

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту

**ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РОЗРОБЦІ  
ТОПКОВО-ПАЛЬНИКОВОГО ПРИСТРОЮ ПАРОВОГО КОТЛА  
ПАРПРОДУКТИВНІСТЮ 100 Т/ГОД. НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ**

**Пояснювальна записка і розрахунки**

до дипломного проекту

КРМ 100.066.00.00.00 ПЗ і Р

Розробив: студент групи 218-ЕМ-Д23  
спеціальності 144 (роботу виконано  
самостійно, відповідно до принципів  
академічної доброчесності)

Жолубов О. О.

Керівник: д.т.н., проф.

Редько І.О.

Рецензент: к.т.н., доц..

Тютюник Л.І.

2024 рік



## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічні розрахунки			
Нормоконтроль			

7 Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 10 червня 2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту ( роботи )	Примітка
1	Вибір і обґрунтування основних компоновочних рішень. Характеристика середовища в газоповітряному тракті котла	25.08.24 - 01.09.24	
2	Тепловий баланс котла	02.09.24 - 08.09.24	
3	Розрахунок теплообміну в топці	09.09.24 - 14.09.24	
4	Розрахунок пальникового пристрою	15.09.24 - 23.09.24	
5	Охорона праці і навколишнього середовища	24.09.24 - 03.10.24	
6	Цивільний захист	04.10.24 - 10.10.24	
7	Економічне обґрунтування	17.10.24 - 20.10.24	
8	Презентація в Microsoft PowerPoint	25.11.24 - 29.12.24	

Студент \_\_\_\_\_

Жолубов О. О.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_

Редько І.О.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до ДПМ: 64 с., 2 рис., 11 табл., 25 джерел.

*Ключові слова:* ПАРОВИЙ КОТЕЛ, ПРИРОДНА ЦИРКУЛЯЦІЯ, ПАРПРОДУКТИВНІСТЬ, ГАЗОПОДІБНЕ ПАЛИВО, ТОПКА, ПАЛЬНИК, ПАРОПЕРЕГРІВНИК, ЕКОНОМАЙЗЕР, ПОВІТРОПІДГРІВНИК, ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.

Об'єктом проектування є топково-пальниковий пристрій парового котла з природною циркуляцією паропродуктивністю 100 т/год., що працює на газоподібному паливі Шебелинського родовища.

Мета проекту - обґрунтувати вибір і спроектувати топково-пальниковий пристрій, що буде відповідати економічним і екологічним нормам.

Методи проектування: нормативний метод розрахунку котлів.

У результаті розрахунку визначаємо ККД котла, розрахункову і повну витрату палива, температуру продуктів згоряння на виході з топки.

## ABSTRACT

Explanatory note to the DPM: 63 pp., 2 figures, 11 tables, 21 sources

*Key words:* STEAM BOILER, NATURAL CIRCULATION, DISTRIBUTION PLATE, OIL FUEL, FIRE CHAMBER, BURNER, SUPERHEATER, AIR-HEATER, ECONOMAIZER, ECONOMIC CALCULATION, ACTIONS TO PROTECTION OF LABOUR.

The object of designing a furnace-burner boiler with natural circulation boiler with steam capacity 100t / h, operating on gaseous fuels SHEBELYNSKYI field.

The project aims to justify the choice and design the furnace-burner, which will meet the economic and environmental standards.

Design methods: standard method for calculating the boilers.

As a result of calculations is determined by the boiler efficiency, current and complete consumption of fuel, the temperature of combustion products at the outlet of the furnace.

## ЗМІСТ

Вступ	3
1 Опис котла	4
2 Вибір і обґрунтування основних компоновочних рішень	8
3 Характеристика середовища в газоповітряному тракті котла	10
4 Тепловий баланс котла	18
5 Розрахунок теплообміну в топці	22
6 Розрахунок пального пристрою	32
7 Охорона праці і навколишнього середовища	41
8 Економічне обґрунтування	54
9. Цивільний захист	61
Висновки	67
Список джерел інформації	68

## ВСТУП

Бурхливий розвиток промисловості і будівництва великих житлових масивів, і суспільних будинків викликає потреби в централізованому тепlopостачанні за рахунок розширення і введення нових теплоелектроцентралей, промислових і районних котельень. Велика увага приділяється питанням реконструкції і модернізації теплоенергетичного обладнання на теплових електростанціях країни, а також заміни його на нове.

Котельні установки, що входять у теплоенергетичне обладнання, також підлягають реконструкції, що дозволяє збільшити їх коефіцієнт корисної дії (ККД), зменшити собівартість теплової енергії, шкідливі викиди в атмосферу і кількість палива, що спалюється.

Сучасні котельні установки, що працюють як на газоподібному, так на твердому і рідкому паливі, мають високу надійність, пожаро-, вибухо-, електробезпечність і автоматизацію багатьох процесів. Тому, по можливості, треба замінити старе обладнання на нове, чи хоча б проводити реконструкції і перевірки обладнання на відповідність його стандартам безпечної роботи.

Основним обладнанням, що виробляє теплову енергію в промисловій і опалювальній котельнях, є парові і водогрійні котли, і однією з головних задач при виробленні теплової енергії є всіляка економія усіх видів палива.

Раціональне і безпечне спалювання палива в котлах у першу чергу залежить від професійних знань обслуговуючого персоналу, від грамотної і безпечної експлуатації котлів і котельного обладнання, тому що ушкодження навіть окремих його елементів може викликати руйнування обладнання і травми обслуговуючого персоналу. При правильній експлуатації і своєчасному ремонті котельних установок можна забезпечити безперебійну й економічну роботу котлів і обладнання, зменшити витрати на їх ремонт, заощадити паливо.

У даній роботі приведений розрахунок парового котла для спалювання природного газу, з газопроводу Шебелинка.

## 1 ОПИС КОТЛА

Як прототип обрано котел Е-100-3,9-440 ГМ, який працює на природному газі Шебелинківського родовища.

Котел призначений для вироблення перегрітої пари, яка використовується для технологічних і господарських потреб, підприємств енергетики і промисловості.

Котел встановлюється в приміщенні.

Котел працює на природному газі при урівноваженій тязі. Експлуатація котла можлива при коливаннях навантажень у межах 30 - 100 % від номінальної.

Номінальна паропродуктивність котла - 100 т/год., тиск - 3,9 МПа, температура перегрітої пари – 440 °С.

До складу котла Е-100-3,9-440 ГМ входять:

- барабан котла з сепараційним пристроєм;
- топка;
- конвективні газоходи (2 шт.);
- пароперегрівач;
- пальник;
- водяний економайзер;
- повітропідігрівник;
- система упорскування власного конденсату;
- підвіски котла;
- каркас котла;
- трубопроводи котла та арматура;
- контрольно-вимірювальні прилади;
- комплект засобів керування (з котлом не поставляється);
- площадки обслуговування;
- обмурівка і ізоляція (з котлом не поставляються);
- комплектуюче обладнання (поставляється за бажанням замовника).



Гідравлічна система котла низького тиску включає: водяний економайзер, випарні (пароутворюючі) і пароперегрівальні поверхні нагріву. Випарні поверхні нагріву, сполучені з барабаном котла водоопускними і паровідвідними трубами, утворюють циркуляційну систему з простими замкнутими контурами циркуляції. Випарні чи пароперегрівальні поверхні нагріву, виконані у вигляді екранів, обгороджують топковий об'єм котла.

Паровий котел Е-100-3,9-440 ГМ - водотрубний, з природною циркуляцією, триходовий по димових газах.

Топка і два конвективних газоходи складають основний блок котла. Продукти згоряння з топки проходять у 1-й (по ходу газів) конвективний газохід, у якому розташовано пароперегрівник. Далі гази попадають у 2-й конвективний газохід, у якому розташований водяний економайзер. Після економайзера гази попадають в окремо розташований повітропідігрівник.

Живильна вода попадає у водяний економайзер, у якому здійснюється попередній підігрів води. З водяного економайзера - у барабан. З нижньої частини барабана через систему водопідвідних труб котлова вода подається в нижні колектори випарних поверхонь нагріву. У випарних поверхнях відбувається генерація пари і з їх верхніх колекторів пароводяна суміш повертається в барабан котла.

Отсепарована у сепараційних пристроях барабана, пара по системі паропідвідних труб надходить у пароперегрівник, а потім у вихідний колектор пароперегрівника.

Барабан діаметром 1590 x 36 мм призначений для поділу пароводяної суміші на насичену пару і котлову воду, розподілу води по циркуляційних контурах і відводу насиченої пари. З барабана здійснюється добір пари на власні потреби, аварійний злив і безупинну продувка.

Для сепарації пари в барабані передбачено сепараційний пристрій, що складається з розділових і відбійних аркушів, жалюзійних сепараторів, внутрішньобарабанних циклонів і дірчастих аркушів.

Барабан зварено зі сталі 20. Барабан розділений на чистий і сольовий відсіки.

Топка котла утворена двома бічними, заднім і фронтним екранами, виконаними з газоцільних панелей із труб діаметром 57 x 4. Ширина топки по осях екранних труб - 9050 мм, глибина - 5400 мм.

Бічні екрани розділені на дві секції, що мають індивідуальні колектори. На бічних екранах установлені 4 пальники (по два з кожної сторони) і два вибухових клапани (по одному з кожної сторони).

Фронтний екран топки утворює її фронтну стінку, половину поду і частину стелі і поставляється п'ятьма блоками по 24 труби в кожному.

Задній екран утворює задню стінку топки, що є загальною з опускним газоходом, половину поду топки, трьохрядний фестон і частину стелі поворотного газоходу. Задній екран поставляється трьома блоками по 40 труб у кожному.

Першим (по ходу димових газів) за фестонем топки розташований поворотний газохід, у якому розташовані пакети конвективної частини пароперегрівника. В опускному газоході знаходяться три пакети водяного економайзера. Конвективні газоходи обгороджені екранами випарних поверхонь і екранами пароперегрівника.

Пароперегрівник призначений для перегріву отсепарованої в барабані пари до температури 440 °С. Пароперегрівник виконаний з вертикальних змійовиків і складається з двох послідовно включених ступенів.

Перший ступінь (по ходу пари) із шаховим розташуванням труб, з поперечним кроком - 100 мм і поздовжнім кроком - 60 мм поставляється окремими змійовиками, виконаними з труби діаметром 32x4. Матеріал - сталь 20, сталь 12Х1МФ.

Другий ступінь (по ходу пари) з коридорним розташуванням труб з поперечним кроком - 60 мм і поздовжнім кроком - 120 мм поставляється трьома блоками, виконаними з труби діаметром 32x4. матеріал - сталь 12Х1МФ.

Між ступенями пароперегрівника встановлений впорскуючий пароохолодник.

Водяний економайзер призначений для підігріву живильної води, що надходить у барабан. Розташовано водяний економайзер в опускному газоході під пароперегрівником. По висоті газоходу він розділений на три частини з ремонтними прорізами. По ширині газоходу кожна з цих частин розділена на два блоки..

