіки. In The 10 th International sc ientific and p rac tic al c onferenc e “Eurasian sc ientific disc ussions”(Oc tober 23-25, 2022) Barc a Ac ademy P ublishing, Barc elona, Sp ain. 2022. 474 p . (p . 405).
13. Довідник з теплопостачання і вентиляції. Підручник 1-й. Р. В. Щокін, С. М. Кореневський, Г. Е. Беем. Киев, 2022 р.
14. Каталог фірми REHAU «Трубопровідна система RAUTITAN для водопровідної і радіаторного розведення».
15. Каталог балансувальних клапанів Danfoss.
16. Каталог фірми Danfoss «Радіаторні терморегулятори RTD».
17. Каталог фірми Grundfos «Циркуляційні насоси серії 200