

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Кваліфікаційна робота  
другий магістерський  
(рівень вищої освіти)

на тему Підвищення енергетичної ефективності  
систем теплонасосних ПТТ „Укрреарт“

Виконав: студент II курсу, групи \_\_\_\_\_  
спеціальності 141 Теплоенергетика  
(код і назва спеціальності)  
освітньої програми Теплоенергетика  
(код і назва освітньої програми)  
спеціалізації \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціалізації)

Н. Колеснік О.Є.  
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент к.т.н. Флазарук І.І.  
(код фаху, прізвище та ім'я, науковий ступінь, звання, місце роботи та підпис)

Рецензент Дітков Р.О.  
(код фаху, прізвище та ім'я, науковий ступінь, звання, місце роботи та підпис)

Запоріжжя  
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики  
Рівень вищої освіти другий магістерський  
Спеціальність 144 Теплоенергетика  
(код та назва)  
Освітня програма Теплоенергетика  
(код та назва)  
Спеціалізація  
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
« 26 » 12 20 19 року

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

П.Розважало Олексій Євгенович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Рівняння енергетичної  
єфективності системи теплової енергії  
ПАО "Газпром"  
керівник роботи Назаренко І.А. к.т.н. доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, місце роботи)

затверджені наказом ЗНУ від « 10 » 09 20 19 року № 1537-с

2 Строк подання студентом роботи 26.12.2019р.

3 Вихідні дані до роботи Тисл пари 0,7 МПа, витрата пари 25 т/год  
на виробництво на опалення 20 т/год, витрата кінфракційного  
енергії 2000 кВт/год на виробництво 65 т/год.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Загальна характеристика об'єкту дослідження. 2. Рівняння  
енергетичної ефективності системи теплової енергії.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Схема трубопроводів. 2. Теплова схема утилізаційної котельні.

3. Структура системи опалення. 4. Рівняння енергетичної ефективності та вартості.

5. Структура системи кінфракційного опалення. 6. Екологічний ефект.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Назаренко І.В. к.т.н, доцент		
Розділ 2	Назаренко І.В. к.т.н, доцент		
Сторінка 1 з 1	Назаренко І.В. к.т.н, доцент		

7 Дата видачі завдання 18.09.2018р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Проміж
1	Загальна характеристика об'єкту дослідження	18.09. - 20.09.18р.	
2	Розробка теплової схеми котельні	20.09. - 20.09.18р.	
3	Розробка та вибір основного та допоміжного обладнання	20.09. - 20.09.18р.	
4	Розробка заходів з техніки безпеки	20.09.18р. - 20.10.18р.	
5	Розробка креслень	20.10.18р. - 20.12.18р.	

Студент (підпис)

О.С. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

(підпис) І.В. Назаренко (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис) Ю.М. Кошов (ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Ніколенко О.Є. Підвищення енергетичної ефективності системи теплопостачання ПАТ «Укрграфіт»

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник І.А. Назаренко. Запорізький національний університет. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

У роботі розглянуто та проаналізовано проблему використання вторинних енергоресурсів. Запропоновано побудову утилізаційної котельні для забезпечення ПАТ «Укрграфіт» парою та гарячою водою. У роботі передбачаються тепломеханічні рішення котельної, яка призначена для теплопостачання систем опалення, припливних установок і системи ГВП, а також для забезпечення парою технологічних споживачів.

Ключові слова: система теплопостачання, утилізаційна котельня, енергозбереження, деаератор, димар, насос, тепла мережа, теплообмінний апарат

## ABSTRACT

Nikolenko OE The increasing the energy efficiency of Ukrgrafit's heat supply system of JSC «Ukrgrafit».

Qualification graduation work for the degree of higher education of master's degree in specialty 144 - Thermal power engineering, supervisor IA Nazarenko. Zaporizhzhya National University. Faculty of Energy, Electronics and Information Technology, Department of Thermal Power Engineering and Hydropower Engineering, 2020.

The problem of the use of secondary energy resources is considered and analyzed. It is proposed to construct a utilization boiler to provide PJSC

“Ukrgrafit” with steam and hot water. The work envisages thermomechanical solutions of the boiler room, which is intended for heat supply of heating systems, tidal installations and DHW systems, as well as for providing a couple of technological consumers.

Keywords: heat supply system, utilization boiler, energy saving, deaerator, chimney, pump, heat network, heat exchanger

## АННОТАЦИЯ

Николенко А.Е. Повышение энергетической эффективности системы теплоснабжения ОАО «Укрграфит».

Квалификационная выпускная работа для получения магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель И.А. Назаренко. Запорожский национальный университет. Факультет энергетика, электроники и информационных технологий, кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2020.

В работе рассмотрено и проанализировано проблему использования вторичных энергоресурсов. Предложено построение утилизационной котельной для обеспечения ПАО «Укрграфит» паром и горячей водой. В работе предусматриваются тепломеханические решение котельной, которая предназначена для теплоснабжения систем отопления, приточных установок и ГВС, а также для обеспечения паром технологических потребителей.

Ключевые слова: система теплоснабжения, утилизационная котельная, энергосбережение, деаэратор, дымоход, насос, тепловая сеть, теплообменный аппарат

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1 Історія заводу ПАТ "Укрграфіт"	9
1.2 Аналіз системи тепlopостачання	12
1.2 Вихідні дані	14
1.4 Обладнання системи тепlopостачання	15
1.5 Теплова схема котельні	18
1.6 Опалення вентиляція і кондиціонування	19
1.7 Водопостачання	23
2 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПАТ «УКРГРАФІТ»	25
2.1 Розрахунок теплової схеми котельні	25
2.2 Розрахунок пароводяних теплообмінників	38
2.3 Розрахунок водопідготовчої установки	42
2.4 Вибір основного та допоміжного обладнання	50
2.5 Подача твердого палива	60
2.6 Золовидалення	60
3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	62
3.1 Характеристика потенційно небезпечних і шкідливих чинників	62
3.2 Заходи щодо поліпшення умов праці	63
3.3 Виробнича санітарія	65
3.4 Електробезпека	67
3.5 Пожежна безпека	69
3.6 Розрахунок захисного відключення	71
ВИСНОВКИ	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	77

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Для більшості котелень і теплових електростанцій, що спалюють природний газ, мазут є резервним паливом, тому обладнання для його зливу, подачі і зберігання повинно забезпечувати надійну роботу системи мазут. Розігрів мазуту є одним з найважливіших ланок у системі мазут, так як він випереджає будь-яке переміщення мазуту в просторі. Проблеми, що виникають при традиційному розігріві мазуту парою, вирішуються при циркуляційному способі розігріву, так як через інтенсивне перемішування відкладень домішок не відбувається, немає відстою води на дні резервуару, скорочуються тепловтрати в навколишнє середовище. Прогрів циркуляційним способом після тривалого холодного зберігання мазуту забезпечує рівномірний розподіл температур в усьому обсязі резервуара, час розігріву при циркуляційному способі менше, ніж при вбудованих підогревателях.

*Об'єкт дослідження* – процеси теплообміну при нагріванні мазуту.

*Предмет дослідження* - вплив витрати та температури пари на кінцеву температуру мазуту у резервуарі.

*Мета роботи* – визначення впливу витрати та температури пари на кінцеву температуру мазуту у резервуарі.

*Задачі дослідження.* Для досягнення поставленої мети в роботі визначені наступні задачі:

- аналіз сучасного стану питання, щодо систем зберігання мазуту;
- визначення факторів, що впливають на процес нагрівання мазуту;
- отримання результатів досліджень та побудова графіків залежності кінцевої температури мазуту від витрати та температури пари.

*Методи та засоби дослідження.* Задачі дослідження вирішувались шляхом математичного моделювання та зі застосуванням розрахункового методу.

*Практична цінність роботи* полягає в розробці режимів нагрівання з метою підвищення енергоефективності циркуляційних систем зберігання мазуту.

*Особистий внесок здобувача* полягає у наступному:

- проведення комплексного аналізу літературних джерел щодо існуючих систем нагрівання та зберігання мазуту;

Постановка завдання та формулювання висновків виконувались під керівництвом к.т.н., доц. Назаренко І.А.

*Апробація роботи.* Положення роботи викладені на наступних конференціях:

- XXIV науково - технічна конференція студентів магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА (м. Запоріжжя, 2019).

- IV Всеукраїнської науково – практичної конференції студентів, аспірантів, молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної енергетики». (м. Херсон, 2019).

*Структура та обсяг роботи.* Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та список використаної літератури з 48 позицій. Загальний обсяг \_\_сторінок .



# 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Історія заводу ПАТ "Укрграфіт"

21 вересня 1933 року день випуску першої промислової партії вуглецевої продукції, обпалених анодів для алюмінієвих електролізерів, вважають днем народження Дніпровського електродного заводу. Спочатку підприємство входило до складу алюмінієвого комбінату, який є частиною Запорізького промислового комплексу.

У 1940 р. завод був виділений у самостійну промислову структуру, в цей період побудовано цех графітації, який видав перші 1000 т. заготовок для електродів. Але з початком військових дій в м. Запоріжжя в 1941 р. завод був демонтований і евакуйований на Урал. Понесені збитки були колосальні, терміни відновлення жорсткі, і вже в травні 1945 р. було знову організовано виробництво анодної і електродного мас. У 1948 р. завод повністю відновлений і почав працювати за повним технологічним циклом.

У наступні роки підприємство стрімко розвивалось і розросталось, були спроектовані і побудовані нові цехи, вводилося і освоювалося сучасне обладнання, розроблялися і впроваджувалися нові технологічні процеси.

У 1994 р. Дніпровський електродний завод був перетворений у Публічне Акціонерне Товариство «Український графіт». За останні роки, завдяки самовідданій праці колективу, підприємство змогло збільшити обсяги випуску і рентабельність продукції, провести технічне переозброєння, поліпшити економічні показники діяльності, значно розширити асортимент і забезпечити конкурентоспроможність виробів, що випускаються.

Підприємство завжди одним з перших здійснювало розробку та впроваджувало у виробництво нові види технологій, сучасні агрегати і технологічні лінії. Багато зроблено за останні 10 років. У 1997 році здійснено введення в промислову експлуатацію нового цеху вугільних заготовок, що не має аналогів у країнах Східної Європи та Росії.

Застосування електричних кальцинаторів для глибокої термічної обробки сировини дозволило створити єдине в СНД виробництво електрокальцінованих антрацитів, що значно поліпшило експлуатаційні властивості вироблюваної вуглецевої продукції - катодних блоків для футеровки алюмінієвих електролізерів і блоків для футерування поду і горна доменних печей. Освоєно виробництво матеріалів на основі електрокальцінованого антрациту з використанням до 70 % графіту. У 2000-2001 р.р. впроваджена технологія та освоєно в промислових масштабах виробництво графітованих блоків для виготовлення анодів магнієвих електролізерів, що відрізняються зниженим питомим електричним опором і підвищеною експлуатаційною стійкістю. У 2001 р. побудовано цех і освоєно, що не має аналогів на електродних заводах країн СНД, виробництво анодів для магнієвої промисловості з просоченнями неорганічними компаундами на основі фосфорних сполук. У 2003-2004 р.р. освоєно виробництво маси холоднабівної вуглецевої теплопровідної для доменних печей і маси холоднабівної подової для алюмінієвих електролізерів. Проведена велика робота по вдосконаленню технології і модернізації виробництва серійно випускається. В даний час підприємство має в своєму розпорядженні перспективними розробками як в області вдосконалення серійно випускається продукції, так і в області створення нових видів продукції.

Особливу роль у розвитку підприємства відіграли розробка та впровадження системи управління якістю, яка дозволила розвинути і вдосконалити технологію, виробництво і систему управління підприємства в цілому, дозволила підняти на більш високий якісний рівень конкурентоспроможність продукції. Сьогодні на підприємстві впроваджені міжнародні стандарти ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18001. У сфері вдосконалення системи управління ПАТ «Укрграфіт» має намір йти далі і впроваджувати концепцію управління якістю (TQM) з ще більш високим рівнем вимог до всіх аспектів функціонування підприємства.

На ПАТ «Укрграфіт» постійно удосконалюються технологічні та виробничі процеси, ведеться робота по модернізації і розробки нових видів продукції. Величезна увага приділяється якості продукції, що випускається.