Водяний економайзер виготовлено з труб діаметром 28x3. Матеріал - сталь 20.

Повітропідігрівник призначений для підігріву повітря, що подається на пальники. Повітропідігрівник поставляється блоками з труб діаметром 40x1,5, матеріал - сталь 10.

Повітропідігрівник встановлюється на окремому каркасі і з'єднується з котлом газо- і повітроперепускними коробами.

## 2 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ КОМПОНОВОЧНИХ РІШЕНЬ

### 2.1 Розрахункові характеристики палива

Задане паливо: природний газ Шебелинського родовища.

Склад робочої маси палива (таблиця 1[1]):

$\text{CH}_4$  – 92,8 %;

$\text{C}_2\text{H}_6$  – 3,9 %;

$\text{C}_3\text{H}_8$  – 1,0 %;

$\text{C}_4\text{H}_{10}$  – 0,4 %;

$\text{C}_5\text{H}_{12}$  и більш важкі – 0,3 %;

$\text{N}_2$  – 1,5 %;

$\text{CO}_2$  – 0,1 %;

Всього 100 %

Нижча теплота згоряння палива

$$Q_i^d = 8910 \text{ ккал/м}^3 = 37,3 \text{ кДж/м}^3.$$

### 2.2 Вибір типу і компоновка пальникових пристроїв

Обрано 4 малотоксичних пальника ВТИ – ЗиО з одноярусним зустрічним розташуванням у топці, вибір обумовлено рекомендаціями так як потужність котла більш 20 т/год. використовуються вихрові пальникові пристрої з аксіальними лопатками.

Економічні та екологічні показники котла залежать від досконалості пальникових пристроїв та організації спалювання палива в топці. Даний пальник дозволяє забезпечити надійну і економічну роботу котла в діапазоні змін навантажень від 30 % до 100 %.

Конструкція пальника.

Газомазутний пальник складається з повітряного апарата та газорозподільчого вузла.

Повітряний апарат складається з повітряного короба підводу повітря (каплеподібний) в якому розташовані перегородки та канали для підводу повітря. По осі повітряного апарату розташована труба в яку встановлена мазутна форсунка.

Повітряний апарат двопотоковий по повітрю. У внутрішньому каналі розташовані труби для встановлення ЗЗУ и гляділки.

Газорозподільчий вузол складається з двох колекторів від яких виходять по 12 газороздавальных трубок.

### **2.3 Температура газів на виході з топки**

Температуру газів на виході з топки  $\vartheta_T''$  на рівні середини вихідного вікна приймаємо рівною 1100 °С [2].

### 3 ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕРЕДОВИЩА В ГАЗОПОВІТРЯНОМУ ТРАКТІ КОТЛА

#### 3.1 Вибір температури гарячого повітря

У залежності від виду палива потрібний різний підігрів повітря. Відповідно до рекомендацій, приведених у таблиці П-20 [1] вибираємо температуру гарячого повітря

$$t_{г.п.} = 250 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Щоб забезпечити підігрів повітря до температури, що дорівнює  $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , вибираємо повітропідігрівник одноступінчатого компонування,

#### 3.2 Повітряний баланс котла

Котел працює під розрядженням. Ескіз котла представлений на рис. 3.1.

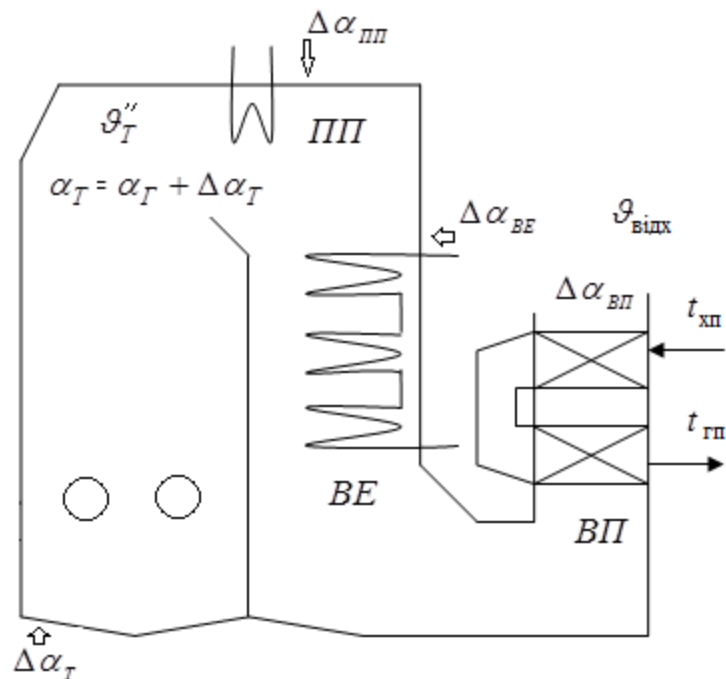


Рисунок 3.1 – Ескіз котла

Загальна формула для розрахунку коефіцієнта надлишку повітря в відхідних газах має вид

$$\alpha_{\text{вих}} = \alpha_T + \sum_{j=1}^n \Delta\alpha_j,$$

де  $\alpha_T$  - коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки, визначається по таблиці XVII [1], дорівнює 1,05;

$\Delta\alpha_j$  - присоси повітря в окремих поверхнях нагріву, визначаються по таблицях XVI и XVII [1]

$$\Delta\alpha_{\text{п.п.}} = 0,03; \quad \Delta\alpha_{\text{ек}} = 0,02; \quad \Delta\alpha_{\text{в.п.}} = 0,03.$$

$$\alpha_{\text{вих}} = 1,05 + 0,03 + 0,02 + 0,03 = 1,13.$$

Надлишок повітря в пальниках

$$\alpha_{\text{п}} = \alpha_T - \Delta\alpha_T,$$

$$\alpha_{\text{п}} = 1,05 - 0,02 = 1,03.$$

Відносна кількість повітря на виході з повітропідігрівника

$$\beta_2'' = \alpha_T - \Delta\alpha_T,$$

$$\beta_2'' = 1,05 - 0,02 = 1,03.$$

Відносна кількість повітря на вході в повітропідігрівник

$$\beta_1' = \beta_2'' + \Delta\alpha_{\text{ВП}},$$

$$\beta_1' = 1,03 + 0,03 = 1,06.$$

### 3.3 Розрахунок питомих об'ємів

Теоретична кількість повітря, необхідного для повного згоряння палива (коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha=1$ ), м<sup>3</sup>

$$V_0^H = 0,0476 \left[ \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n \right],$$

$$V_0^H = 0,0476 \cdot [(1 + 0,25 \cdot 4) \cdot 92,8 + (2 + 0,025 \cdot 6) \cdot 3,9 + (3 + 0,25 \cdot 8) \cdot 1 + (4 + 0,25 \cdot 10) \times 0,4 + (5 + 0,25 \cdot 12) \cdot 0,3] = 9,857.$$

Теоретичні (мінімальні) об'єми продуктів згоряння, отримані при повному згорянні палива з теоретично необхідною кількістю повітря ( $\alpha=1$ ):

Теоретичний об'єм азоту, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V_{0N_2}^H = 0,79V_0^H + 0,01N_2,$$

$$V_{0N_2}^H = 0,79 \cdot 9,857 + 0,01 \cdot 0,015 = 7,8.$$

Об'єм трьохатомних газів, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V_{RO_2}^H = 0,01(CO_2 + \sum mC_mH_n),$$

$$V_{RO_2}^H = 0,01 \cdot (0,1 + [92,8 + 2 \cdot 3,9 + 3 \cdot 1 + 4 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,3]) = 1,068.$$

Теоретичний об'єм водяної пари, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V_{0H_2O}^H = 0,01 \cdot (\sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124 d_{г.тл}) + 0,0161 V_0^H,$$

де  $d_{г.тл}$  - вологовміст газоподібного палива, віднесений до 1 м<sup>3</sup> сухого газу, г/м<sup>3</sup> (при розрахунковій температурі 10 °С  $d_{г.тл} = 10$  г/м<sup>3</sup>).

$$V_{0H_2O}^H = 0,01 \cdot (2 \cdot 92,8 + 3 \cdot 3,9 + 4 \cdot 1 + 5 \cdot 0,4 + 6 \cdot 0,3 + 0,124 \cdot 10) + 0,0161 \cdot 9,857 = 2,22.$$

### 3.3.1 Розрахунок для $\alpha_T$ , що дорівнює 1,05

Маса димових газів, кг/м<sup>3</sup>

$$G_\Gamma = \rho_{г.тл}^c + \frac{d_{г.тл}}{1000} + 1,306 \alpha V_0^H,$$

де  $\rho_{г.тл}^c$  - щільність сухого газу при нормальних умовах, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_{г.тл}^c = 0,01 \cdot [1,96 CO_2 + 1,25 N_2 + \sum (0,536 m + 0,045 n) C_m H_n],$$



$$\rho_{\Gamma.\text{ТЛ}}^c = 0,77 ,$$

$$G_{\Gamma} = 0,0072 + \frac{10}{1000} + 1,306 \cdot 1,05 \cdot 0,098 = 14,304 .$$

Об'єм водяної пари, м<sup>3</sup>

$$V_{H_2O}^H = V_{0H_2O}^H + 0,0161(\alpha - 1) \cdot V_0^H .$$

$$V_{H_2O}^H = 2,22 + 0,0161 \cdot (1,05 - 1) \cdot 9,857 = 2,23 .$$

Об'єм димових газів, м<sup>3</sup>

$$V_{\Gamma}^H = V_{RO_2}^H + V_{0N_2}^H + V_{H_2O}^H + (\alpha - 1) \cdot V_0^H .$$

$$V_{\Gamma}^H = 1,068 + 7,8 + 2,23 + (1,05 - 1) \cdot 9,857 = 11,59 .$$

Об'ємні частки трьохатомних газів, рівні парціальним тискам газів при загальному тиску  $P = 101,3$  кПа (1 кгс/см<sup>2</sup>)

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}^H}{V_{\Gamma}^H} ,$$

$$r_{RO_2} = \frac{1,068}{11,59} = 0,092 .$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}^H}{V_{\Gamma}^H} ,$$

$$r_{H_2O} = \frac{2,23}{11,59} = 0,192 .$$

Об'ємна сумарна частка трьохатомних газів

$$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O} ,$$

$$r_n = 0,092 + 0,192 = 0,284 .$$

### 3.3.2 Розрахунок для $\alpha_{\text{вдох}}$ , що дорівнює 1,13

Маса димових газів, кг/м<sup>3</sup>

$$G_{\Gamma} = \rho_{\Gamma, \text{ТЛ}}^c + \frac{d_{\Gamma, \text{ТЛ}}}{1000} + 1,306 \alpha V_0^{\text{H}},$$

$$G_{\Gamma} = 0,0072 + \frac{10}{1000} + 1,306 \cdot 1,13 \cdot 0,098 = 15,334 .$$

Об'єм водяної пари, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V_{H_2O}^{\text{H}} = V_{0H_2O}^{\text{H}} + 0,0161(\alpha - 1)V_0^{\text{H}} .$$

$$V_{H_2O}^{\text{H}} = 2,22 + 0,0161(1,13 - 1) \cdot 9,857 = 2,243 .$$

Об'єм димових газів, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>

$$V_{\Gamma}^{\text{H}} = V_{RO_2}^{\text{H}} + V_{ON_2}^{\text{H}} + V_{H_2O}^{\text{H}} + (\alpha - 1)V_0^{\text{H}} ,$$

$$V_{\Gamma}^{\text{H}} = 1,068 + 7,8 + 2,243 + (1,13 - 1) \cdot 9,857 = 12,39 .$$

Об'ємні частки трьохатомних газів, рівні парціальним тискам газів при загальному тиску  $P = 101,3$  кПа (1 кгс/см<sup>2</sup>)

$$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}^{\text{H}}}{V_{\Gamma}^{\text{H}}} ,$$

$$r_{RO_2} = \frac{1,068}{12,392} = 0,086 ;$$

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}^{\text{H}}}{V_{\Gamma}^{\text{H}}} ,$$

$$r_{H_2O} = \frac{2,243}{12,392} = 0,181 .$$

Об'ємна сумарна частка трьохатомних газів

$$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O} ,$$

$$r_n = 0,086 + 0,181 = 0,267 .$$

Дані для об'ємів газів, об'ємних часток трьохатомних газів, концентрації золи приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Об'єми газів, об'ємні частки трьохатомних газів

Величина, що розраховується	На виході з топки, $\alpha_T$	На виході з котла, $\alpha_{відх}$
Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha$	1,05	1,13
$(\alpha - 1)V_0^H, \text{ м}^3/\text{м}^3$	0,49	1,28
Дійсний об'єм водяної пари $V_{H_2O}, \text{ м}^3/\text{м}^3$	2,23	2,243
Об'єм димових газів $V_G^H, \text{ м}^3/\text{м}^3$	11,591	12,392
Об'ємна частка трьохатомних газів $r_{RO_2}$	0,092	0,086
Об'ємна частка водяної пари $r_{H_2O}$	0,192	0,181
Частка трьохатомних газів і водяної пари $r_n$	0,284	0,267
Маса димових газів $G_G, \text{ кг}/\text{м}^3$	14,304	15,334

### 3.4 Вибір температури відхідних газів

Температура відхідних газів визначає втрату теплоти з відхідними газами  $q_2$ , а отже, і економічність котла. За рекомендацією приведеної в табл. П-8, П-9, П-10 [1] у залежності від температури живильної води вибираємо  $\vartheta_{відх} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 3.5 Розрахунок ентальпій повітря і продуктів згоряння

Ентальпії повітря і продуктів згоряння розраховуються на  $1 \text{ м}^3$  сухого газоподібного палива при нормальних умовах ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $101,3 \text{ кПа}$ ).

Ентальпія газів при  $\alpha$ , що дорівнює 1 і температурі  $\vartheta \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{кДж}/\text{м}^3$

$$I_{\Gamma}^0 = V_{RO_2}^H \cdot (C\mathcal{G})_{CO_2} + V_{ON_2}^H \cdot (C\mathcal{G})_{N_2} + V_{OH_2O}^H \cdot (C\mathcal{G})_{H_2O},$$

де  $(C\mathcal{G})_{CO_2}, (C\mathcal{G})_{N_2}, (C\mathcal{G})_{H_2O}$  – ентальпія відповідно  $CO_2, N_2, H_2O$ , приймається по табл. Б7 [2].

Ентальпія теоретично необхідної кількості повітря при температурі  $\mathcal{G}, ^\circ\text{C}$ , кДж/м<sup>3</sup>

$$I_{OP} = V_0^H \cdot (C\mathcal{G})_P,$$

де  $(C\mathcal{G})_P$  – ентальпія повітря, приймається по табл. Б7 [2].

Ентальпія димових газів на 1 м<sup>3</sup> палива при  $\alpha > 1$ :

$$I = I_{OG} + I_{OP}(\alpha - 1).$$

Дані розрахунку ентальпій продуктів згорання зводяться в  $I - \mathcal{G}$  таблицю 3.2. При складанні таблиці для кожного  $\alpha$  визначаємо значення  $I$  в області, що перекриває очікуваний діапазон температур у газоході.

Таблиця 3.2 - Ентальпії повітря і продуктів згоряння ( $I$  -  $\vartheta$  - таблиця)

$\vartheta, ^\circ\text{C}$	$I_{\text{ог}},$ (кДж/м <sup>3</sup> )	$I_{\text{оп}},$ (кДж/м <sup>3</sup> )	$I = I_{\text{ог}} + I_{\text{оп}}(\alpha - 1), \text{кДж/м}^3$	
			$\alpha_{\tau} = 1,05$	$\alpha_{\text{yx}} = 1,13$
100	1532	1308,0	–	1702
200	3095	2631,8	–	3437
300	4702	3972	–	5219
900	15209	12647	15841	–
1000	17093	14174	17802	–
1100	18996	15722	19783	–
1200	20934	17289	21798	–
1300	22837	18866	23780	–
1400	24810	20463	25834	–
1500	26805	22070	27909	–
1600	28817	23686	30001	–
1700	30854	25303	32119	–
1800	32898	26929	34244	–
1900	34948	28575	36377	–
2000	37016	30222	38527	–
2100	38866	31733	40453	–
2200	40717	33244	42379	–

## 4 ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС КОТЛА

Склад теплового балансу полягає у встановленні рівності між кількістю теплоти, що надійшла в котел, (наявне тепло палива) і сумою корисно використаного тепла і теплових втрат

### 4.1 Наявна теплота палива

Наявна теплота палива на 1 м<sup>3</sup> газоподібного палива, кДж/м<sup>3</sup>

$$Q_P = Q_i^d + Q_{П.ЗОВН.} + I_{ТЛ} + Q_{\Phi} - Q_K,$$

де  $Q_{П.ЗОВН.}$  - тепло, внесене повітрям, що надходить у котел, при нагріванні його поза котлом, приймаємо рівним 0;

$I_{ТЛ}$  - фізичне тепло палива, не враховується, тому що паливо не підігрівається стороннім джерелом тепла,  $I_{ТЛ} = 0$ ;

$Q_{\Phi}$  - тепло, внесене в котел паровим дуттям ("форсуночною" парою), враховується тільки при спалюванні мазуту,  $Q_{\Phi} = 0$ ;

$Q_K$  - тепло, витрачене на розкладання карбонатів при спалюванні сланців, враховується тільки при спалюванні сланців,  $Q_K = 0$ ;

$$Q_P = Q_i^d.$$

### 4.2 Втрати тепла в котлі

Втрати тепла з відхідними газами, %

$$q_2 = \frac{(I_{відх} - \alpha_{відх} I_{Х.П}) (100 - q_4)}{Q_P^P},$$

де  $I_{відх}$  - ентальпія відхідних газів при температурі  $\vartheta_{відх}$  (визначається по таблиці 3.2);

$I_{Х.П}$  - ентальпія холодного повітря при температурі 30 °С (табл. 3.2).

$$q_2 = \frac{(1702 - 1,13 \cdot 261,6)(100 - 0)}{37,3 \cdot 10^3} = 3,77.$$

Втрата тепла від хімічної неповноти згоряння палива визначається по таблиці XVII [2]

$$q_3 = 0,05 \text{ \%}.$$

Втрата тепла від механічної неповноти згоряння палива визначається по таблиці XVII [2]

$$q_4 = 0 \text{ \%}.$$

Втрата тепла від зовнішнього охолодження визначається по таблиці XVII-XIX [2]

$$q_5 = 0,7 \text{ \%}.$$

Сумарна втрата тепла в котлі, %

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5,$$

$$\sum q = 3,77 + 0,05 + 0,7 = 4,52.$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) котла, %

$$\eta_K = 100 - \sum q,$$

$$\eta_K = 100 - 4,52 = 95,48.$$

Коефіцієнт збереження тепла

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_K + q_5},$$

$$\varphi = 1 - \frac{0,7}{95,48 + 0,7} = 0,99.$$

### 4.3 Тепло корисно використане в котлі, кВт

$$Q_K = D_{ПЕ} \cdot (i_{ПЕ} - i_{Ж.В}) + D_{ПР} (i_{КИП} - i_{ЖВ}),$$

де  $D_{\text{ПЕ}}$  - витрата виробленої перегрітої пари, дорівнює 27,8 кг/с;

$i_{\text{ПЕ}}$  - ентальпія перегрітої пари, визначається по таблиці XXIV [1] по тиску  $P_{\text{пе}}$  і температурі перегрітої пари  $t_{\text{пе}}$ , дорівнює 3333,3 кДж/кг;

$i_{\text{ЖВ}}$  – ентальпія живильної води, кДж/кг, визначається по таблиці XXIV [1] по тиску  $P_{\text{ЖВ}}$  і температурі живильної води  $t_{\text{ЖВ}}$ , дорівнює 527,56 кДж/кг;

$D_{\text{ПР}}$  – витрата пари на продувку котла, з ентальпією киплячої води  $i_{\text{кип}}$ , при тиску в барабані, кг/с

$$D_{\text{ПР}} = D_{\text{ПЕ}} \cdot 5\%,$$

$$D_{\text{ПР}} = 27,8 \cdot 5\% = 1,35,$$

$$i_{\text{кип}} = 1108,6 \text{ кДж/кг.}$$

У котлі з природною циркуляцією тиск  $P_{\text{ЖВ}}$  повинний бути таким, щоб перебороти гідравлічний опір водяного економайзера і пароперегрівника, і забезпечити заданий тиск пари за котлом, МПа

$$P_{\text{ЖВ}} = P_{\text{ПЕ}} + \Delta P_{\text{ПЕ}} + \Delta P_{\text{ВЕ}},$$

де  $\Delta P_{\text{ПЕ}}$  і  $\Delta P_{\text{ВЕ}}$  – гідравлічний опір пароперегрівника й економайзера.