Сьогодні продукція ПАТ «Укрграфіт» широко використовуються на металургійних підприємствах України, СНД, країнах ближнього і далекого зарубіжжя. Катодні блоки ПАТ «Укрграфіт» визнані кращими на всіх підприємствах алюмінієвої промисловості СНД і складають серйозну конкуренцію на світовому ринку лідерам у виробництві цього виду продукції. Графітовані електроди виробництва ПАТ «Укрграфіт» широко відомі в СНД і є конкурентоспроможними на світовому ринку. ПАТ «Український графіт» є єдиним постачальником в СНД графітованих блоків і анодів з просоченням неорганічними компаундами для магнієвої промисловості і в даний час виходить з цією продукцією на світовий ринок.

Володіючи вигідним географічним положенням, підприємство має можливість відвантаження експортної продукції залізничним, автомобільним, річковим і морським транспортом. На підприємстві використовуються сучасні та ефективні види упаковок, що забезпечують товарний вигляд продукції та її збереження при транспортуванні усіма видами транспорту.

Продукція підприємства в 1999 р. була відзначена почесним знаком «Вища проба», за підсумками всеукраїнського рейтингу 2000 р. ПАТ «Укрграфіт» увійшло до числа «Сто кращих динамічно розвиваються компаній України». Продукція підприємства визнана переможцем і лауреатом всеукраїнського конкурсу якості «100 кращих товарів України 2003». У 2004 р. ПАТ «Укрграфіт» було удостоєне міжнародної нагороди «Європейська якість».

Підприємство є дійсним членом Української Асоціації Виробників Чавуну, Української Асоціації сталеплавильників, Асоціації ливарників

України, Торгово-Промислової Палати України та Української Асоціації Якості, Міждержавної Асоціації Титан, що дозволяє вирішувати конкретні питання і гнучко реагувати на мінливі умови роботи на ринку.

Сьогодні виробнича марка ПАТ «Укрграфіт» та продукція підприємства визнана споживачами, українськими та міжнародними організаціями. По асортименту і якості продукції, що випускається ПАТ «Укрграфіт» утримує провідні позиції серед виробників аналогічної вуглеграфітових продукції в країнах СНД, успішно конкурує на світовому ринку.

## 1.2 Аналіз системи теплопостачання

Пара з тиском 0,7 МПа розподіляється на технологічні потреби заводу та систему опалення.

Витрата пари на технологічні потреби заводу:

- зима - 25 т/год;
- літо - 15 т/год.

Витрата тепла на опалення в зимовий період 20 Гкал/год (при температурі навколишнього повітря -21 °С).

У прожарювальному цеху № 2 встановлено п'ять прожарювальних печей № 1, 2, 3, 4, 5, призначені для розжарювання і сушки вуглецевих матеріалів.

Прожарювання вуглецевих матеріалів - процес обробки протягом певного часу при високих температурах без доступу повітря. На кожній печі встановлено газовий пальник для нагрівання і прокалювання матеріалу. Нагрівання матеріалу проводиться за рахунок випромінювання тепла факела пальника і тепловіддачі димових газів, що утворюються в процесі горіння. Рух вуглецевого матеріалу і димових газів - протivotочний. Прожарений матеріал надходить у холодильник, звідки по точці направляється далі по технологічному циклу. Відхідні гази печі

надходять на газоочистку і далі викидаються в атмосферу через димову трубу висотою 100 м з діаметром горла 2,4 м. Система газоочистки складається з наступних послідовно з'єднаних елементів:

- мокрий скруббер система зрошення газів водою (для зниження температури);
- послідовно включені дві системи батарейних циклонів;
- димосос.

Витрата димових газів від однієї печі становить (15...20) тис.  $\text{м}^3/\text{год}$  з температурою (800...1100)  $^{\circ}\text{C}$ . Таким чином, втрати тепла в навколишнє середовище від однієї печі складають (3,4...6,6) Гкал /год.

Проектом утилізаційної котельної передбачається установка 3х парових котлів для забезпечення технологічних потреб заводу пари і гарячої води на опалення. Продуктивність одного котла складає  $G = 25 \text{ т} / \text{год}$ .

Встановлена потужність утилізаційної котельної 75 т/год пари. Витрата природного газу при  $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 8693 \text{ ккал}/\text{м}^3$  на котел становить  $Q = 2000 \text{ м}^3/\text{год}$ , максимальна витрата газу на котельню  $Q = 5000 \text{ м}^3/\text{год}$ . Максимальна паропроductивність котельні в зимовий період складає 65 т/год.

Кожен з котлів обладнується трьома пальниками: двома газовими пальниками, та одним пілогозовим. Тиск газу перед пальниками  $P = 0,05 \text{ МПа}$ .

На газопроводі-відводі до котла передбачена установка відключаючої засувки з електроприводом і листовою заглушкою за нею походу газу, витратомірного пристрою, запобіжного запірного клапана. На кожному відводі до пальників передбачена установка клапана регулюючого поворотного, клапана-відсікача з двома ЕМ і вимикального пристрою з ручним керуванням.

Продування газопроводів здійснюється через продувні газопроводи в атмосферу. Перед останнім по ходу газу вимикаючим пристроєм

передбачені свічки безпеки. Газопроводи безпеки і продувні газопроводи виводяться за межі приміщення на 1 м вище гребеня даху.

Постачання котельної газом здійснюється від газопроводу середнього тиску  $P = 0,22$  МПа ( $2,2$  кгс/см<sup>2</sup>).

На вводі в котельню на газопроводі встановлені:

- засувка 30с941нж з електроприводом. Засувка застосовується в комплекті з газосигналізаторів для контролю довибухових концентрацій газу (20 % НКМЗ) з виводом сигналу в диспетчерську, а також відсічення газу;
- фільтр газовий ФГ-15-100-6;
- лічильник газовий ЛГК-200-1000-0 ,63-Ех.

### 1.3 Вихідні дані

Майданчик будівництва знаходиться в м. Запоріжжя та згідно СНиП 2.01.01-82 відноситься до третього району будівельно-кліматичного районування, для якого прийняті наступні вихідні дані:

- нормативна глибина промерзання ґрунтів - 0,9 м;
- нормативна снігове навантаження по четвертому району ДБН В.1.2-2006 -  $140$  кг/м<sup>2</sup>;
- нормативна вітрове навантаження по третьому району ДБН В.1.2-2006 -  $50$  кг/м<sup>2</sup>.

Проектом передбачається будівництво нової будівлі утилізаційної котельної, а також використання для розміщення обладнання хімоводоочищення (ХВО), деаераційно-живильної установки (ДПУ), мережевий установки, устаткування для гарячого водопостачання (ГВП), електрощитової, розподільного пункту (РП) площ існуючої будівлі ЦТП заводу .

Будівля котельні складається з 2-х блоків:

- котельного залу;
- прибудови для розміщення адміністративно-побутових приміщень та електротехнічних служб.

Котельний зал являє собою одноповерхову будівлю прольотом 21 м, довжиною 30 м і висотою 21 м до низу ферм. Крок колон 6 м, будинок обладнано підвісний кран-балкою вантажопідйомністю 5 т.с.

Прибудований до торця котельного залу блок адміністративно-побутових приміщень та електротехнічних служб являє собою 2х-поверховий будинок розмірами в плані 12 х 12 м. На 1 поверсі розміщуються електротехнічні служби: підстанція, КТП та РП, а так само гардероб. На другому поверсі знаходяться адміністративно-побутові приміщення, операторська і пультова управління котлами. У прибудові мається евакуаційний коридор, який пов'язаний, із закритою сходовою клітиною і відкритими маршовими сходами. Адміністративні приміщення запроектовані з природним освітленням.

#### 1.4 Обладнання системи теплопостачання

Для теплового знешкодження та утилізації тепла димових газів прожарювальних печей № 1, 2, 3 і 5 цеху № 2 передбачено будівництво трьох котлів-утилізаторів типу РК-25-1,4/320.

В утилізаційній котельні встановлено три котли-утилізатори типу РК-25-1,4/320 конструкції НТП «Котлоенергопром», м. Харків. Робота кожного котла-утилізатора передбачена в одному з трьох режимів: в утилізаційному, автономному, або в режимі спалювання вуглецевого пилу. В утилізаційному режимі у якості палива використовується тепло відхідних технологічних газів і природний газ; в режимі спалювання вуглецевого пилу — пил, тепло відхідних технологічних газів та природний газ; в автономному режимі — тільки природний газ.

Нова котельня більш ефективна і екологічно чиста.

Крім вирішення питань енергопостачання підприємства, будівництво власної утилізаційної котельної дозволило виконати взяті перед містом зобов'язання в рамках «Програми природоохоронних заходів, спрямованих на охорону довкілля, раціональне використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки міста Запоріжжя» (рішення Запорізької міської ради № 24 від 24 грудня 2013 р.).

Внаслідок конструктивних особливостей котлів було забезпечено утримання у відхідних газах після утилізаційної котельної оксиду вуглецю на рівні нижче ГДВ, а для очищення димових газів від пилу за котлами-утилізаторами встановлено 3 імпульсні рукавні фільтри типу ФРКІ-1200, що працюють паралельно. Схема увімкнення рукавних фільтрів у газовий тракт котлів-утилізаторів дозволяє працювати будь-якому з котлів з будь-яким рукавним фільтром, що забезпечує стовідсоткову взаємозамінність обладнання.

Робота кожного котла-утилізатора передбачається в трьох режимах:

1. У утилізаційних режимі з підтопило природним газом - в номінальному режимі на котел подається до 60000  $\text{nm}^3/\text{год}$  димових газів від трьох працюючих печей. Для стабілізації горіння і підтримки номінальної паропродуктивності на пальниковий пристрій котла додатково подається 397  $\text{nm}^3 / \text{год}$  природного газу.

2. У режимі спалювання вуглецьвмісної пилу, в кількості 2534 кг/рік, з підсвічуванням природним газом, в обсязі 428  $\text{m}^3/\text{рік}$ , і утилізацією тепла.

3. В автономному режимі роботи на природному газі. Витрата природного газу на котел - 2000  $\text{nm}^3/\text{год}$ .

Номінальна паропродуктивність котла 25 т / год.

Паровий котел РК 25-1,4/320 конструкції НТП «Котлоенергопром» вертикально-водотрубний безбаранний з природною циркуляцією і з П-образним зімкнутим компонуванням поверхонь нагріву з виносним окремостоячим водяним економайзером, призначений для теплового знешкодження та утилізації тепла димових газів від прожарювальних печей



№ 1, 2, 3, 5 і вироблення перегрітої пари тиском 1,4 МПа, з температурою 320 °С. По ходу газів послідовно розташовані: циклонний предтопок (реактор допалювання), топка котла, пароперегрівача, випарний пакет, водяний економайзер.

Коротка технічна характеристика котла та допоміжного обладнання представлена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика котла

Найменування		Позначення одиниці	Значення
1		2	3
Тип котла			РК-25-1,4/320
Паропродуктивність		т/год	25
Тиск в урівнюючої ємності		МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,5 (15)
Тиск перегрітої пари		МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	1,4 (14)
Температура насичення		°С	197
Температура перегретого пара			320
Температура	живільної води	°С	104
	перед економайзером		130-145
Процент продукції		%	не більш 5
Максимальна витрата димових газів печей на котел		нм <sup>3</sup> /год	60000
Витрата природного газу на котел в режимі утилізації		нм <sup>3</sup> /год	397
Витрата природного газу на котел в автономному режимі при роботі на		нм <sup>3</sup> /год	2000

Найменування	Позначення одиниці	Значення
1	2	3
природному газі		
Витрата природного газу на котел при роботі на вуглеродмісткого пилу	нм <sup>3</sup> /год	428
Витрата графітового пилу на котел при роботі на пилу	кг/год	2534
Площа радіаційної поверхні нагріву топки	м <sup>2</sup>	135

Продовження таблиці 1.1.

1	2	3
Площа поверхні нагріву фестона	м <sup>2</sup>	14,4
Площа поверхні нагріву пароперегрівача	м <sup>2</sup>	45,5
- Радіаційний		
- 1 ступень		
- 2 ступень		87,0
Площа поверхні нагріву котельного пучка	м <sup>2</sup>	512,0
Площа поверхні нагріву водяного економайзеру	м <sup>2</sup>	270,0
Об'єм предтопку	м <sup>3</sup>	43,2
Об'єм топочної камери	м <sup>3</sup>	116,0
Водяний об'єм котла	м <sup>3</sup>	22,0
Тип	Конструкції НТП "Котлоенергопром"	
Теплова потужність	МВт (Гкал/год)	21,4 (18,4)

### 1.5 Теплова схема котельні

Пара, що виробляється котлами має параметри: тиск 1,4 МПа і температуру (320... 440) °С залежно від режиму роботи котла. Для підтримки стабільної температури перегрітої пари за котлами передбачена установка двох (один в роботі, інший в резерві) охолоджувальних пристроїв (ОП), що підтримують температуру 320 °С.

Для забезпечення ЦТП (ХВО, мережева установка, ГВП, ДПУ) парою з параметрами  $p = 0,8$  МПа,  $t = 180$  °С в обсязі 50 т/год. Передбачено наявність редуційно-охолоджувальної установки (РОУ) при

максимальному споживанні в зимовий період. Подача пари до ЦТП здійснюється по паропроводу  $\varnothing 325 \times 8$  мм на паровий колектор ЦТП  $\varnothing 426 \times 8$  мм, з якого розподіляється по споживачах.

Для забезпечення заводських споживачів паром з параметрами  $p = 0,8$  МПа,  $t = 295$  °С в обсязі 25 т/год, у проекті передбачена редуційно - охолоджувальна установка (РОУ). На виробництво пара подається трубопроводом  $\varnothing 219 \times 6$  мм і врізається в існуючий заводський колектор.

Для зниження втрати тепла з безперервною продувкою проектом передбачена установка сепаратора безперервної продувки, випари з якого скидаються в заводській паропровід 0,8 МПа. Живлення котлів здійснюється від запроектованої ДПУ, яка розташовується в будівлі ЦТП. До котлів живильна вода подається за двома трубопроводами  $\varnothing 108 \times 4$  мм.

#### 1.6 Опалення вентиляція і кондиціонування

Кліматологічні дані для проектування прийнято згідно СНіП 2.01.01-82 «Будівельна кліматологія і геофізика» для м. Запоріжжя.

Холодний період року (параметри Б):

- а)  $T_z = -21$  °С;
- б)  $J = -21,2$  кДж/кг;
- в)  $W = 7,1$  м/с.

Теплий період року (параметри А):

- а)  $T_z = +27,1$  °С;
- б)  $J = 55,7$  кДж/кг;
- в)  $W = 1$  м/с.

Тривалість опалювального періоду - 168 діб.

Джерелом теплопостачання є мережева установка, з параметрами теплоносія 140/70 °С.

### 1.6.1 Опалення

Підключення утилізаційної котельної здійснюється від існуючих мереж котельні. У приміщення котельного залу передбачається установка розбірного пластинчастого теплообмінника Thermaks для пониження параметрів теплоносія.

Параметри теплоносія в системі опалення проєктованих приміщень – 90/70 °С. Розрахункові температури зовнішнього і внутрішнього повітря прийняті у відповідності з діючими нормами і правилами.

Система опалення проєктованих приміщень прийнята двотрубна, горизонтальна, тупікова.

В якості нагрівальних приладів прийняті:

- для приміщення котельного залу - реєстри з гладких сталевих електрозварювальних труб за ГОСТ 10704-91, в якості резерву передбачені електроконвертори марки ATLANTIS;

- для адміністративних приміщень - сталеві конвектори Maxi-Term.

На підводках до опалювальних приладів передбачається встановлення автоматичних терморегуляторів для регулювання температури в приміщеннях, марки Tieme du 20.

Розвідні магістралі системи опалення та поповерхова розводка виконані зі сталевих водогазопровідних труб по ГОСТ 3262-75.

Випуск повітря з системи опалення здійснюється автоматичний, встановленими у верхніх точках системи. У нижніх точках системи опалення передбачені спускні крани для дренажу.

Для забезпечення гідравлічних режимів на відводах (контурах) встановлюються циркуляційні насоси. Забезпечення безперебійної роботи насосного обладнання здійснюється за допомогою системи автоматики.

Трубопроводи підведення опалення котельні, а також елементи трубопроводів й арматури ізолюються пух - шнуром з мінеральної вати з покривні шаром склопластику марки РСТ-Х.

У місцях перетину огорожувальних конструкцій трубопроводи прокладаються в гільзах, зазори між гільзою і трубопроводом зашпаровують негорючими матеріалами, які забезпечують нормований межа вогнестійкості огорожувальних конструкцій.

Витрата теплоти на систему опалення становить  $Q_{оп} = 100,06$  кВт.

#### 1.6.2 Вентиляція

У проектованій утилізаційній котельній передбачена система припливно-витяжної вентиляції з природним і механічним спонуканням.

Повітрообмін в приміщеннях прийнятий по кратності на підставі відповідних норм і правил та за технологічним завданням.

Самостійні системи припливної та витяжної вентиляції з механічним спонуканням приймаються для:

- підстанції (П1-П2, В1-В2);
- КТП (П3-П4, В3-В4);
- РП (В-5);
- котельні (П5-П6);
- операторської, апаратної (П-7, В-10, В-11);
- гардеробів, санвузлів, душовою на відм. +4.800 (П-8, В-6, В-8);
- кімнати прийому їжі, душовою на відм. 0.000 (В-7, В-9).

Приплив в кабінети адміністративної частини будівлі неорганізований - через вікна, двері і шляхом інфільтрації через огорожувальні конструкції. Витяжка з приміщень адміністративної частини здійснюється коренниковими каналами. Витяжні системи передбачені механічними (В6-В11), щоб уникнути зворотної тяги, оскільки знаходяться в зоні вітрового підпору.

У нижніх зонах зовнішніх стін котельного залу передбачаються припливні жалюзійні решітки зі знімними фільтрами, розраховані на 3-х кратний повітрообмін.

Витяжка з котельного залу передбачає 3-х кратний повітрообмін з установкою дефлекторів на покрівлі будинку.

Для забезпечення поглинання тепловиділень від устаткування в приміщеннях підстанції, КТП та РП передбачена припливно-витяжна вентиляція з механічним спонуканням.

Припливні системи укомплектовані секціями фільтрів виробництва «Вентс» і "Єврокліма".

Повітроводи систем вентиляції прийняті з оцинкованої сталі за ГОСТ 14918-86, ділянки повітропроводів, що проходять по покрівлі і фасадах будівлі ізолювані тепловою ізоляцією "K-flex ST"  $\delta = 13$  мм.

Трубопроводи теплопостачання калориферів (систем П7-П8) прийняті із сталевих електрозварювальних труб за ГОСТ 10704-91 та ізолювані тепловою ізоляцією "K-flex EC"  $\delta = 10$  мм.

Проектом передбачені заходи щодо захисту приміщень від шуму: вентилятори та припливні установки підключаються до мережі повітропроводів через гнучкі з'єднання, на вентиляційних системах встановлюються шумоглушники, для зниження надлишкового рівня шуму, вентиляційне обладнання ізолюється звукоізолюючим матеріалом.

У місцях перетину повітроводами протипожежних перекриттів передбачається установка вогнезатримуючих клапанів з межею вогнестійкості 1 година.

Витрата теплоти на систему вентиляції становить:  $Q_v = 9,0$  кВт.

### 1.6.3 Кондиціонування

Згідно з технологічним завданням в приміщення апаратної для підтримки постійних параметрів повітря протягом року передбачено технологічне кондиціонування, здійснюване спеціалізованим обладнанням фірми «Daikin».

## 1.7 Водопостачання

### 1.7.1 Холодне водопостачання

Джерелом водопостачання будівлі є зовнішня водопровідна мережа. Система водопостачання запроектована об'єднаною - хоз.-питною протипожежною.

Витрата води на внутрішнє пожежогасіння складає 2 струменя по 5 л/сек. Необхідний напір води на господарські питні потреби - 25 м в. ст.

Необхідний напір води на протипожежні потреби становить - 27 м в. ст. Для видалення дренажних та аварійних вод з приміщення котельні встановлюються дренажні насоси Wilo-Drain TMW 32/8, N = 0,5 кВт.

Для обліку кількості води на вводі водопроводу до будинку встановлюється водомірний вузол.

На обвідній лінії водомірного вузла для пропуску пожежного витрати води встановлюється електрозасувка Ø100 з електроприводом N = 0,18 кВт.

При натисканні кнопки у будь-якого пожежного крана в будівлі відкривається засувка з електроприводом Ø 100.

У будівлі прийняті до установки пожежні крани Ø 50мм з діаметром наконечника пожежного ствола 16 мм і рукавом L = 20.00 м. Пожежні крани встановлюються на 1.35 м від рівня чистої підлоги.

У кожному пожежному шафі передбачається місце для двох ручних вогнегасників.

При напорах біля пожежних кранів понад 40 м в. ст. між пожежним краном і сполучної головкою передбачається установка діафрагм, що знижують надлишковий напір.

Система холодного водопостачання запроектована із сталевих водогазопровідних оцинкованих труб за ГОСТ 3262-75, підводки до приладів з труб системи "ЕКОPLASTIK".



Трубопроводи системи "ЕКОPLASTIK" прокладаються відкрито і приховано в конструкції підлоги і стін відповідно до технічних інструкцій фірми-виробника.

Трубопроводи холодного водопостачання, що проходять під стелею, ізолюються «K-flex»  $\delta = 13$  мм, стояки в нішах, трубопроводи, що проходять в сходових холах, ізолюються «K-flex»  $\delta = 9$  мм.

Трубопроводи холодного водопостачання кріпляться на підвісках до стелі. Відстані між засобами закріплення трубопроводів приймаються згідно СНіП 3.05.01-85 і складають 2.0 м при горизонтальній прокладці та одне кріплення на поверх для стояків.

У місцях введення водопроводу в будівлю передбачений захист отворів від проникнення газу.

#### 1.7.2 Гаряче водопостачання

Джерелом гарячого водопостачання є проектувана система ГВП.

Система гарячого водопостачання запроектована із сталевих водогазопровідних оцинкованих труб за ГОСТ 3262-75, підведення до приладів з труб системи "ЕКОPLASTIK".

Трубопроводи системи "ЕКОPLASTIK" прокладаються відкрито і приховано в конструкції підлоги і стін відповідно до технічних інструкцій фірми-виробника.

Трубопроводи гарячого водопостачання, що проходять під стелею, ізолюються «K-flex»  $\delta = 13$  мм, стояки в нішах і трубопроводи в сходових холах ізолюються «K-flex»  $\delta = 9$  мм.

Трубопроводи гарячого водопостачання кріпляться на підвісках до стелі. Відстані між засобами закріплення трубопроводів приймаються згідно СНіП 3.05.01-85 і складають 2.0 м при горизонтальній прокладці та одне кріплення на поверх для стояків.

## 2 ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПАТ «УКРГРАФІТ»

### 2.1 Розрахунок теплової схеми котельні

Розрахунок теплової схеми котельної виконується з метою визначення витрати пари і води для окремих вузлів при характерних режимах роботи котельної і складання загального матеріального балансу пари і води. Розрахунком визначається температура різних потоків води (мережевої, підживлюючої, пом'якшеної, сирої) і конденсату.

На розрахунковій тепловій схемі котельної вказуються напрями основних потоків теплоносіїв, їх витрати і параметри.

Результати розрахунку є вихідними даними для розрахунку і вибору окремих вузлів теплової схеми і основних трубопроводів котельної.

Розрахунок теплової схеми виконується паралельно для всіх режимів в послідовності, що рекомендується. Вихідні дані заносимо до таблиць 2.1 і 2.2.

Розрахунок теплової схеми парової частини котельної (таблиця. 2.1 і 2.2) виконується в наступній послідовності:

- розраховується пароводяний баланс без врахування продування котлів, результати якого використовуються при розрахунку хімводоочистки для визначення величини продування, а також для уточнення кількості води на власні потреби хімводоочистки;

- виконується повний розрахунок парової частини, зокрема уточнюється пароводяний баланс, сумарне парове навантаження котельною і намічаються варіанти для вибору типорозмеру і кількості казанів. Вибір основного варіанту установки котлів виконується при складанні техніко-економічного обґрунтування прийнятих рішень.

## 2.2 Розрахунок пароводяних теплообмінників

Після того, як вище була викладена методика розрахунків теплових схем теплопідготовчих установок в цілому стосовно як до водогрійних і парових котельних, так і до ТЕЦ, можна перейти до наступного етапу розрахунку цих установок, а саме до визначення розрахункової поверхні теплообміну і вибору типорозмірів теплообмінних апаратів, що входять до складу теплопідготовчої установки.

Для кожного такого апарату перш за все повинен бути встановлений розрахунковий режим, при якому вибором відповідного типорозміру повинна бути забезпечена розрахункова, тобто максимально-тривала теплопродуктивність цього апарату. Таким розрахунковим режимом для теплопідготовчої установки зазвичай служить максимально-зимовий режим, відповідний розрахунковій температурі зовнішнього повітря для систем опалення.

Якщо відпуск тепла від джерела проводиться паром або гарячою водою при одноступінчатій схемі її підігріву, то максимально-зимовий режим є розрахунковим не тільки для теплопідготовчої установки в цілому, але, як правило, і для кожного з її теплообмінних апаратів окремо.