Гідравлічний опір пароперегрівника, МПа

$$\Delta P_{\text{ПЕ}} = 0,1 \cdot P_{\text{ПЕ}},$$

$$\Delta P_{\text{ПЕ}} = 0,1 \cdot 3,9 = 0,39.$$

Гідравлічний опір економайзера, МПа

$$\Delta P_{\text{ВЕ}} = 0,08 \cdot P_{\text{Б}}.$$

Тиск у барабані, МПа

$$P_{\text{Б}} = 1,1 \cdot P_{\text{ПЕ}},$$

$$P_{\text{Б}} = 1,1 \cdot 3,9 = 4,29,$$

$$\Delta P_{\text{ВЕ}} = 0,08 \cdot 4,29 = 0,34.$$

тоді

$$P_{\text{ЖВ}} = 3,9 + 0,39 + 0,34 = 4,63,$$



а тепло корисно використане в котлі, кВт

$$Q_k = 27,8(3309,12 - 615,1) + 1,35(1108,6 - 615,1) = 75,6 \cdot 10^3.$$

#### 4.4 Витрата палива

Витрата палива, що подається в топку визначається по формулі, м<sup>3</sup>/с

$$B = \frac{Q_k}{\frac{Q_p \eta_k}{100}},$$

$$B = 75,6 \cdot 10^3 / (37,3 \cdot 10^3 \cdot 95,48) / 100 = 2,12.$$

Для підрахунку сумарних об'ємів продуктів згоряння, повітря і теплоти, відданої газами в поверхнях нагріву, вводиться розрахункова витрата палива, що обчислюється з урахуванням механічної неповноти його згоряння по формулі, м<sup>3</sup>/с

$$B_p = B \left(1 - \frac{q_4}{100}\right),$$

$$q_4 = 0.$$

$$B_p = 2,12 \left(1 - \frac{0}{100}\right) = 2,12.$$

$$B_p = B,$$

$$B_p = 2,12.$$

## 5 РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ В ТОПЦІ

### 5.1 Геометричні характеристики топки

Повна поверхня стін топки, включених у її об'єм, м<sup>2</sup>

$$F_{ст} = \Sigma F_{пл},$$

де  $F_{пл}$  - площа стін топки.

Ескіз бічної поверхні топки показаний на рисунку 5.1

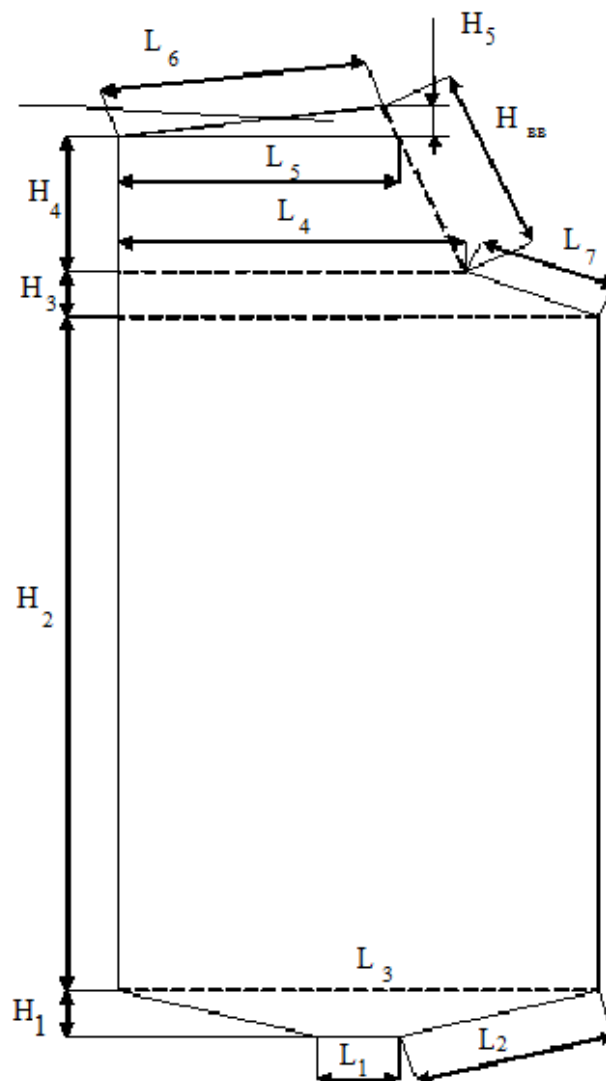


Рисунок 5.1 – Бічна поверхня топки

$$L_1 = 0,8 \text{ м}; L_2 = 2,3 \text{ м}; L_3 = 5,4 \text{ м}; L_4 = 3,4 \text{ м}; L_5 = 2,72 \text{ м}; L_6 = 2,67 \text{ м}; L_7 = 1,9 \text{ м};$$

$$H_1 = 0,48 \text{ м}; H_2 = 6 \text{ м}; H_3 = 0,6 \text{ м}; H_4 = 2,2 \text{ м}; H_5 = 0,24 \text{ м}; H_{B.O.} = 2,58 \text{ м}.$$

Площі стін топки, м<sup>2</sup>

$$F_{СТ} = \sum F_{ПЛ} = F_{ФР} + F_{ЗД} + F_{СТЕЛ} + F_{П} + F_{ВВ} + 2F_{Б},$$

де  $F_{ФР}$  - площа фронтової стіни;

$F_{ЗД}$  - площа задньої стіни;

$F_{П}$  - площа поду;

$F_{СТЕЛ}$  - площа стелі;

$F_{ВВ}$  - площа вихідного вікна;

$F_{Б}$  - площа бічної стіни.

Площа фронтової стіни, м<sup>2</sup>

$$F_{ФР} = (H_2 + H_3 + H_4) \cdot a,$$

де  $a$  – ширина топкової камери  $a$ , дорівнює 9,05 м.

$$F_{ФР} = (6 + 0,6 + 2,2) \cdot 9,05 = 79,6.$$

Площа задньої стіни, м<sup>2</sup>

$$F_{ЗД} = (H_2 + L_7) \cdot a,$$

$$F_{ЗД} = (6 + 1,9) \cdot 9,05 = 71,5.$$

Площа поду, м<sup>2</sup>

$$F_{П} = (L_1 + 2L_2) \cdot a,$$

$$F_{П} = (0,88 + 2 \cdot 2,3) \cdot 9,05 = 48,87.$$

Площа стелі, м<sup>2</sup>

$$F_{СТЕЛ} = L_6 \cdot a,$$

$$F_{СТЕЛ} = 2,67 \cdot 9,05 = 24,16.$$

Площа вихідного вікна, м<sup>2</sup>

$$F_{BB} = H_{BB} \cdot a,$$

$$F_{BB} = 2,58 \cdot 9,05 = 23,35.$$

Площа бокової стіни, м<sup>2</sup>

$$F_B = 0,5(L_1 + L_3)H_1 + L_3 \cdot H_2 + 0,5(L_3 + L_4) \cdot H_3 + 0,5(L_4 + L_5) \cdot H_4 + 0,5 \cdot L_5 \cdot H_5;$$

$$F_B = 0,5(0,8 + 5,4) \cdot 0,48 + 5,4 \cdot 8 + 0,5(5,4 + 3,48) \cdot 0,6 + \\ + 0,5(3,48 + 2,72) \cdot 2,2 + 0,5 \cdot 2,72 \cdot 0,24 = 43,57.$$

$$\sum F_{пл} = 79,6 + 71,5 + 48,87 + 24,16 + 23,35 + 2 \cdot 43,6 = 334,7.$$

Площа амбразур, м<sup>2</sup>;

$$F_A = Z\pi \cdot r_A^2,$$

де  $r_A$  - радіус амбразури, дорівнює 0,48 м;

$Z$  - кількість пальників; дорівнює 4 шт.

$$F_A = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,48^2 = 2,9.$$

Променесприймаюча поверхня топки, м<sup>2</sup>

$$H_{пл} = (\sum F_{пл} - F_A)x + F_A \cdot x,$$

де  $x$  - кутовий коефіцієнт екранів. Для газоцільних екранів дорівнює 1 (номограма 1 [1]); для фестонів - 1; для неекранованих поверхонь - 0;

$$H_{пл} = (334,7 - 2,9) \cdot 1 + 2,9 \cdot 0 = 331,8.$$

Ефективна товщина випромінюючого шару топки, м<sup>2</sup>

$$s = 3,6 \frac{V_T}{F_{СТ}},$$

де  $V_T$  - об'єм топки, м<sup>3</sup>

$$V_T = F_B \cdot a;$$

$$V_T = 43,6 \cdot 9,05 = 394,$$

$$s = 3,6 \frac{394}{331,8} = 4,24.$$

Відносний рівень розташування пальників у топці

$$x_{\Gamma} = \frac{h_{\Gamma}}{H_{\Gamma}},$$

де  $h_{\Gamma}$  - висота розташування пальників  $h_{\Gamma}$ , дорівнює 2,5 м.

$H_{\Gamma}$  - висота топкової камери  $H_{\Gamma}$ , дорівнює 8,2

$$x_{\Gamma} = \frac{2,5}{8,2} = 0,3.$$

## 5.2 Розрахункові характеристики топки

Теплова напруга топкового об'єму, кВт/м<sup>3</sup>

$$q_v = \frac{BQ_i^d}{V_{\Gamma}};$$

де  $B$  – витрата палива, м<sup>3</sup>/с;

$V_{\Gamma}$  – об'єм топки, м<sup>3</sup>;

$Q_i^d$  - нижча теплота згоряння палива, кДж/м<sup>3</sup>

$$q_v = \frac{2,123 \cdot (37,3 \cdot 10^3)}{394} = 201.$$

Отриманий результат не перевищує гранично припустимі значення ( $[q_v] = 220$  кВт/м<sup>3</sup>, таблиця Б4 [2]), отже розрахунок зроблено вірно.

Теплова напруга поперечного перерізу топки кВт/м<sup>2</sup>.

$$q_f = \frac{BQ_i^d}{F_{\Gamma}},$$

де  $F_{\Gamma}$  – площа поперечного перерізу топки, м<sup>2</sup>,

$$F_{\Gamma} = a \cdot b,$$

де  $b$  – глибина топки, дорівнює 5,4 м;

$$F_T = 9,05 \cdot 5,4 = 48,9.$$

$$q_f = \frac{2,123 \cdot 37,3 \cdot 10^3}{48,9} = 2,4 \cdot 10^3.$$

Отриманий результат не перевищує гранично припустимі значення ( $[q_f] = 4 \cdot 10^3$  кВт/м<sup>2</sup>, [2]), отже розрахунок зроблений вірно.

Питоме тепловантаження в зоні активного горіння, кВт/м<sup>2</sup>

$$q_{a.g} = \frac{B_p Q_p}{F_{a.g}},$$

де  $B_p$  и  $Q_p$  - відповідно розрахункова витрата палива і наявна теплота на 1 м<sup>3</sup> палива;

$F_{a.g}$  - площа стін топки в зоні активного горіння, м<sup>2</sup>

$$F_{a.g} = 2(a + b) h_{a.g},$$

де  $h_{a.g}$  - висота зони активного горіння, м

$$h_{a.g} = 3D_a,$$

де  $D_a$  - діаметр амбразури, рівний 0,96 м.

$$h_{a.g} = 3 \cdot 0,96 = 2,88,$$

$$F_{a.g} = 2(9,05 + 5,4) \cdot 2,88 = 83,23,$$

$$q_{a.g} = \frac{2,123 \cdot 37,3 \cdot 10^3}{83,23} = 951.$$

### 5.3 Радіаційні властивості продуктів згоряння

Основною радіаційною характеристикою продуктів згоряння служить критерій поглинальної здатності (критерій Бугера)

$$Bu = kps,$$

де  $s$  – ефективна товщина випромінюючого шару;

$p$  – тиск у топковій камері, рівне 0,1 МПа;

$k$  – коефіцієнт поглинання топкового середовища, розраховується по температурі і складу газів на виході з топки. При його визначенні враховується випромінювання трьохатомних газів ( $RO_2$ ,  $H_2O$ ) і зважених у їхньому потоці часток сажі.

Коефіцієнт поглинання променів трьохатомними газами ( $RO_2$ ,  $H_2O$ ),  $1/(m \cdot \text{МПа})$  визначається

$$k_r = k_r^0 r_n,$$

де  $k_r^0$  - визначається по номограмі 2 [2], дорівнює 7,4.

$$k_r = 6 \cdot 7,4 = 2,11.$$

Коефіцієнт поглинання променів частками сажі,  $1/(m \cdot \text{МПа})$

$$k_c = \frac{1,2}{1 + \alpha_T^2} \left( \frac{C^r}{H^r} \right)^{0,4} (1,6 \cdot 10^{-3} T_T'' - 0,5),$$

де  $\frac{C^r}{H^r}$  - співвідношення вуглецю і водню в робочій масі палива, яке

визначається по формулі

$$\frac{C^r}{H^r} = 0,12 \sum \frac{m}{n} C_m^r H_n^r,$$

$$\frac{C^r}{H^r} = 0,12 \left( \frac{1}{4} \cdot 0,98 + \frac{2}{6} \cdot 3,9 + \frac{3}{8} \cdot 1 + \frac{4}{10} \cdot 0,4 + \frac{5}{12} \cdot 0,3 \right) = 3,02;$$

$$k_c = \frac{1,2}{1 + 1,05^2} (3,02)^{0,4} (1,6 \cdot 10^{-3} (1323 - 0,5)) = 1,43;$$

$$k = 2,11 + 0,1 \cdot 1,43 = 2,25;$$

$$Bu = 2,25 \cdot 0,1 \cdot 4,27 = 0,96.$$

#### 5.4 Розрахунок теплообміну в топці

Як визначальний критерій теплообміну використовується безрозмірна температура на виході з топки  $\Theta_T''$ , К:

$$\Theta_T'' = \frac{Bo^{0,6}}{M \cdot B\tilde{u}^{0,3} + Bo^{0,6}},$$

де  $Bo$  - безрозмірний критерій Больцмана;

$M$  - безрозмірний параметр розподілу температур по висоті топки. Для газомазутних топок при настінному розташуванні пальників  $M_0 = 0,4$ ;

$B\tilde{u}^{0,3}$  - ефективне значення критерію Бугера приймаємо рівним 0,984 по номограмі 3 [2].

$$M = M_0 (1 - 0,4 x_r) \sqrt[3]{r_v},$$

де  $r_v$  - параметр забаластованості топкових газів,  $m^3/m^3$

$$r_v = \frac{V_O^H (1+r)}{V_{O.N_2}^H + V_{RO_2}^H},$$

де  $r$  - коефіцієнт рециркуляції, дорівнює 0 [2, п.4.10].

$$r_v = \frac{9,857(1+0)}{7,8+1,068} = 1,1.$$

$$M = 0,4 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,3) \sqrt[3]{1,1} = 0,36.$$

$Bo$  – безрозмірний критерій Больцмана, що характеризує зв'язок між кількістю теплоти, переданою середовищем з оптичними властивостями абсолютно чорного тіла, і геометричними властивостями топкової камери;

$$Bo = \frac{\varphi \cdot B_p \cdot (VC)_{cp}}{\sigma_0 \cdot \psi_{cp} \cdot F_{ст} \cdot T_a^3},$$

де  $(VC)_{cp}$  - середня сумарна теплоємність топкових газів;

$\sigma_0$  - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, дорівнює  $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-11}$  кВт/( $m^2 \cdot K^4$ );



$\psi_{\text{cp}}$  - середній коефіцієнт теплової ефективності екранів топки.

Середня сумарна теплоємність топкових газів, кДж/(м<sup>3</sup>·К)

$$(VC)_{\text{CP}} = \frac{Q_T - I_T''}{g_a - g_T''},$$

де  $Q_T$  - корисне тепловиділення в топці, кДж/м<sup>3</sup>;

$I_T''$  - ентальпія продуктів згоряння 1 м<sup>3</sup> палива на виході з топки при температурі  $g_T''$  і надлишку повітря  $\alpha_T$ , дорівнює 18792 кДж/м<sup>3</sup>;

$g_T''$  - температура на виході з топки, прийнята 1100 °С, [1,2];

$g_a$  - теоретична (адіабатна) температура горіння, °С, визначається по корисному тепловиділенню в топці  $Q_T$  (табл. 3.2.).

Корисне тепловиділення в топці, кДж/м<sup>3</sup>;

$$Q_T = Q_P \frac{100 - q_3 - q_4 - q_6}{100 - q_4} + Q_{II},$$

де -  $Q_P$ ,  $q_3$ ,  $q_4$ ,  $q_6$  відповідно наявна теплота палива, кДж/м<sup>3</sup> і втрати теплоти з хімічним і механічним недопалом, а також з теплою шлаку, % (визначені при розрахунку теплового балансу котла);

$Q_{II}$  - теплота, внесена з повітрям в топку, кДж/м<sup>3</sup>

$$Q_{II} = (\alpha_T - \Delta\alpha_T) I_{0II}'' + (\Delta\alpha_T + \Delta\alpha_{II}) I_{0II}''_{\text{прс}},$$

$$Q_{II} = (1,05 - 0,02)3302 + (0,02 + 0)392,4 = 3409.$$

$$Q_T = 37,3 \cdot 10^3 \frac{100 - 0,05}{100} + 3,409 \cdot 10^3 = 40,709 \cdot 10^3.$$

Тоді  $g_A = 2113$  °С (табл. 3.2);

$$(VC)_{\text{CP}} = \frac{40709 - 19783}{2113 - 1100} = 20,6.$$

Середній коефіцієнт теплової ефективності екранів топки;

$$\psi_{CP} = \frac{\sum F_{CTi} \cdot x_i \cdot \zeta_i}{F_{CT}},$$

де  $\zeta_i$  - коефіцієнт забруднення  $i$ -ї ділянки огороження топкового об'єму приймаємо по таблиці 4.3 [2]: фронтальної, задньої, нижньої, стельової і бічної поверхонь приймаємо  $\zeta_{\Phi P} = \zeta_{ЗД} = \zeta_{CT} = \zeta_{\Pi} = \zeta_B = 0,65$ ;

для вихідного вікна

$$\zeta_{BB} = \zeta \cdot \beta,$$

де  $\zeta$  - приймаємо по таблиці 4.3 [2] таким же, як і для настінних екранів,  $\zeta = 0,65$ ;

$\beta$  - коефіцієнт, що враховує взаємний теплообмін між топкою і поверхнею нагрівання, розташованою за вихідним вікном, для фестона, дорівнює 0,9

$$\zeta_{BB} = 0,65 \cdot 0,9 = 0,585.$$

$x_i$  - кутовий коефіцієнт ділянки стіни топки. Для неекранованих поверхонь дорівнює 0.

Площа амбразур, м<sup>2</sup>

$$F_A = 4\pi \cdot r_A^2,$$

де  $r_A$  - радіус амбразури, дорівнює 0,48 м

$$F_A = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,48^2 = 2,9.$$

$$\psi_{CP} = \frac{(79,6 + 71,5 + 48,87 + 24,87 + 24,87 + 2 \cdot 43,57 - 2,9) \cdot 1 \cdot 0,65 + 23,35 \cdot 1 \cdot 0,585 + 2,9 \cdot 0}{334,7} = 0,62;$$

$$Bo = \frac{0,99 \cdot 2,123 \cdot 20,6}{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,62 \cdot 334,7 \cdot 2386^3} = 0,27;$$

$$\Theta_T'' = \frac{0,27^{0,6}}{0,35 \cdot 0,984 + 0,27^{0,6}} = 0,6.$$

Визначаємо температуру газів на виході з топкової камери, °С

$$g_T'' = \frac{T_a}{1 + M \cdot B\tilde{u}^{0,3} \left[ \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \psi_{cp} F_{CT} T_a^3}{\varphi \cdot B_p (VC)_{CP}} \right]^{0,6}} - 273,$$

де  $B\tilde{u}^{0,3}$  - ефективне значення критерію Бугера, визначаємо по номограмі 3 [2], дорівнює 0,984

$$g_T'' = \frac{2386}{1 + 0,36 \cdot 0,984 \left[ \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,62 \cdot 334,7 \cdot 2386^3}{0,99 \cdot 2,123 \cdot 20,6} \right]^{0,6}} - 273 = 1070.$$

Розрахована температура топкових газів на виході з топки відрізняється від прийнятої менш чим на 100 °С, Отже розрахунок можна вважати закінченим.

## 6 РОЗРАХУНОК ТОПКОВО ПАЛЬНИКОВОГО ПРИСТРОЮ

### 6.1 Теплова потужність топки

Теплова потужність топки,  $\frac{\text{МДж}}{\text{м}^3}$

$$Q_T = B \cdot Q_i^d,$$

де  $Q_i^d$  - нижча теплота згоряння палива.

$$Q_T = 2,21 \cdot 37,3 \cdot 10^3 = 84,433.$$

### 6.2 Теплова потужність пальника, МВт.

$$Q_{II} = \frac{Q_T}{Z_{II}};$$

$$Q_{II} = \frac{84,433}{4} = 21,108.$$

де  $Z_{II}$  - число пальників, дорівнює 4 шт.

### 6.3 Продуктивність пальника, м<sup>3</sup>/с.

$$B_{II} = \frac{B}{Z_{II}};$$

$$B_{II} = \frac{2,21}{4} = 0,553.$$

### 6.4 Вихідні дані для розрахунку, м<sup>3</sup>/с

Теплова потужність пальника,  $Q_{II} = 21,108$  МВт.

Нижча теплота згоряння,  $Q_i^d = 37,3 \cdot 10^3$  кДж/нм<sup>3</sup>.

Витрата палива на пальник,  $B_{II} = 0,553$  нм<sup>3</sup>/с.

Теоретична кількість повітря необхідного для повного згоряння 1 нм<sup>3</sup> палива,  $V_o^M = 9,86$  нм<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт надлишку повітря пального  $\alpha_{II}=1,03$ .

густина повітря  $1,03 \text{ кг/м}^3$

густина газу  $0,77 \text{ кг/м}^3$

Тиск повітря менше або дорівнює  $25 \text{ кПа}$ .

Тиск газоподібного палива  $5 \text{ кПа}$ .

Ступінь рециркуляції газів  $0$ .