Основне завдання теплового розрахунку поверхневого рекуперативного теплообмінника - визначення розрахункової величини його поверхні теплообміну, що забезпечує отримання розрахункової теплопродуктивності.

При визначенні розрахункової поверхні теплообміну задаються, як правило, значенням теплопродуктивності і параметрами, що відносяться до розрахункового режиму, - температур і тиску гріючих середовищ і тих, що нагріваються, на вході і на виході з теплообмінника. У теплопідготовчих установках ТЕЦ і котельних як гріюче середовище використовується водяна пара або гаряча вода, а як середовище, що нагрівається - тільки вода, яка зрідка перетворюється на пару (водо-парові перетворювачі). Тому в таких установках визначення потрібної поверхні теплообміну доводиться

виконувати стосовно пароводяних або водо-водяних підігрівачів.

Оскільки з погляду теплового розрахунку пароводяні підігрівачі дещо простіші за водоводяні, то саме з них доцільно почати опис методики такого розрахунку. Пар, що поступає в пароводяні підігрівачі теплопідготовчих установок, як правило, є насиченим або слабо перегрітим, він конденсується по всій поверхні теплообміну, причому, температура конденсату приблизно відповідає тиску гріючої пари.

Охолодження цього конденсату до нижчих температур при розрахунковому режимі або взагалі не допускається, або складає, не більше (5...10) °С. Це пояснюється несприятливими умовами теплообміну між конденсатом і водою, що нагрівається в пароводяних підігрівачах через малу швидкість руху цього конденсату (див. нижче). Тому, якщо в умовах даної теплової схеми ТЕЦ або котельної охолодження конденсату гріючої пари доцільно, то для нього повинні бути передбачені спеціальні охолоджувачі, які є водо-водяними теплообмінниками.

Найскладнішим етапом методики визначення розрахункової поверхні теплообміну пароводяного підігрівача виявляється визначення розрахункового коефіцієнта теплопередачі, оскільки величина цього коефіцієнта залежить від безлічі чинників.

### 2.2.1 Розрахунок підігрівача хімоочищеної води

Рівняння теплового балансу для підігрівачів зі зміною агрегатного стану одного з теплоносіїв (пароводяні підігрівачі), МВт

$$Q = D \cdot (i_n - i_k) = G_2 \cdot c_{p2} \cdot (t_2'' - t_2')$$

Розрахункова температура води, що нагрівається, на вході в підігрівач -  
 $t_2' = 30^\circ\text{C}$

Розрахункова температура води, що нагрівається, на виході з підігрівача -

$$t_2'' = 70^\circ\text{C}$$

Розрахункова температура пари підігрівача -  $t_1' = 320^\circ\text{C}$

Розрахункова витрата води, що нагрівається -  $G_{\text{CB}} = 10,7 \text{ кг/с}$ .

Тоді

$$Q = 10,7 \cdot 4,19 \cdot (70 - 30) = 1,8.$$

Середній коефіцієнт теплопередачі від пари до води -  $3000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Середньологарифмічний температурний натиск визначається

$$\Delta t_{\delta} = t_1' - t_2'' = 320 - 30 = 290$$

$$\Delta t_i = t_1'' - t_2' = 197 - 70 = 127$$

$$\overline{\Delta t}^{np} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m}} = \frac{290 - 127}{\ln \frac{290}{127}} = 197$$

Площа поверхні теплообміну  $F$ ,  $\text{м}^2$

$$F = \frac{Q}{K \cdot \overline{\Delta t}} = \frac{1,8 \cdot 10^6}{3000 \cdot 197} = 3$$

### 2.2.2 Розрахунок підігрівача мережевої води

Рівняння теплового балансу для підігрівачів зі зміною агрегатного стану одного з теплоносіїв (пароводяні підігрівачі), кВт

$$Q = D_{\delta} \cdot (i_2 - i_6) \cdot 0,98$$

$$Q = 13,4 \cdot (2762 - 694,3) \cdot 0,98 = 27777,8.$$

Середній коефіцієнт теплопередачі від пари до води - 3000 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Середньологарифмічний температурний натиск визначається

$$\Delta t_{\delta} = t_1' - t_2'' = 197 - 70 = 127.$$

$$\Delta t_i = t_1'' - t_2' = 197 - 140 = 57.$$

$$\overline{\Delta t}^{нпрям} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mathcal{M}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mathcal{M}}}} = \frac{127 - 57}{\ln \frac{127}{57}} = 87,4.$$

Площа поверхні теплообміну F, м<sup>2</sup>

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{27777,8 \cdot 10^3}{3000 \cdot 59,7} = 105,9.$$

### 2.2.3 Охолоджувач продувочної води

$$Q_1 = Q_2 = G_{\text{хво}} \cdot c_2 \cdot (T_4 - T_3) = G'_{\text{пр}} \cdot c_2 \cdot (\tau_3 - T_{\text{пр}});$$

$$Q_1 = G_{\text{хво}} \cdot c_2 \tau (T_4 - T_3) = 3,01 \cdot 4,19 \cdot (28,4 - 25) = 42,9 \text{ кВт}$$

Середній коефіцієнт теплопередачі - 3000 Вт/(м<sup>2</sup>·К).

Середньологарифмічний температурний натиск визначається

$$\Delta t_{\delta} = t_1' - t_2'' = 114 - 28,4 = 85,6$$

$$\Delta t_i = t_1'' - t_2' = 40 - 25 = 15$$

$$\overline{\Delta t}^{нпрям} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\mathcal{M}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\mathcal{M}}}} = \frac{85,6 - 15}{\ln \frac{87,8}{15}} = 40,5$$

Площа поверхні теплообміну F, м<sup>2</sup>

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{42,9 \cdot 10^3}{3000 \cdot 40,5} = 0,35$$

#### 2.2.4 Охолоджувач випару

$$Q_1 = Q_2 = G_{\text{хво}} \cdot c_2 \cdot (T_5 - T_4) = G_{\text{пр}} \cdot c_2 \cdot (\tau_3 - T_{\text{пр}});$$

$$Q_1 = D_{\text{вип}} \cdot (i_4 - i_5) = 0,03 \cdot (2762 - 437,4) = 69,7 \text{ кВт.}$$

Середній коефіцієнт теплопередачі -  $3000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

Середньологарифмічний температурний натиск визначається

$$\Delta t_a = t_1' - t_2'' = 104,2 - 28,4 = 75,8$$

$$\Delta t_i = t_1'' - t_2' = 104,2 - 34,28 = 69,92$$

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_a + \Delta t_m}{2} = \frac{75,8 + 69,92}{2} = 72,9$$

Площа поверхні теплообміну  $F, \text{ м}^2$

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{69,7 \cdot 10^3}{3000 \cdot 72,9} = 0,3.$$

#### 2.3 Розрахунок водопідготовчої установки

Хімводоочистка призначається для приготування води, що йде на живлення парових котлів і підживлення теплових мереж закритої системи тепlopостачання. Хімводоочистка призначається для приготування води, що йде на живлення парових котлів і підживлення теплових мереж закритої системи тепlopостачання.

Джерелом водопостачання служить артезіанська свердловина. Представлені замовником два аналізи, відібрані в різний час, підтверджують постійність складу води.

Вода поступає в котельню з температурою 5 °С і тиском 15 м в ст.  
Склад сирі води наведено в таблиці 2.3.

Якість живильної води для парових водотрубних казанів з робочим тиском до 0,14 МПа має бути наступним:

- загальна жорсткість – 0,02 (мг-екв)/л;
- розчинений кисень – 0,03 мг/л;
- вільна вуглекислота – відсутня;
- вміст масел – 3 мг/л.

Величина безперервного продування котлів, %

$$P_H = \frac{S_X \cdot P_K \cdot 100}{S_{KB} - S_X \cdot P_K} = \frac{871 \cdot 0,31 \cdot 100}{3000 - 871 \cdot 0,31} = 9,9.$$

Таблиці 2.3 - Склад вихідної води

Найменування визначень	Позначення	Одиниці вимірів	
		мг-екв/л	мг/л
Сухий залишок	Сив		819
Жорсткість загальна	Н0	7,6	
Жорсткість карбонатна	Нк	2,6	
Катіони:			
Кальцій	Ca <sup>2+</sup>	4,0	80
Магній	Mg <sup>2+</sup>	3,6	44
Натрій	Na <sup>+</sup>	6,1	140
Сума катіонів	Кат	13,7	
Аніони:			
Хлориди	Cl <sup>-</sup>	5,5	194
Сульфати	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	5,6	268
Бікарбонати	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,6	159
Сума аніонів	Ан	13,7	
pH=7			



Відносна лужність хімоочищеної води, %

$$Щ_{om}^x = \frac{40 \cdot Щ_x \cdot 100}{S_x} = \frac{40 \cdot 2,6 \cdot 100}{871} = 12.$$

Вміст вуглекислоти в парі, мг/л

$$C_{yz} = 22 \cdot Щ_x \cdot \alpha_x \cdot (\sigma_1 - \sigma) = 22 \cdot 2,6 \cdot 0,31 \cdot (0,4 + 0,7) = 19,5$$

З аналізу артезіанської води, приведеного вище, загальна жорсткість вихідної води складає – 7,6 (мг-екв)/л. Розрахунок проводиться з «хвостової частини», тобто з натрій катіонітних фільтрів 2 рівня, оскільки устаткування повинне забезпечити додаткову кількість води, що йде на власні потреби водопідготовки.

*Натрій – катіонітні фільтри 2 рівня.*

Для скорочення кількості встановлюваного устаткування і його уніфікації приймаються однотипні конструкції фільтрів для 1и 2 рівні.

Для другого рівня встановлюється один фільтр; другий фільтр використовується для другого рівня в період його регенерації і одночасно є резервним для фільтрів 1 рівня.

Приймається до установки фільтр Ду=1500 мм, Нсл=2000 мм.

Кількість солей жорсткості, що підлягають видаленню (г-екв)/добу

$$A_H = 24 \cdot Ж_{в2} \cdot Q_{Na} = 24 \cdot 0,1 \cdot 50 = 120.$$

де  $Ж_{в2}$  – жорсткість катіонітного фільтру після фільтрів 1 рівня, (мг-екв)/л;

$Q_{Na}$  – продуктивність Na-катіонітних фільтрів, м<sup>3</sup>/год.

Число регенерацій фільтру в добу, рег/добу

$$n_2 = \frac{A_2}{f_{Na} \cdot H_{cl} \cdot E_{pH}^{Na}} = \frac{120}{1,72 \cdot 2 \cdot 300} = 0,12.$$

де  $f_{Na}$  – площа фільтрування Na-катіонітного фільтру, м<sup>2</sup> ;

$E_{pH}^{Na}$  – робоча об'ємна ємність сульфовугілля, (г-екв)/м<sup>3</sup>.

Міжрегенерацийний період роботи фільтру, год

$$T_2 = \frac{24}{n} - t_{рег}^{Na} = \frac{1 \cdot 24}{0,12} - 2 = 198.$$

де 1 – число працюючих фільтрів;

$t_{рег}^{Na}$  – час регенерації фільтру, год;

n – кількість регенерацій кожного катіонітного фільтру за добу.

Регенерація фільтрів повинна вироблятися приблизно двічі в місяць.

Швидкість фільтрування, м/год

$$W_2 = \frac{Q_{Na}}{f_{Na}} = \frac{50}{1,72} = 29.$$

Витрата 100% солі на одну регенерацію натрій - катіонітного фільтру 2 рівня, кг/рег

$$Q_c^p = \frac{E_{pH}^{Na} \cdot f_{Na} \cdot H_{cl} \cdot q_c}{1000} = \frac{300 \cdot 1,72 \cdot 2 \cdot 350}{1000} = 362.$$

де  $q_c$  – питома витрата солі на регенерацію фільтрів, г/(г-екв).

Об'єм 20% насиченого розчину солі на одну регенерацію, м<sup>3</sup>

$$Q_{HP} = \frac{Q_c^p \cdot 100}{1000 \cdot 1,2 \cdot 2,6} = \frac{362 \cdot 100}{1000 \cdot 1,2 \cdot 2,6} = 1,16.$$

де 1,2 – питома вага насиченого розчину солі при t=20 °C;

26% - вміст солі в насиченому розчині.

Витрата технічної солі в добу, кг/доб

$$Q_c^{sym} = \frac{Q_c^p \cdot n_2 \cdot 100}{p} = \frac{362 \cdot 0.12 \cdot 100}{96,5} = 45.$$

де  $n_2$  – число регенерацій фільтру в добу;

$p$  – вміст NaCl в технічній солі %.

Витрата технічної солі на регенерацію фільтрів в місяць

$$Q_c^M = Q_c^{sym} \cdot 30 = 45 \cdot 30 = 1350.$$

Витрата води на розпушуюче промивання фільтру, м<sup>3</sup>

$$Q_{взр} = \frac{i \cdot f_{Na} \cdot 60 \cdot t_{взр}}{1000} = \frac{3 \cdot 1,72 \cdot 60 \cdot 15}{1000} = 4,7.$$

де  $i$  – інтенсивність розпушування сульфовугля, л/с на 1 м<sup>2</sup> площі фільтрування;

$t$  – тривалість розпушуючого промивання, хв.

Витрата води на приготування регенераційного розчину солі, м<sup>3</sup>

$$Q_{pez} = \frac{Q_c^p \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{pp}} = \frac{362 \cdot 100}{1000 \cdot 7 \cdot 1,04} = 5.$$

де  $b$  – вміст солі в регенераційному розчині %

Витрати води на відмивання 1 м<sup>3</sup> сульфоугля, м<sup>3</sup>

$$Q_{отм} = q_{от} \cdot f_{Na} \cdot H_{cl} = 4 \cdot 1,72 \cdot 2 = 13,8.$$

де  $q_{от}$  – витрату води на отмивку 1 м<sup>3</sup> сульфоугля.

Витрата води на одну регенерацію натрій – катіонітного фільтру 2 ступені з врахуванням використання відмивочних вод для розпушування

$$Q_{CH}^2 = Q_{взр} + Q_{рег} + (Q_{отм} - Q_{взр}) = 4.7 + 5 + (13.8 - 4.7) = 18.8$$

Витрата води в добу в середньому складе  $18,8 \cdot 0,06 = 1,1 \text{ м}^3/\text{рег}$ .

*Натрій - катіонітні фільтри 1 ступені*

Приймаються до установки, як і для 2 ступені

Кількість солей жорсткості, що підлягають видаленню, (г-екв)/доб

$$A_1 = (Ж_{в1} - Ж_0) \cdot Q_{Na} \cdot 24 = (7,6 - 0,1) \cdot 50 \cdot 24 = 9000.$$

де  $Ж_{в1}$  – жорсткість води, що поступає на натрій-катіонітні фільтри 1 рівня;

$Ж_0$  – залишкова жорсткість після першого рівня, мг-екв/л.

Число регенерацій усіх натрій- катіонітних фільтрів 1 ступені, рег/доб

$$n_2 = \frac{A_1}{f_{Na} \cdot H_{сл} \cdot E_{p1}^{Na}} = \frac{9000}{1,72 \cdot 2 \cdot 230} = 11,4.$$

де  $E_{p1}^{Na}$  – робоча об'ємна ємність сульфоугля, (г-екв)/м<sup>3</sup>.

Робоча об'ємна ємність сульфоугля, (г-екв)/м<sup>3</sup>

$$E_p^{Na} = \alpha_{Na} \cdot \beta_{Na} \cdot E_{пол} - 0,5 \cdot q_{уд} \cdot Ж_{в1} = 0,74 \cdot 0,67 \cdot 500 - 0,5 \cdot 7,6 = 230.$$

Приймаються до установки 2 натрій- катіонітних фільтри 1 ступені.

Число регенерацій кожного фільтру в добу

$$n = \frac{11,4}{2} = 5,7.$$

Міжрегенерацийний період роботи, год

$$T_2 = \frac{24}{n} - t_{рег}^{Na} = \frac{2 \cdot 24}{5,7} - 2 = 18,42.$$

де 2- число робочих фільтрів;

$n_1$  – загальне число регенерацій;

$t_{рег}^{Na}$  - час регенерації фільтрів.

Швидкість фільтрації нормальна (при роботі всіх фільтрів)

$$W_H = \frac{Q_{Na}}{f_{Na} \cdot a} = \frac{50}{1,72 \cdot 2} = 14,5.$$

де  $a$  – кількість працюючих фільтрів, приймається не менше 2.

Максимальна швидкість фільтрації, м/с

$$W_{max} = \frac{Q_{Na}}{f_{Na} \cdot (a-1)} = \frac{50}{1,72 \cdot (2-1)} = 29.$$

Витрата 100% солі на 1 регенерацію натрий- катионитного фільтру 1 ступені

$$Q_c^p = \frac{E_{pl}^{Na} \cdot f_{Na} \cdot H_{ca} \cdot q_c}{1000} = \frac{230 \cdot 1,72 \cdot 2 \cdot 150}{1000} = 119.$$

Об'єм 20 % насиченого розчину солі на одну регенерацію, м<sup>3</sup>

$$Q_{HP} = \frac{Q_c^p \cdot 100}{1000 \cdot 1,2 \cdot 2,6} = \frac{119 \cdot 100}{1000 \cdot 1,2 \cdot 2,6} = 0,4.$$

Витрата технічної солі в добу, кг/добу

$$Q_c^{sym} = \frac{Q_c^p \cdot n_1 \cdot 100}{p} = \frac{119 \cdot 5,6 \cdot 100}{96,5} = 690.$$

Витрата технічної солі на регенерацію фільтрів в місяць

$$Q_c^M = Q_c^{cym} \cdot 30 = 690 \cdot 30 = 20700.$$

Витрати води на розпушуюче промивання фільтру, м<sup>3</sup>

$$Q_{взр} = \frac{i \cdot f_{Na} \cdot 60 \cdot t_{взр}}{1000} = \frac{3 \cdot 1,72 \cdot 60 \cdot 15}{1000} = 4,7.$$

Витрати води на приготування регенераційного розчину солі, м<sup>3</sup>

$$Q_{pez} = \frac{Q_c^p \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{pp}} = \frac{119 \cdot 100}{1000 \cdot 7 \cdot 1,04} = 1,6.$$

Витрати води на відмивання 1 м<sup>3</sup> сульфоугля, м<sup>3</sup>

$$Q_{отм} = q_{отм} \cdot f_{Na} \cdot H_{cl} = 4 \cdot 1,72 \cdot 2 = 13,8.$$

Витрата води на одну регенерацію натрій – катионитного фільтру 1 рівня з врахуванням використання відмивочних вод для розпушування

$$Q_{CH}^2 = Q_{взр} + Q_{pez} + (Q_{отм} - Q_{взр}) = 4,7 + 1,6 + (13,8 - 4,7) = 15,4$$

Витрата води на регенерацію натрій- катионитних фільтрів в добу, м<sup>3</sup>/добу

$$Q_{CH}^{cym} = Q_{CH}^1 \cdot n_1 = 15,4 \cdot 5,6 = 86,2.$$

Средньогодинна витрата води на власні потреби, м<sup>3</sup>/год

$$q_{cp} = \frac{Q_{CH}^{cym} - Q_{CH}^2}{24} = \frac{86,2 - 1,1}{24} = 3,6$$

## 2.4 Вибір основного та допоміжного обладнання

До основного та допоміжного обладнання відносяться: утилізаційні котли, система паливоподачі, деаератор, теплообмінники, насоси та хімводопідготовка.

#### 2.4.1 Котли – утилізатори

Передбачається установка трьох однакових котлів-утилізаторів з параметрами:

- номінальна паропроодуктивність - 25 т/год;
- тиск пари (ізб.) - 1,3 МПа;
- температура перегрітої пари - 320 °С.

Паровий котел РК 25-1,4 / 320 конструкції НТП «Котлоенергопром» вертикально-водотрубний безбарабанний з природною циркуляцією і П-образної замкнутої компоновки поверхонь нагріву з виносним окремо стоячим водяним економайзером, призначений для теплового знешкодження та утилізації тепла димових газів від прожарювальних печей № 1, 2, 3, 5 і вироблення перегрітої пари тиском 1,4 МПа, температурою 320 °С. По ходу газів послідовно розташовані: циклонний предтопок (реактор допалювання), топка котла, пароперегрівача, випарний пакет, водяний економайзер.

Результати розрахунку тепlopостачання заводу зводимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.3 Результати розрахунку теплопостачання заводу

Вжиток	Режими			Річний	Вироблення	Режими			Річний
	Максимально зимовий	Середньо зимовий	Літній			Максимально зимовий	Середньо зимовий	Літній	
Пара 1,4 МПа, 320 °С, т/год									
Технологічні потреби РОУ 14/8	24,63	24,63	14,78		Котел утилізатор	59,88	36,7	16,3	
Бойлерна	30,92	8,97	0						
Власні потреби котельно	4,33	3,12	1,56						
Всього:	59,88	36,7	16,3	71394	Всього:	59,88	36,7	16,3	71394
ГВП, Гкал/год									
Заводські споживачі	20	5,8	0	28812	Теплообмінники ГВП	20	5,8	0	28812
Хімоочищена вода, м <sup>3</sup> /год									
На живлення котлів	30,51	10,66	0,98		ХВП	41,88	22,03	6,21	
РОУ 14/8	0,37	0,37	0,23						
На заводські потреби	5	5	5						
На підживлення тепломереж	6	6	0						
Всього:	41,88	22,03	6,21	128455	Всього:	41,88	22,03	6,21	128455



## 2.4.2 Обладнання системи паливоподачі

Обладнання системи паливоподачі наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 Обладнання системи паливоподачі

Найменування	Позначення одиниці	Значення
Ємність одного мішка (біг-бег)	кг	800...1300
Об'єм приймального бункера пилу	м <sup>3</sup>	10
Об'єм бункера палива	м <sup>3</sup>	30
Тип лопатевого живильника пилу	-	УЛПП-1
Продуктивність живильника	т/год	5
Робочі обороти	об/хв.	710÷ 2500
Тип електродвигуна живильника	-	4ПВМ132МГ04

## 2.4.3 Хімводопідготовка

Для забезпечення котлів живильним водою, проектом передбачено будівництво хімводоочищення (ХВО) в існуючій будівлі ЦТП.

Джерелом водопостачання проектованої ХВО є вода з оборотного циклу водопостачання заводу. Продуктивність проектованої ХВО по хімочищенній воді - 40 м<sup>3</sup> /год.

Якість хімочищенної води повинна відповідати вимогам, що пред'являються до живильній воді для парових котлів з тиском перегрітої пари до 1,4 МПа.

Обладнання хімводопідготовки наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.5 Обладнання хімводопідготовки

Найменування	Позначення одиниці	Значення	Примітка
<b>Насос вихідної води</b>			
Тип	-	Grundfos CR 45-2 A-F-A-E HQQE	2шт
Продуктивність	т/год	50	
Натиск	м.вод.ст.	32	
Потужність	кВт	7,5	
Робочі обороти	об/хв	2900	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	
<b>Фільтр освітлювальний</b>			
Продуктивність	м <sup>3</sup> /год	31÷37	
Площа фільтрування	м <sup>2</sup>	3,1	
Висота фільтруючого шару	м	1	
Діаметр	мм	2000	
<b>Фільтр натрій-катіонітний першого ступеня</b>			
Продуктивність	м <sup>3</sup> /год	45	
Площа фільтрування	м <sup>2</sup>	3,1	
Висота фільтруючого шару	м	1,5	
Діаметр	мм	2000	
<b>Фільтр натрій-катіонітний другого ступеня</b>			
Продуктивність	м <sup>3</sup> /год	40	
Площа фільтрування	м <sup>2</sup>	3,1	
Висота фільтруючого шару	м	1	
Діаметр	мм	2000	
<b>Насос розпушування натрій-катіонітних фільтрів</b>			
Тип	-	Grundfos CRN 90-2 A-F-G-E HQQE	2 шт
Продуктивність	т/год	100	
Натиск	м.вод.ст.	32	

Продовження таблиці 2.6

Потужність	кВт	15	
Робочі обороти	об/хв	2900	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	
Насос хімоочищеної води на технологію			
Тип	-	Grundfos CRN 10-6 A-FGJ-G-E HQQE	2 шт
Продуктивність	т/год	10	
Натиск	м.вод.ст.	45	
Потужність	кВт	2,2	
Робочі обороти	об/хв	2900	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	
Насос регенераційного розчину солі			
Тип	-	Grundfos CRT 16-4 A-P-A-E AUUE	2 шт
Продуктивність	т/год	20	
Натиск	м.вод.ст.	32	
Потужність	кВт	4	
Робочі обороти	об/хв	2900	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	
Насос хімоочищеної води			
Тип	-	Grundfos CRN 45-2 A-F-G-E HQQE	2 шт
Продуктивність	т/год	50	
Натиск	м.вод.ст.	32	
Потужність	кВт	7,5	
Робочі обороти	об/хв	2900	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	

#### 2.4.4. Деаерація

Для видалення з живильної води корозійно активних газів проектом передбачена деаераційна установка атмосферного типу.