### 6.5 Визначення об'ємів та швидкості потоків повітря

Об'ємна витрата повітря крізь паливник при  $t_{II}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$

$$V_n = \alpha_n \cdot V_{OB}^H \cdot B_{II} \cdot \frac{273 + t_{II}}{273};$$

$$V_n = 1,03 \cdot 9,86 \cdot 0,553 \cdot \frac{273 + 250}{273} = 10,76.$$

Відносна доля повітря, крізь центральний канал,  $g_u = 0,05$ .

Відношення витрати повітря крізь периферійний канал до витрати повітря крізь внутрішній и центральний канали  $k = 2,5$ .

Відносна доля повітря яке йде крізь внутрішній канал, від загальної витрати повітря.

$$g_1 = \frac{1}{(1+k) - g_u};$$

$$g_1 = \frac{1}{(1+2,5) - 0,05} = 0,30.$$

Відносна доля повітря, яке йде крізь периферійний канал, від загальної витрати на паливник.

$$g_2 = 1 - g_1 - g_u;$$

$$g_2 = 1 - 0,3 - 0,05 = 0,65.$$

Об'ємна витрата повітря крізь центральний канал пальника при температурі  $t_n$ , м<sup>3</sup>/с

$$V_u = g_u \cdot V_n;$$

$$V_u = 0,05 \cdot 10,76 = 0,538.$$

Об'ємна витрата повітря крізь внутрішній канал пальника при температурі  $t_n$ , м<sup>3</sup>/с

$$V_1 = g_1 \cdot V_n;$$

$$V_1 = 0,3 \cdot 10,76 = 3,228.$$

Об'ємна витрата повітря крізь периферійний канал пальника при  $t_n$ , м<sup>3</sup>/с

$$V_2 = g_2 \cdot V_n;$$

$$V_2 = 0,65 \cdot 10,76 = 6,994 \text{ м}^3/\text{с}.$$

## 6.6 Розрахунок перерізів та діаметрів повітряних каналів пальника

Середньо витратна швидкість повітря на виході з центрального каналу пальника:

Приймаємо  $W_1^I = 40$  м/с.

Середньо витратна швидкість повітря на виході з периферійного каналу пальника:

приймаємо  $W_2^I = 40$  м/с.

Середньо витратна швидкість повітря на вході в короб центрального каналу пальника:

приймаємо  $W_{цк}^I = 16$  м/с.

Середньо витратна швидкість повітря на вході в короб периферійного каналу пальника:

приймаємо  $W_{пк}^I = 16$  м/с.

Розрахунковий вихідний переріз центрального повітряного каналу, м<sup>2</sup>

$$F_1' = \frac{V_1}{W_1};$$

$$F_1' = \frac{3,228}{40} = 0,081.$$

Розрахунковий вихідний переріз периферійного повітряного каналу, м<sup>2</sup>

$$F_2' = \frac{V_2}{W_2};$$

$$F_2' = \frac{6,994}{40} = 0,175.$$

Розрахункова площа перерізу центрального каналу на вході повітря в пальник, м<sup>2</sup>

$$F_{цк}' = \frac{V_1}{W_{цк}'};$$

$$F_{цк}' = \frac{3,228}{16} = 0,202.$$

Розрахункова площа перерізу периферійного каналу на вході повітря в пальник, м<sup>2</sup>

$$F_{нк}' = \frac{V_2}{W_{нк}'};$$

$$F_{нк}' = \frac{6,994}{16} = 0,437.$$

Зовнішній діаметр труби під форсунку приймається конструктивно  $d_\phi = 0,076$  м.

Зовнішній діаметр труби під запальник приймається конструктивно  $d_3 = 0,076$  м.

Зовнішній діаметр труби під гляділку приймається конструктивно  $d_2 = 0,06$  м.

Розрахунковий внутрішній діаметр внутрішнього каналу пальника  $d_{\text{вн}} = 0,387$  м.

Внутрішній діаметр обичайки внутрішнього каналу пальника приймаємо конструктивно  $d_1 = 0,34$  м.

Товщина обичайки внутрішнього каналу пальника приймається конструктивно  $s = 0,010$  м.

Зовнішній діаметр обичайки внутрішнього каналу пальника, м

$$D_1 = d_1 + 2 \cdot s;$$

$$D_1 = 0,409 + 2 \cdot 0,01 = 0,36.$$

Розрахунковий внутрішній діаметр обичайки периферійного каналу пальника

$$d_2 = 0,6 \text{ м.}$$

Внутрішній діаметр обичайки периферійного каналу пальника, м

$$D_2 = d_2 + 2 \cdot s;$$

$$D_2 = 0,73 + 2 \cdot 0,01 = 0,62.$$

Діаметр вузького перерізу амбразури приймається конструктивно  $D_a = 0,6$  м.

Кут нахилу утворюючої диффузорної частини амбразури до осі пальника приймаємо конструктивно  $\beta_d = 15$  град.

Довжину диффузорної частини амбразури пальника приймаємо конструктивно  $L_d = 0,12$  м.

Довжину циліндричної частини амбразури пальника приймаємо конструктивно  $L_{\text{ц}} = 0,16$  м.

Внутрішній радіус гнutoї частини коробу індивідуального підводу повітря приймаємо конструктивно  $R_k = 0,6$  м.



Ширину вхідних перерізів коробу для підводу повітря в повітряний в повітряні канали приймаємо конструктивно  $b = 1,0$  м.

Розрахункова глибина вхідного перерізу в коробі пальника для підводу повітря в внутрішній канал, м

$$\alpha'_{цк} = \frac{F'_{цк}}{b};$$

$$\alpha'_{цк} = \frac{0,202}{1,0} = 0,202.$$

Розрахункова глибина вхідного перерізу в коробі пальника для підводу повітря в периферійний канал, м

$$\alpha'_{пк} = \frac{F'_{пк}}{b};$$

$$\alpha'_{пк} = \frac{0,437}{1,0} = 0,437.$$

Глибина вхідного перерізу в коробі пальника для підводу повітря в периферійний канал приймається конструктивно  $a_{пк} = 0,437$  м.

Вихідний переріз центрального повітряного каналу, м

$$F_1 = 0,785 \cdot (d_1^2 - d_\phi^2 - d_3^2 - d_2^2 - d_{кф}^2);$$

$$F_1 = 0,785 \cdot (0,34^2 - 0,076^2 - 0,076^2 - 0,06^2 - 0,06^2) = 0,1587.$$

Вихідний переріз периферійного повітряного каналу, м

$$F_2 = 0,785 \cdot (d_2^2 - D_1^2 - n_{1z} \cdot d_{1z}^2 - n_{2z} \cdot d_{2z}^2);$$

$$F_2 = 0,785 \cdot (0,6^2 - 0,36^2 - n_{1z} \cdot d_{1z}^2 - n_{2z} \cdot d_{2z}^2) = 0,175.$$

Уточнена середньо витратна швидкість повітря на виході з внутрішнього каналу пальника, м/с

$$W_1 = \frac{V_1}{F_1};$$

$$W_1 = \frac{3,228}{0,021} = 39,851.$$

Уточнена середньо витратна швидкість повітря на виході з периферійного каналу пальника, м/с

$$W_2 = \frac{V_2}{F_2};$$

$$W_2 = \frac{6,994}{0,175} = 39,96.$$

Площа перерізу внутрішнього каналу на вході повітря в короб, м<sup>2</sup>

$$F_{цк} = a_{цк} \cdot b;$$

$$F_{цк} = 0,202 \cdot 1 = 0,202.$$

Площа перетину периферійного каналу на вході повітря в короб

$$F_{нк} = a_{нк} \cdot b;$$

$$F_{нк} = 0,437 \cdot 1 = 0,437 \text{ м}^2.$$

Уточнена середньо витратна швидкість повітря на вході в короб внутрішнього каналу пальника, м/с

$$W_{цк} = \frac{V_1}{F_{цк}};$$

$$W_{цк} = \frac{3,228}{0,202} = 15,98.$$

Уточнена середньо витратна швидкість повітря на вході в короб периферійного каналу пальника, м/с

$$W_{нк} = \frac{V_2}{F_{нк}};$$

$$W_{нк} = \frac{6,994}{0,437} = 16,00.$$

Середньо витратна швидкість повітря в вузькому перерізі амбразури пальника, м/с

$$W_a = \frac{4 \cdot (V_1 + V_2)}{\pi \cdot D_a^2};$$

$$W_a = \frac{4 \cdot (3,23 + 6,99)}{3,14 \cdot 0,6^2} = 36,177.$$

### 6.7 Розрахунок внутрішнього повітряного каналу пальника з осьовим завихрювачем

Кут встановлення лопаток у осьовому завихрювача приймаємо конструктивно  $\beta_{л1} = 40$  град.

Діаметр ободу завихрювача  $d_{p1} = d_1 = 0,34$  м.

Зовнішній діаметр втулки завихрювача приймаємо конструктивно  $D_{p1} = 0,09$  м.

Втулкове відношення

$$D_{\epsilon m1} = \frac{D_{p1}}{d_1};$$

$$D_{\epsilon m1} = \frac{0,09}{0,34} = 0,264.$$

Число лопаток приймається  $Z_{л1} = 8$  шт.

Товщина лопаток  $\delta_{л1} = 0,003$  м.

Рівновеликий діаметр внутрішнього повітряного каналу, м

$$D_{p\epsilon 1} = \sqrt{d_{p1}^2 - D_{p1}^2};$$

$$D_{p\epsilon 1} = \sqrt{0,34^2 - 0,09^2} = 0,328.$$

Параметр закручування потоку в внутрішньому повітряному каналі з вістовим завихрювачем

$$n_{к1} = \sqrt{\frac{2 \cdot (d_{p1}^2 + d_{p1}^2)}{D_{p\epsilon 1}}} \cdot \text{tg} \beta_{л1};$$

$$n_{\kappa 1} = \sqrt{\frac{2 \cdot (0,34^2 + 0,09^2)}{0,328}} \cdot \operatorname{tg} 40 = 1,27$$

### 6.9 Розрахунок периферійного повітряного каналу пальника з вістовим завихрювачем

Кут встановлення лопаток у вістовому завихрювача приймаємо  $\beta_{\kappa 2} = 40$  град.

Діаметр ободу завихрювача  $d_{p2} = d_2 = 0,73$  м.

Зовнішній діаметр втулки завихрювача приймаємо конструктивно  $D_{p2} = 0,496$  м

Втулкове відношення:

$$D_{\text{вм}2} = D_1 + 2s_p ;$$

$$D_{\text{вм}2} = 0,36 + 0,01 = 0,37 .$$

Число лопаток приймається  $Z_{\kappa 2} = 24$  шт.

Товщина лопаток  $\delta_{\kappa 1} = 0,003$  м.