До складу деаераційно-живильної установки (ДЖУ) входить наступне основне обладнання:

- два деаератори атмосферні ДА-50/15 з деаераційними колонками типу КДА-50 продуктивністю 50 м<sup>3</sup>/год і деаераторними баками V = 15м<sup>3</sup>;
- два охолоджувача випари ОВА-2 та два запобіжних пристрої;
- три живильних насоси типу - ПЕ-65-28 для живлення котлів - утилізаторів;
- пароводяний пластинчастий підігрівач хімічещеної води.

Живильні насоси розміщуються в існуючій будівлі ЦТП заводу. Деаераторної установки розташовуються біля будівлі ЦТП. Проект передбачає використання існуючих металоконструкцій деаераторної етажерки для установки на ній запроектованих деаераторів. Обладнання блоку деаерації наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Обладнання блоку деаерації

Найменування	Позначення одиниці	Значення	Примітка
Деаераційна колонка			
Тип	—	КДА-50	2шт
Продуктивність	т/год	50	
Тиск	МПа	0,02	
Температура	°С	104	
Охолоджувач випару			
Тип	—	ОВА-2	2 шт
Поверхня охолодження	м <sup>2</sup>	2	
Насос живильний			
Тип	-	ПЭ-65-28	3 шт

Продуктивність	т/год	65	
Натиск	м.вод.ст.	280	
Потужність	кВт	110	
Робочі обороти	об/хв	2940	
Тип електродвигуна	-	5AMH250M2У	
Підігрівач хімоочищенної води			
Тип	—	пластинчастий зварний	3шт
Теплова потужність	Гкал/год	1,54	
Площа поверхні теплообміну	м <sup>2</sup>	6,4	
Гріюче середовище	—	пар	
Середовище, що нагрівається	—	вода	
Температура пари на вході	°С	320	
Тиск пари на вході	МПа	1,4	
Температура конденсату	°С	197	
Тиск конденсату	МПа	1,4	
Температура води на вході	°С	30	
Температура води на виході	°С	70	
Падіння тиску води	кПа	42,7	

#### 2.4.5 Мережеве устаткування

Мережева установка призначена для забезпечення об'єктів заводу гарячою водою на потреби опалення. Встановлена потужність теплообмінників 100 ГДж/год.

Графік роботи мережевої установки 140/70 °С. Застосовано якісне регулювання. Розрахунковий витрата мережної води становить 285 т / год.

Таблиця 2.8 - Мережеве устаткування

Найменування	Позначення одиниці	Значення	Примітка
Насос мережевий			
Тип	Grundfos NK 150-400/431 -A BAQE		2 шт
Продуктивність	т/год	381	
Натиск	м.вод.ст.	68,8	
Потужність	кВт	132	
Робочі обороти	об/хв	1490	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	
Насос підживлюючої води			
Тип	Grundfos CR 10-6 A-FJ-A-E HQQE		2 шт
Продуктивність	т/год	8	
Натиск	м.вод.ст.	45	
Потужність	кВт	2,2	
Робочі обороти	об/хв	2900	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	

#### 2.4.6 Устаткування ГВП

Проектом передбачається реконструкція існуючого обладнання гарячого водопостачання, передбачена заміна теплообмінних апаратів на пароводяні пластинчасті потужністю 5 ГДж/год - 2 шт. І насосів гарячого водопостачання із збереженням існуючих баків гарячої води ємністю 75 м<sup>3</sup>- 2шт. і 40 м<sup>3</sup> - 1шт і вакуумного деаератора.

Обладнання устаткування ГВП наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 - Вибір обладнання ГВП

Найменування	Позначення одиниці	Значення	Примітка
Насос гарячого водопостачання			
Тип	Grundfos CR 90-3 A-F-A-E HQQE		2 шт
Продуктивність	т/год	90	
Натиск	м.вод.ст.	65	
Потужність	кВт	22	
Робочі обороти	об/хв	29 00	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	
Насос робочої води			
Тип	Grundfos CR 32-2 A-F-A-E HQQE		2 шт
Продуктивність	т/год	25	
Натиск	м.вод.ст.	30	
Потужність	кВт	4	
Робочі обороти	об/хв	2900	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	

#### 2.4.7 Конденсатне господарство

У зв'язку зі збільшенням обсягів конденсату (від мережевої установки, ГВП) проектом передбачено будівництво конденсатні господарства в існуючій будівлі ЦТП.

До складу конденсатні господарства входить наступне основне обладнання:

- два баки збору конденсату від бойлерної та ГВП ємністю 10 м<sup>3</sup>;
- два баки збору технологічного конденсату від виробництва ємністю 10 м<sup>3</sup> з підігрівачами хімоочищеної води;
- сепаратор «умовно брудного» конденсату;
- два конденсатних насоса (один робочий і один резервний) для подачі конденсату від баків конденсату (бойлерна, ГВП) до деаератора;
- чотири конденсатних насоса (два робочих і два резервних) для подачі

чистого конденсату від виробництва до деаератора;

- шість конденсатних насосів (три робочих і три резервних) для подачі «умовно брудного» конденсату від виробництва до сепаратора;

- два конденсатних насоса (один робочий і один резервний) для подачі «умовно брудного» конденсату від баків технологічного конденсату до деаератора.

Обладнання конденсатного господарства наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Конденсатне господарство

Найменування	Позначення одиниці	Значення	Примітка
Насос конденсатний			
Тип	GrundfosCRN 45-2 A-F-G-E HQQE		2 шт
Продуктивність	т/год	50	
Натиск	м.вод.ст.	32	
Потужність	кВт	7,5	
Робочі обороти	об/хв	2900	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	
Насос конденсата от технологии			
Тип	Grundfos CRN 5-11 A-FGJ-A-E HQQE		10 шт
Продуктивність	т/год	5	
Натиск	м.вод.ст.	60	
Потужність	кВт	2,2	
Робочі обороти	об/хв	2900	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	
Насос технологического конденсата			
Тип	Grundfos CRN 10-6 A-FGJ-G-E HQQE		2 шт
Продуктивність	т/год	10	
Натиск	м.вод.ст.	45	
Потужність	кВт	2,2	
Робочі обороти	об/хв	2900	
Тип електродвигуна	-	SIEMENS	



## 2.5 Подача твердого палива

Одним з видів палива, що використовується в котлах – утилізаторах є пил, що містить вуглець. В процесі виробництва такий пил, збирається у мішки (біг-бегі) та відправляється на утилізацію. Для зберігання та подальшого використання пилу у котлах – утилізаторах передбачені бункери пилу. Приймальний бункер об'ємом 10 м<sup>3</sup> розташовано біля будівлі котельні. З приймального бункера пил транспортується пневмотранспортом у бункер палива, який має об'єм 30 м<sup>3</sup>. З бункера палива пил подається на пальників пристрій циклонного предтопка. Для подавання пилу у систему пилепроводів бункер палива обладнано лопатним живленням пилу УЛПП-1. Технічна характеристика обладнання паливоподачі наведена в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Технічна характеристика обладнання паливоподачі

Найменування	Позначення одиниці	Значення	Примітка
Система паливоподачі			
Ємність мішка	кг	800...1300	
Об'єм прийомного бункеру	м <sup>3</sup>		
Об'єм бункеру палива	м <sup>3</sup>		
Тип лопатного живлення пилу	-	УЛПП-1.	2 од.
Продуктивність системи живлення пилом	т/год	5	
Робочі оберти	Об/хв	710...2500	
Тип електродвигуна	4ПВМ132МГ04		

## 2.6 Золовидалення

Для видалення продуктів механічного недопалу вуглецевмісного пилу, що міститься в утилізованих газах від прожарювальних печей і золи, що утворюється безпосередньо при спалюванні відходів виробництва, на котлі

передбачена система сухого золовидалення. Під основними елементами котла розташовані бункери для збору золи, об'ємом  $5 \text{ м}^3$ , кожен з яких обладнаний системою для золовідведення (циклонний предтопок, топка котла, конвективна шахта, газохід водяного економайзера). Температура, що вивантажується золи  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ .

З усіх точок зола пневмотранспортом направляється в бункер збору золи, об'ємом  $15 \text{ м}^3$ , звідки автотранспортом вивозиться на утилізацію.

Дрібні фракції золи уловлюються в рукавних фільтрах серії MBF36, розміщених після кожного котла. Уловлені частки накопичуються в бункерах фільтрів, об'ємом  $9 \text{ м}^3$ , звідки автотранспортом вивозяться на утилізацію. Інтенсивність накопичення бункера близько 18,5 годин під час роботи котла на вуглецевмісній пилу.

### 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

#### 3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Об'єктом дослідження умов праці є утилізаційна котельня з трьома котлами-утилізаторами тепла димових газів прожарювальних печей. Тут встановлено обладнання, що використовує тепло (котли), електричні установки (двигуни насосів, вентиляторів, димососів, освітлювальні прилади, КВПіА) , комунікації (газопроводи, паропроводи, електричні мережі). Всі вони є джерелами небезпечних та шкідливих факторів. Виробничий процес супроводжується утворенням великої кількості надлишкового тепла, інфрачервоної радіації. котли працюють на теплі димових газів. Додатково як паливо використовуються природний газ і вуглевмісний пил. Токсичні речовини, що можуть попадати до повітря робочої зони, наведені у табл. 4.1.

Таблиця 3.1 - Токсичні речовини у повітрі робочої зони котельної

Речовина	Формула	ГДК, мг/м <sup>3</sup>
Оксид вуглецю	CO	20
Оксиди азоту	NO <sub>x</sub>	5
Оксид сірки	SO <sub>2</sub> ,	10
Метан	CH <sub>4</sub>	300
Пил фіброгенної дії	-	4

Найчастіше в умовах котельних відбуваються гострі і хронічні отруєння оксидом вуглецю. Оксид вуглецю (чадний газ) є продуктом неповного згорання органічного палива. Потрапляючи в організм людини, CO реагує з гемоглобіном, утворюючи карбоксигемоглобін. При цьому різко знижується здатність крові переносити кисень до тканин, може настати

кисневе голодування. Симптоми отруєння: сонливість, головний біль, у важких випадках - втрата свідомості .

Високі параметри пари (тиск 1,3 МПа, температура 320°C) обумовлюють небезпеку механічних травм і опіків при розриві паропроводів.

У котельній існує розвинене електрогосподарство. Для живлення силового устаткування застосовується напруга 380/220 В, що є небезпечним для життя.

Робота димососів, вентиляторів, газових пальників створює в котельній шум і вібрацію. Шум по своєму походженню є механічним (вентилятори, димососі), аеродинамічним (рух газу і пари в трубах, продуктів згорання в котлі і газоходах), термічним (пальники). За частотними характеристиками шум – середньочастотний. Максимальний рівень звукового тиску, як правило, спостерігається поблизу димососів і дуттєвих вентиляторів – близько 70 дБА, що не перевищує гранично допустимого – 80 дБА [2].

Вібрація в котельній є загальною, технологічною, категорії 3а. Гранично допустимий рівень для частот  $\geq 16$  Гц складає 92 дБ [3]. Фактичний рівень не перевищує 60 дБ.

Поверхні котлів, газоходів, трубопроводів гарячої води, паропроводів є джерелами тепловиділень, що створюють в теплий період року підвищену температуру повітря робочої зони.

### 3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Захист від шкідливих речовин (токсичних газів) здійснюється, перш за все, дотриманням правил експлуатації котлів. Необхідно, щоб пальники були справні, коефіцієнт витрати повітря відповідав заданому, розрідження в топці підтримувалося на належному рівні.

Для запобігання виникненню аварійної ситуації котли оснащені приладами контролю, захисту і сигналізації. Автоматика безпеки спрацьовує при згасанні факела, при падінні тиску газу нижче за допустиме значення,

при відключенні димососу і припиненні тяги, при відключенні дуттєвого вентилятору.

На газопроводі-відводі до котла передбачена установка засувки, що відключає, з електроприводом і листової заглушкою за нею походу газу і запобіжного запірною клапана. На кожному відводі до пальників передбачена установка регулюючого поворотного клапана, клапана-відсікача і пристрою, що вимикає, з ручним керуванням.

Продування газопроводів здійснюється через продувні газопроводи в атмосферу. Перед останнім по ходу газу пристроєм, що вимикає, передбачені свічки безпеки. Газопроводи безпеки і продувні газопроводи виводяться за межі приміщення на 1 м вище гребеня даху.