Рівновеликий діаметр периферійного повітряного каналу, м

$$D_{p\text{в}2} = \sqrt{d_{p2}^2 - D_{p2}^2} ;$$

$$D_{p\text{в}1} = \sqrt{0,6^2 - 0,37^2} = 0,471 .$$

Параметр закручування потоку в периферійному повітряному каналі з вістовим завихрювачем

$$n_{\kappa 2} = \sqrt{\frac{2 \cdot (d_{p2}^2 + d_{p2}^2)}{D_{p\text{в}}}} \cdot \operatorname{tg} \beta_{\kappa 2} ;$$

$$n_{\kappa 2} = \sqrt{\frac{2 \cdot (0,60^2 + 0,37^2)}{0,471}} \cdot \operatorname{tg} 40 = 1,775 .$$

## **7 ОХОРОНА ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГОСЕРЕДОВИЩА**

### **7.1 Загальні питання з охорони праці та навколишнього середовища**

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно технічних, лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини [3].

Одне з найголовніших завдань охорони праці полягає в забезпеченні безпеки людини в процесі праці, тобто створення таких умов праці, за яких виключається вплив на працюючих людей шкідливих виробничих факторів.

Метою цього розділу є розгляд та аналіз питань з охорони праці у відношенні до ТЕЦ. Клімат – помірно-континентальний. Середня річна температура – 22 °С, найвища літня температура +30 °С, середній річний барометричний тиск – 745 мм. рт. ст.

Розгляд та аналіз питань з охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки виконано у відповідності до парового котла паропродуктивністю 100 т/год., що працює на природному газі Шебелинського родовища.

### **7.2 Характеристика умов експлуатації об'єкту, що проектується**

Згідно вимог ДСаНПіН [4] на машиністів котлів при знаходженні їх в виробничому приміщенні на території КТЦ діють небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

Джерела виникнення шкідливих та небезпечних факторів, а також заходи що до їх зменшення наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Перелік шкідливих та небезпечних виробничих факторів

Шкідливі та небезпечні фактори	Джерела виникнення	Заходи для їх зменшення
Теплове випромінювання	Топка котла, пароперегрівник	Встановлення кондиціонерів в приміщенні котельної, додаткова обмурівка стін, теплоізоляція стін топкової камери.
Високий тиск пари	Барабан котла, пароперегрівник	Встановлення запобіжних клапанів, автоматичних регуляторів тиску.
Загазованість	Газопроводи, нещільності обмурівки	Вентиляція, прилади, що автоматично припиняють подачу газу в пальники
Висока напруга електричного струму	Щит керування, Електродвигуни	Застосування захисного заземлення
Забруднення робочої зони та навколишнього середовища	Викиди NO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , з димаря	Організація двохступеневого спалювання палива та рециркуляції димових газів у топку і застосування сучасних пальників, застосування колективних та індивідуальних засобів захисту
Шум, вібрація	Димососи, насоси, вентилятори	Звукоізоляція зі скловати, шумоізоляційні кожухи, індивідуальні засоби захисту, своєчасний планово-попереджувальний ремонт.

### 7.3 Промислова санітарія

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони виробничого приміщення не перевищує встановлених гранично допустимих концентрацій (ГДК) згідно ДБН В.2.5-67:2013 [5] та викладено в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Гранично допустима концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони

Речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки
Оксид азоту (в переліку на NO <sub>2</sub> )	5,00	III
Діоксид азоту NO <sub>2</sub>	2,0	II
Озон	0,10	I
Оксид вуглецю	20,0	IV

### 7.3.1 Мікроклімат

Персонал котельного відділу виконує фізичну працю середньої складності з витратою енергії 200 ÷ 250 ккал/г, що відноситься до категорії робіт II-б згідно ДСН 3.3.6.042-99 [6], та пов'язана з ходінням та переносом не дуже важких предметів (до 10 кг).

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 [6] оператори водної підготовки та щитового керування виконують роботи з енерговитратами організму 120-150 ккал/г, що відноситься до категорії I-б та не вимагають переміщення важких предметів та пов'язані з постійним ходінням чи виконанням робіт стоячи або сидячи.

Прийняті параметри мікроклімату надано в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Допустимі значення параметрів метеорологічних умов

Приміщення	Категорія важкості роботи	Період року	Температура, °C	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Щит керування	Середньої важкості (I-б)	Холодний	21-23	40-60	0,2
		Теплий	22-24		0,2
Котельний відділ	Середньої важкості (II-а)	Холодний	17-19	40-60	0,2
		Теплий	20-22		0,3

### **7.3.2 Вентиляція та опалення**

Вентиляція та опалення приміщень забезпечує видалення надлишків газів згідно зі ДБН В.2.5-67:2013 [5].

У приміщенні щита керування передбачена система вентиляції повітря з регулюванням температури та об'єму повітря, що подається. Система вентиляції – приточна з механічним стартом та подачею повітря у зону нагорі. Приміщення щита керування обладнано водним опаленням.

В приміщенні котельного відділу передбачена приточно-витяжна вентиляція з природнім током. Штучне опалення не передбачено через те, що присутнє теплове випромінювання котла.

Всі гарячі частини обладнання котельного відділу, трубопроводи, балки та інші елементи, доторкання до яких призводить до появи опіків, мають теплову ізоляцію. При температурі навколишнього повітря 25 °С, температура на поверхні ізоляції не перевищує 45 °С, згідно ДСТУ ОHSAS 18002:2015 [7].

### **7.4 Виробниче освітлення**

При освітленні виробничих підприємств використовується сумісне освітлення, при якому природнє освітлення доповнюється штучним.

Згідно ДБН В.2.5-28:2018 [8], виробничі приміщення електростанцій відносяться до II-ої групи приміщень, в яких проводиться розрізнення об'єктів зорових робіт при фіксованому напрямку лінії зору, падаючому на робочу поверхню; а щита керування – до I-ої.

Для штучного освітлення виробничих приміщень застосовуються газорозрядні лампи та лампи накаливання. Для освітлення котельної зали світильники встановлюють на різних висотах.

Штучне освітлення нормується згідно ДБН В. 2.5-28-2018 [8] в залежності від виду роботи, фона, від контрасту об'єкта і від системи освітлення.

Згідно ДБН В.2.5-28-2018 [8] КПО (е) нормується в залежності від



характеристики зорової роботи.

Розряд зорової роботи для операторів щита керування прийнятий в залежності від розміру мінімального об'єкта розрізнення (0,5-1мм).

Розряд зорової роботи для машиністів котельної прийнятий в залежності від розміру мінімального об'єкта розрізнення (от 1-5мм).

Прийняті параметри освітлення наводяться в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 – Характеристика виробничого освітлення

Приміщення	Зорова робота	Розряд зорової роботи	Освітлення				
			Природне	Штучне			
			КПО, %	Система освітлення	Тип лампи	Нормована освітленість,лк	Тип світильників
Котельна	Груба, мала точність	VI	2,34	Комбінована	Лампи накаливання	150	ВЭГ-200
Щит управління	Середня точність 0,5-1 %	IV	1,26	Комбінована	Люмінесцентні лампи	250	ПВЛ1-2х40

Нормовані значення КПО для будівель визначаються за формулою:

$$e_N = e_n \cdot m,$$

де  $e_N$  – значення коефіцієнту природного освітлення (КПО), для відповідного розряду зорових робіт та з урахуванням світлового поясу, приймаємо рівними 2 та 4;

$m$  – коефіцієнт світового клімату, дорівнює 0,9;

для приміщення котельної  $e_{N1} = 2,0 \cdot 0,9 = 1,8$ ;

для щита управління  $e_{N2} = 4,0 \cdot 0,9 = 3,6$ .

Для аварійного освітлення застосовуються лампи накаливання, для яких застосовують автономне живлення електроенергії.

Аварійне освітлення дозволяє продовжувати роботу в разі відключення робочого освітлення. Згідно ДБН В. 2.5-28-2018 [8], воно складає не менше 5 % від загального освітлення. Аварійне освітлення має автономне джерело

живлення та автоматичне включення при необхідності.

Місця розташування аварійного освітлення:

- фронт котла, проходи між котлами, позаду котлів та над котлами;
- щити та пульти керування;
- водопоказники та вимірні прилади;
- золіві приміщення;
- вентиляторні площадки; димососні площадки;
- приміщення для баків та деаераторів;
- обладнання водної підготовки;
- площадки та сходи котлів;
- насосні приміщення.

Евакуаційне освітлення заплановано для евакуації людей при аварійному відключенні робочого освітлення. Його норма – 0,5 лк. Охоронне освітлення використовується за відсутності спеціальних технічних охоронних засобів. Його норма – 0,5 лк.

### **7.5 Шум та вібрація в виробничих приміщеннях**

Рівень шуму в котельній залі не перевищує 80 дБ(А), що узгоджується з вимогами ДСН 3.3.6.037-99 [9].

Припустимі рівні шуму на робочих місцях, в котельному цеху та на щиті керування наведені в таблиці 7.5.

Таблиця 7.5 - Рівні шуму

Робочі місця	Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБ (А)
Постійні робочі місця та робочі зони у виробничих приміщеннях	80
Котельний цех	75
Щит керування	65

Згідно з ДСН 3.3.6.037-99 [9], захист від шуму досягається шляхом розробки шумобезпечної техніки, застосуванням засобів та заходів колективного захисту. Для колективного захисту застосовуються:

- звукопоглинаюча облицівка в газоповітряних трактах вентиляційних систем із механічним запуском;
- звукоізольовані кабіни спостереження та дистанційного керування технологічним обладнанням;
- кожухи трансформаторів.

До засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) належать:

- протишумова каска;
- протишумові навушники;
- беруші – протишумові вкладиші.

На електростанції джерелом виробничої місцевої вібрації згідно з ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 [10] є вентилятори, насоси, димососи, турбіни.

Методи зниження вібрації:

- вібродемпфірування;
- динамічне гашення коливань;
- зниження вібрації шляхом впливу на джерело збудження.

До ЗІЗ від впливу вібрації відносяться:

- чоботи з пружнодемпфіруючою підошвою;
- рукавиці.

## **7.6 Заходи безпеки**

Пуск котельного агрегату буде виконано згідно з “Правилами ...” [11] та інструкцією з експлуатації підприємства - виробника. До комплекту з поставки належать паспорт котла та сертифікати на все обладнання.

Для підвищення безпеки експлуатації передбачені такі заходи:

- навчання обслуговуючого персоналу;
- регулярна перевірка знань (кваліфікації) обслуговуючого персоналу;
- встановлення КВП та А згідно з ГОСТ 2457-81 [12], такі як: технічні

термопары типу ТПП, ТПР, ТХА, ТХК, ТНС; різні манометри; витратоміри та рівнеміри;

- присутність систем автоматичного регулювання та повідомлення, таких як: імпульсно-попереджувальні прилади, запальні прилади, системи контролю полум'я, системи автоматичного керування окремими пальниковими пристроями.