Усі гарячі поверхні, до котрих можливий дотик у процесі роботи, покриваються теплоізоляцією, що виключає можливість отримання опікових травм обслуговуючим персоналом. Температура зовнішньої поверхні теплоізоляції не повинна перевищувати 45°C[1].

До основного і допоміжного обладнання котельні передбачаються підходи та проходи, вільні від труб і будівельних конструкцій, що забезпечують безпечну їх експлуатацію.

Ширина і висота робочих проходів у місцях обслуговування обладнання прийняті у відповідності з діючими нормами і правилами та забезпечують вільний прохід по них.

Обертові частини устаткування закриваються огорожувальними кожухами.

Для захисту від вибуху при підвищенні тиску пари на котлах встановлюються по два запобіжні клапани імпульсного типу. Один з клапанів є контрольним, інший – робочим. Контрольний клапан відкривається при підвищенні тиску на 2% вище розрахункового. Якщо тиск продовжує підійматися, відкривається робочий клапан. Він спрацьовує при тиску на 10% вище розрахункового.

Для попередження витoku газу через зварні з'єднання і запірну арматуру, газопроводи проходять випробування на герметичність.

Боротьба з шумом та вібрацією, що виникають при роботі пальників, складається в їх надійному кріпленні. Конструкція пальників повинна забезпечувати плавний вхід потоку і зіткнення повітряного та газового струменів під можливо меншим кутом і з близькими швидкостями.

Зниження впливу шуму на робітників забезпечується автоматизацією управління котлами та іншим устаткуванням – постійного знаходження персоналу поблизу джерел шуму не потребується.

Зниження рівню вібрації досягається установленням димососів і потужних насосів на віброізолюючі прокладки.

### 3.3 Виробнича санітарія

Роботи, що виконуються в котельній за енерговитратами можна віднести до категорії 2а – середньої важкості. Це робота, пов'язана з ходьбою, не вимагає перенесення вантажів або що вимагає перенесення невеликих, до 10 кг, вантажів. Допустимі і оптимальні значення мікроклімату для даної категорії приведені в таблиці. 4.2 [1].

У проектованій утилізаційній котельній передбачена система припливно-витяжної вентиляції з природним (витяжка) і механічним (приплив) спонуканням. У нижніх зонах зовнішніх стін котельного залу в осях 4-9 передбачаються припливні жалюзійні решітки зі знімними фільтрами, розраховані на 3-х кратний повітрообмін. Витяжка з котельного залу передбачає 3-х кратний повітрообмін з установкою дефлекторів на покрівлі будинку. Конструкція дефлектора забезпечує розрідження на його виході за наявності вітру. Чим вище швидкість вітру, тим більше розрідження, і тим ефективніше працює витяг.

Згідно [8] майданчики обслуговування котлів відносяться до VI розряду зорових робіт. Пульт управління має бути освітлений згідно розряду IVг.

У котельній застосовується бічне природне освітлення. Коефіцієнт природної освітленості для третього світлового поясу  $e^{\text{III}} = 0,5\%$  [8].

Нормоване значення коефіцієнта природної освітленості (КПО) [8], %:

$$e_n = e^{\text{III}} m C, \quad (3.1)$$

де  $m = 0,9$  - коефіцієнт світлового клімату для району м. Запоріжжя (4 світловий пояс) [8];

$C = 0,75$  - коефіцієнт сонячності клімату, залежний від географічного положення і орієнтації світлових отворів за сторонами горизонту [8].

$$e_n = 0,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \approx 0,3\%$$

Таблиця 3.2 - Нормативні параметри повітряного середовища[1]

Параметри	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
<u>Допустимі норми</u>			
Холодний період	17...23	$\leq 75$	$\leq 0,3$
Теплий період	18...27	$\leq 60$ (при 27°C) $\leq 65$ (при 26°C) $\leq 70$ (при 25°C) $\leq 75$ (при $\leq 24^\circ\text{C}$ )	0,2...0,4
<u>Оптимальні норми</u>			
Холодний період	19...21	40...60	$\leq 0,2$
Теплий період	21...23	40...60	$\leq 0,3$

Освітленість від штучних джерел світла має бути не менше 100 лк для майданчиків обслуговування котлів, приміщень вентиляторів, димососів, 10 лк для майданчиків і сходів котлів, проходів за котлами і 300 лк для шкал вимірювальних приладів [8]. Система освітлення - загальна. Як джерела світлу застосовуються люмінесцентні лампи ЛБ-40.

Для освітлення пульта управління додатково застосовуються світильники місцевого освітлення з лампами розжарювання Г-150.

Для систем освітлення застосована напруга 220 В, для живлення ручних переносних світильників – 12 В.

Система аварійного освітлення передбачає норму освітленості 5% від робочої, але не менше 2 лк. Отже, аварійна освітленість складає 5 лк для майданчиків обслуговування котлів, приміщень вентиляторів, димососів, 2 лк для майданчиків і сходів котлів, проходів за котлами і 15 лк для шкал вимірювальних приладів

### 3.4 Електробезпека

Основними споживачами електроенергії є електродвигуни димососів потужністю 200кВт, дуттьових вентиляторів котлів потужністю 45кВт, насосів мережевої води, підживлювальних, конденсатних насосів, запірної арматури котлів; обладнання КВП і А, АСУ ТП; система електроосвітлення приміщень котельні.

Приміщення котельної відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою, оскільки тут в теплий період року можлива температура повітря, що тривало перевищує 30°C.

Для живлення виробничого устаткування використовується трифазна чотирипровідна мережа змінного струму з глухозаземленою нейтраллю.

Електроприймачі котельні по надійності електропостачання віднесені до II категорії.



Як захисні заходи від поразки електричним струмом в котельній застосовуються:

- електрична ізоляція струмоведучих частин - гумова, поліхлорвінілова, нейритова, нормативний опір ізоляції на ділянці (між двома послідовно встановленими апаратами захисту або після останнього апарату) - 500 кОм ;

- знижена напруга для ручного електроінструменту 3 класу і переносних світильників - 12 В, з використанням знижувальних трансформаторів із зануленою вторинною обмоткою;

- подвійна електроізоляція ручного електроінструменту - струмоведучих частин усередині корпусу і самого корпусу;

- захисне занулення електроустановок;

- захисне відключення - як додаткова міра захисту до занулення;

- електрозахисні засоби.

Електротехнічне обладнання має закриті виконання струмоведучих частин. Все електротехнічне обладнання заземлюється підключенням до загальної системи заземлення. Заземлення світильників передбачено окремим дротом, підключеним до мережі заземлення. Газопроводи котельної також підлягають заземленню.

Як основний засіб захисту від дотику до неструмоведучих частин електроустановок, що випадково опинилися під напругою, у мережі з глухозаземленою нейтраллю застосовується захисне занулення [10]. Принцип його дії – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазним і нульовим захисним провідником) з метою викликати великий струм, здатний забезпечити спрацьовування захисту і тим самим автоматично відключити пошкоджену установку від мережі

Для передачі і розподілу електроенергії по території і у виробничих приміщеннях прокладають електричні кабелі. Для живлення стаціонарних установок (силових і освітлювальних) використовують броньовані кабелі з алюмінієвою або свинцевою оболонкою. Силові кабелі прокладають в

металевих трубах під землею в спеціально влаштованих кабельних каналах, колекторах, тунелях. У виробничих приміщеннях кабелі прокладають відкрито по стінах, перекриттях, металоконструкціях.

Як засіб захисту від дотику до струмоведучих частин застосовують електроізоляцію, тобто покриття струмоведучих частин діелектричним матеріалом.

### 3.5 Пожежна безпека

Категорія приміщення котельної за пожежною та вибухопожежною небезпеками – Г. Ступень вогнестійкості будівлі – П. До цього ступеню відносяться будівлі із несучими і огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону чи залізобетону із застосуванням листових і плитових негорючих матеріалів. У покриттях будівлі допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції. Підлоги, двері, ворота, переплетення вікон допускається виконувати з горючих матеріалів. Не допускається виконувати з горючих і важкогорючих матеріалів облицювання зовнішніх поверхонь стін.[11].

Для забезпечення безпеки евакуації персоналу з приміщень котельної у випадку пожежі у відповідності з [10, 12, 13] передбачається два евакуаційних виходи. Ширина шляхів евакуації – не менше 1,0 м, дверей – не менше 0,8 м. висота проходів і дверей не менше двох метрів. Двері, що ведуть із приміщень назовні, самозакриваються з ущільненням в притвору.

Мінімальні межі вогнестійкості і максимальні межі розповсюдження вогню надані у табл. 4.3.

Як протипожежні заходи передбачаються:

- проведення протипожежних інструктажів персоналу (як частка інструктажів з охорони праці);
- використання негорючих будівельних матеріалів у конструкції будинку котельної;

- заборона розміщення горючих речовин та матеріалів у приміщенні котельної;
- застосування пожежних кранів для внутрішнього гасіння пожеж;
- застосування вогнегасників як первинного засобу пожежогасіння.
- виконання захисту від прямих ударів блискавки будівель блискавковідводом;
- застосування кабелів з ізоляцією і оболонкою, що не підтримує горіння.

Таблиця 3.3 – Межі вогнестійкості будівельних конструкцій і межі розповсюдження вогню по них[13]

Будівельні конструкції	Межа вогнестійкості, год.	Межа розповсюдження вогню, см
Несучі стіни і стіни сходових кліток	2	0
Колони	2	0
Самонесучі стіни	1	0
Сходові площадки	1	0
Ферми	0,5	0
Настили	0,25	0
Зовнішні не несучі стіни	0,25	0
Перегородки	0,25	0

Проектом передбачається забезпечення котельні засобами пожежогасіння: вогнегасниками порошковими ВП-9Б із розрахунку один вогнегасник на один котел. Для гасіння пожеж електроустановок у котельній розміщуються 2 вуглекислотних вогнегасники ВВК-5[12].

У приміщенні котельній встановлюється ящик з піском - 0,5 м<sup>3</sup>, покривало пожежне - 2×1, 5 м, совкові лопати, багри, лом.

Блискавкозахист котельної відноситься до II категорії, тип зони захисту – Б. Блискавковідвід стержневого типу встановлений на димовій трубі висотою 100м. Будівля котельної не входить в зону захисту цього блискавковідводу. Таким чином, необхідно виконати пристрій блискавкозахисту шляхом накладення блискавкоприймальної сітки з кроком 10м, покладеної по покрівлі будівлі котельні і з'єднати з зовнішнім контуром заземлення котельні. Для захисту від електромагнітних перешкод приміщень серверної та операторської виконується екранування з підключенням до системи блискавкозахисту.

Для захисту від заносу високого потенціалу по зовнішнім надземним комунікаціям, їх необхідно на вводі в будинок приєднати до заземлювача.

Для захисту від вибуху газоповітряної суміші на вводі в котельню на газопроводі встановлена електрозасувка 30с941нж в комплекті з газосигналізатором для контролю довибухових концентрацій газу (20% НКМЗ) з виводом сигналу в диспетчерську, а також відсічення газу.

З метою зниження тиску вибуху у котельному залі передбачені конструкції, що легко скидаються – віконні переплетення з одинарним застаклінням з розрахунку  $0,03 \text{ м}^2$  на  $1 \text{ м}^3$  будівлі. При внутрішньому об'ємі приміщення котельної  $13230 \text{ м}^3$ , площа застакління повинна бути не менш  $397 \text{ м}^2$  [13].

### 3.6 Розрахунок захисного відключення

Захисне занулення, що застосовується у котельній, забезпечує захист від струму при дотику до корпусу устаткування, що випадково виявився під напругою. Проте занулення не захищає від дотику до фазного проводу з порушеною ізоляцією.

Для захисту в разі дотику до струмоведучої частини, що знаходиться під напругою, в дипломному проекті пропонується використовувати пристрій автоматичного відключення, що реагує на струм нульової послідовності.

Такий пристрій забезпечує відключення також і в разі дотику до заземленого (зануленого) корпусу при замиканні на нього фази.

Принцип дії пристрою - швидке відключення ділянки мережі або споживача енергії, якщо струм нульової послідовності перевищує деяке значення, при якому напруга дотику до струмоведучої частини має найбільше тривале допустиме значення  $U_{\max}$ .

Датчиком пристрою може служити трансформатор струму нульової послідовності ТСНП, магнітопровід якого охоплює всі дроти мережі, що грають в цьому випадку роль первинних одновиткових обмоток трансформатора. В результаті магнітні потоки, що створюються в магнітопроводі ТСНП струмами первинних обмоток, складаються, а сумарний потік обумовлює виникнення струму у вторинній обмотці ТСНП, що замикається через обмотку реле.

Якщо на ділянці провідності фаз, що захищається, відносно землі однакові, то сума струмів, які проходять по фазних дротах мережі, а отже, і струм через реле дорівнюють нулю:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0; \quad I_r = 0 \quad (3.2)$$

Якщо на ділянці, що захищається, виникає асиметрія провідності фаз відносно землі у результаті, наприклад, замикання фази на землю, дотику людини до фази тощо, то приведена рівність порушується, оскільки з'являється струм нульової послідовності  $I_0$  і через реле проходить струм  $I_p$ , пропорційний його значенню:

$$I_p = I_0/k, \quad (3.3)$$

де  $k$  - коефіцієнт трансформації ТСНП (відношення первинного струму до вторинного).

Цей струм, досягнувши значення струму спрацьовування реле або перевищивши його, викличе відключення ділянки мережі, що захищається, від джерела живлення.

Умова безпеки при дотику до струмоведучої частини, що знаходиться під напругою (або до незаземленого і незануленого корпусу в період замикання на нього фази) виражається рівнянням:

$$U_{\max} \geq I_h R_h, \quad (3.4)$$

де  $U_{\max}$  - найбільша тривало допустима напруга дотику, В;

$I_h$  - струм, що проходить через тіло людини, А;

$R_h$  - опір тіла людини, Ом.

Уставкою (струмом спрацьовування, на який налаштовується прилад) в даному випадку буде деяке значення струму нульової послідовності  $I_y$ , при якому струм, що проходить через людину в землю, не перевищує тривало допустимого струму, або струму, при якому напруга дотику не перевищує тривало допустиму:

$$I_y = k_o U_{\max} / R_h, \quad (3.5)$$

де  $k_o$  - коефіцієнт, що визначає співвідношення між провідністю відносно землі ділянок мережі, що знаходяться по обидві сторони ТСНП.

Оскільки провідність ділянки мережі, що знаходиться в зоні захисту для мережі з глухозаземленою нейтраллю близька до нуля, а провідність незахищеної ділянки завжди досить велика (за рахунок провідності заземлення нейтралі джерела струму), то можна прийняти  $k = 1$ .

Вважаючи  $U_{\max} = 12$  В, а опір тіла людини  $R_h = 1000$  Ом, отримуємо:

$$I_y = 12/1000 = 0,012 \text{ А} = 12 \text{ мА}$$

Перевагами установок захисного відключення, що реагують на струм нульової послідовності, є: можливість вживання в мережах будь-якої напруги з різними режимами нейтралі; здатність забезпечувати безпеку людини при дотику не лише до корпусу, що виявився під напругою, але і до фазного дроту мережі; висока надійність роботи, тобто мала кількість помилкових відключень; незалежність роботи пристрою від значень опору заземлення і опору нульового провідника. Остання перевага має важливе значення в тих випадках, коли неможливо заземлити нейтраль трансформатора, корпуси електроустаткування або нульовий провідник через малий опір або коли із-за віддаленості споживача опір нульового захисного провідника виявляється вище нормованих значень.

Для установки вибираємо пристрій захисного відключення РУД-05-УЗ [11].

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі була розглянута та проаналізована проблема використання вторинних енергоресурсів. Запропоновано побудову утилізаційної котельні для забезпечення ПАТ «Укрграфіт» паром та гарячою водою. У роботі передбачаються тепломеханічні рішення котельної, яка призначена для теплопостачання систем опалення, припливних установок і системи ГВП, а також для забезпечення паром технологічних споживачів.

У першому розділі проекту надана характеристика об'єкту дослідження, описано існуючу систему теплопостачання і внутрішнього газопостачання котельні, описані сучасні утилізаційні котли, що прийняті до установки, визначені цілі реконструкції, запропоновані тепломеханічні рішення і заходи по енергозбереженню у котельні.

У другому розділі проаналізовані і систематизовані вихідні данні, виконано розрахунок теплової схеми джерела теплопостачання, на основі якої виконаний підбір основного і допоміжного обладнання котельні. Для теплового знешкодження та утилізації тепла димових газів прожарювальних печей № 1, 2, 3 і 5 цеху № 2 передбачено будівництво трьох котлів-утилізаторів типу РК-25-1,4/320 конструкції НТП «Котлоенергопром», м. Харків. Робота кожного котла-утилізатора передбачена в одному з трьох режимів: в утилізаційному, автономному, або в режимі спалювання вуглецевого пилу. В утилізаційному режимі у якості палива використовується тепло відхідних технологічних газів і природний газ; в режимі спалювання вуглецевого пилу — пил, тепло відхідних технологічних газів та природний газ; в автономному режимі — тільки природний газ.

Проектом утилізаційної котельної передбачається установка 3х парових котлів для забезпечення технологічних потреб заводу пари і гарячої води на опалення. Встановлена потужність утилізаційної котельної 75 т/год пари. Витрата природного газу при  $Q_{\text{нр}} = 8693 \text{ ккал/нм}^3$  на котел становить  $Q = 2000 \text{ м}^3/\text{год}$ , максимальна витрата газу на котельню



$Q = 5000 \text{ м}^3/\text{год}$ . Максимальна паропродуктивність котельні в зимовий період складає 65 т/год.

Кожен з котлів обладнується трьома пальниками: двома газовими пальниками, та одним пілогозовим. Тиск газу перед пальниками  $P = 0,05$  МПа.

Нова котельня більш ефективна і екологічно чиста.

Крім вирішення питань енергопостачання підприємства, будівництво власної утилізаційної котельної дозволило виконати взяті перед містом зобов'язання в рамках «Програми природоохоронних заходів, спрямованих на охорону довкілля, раціональне використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки міста Запоріжжя»

У третьому розділі визначені основні потенційно небезпечні та шкідливі фактори на об'єкті, шляхи їх мінімізації та розроблені заходи поліпшення умов праці. Виконано розрахунок захисного відключення.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. Москва: Энергоиздат, 1982. 360 с.
2. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. Поїд ред./ А.А.Николаева.- М.: Стройиздат, 1965. 359 с.
3. Борисов Б.Г. Отопление промышленных предприятий : Текст лекций по курсу «Источники и системы теплоснабжения промпредприятий». Москва: Изд-во МЭИ, 1992. 51 с.
4. Иванов В.А. Тепловые расчеты водяных систем теплоснабжения: Учеб. пособие по курсу "Теплоснабжение". Саратов, 1992. 73 с.
5. Захарченко С.Е. Справочник по тепловым сетям. Москва : Энергия. 1958. 385с.
6. Крючков Є.М. Проектування систем теплопостачання : навчально-методичний посібник : Запоріжжя. 2010. 303с.
7. Ривкін С.Л., Александров А.А. Термодинамічні властивості води і водяної пари : довідник. Москва : Энергоатоміздат, 1984. 80 с.
8. Рекомендации по расчету и выбору основного и вспомогательного оборудования котельных установок. Выпуск 2. Часть 2. Расчет теплових схем котельных с водогрейными котлами. ГПИ Сантехпроект. 1970. 89 с.
9. Беликов С.Е. Малые котлы и защита атмосферы. Снижение вредных выбросов при эксплуатации промышленных и отопительных котельных. Москва : Энергоатомиздат. 1996. 127 с.
10. Громова, Н.К., Шубіна Є.П. Водяні теплові мережі: довідковий посібник з проектування. Київ :Університет. 2008. 183 с.
11. Аналіз систем теплопостачання з різним ступенем централізації// Энергозбереження.– 2008.– № 1.-С.13-15.

12. Про практичну методику кількісної оцінки надійності теплових мереж при їх проектуванні в умовах експлуатації // Енергозбереження. – 2012. – № 10.-С.24-27.
13. Пошук маршруту прокладання інженерних мереж з найменшою вартістю// Науковий вістник.-2009.-№4.-С.6-8.
14. СНіП2.04.07:1986 (ред. 2000 року) Теплові мережі. – К.: Держспоживстандарт України, 2000.-140с.
15. Перспективні технології в теплопостачанні// Промислове і громадянське будівництво.- 2010.-№10.-С.22-27.
16. Дослідження режимів функціонування теплопостачальних систем// Системні дослідження в енергетиці.-2014.-№5.-С.68-71.
17. Прилади і системи. Управління, контроль, діагностика// Новини теплопостачання.-2002.-№8.-С.24-28.
18. [ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель](#).-К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017.-24с.
19. Енергозбереження в системах централізованого теплопостачання на новому етапі розвитку// Енергозбереження.–2012.–№ 2.-С.42-45.
15. Особливості протикорозійного захисту сталевих підземних трубопроводів// Захист металів.-2014.- № 5.-С.39-41.
16. Удосконалення захисту внутрішньої поверхні трубопроводів від корозії// Нафтогазова справа.-2010.-№8.-С.18-23.
17. Онищук, М.А. Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.-К.: Лібра, 2012.-112с.
18. Енергозберігаючі технології// Теплоенергетика.– 2013.– № 2.-С.11-13.
19. Однопозов, О.С. Безканальне прокладання теплових мереж/ О.С. Однопозов, С.В. Блонштейн.-К.: Освіта, 2015.-145с.
20. Електронні системи контролю стану ізоляції// Енерготехнології. – 2016. - №6.-С.28-32.

21. Шарова запірна арматура// Теплоенергетика.– 2015.- №11.-С.16-17.
22. Шиберна арматура. Переваги і недоліки// Новини теплопостачання. – 2014. - №4.-С.33-34.
23. Використання сильфонних компенсаторів на трубопроводах// АрматуроБудівництво. – 2015. - №8.-С.19-23.
24. Засоби захисту трубопроводів від корозії// Енерготехнології. – 2013. - №3.-С.5-7.
25. Автоматизація систем управління// Технології майбутнього. – 2016. - №5.-С.12-15.
26. Перспективи розвитку систем теплопостачання// Енергетика і промисловість України. – 2014. - №7.-С.34-35.
27. Джерело теплоти і теплоносії// Трубопроводи і екологія. – 2016. - №3.-С.26-29.
28. Теплові мережі// Енергозбереження. 2013. - №12.-С.48-53.
29. Концепція реформування сфери теплопостачання// Енерготехнології. 2014. - №1.-С.35-38.
30. Міське опалення по-новому// Житлово-комунальне господарство України. 2015. – №3.-С.16-19.
31. Ціна тепла. Можемо платити менше// Енергобезпека і енергозаощадження. 2016. - №6.-С.45.
32. Муніципальна енергетична реформа в Україні// Енергетика і промисловість України. 2017. - №10.-С.34-36.
33. Теплова ізоляція промислових об'єктів// Теплові мережі. 2016. - №9.-С.43-44.
34. Теплоізоляція трубопроводів// Теплоенергоефективні технології. 2016. - №2.-25-30.
35. Сучасна ізоляція та утеплення трубопроводів// Євробудівництво. 2017.- №5.-С.41-42.

36. Промислова ізоляція теплотраси// Трубопроводи та екологія. 2015. - №11.-С.48-50.
37. Засядько И.Н. Теплообменные аппараты систем теплоснабжения: учеб. пособие: Киев. 1990. 138 с.
38. Зингер Н.М. Пластинчатые теплообменники в системах теплоснабжения. Москва : Энергоатомиздат, 1995. 270 с.
39. Каталог продукции фирмы "СПИРО" для систем инженерного обеспечения промышленных предприятий. - Б.м., 2011. - 80 с.
40. Гидромеханика отопительно-вентиляционных устройств : Межвуз .сб. науч. тр. Казан.гос. архит.- строит.акад. : Казань. 1997. 99 с.
41. Купчик М.П., Гадзюк М.П., Степанец І.Ф., Вендичанський В.Н. Основи охорони праці. Київ : Основа. 2000. 416 с.
42. Рогач Ю.П. Пожежна безпека. Сімферополь : «Таврія Плюс». 2001. 124 с.
43. Каминский С.Л., Смирнов К.М., Жуков В.И. Средства индивидуальной защиты. Ленинград : Химия. 1989. 400с.
44. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Ленинград : Энергия. 1976. 391с.
45. ДБН В.2.5-28-2006 Природне та штучне освітлення.
46. Новак С.М., Логвинец А.С. Защита от вибрации и шума в строительстве. Киев : Будівельник, 1990. 184с.
47. НПАОП 0.00-1.32-01 Правила будови електроустановок.
48. Смирнов Н.В., Коган Л.М. Пожарная безопасность предприятий чёрной металлургии. Москва : Металлургия, 1989. - 432с.
49. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. Москва : Энергоиздат. 1982. 800 с.