### **7.6.1 Електробезпека**

Усі споживачі електроенергії живляться за допомогою силових трансформаторів власних потреб 6(10)/0,4(0,23) кВ та далі за допомогою кабельної мережі електроенергія потрапляє до розподільних пристроїв власних потреб (РПВП).

Згідно технологічних вимог електричне живлення мережі 220/380 В здійснюється за допомогою чотирьохпровідної мережі із заземленою нейтраллю, оскільки це дозволяє ефективно використовувати два робочих напруження - лінійне та фазове, здійснюючи живлення як освітлювальної мережі, так і силове навантаження.

Згідно з ПУЕ [13], приміщення електростанцій відносяться до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом.

При проведенні ремонтних робіт на станції використовується напруга 12 В з живленням за допомогою понижуючих трансформаторів.

Аварійне освітлення здійснюється за допомогою акумуляторних батарей та дизель-генератора.

Електрична мережа виконана згідно з ПУЕ [13]. Засоби захисту електромашин та механізмів від ураження електричним струмом також виконані відповідно “Правилам безпечної експлуатації електроустановок споживачами” [14], а саме – на станції виконана система захисного заземлення, з якою поєднані усі електромашини та механізми:

–здійснюється контроль напруги та струму по кожній з фаз;

– на кожній з фаз є система захисту, вбудована в РПВП (плавкі запобіжники для захисту від струмів короткого замикання);

– захисні магнітні, з вбудованим тепловим захистом, контактори в поєднанні з тепловим реле, автомати з комбінованими розщиплювачами, які здійснюють захист водночас від струменів короткого замикання та перенавантаження.

Час, спрацювання цих засобів захисту, величина напруги доторкання відповідає ДБН В.1.1-7:2016 [15].

Організаційні заходи безпечної експлуатації електроприладів:

1. Керівник підприємства зобов'язаний забезпечити утримання, експлуатацію та обслуговування електроприладів згідно з вимогами діючих нормативних документів.

2. Спеціалісти охоронних служб зобов'язані контролювати безпечну роботу електроприладів та повинні мати IV групу з електробезпеки без права давати розпорядження.

Технічні заходи, які створюють безпечні умови виконання робіт:

- порядок підготовки робочого місця;
- вимикання (зняття напруги);
- вивішування плакатів безпеки. Огородження робочого місця;
- перевірка відсутності напруги;
- встановлення заземлень.

Загальні вимоги:

- встановлення заземлювачів в електроприладах підстанцій та в розподільному оснащенні;
- заземлення повітряних ліній електропередач;
- зберігання та врахування заземлювачів.

Захисні заходи:

- захисне заземлення;
- занулення.

Використання засобів індивідуального захисту:

- гумові рукавички;
- килимки;
- боти.

### 7.6.2 Пожежна безпека

Приміщення КТЦ згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [16] відноситься до категорії вибухонебезпеки – Г, а щита керування – В, та виконуються згідно ДБН В.1.1-7:2016 [15] з будівельних конструкцій II ступеню вогнестійкості.

Згідно ДБН В.1.1-7:2016 [15] засіб гасіння пожежі на станції – спринклерна установка. Відомості про вибухонебезпеку та пожежонебезпеку і засоби тушіння пожежі наведені в таблиці 7.6

Таблиця 7.6- Категорії вибухо- та пожежонебезпеки

Назва приміщення	Площа, м <sup>2</sup>	Категорія приміщень з вибухо- та пожежонебезпеки	Ступінь вогнестійкості будівлі	Первинні засоби пожежогашіння	
				Назва, тип	Кількість штук
Котельний цех	1365	Г	II	Пожежний щит	3
Щит керування	50	В	II	Ручний вогнегасник ВВК-5	4

Причини вірогідної пожежі в приміщеннях:

- загоряння вибухонебезпечних речовин;
- несправне обладнання;
- порушення пожежної безпеки при проведенні ремонтних робіт;
- порушення умов фарбування допоміжного обладнання.

Засоби пожежної сигналізації:

- термоповідомлювачі типу АТИН;
- світлові повідомлювачі типу СИ-1.

В приміщенні щита керування та машинної зали передбачено спринклерний прилад для автоматичного гасіння пожежі.

Пожежний щит складається з:

- багор залізний – 1 шт.;
- відро – 2 шт.;
- лом - 1 шт.;
- лопата - 1 шт.;
- вогнегасник (ВВК-5) - 2 шт.; вогнегасник (ОХП-10) - 1 шт.;
- сокира - 1 шт.;
- ящик з піском - 0,5 м<sup>3</sup>.

Згідно інструкції ДСТУ Б В.2.5-38:2008 [17], блискавкозахисту підлягають зовнішні технологічні прилади, а також будівлі та споруди, що відносяться до категорії І, зона захисту типу А. Будівлі станції захищені від прямих ударів окремо стоячим блискавковідводом заввишки 200 м. Блискавковідвід складається із опори димаря – блискавкоприймача, металеві стрічки – токовідводу та заземлювача.

### **7.6.3 Вимоги безпеки до судин, що працюють під тиском**

Судини працюючі під тиском, відносяться до обладнання з підвищеною небезпекою. Вимоги до їх пристрою, виготовленню, монтажу, ремонту й експлуатації визначені правилами НПАОП 0.00-1.81-18. [18]. Вони поширюються на судини що працюють під тиском понад 0,07 МПа без обліку гідравлічного тиску.

Конструкція судин повинна бути надійною, забезпечувати безпеку при експлуатації і передбачати можливість їх огляду, очищення, промивання, продувки і ремонту.

## **7.7 Охорона навколишнього середовища**

Охорона навколишнього середовища – це комплекс заходів з охорони,

раціональному використанню та відновленню живого та неживого середовища.

В наш час заходи з захисту навколишнього середовища мають місце в економічних, політичних та соціальних стосунках країни.

ГДК забруднюючих речовин, що викидаються ТЕЦ в повітря, надані в табл. 7.7.

Таблиця 7.7 – ГДК забруднюючих речовин в атмосферному повітрі

Речовина	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	
	Максимально разова	Середньодобова
Оксид вуглецю	3,000	0,085
Оксид азоту	0,4	0,06
Двооксид азоту	0,085	0,085

Джерелами забруднення ґрунту та водного басейну є технологічні стоки та шкідливі викиди продуктів згоряння.

До числа стічних вод належать:

- води після обмивки поверхонь нагріву котельних агрегатів;
- скидні води після промивки фільтрів установок хімічної очистки води;
- скидні води після консервації та хімічних промивок теплосилового обладнання;

- води, що містять нафтопродукти у вигляді домішок олій та мазуту.

Очистка стічних вод виконується в очисних спорудах шляхом відстоювання у відстійниках, фільтрацією.

На підприємствах з метою зменшення шкідливих викидів застосовують:

- фільтрацію димових газів за допомогою фільтрів;
- рециркуляцію газів (за рахунок цього зменшуються викиди NO<sub>x</sub> в атмосферу);
- збільшення висоти димаря;
- конструктивні рішення (ступінчасте спалювання палива).



Одним з головних засобів зменшення забруднення атмосфери шкідливими додатками, що викидаються через димар, є зменшення концентрації розсіювання димових газів шляхом збільшення кількості труб та їх висоти.

## 8 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

### 8.1 Теоретична частина

Дуже важливе значення для розвитку підприємства має аналіз собівартості продукції, робіт, послуг. Він дозволяє з'ясувати тенденції зміни даного показника, виконання плану по його рівню, визначити вплив факторів на його приріст, установити резерви й виробити коригувальні заходи щодо використання можливостей зниження собівартості продукції.

В собівартості продукції електростанцій основну частку складає вартість палива. Підвищення ціни на паливо може негативно вплинути на собівартість продукції і зробити її неконкурентоспроможною.

Для отримання високих показників керівництво підприємства та підрозділи маркетингу постійно ведуть пошук нових ринків збуту, а також виконують розрахунки з прийняття управлінських рішень по удосконаленню обладнання.

Паропродуктивність котла становить  $D = 100$  т/год, тиск перегрітої пари  $P = 3,90$  МПа, температура перегрітої пари  $t_{\text{пш}} = 440$  °С, температура живильної води  $t_{\text{жв}} = 145$  °С, витрата основного палива (природний газ) складає  $7642,8$  м<sup>3</sup>/год.

Дані для розрахунків взяті з теплового розрахунку та на ПрАТ ХКП «Котлоенергопроект».

### 8.2 Визначення інвестицій на спорудження об'єкта $I_{\Sigma}$

Загальна розрахункова формула:

$$I_{\Sigma} = I_{\text{об.}} + I_{\text{тр.-монт}},$$

де  $I_{\Sigma}$  – загальна сума інвестицій на спорудження об'єкта;

$I_{\text{об.}} = 6,0 \times 10^6$  грн. — інвестиції на обладнання об'єкта;

$I_{\text{тр.-монт}} = 0,2 \times 6,0 \times 10^6$  грн – витрати на транспортно-монтажні роботи.

$$I_{\Sigma} = 6,0 \times 10^6 + 0,2 \times 6,0 \times 10^6 = 7,2 \times 10^6 \text{ грн.}$$

Таблиця 8.1 – Вихідні дані для розрахунків експлуатаційних витрат

Найменування показника	Величина
1 Паропродуктивність котла, $D$ , т/год.	100
2 Встановлена потужність споживачів електроенергії, $N$ , кВт	180
3 Кількість годин роботи котла з номінальною потужністю, $T$ , год.ном/рік	6000
4 Кількість обслуговуючого персоналу, $K$ , осіб	6
5 Витрата газу, $Q_{\text{газ}}$ , 1000 м <sup>3</sup> /год.	7,643
6 Ціна газу, $C_{\text{газ}}$ , грн/1000 м <sup>3</sup>	20000
7 Інвестиції на спорудження, $I_{\Sigma}$ , 10 <sup>6</sup> грн.	7,2
8 Норма річних амортизаційних відрахувань, $a_n$ , %	0,25
9 Середньомісячна зарплата одного працюючого, $Z_{\text{міс.}}$ , грн./осіб міс.	15000
10 Коефіцієнт нарахувань на заробітну плату, $K_{\text{нар.}}$	0,22
11 Коефіцієнт втрат палива по тракту, $K_{\text{втр.}}$ , %	0,02

Розрахунки річних експлуатаційних витрат і собівартості пари (одиниці продукції) представлені у табл. 8.2.

### 8.3 Визначення річних експлуатаційних затрат

Річні експлуатаційні затрати  $Z_{\text{екс}}$  розраховуються за формулою, грн

$$Z_{\text{екс}} = Z_{\text{е.н.}} + Z_{\text{р.т.о.}} + Z_{\text{опл.тр.}} + Z_{\text{непр.}}$$

Витрати на первинні енергоносії  $Z_{\text{е.н.}}$  складаються з вартості електроенергії, газу, тепла та інших складових, які передбачені технологією

виробництва в даному проєкті

$$Z_{\text{е.н.}} = Z_{\text{е/е}} + Z_{\text{топл.}}$$

Витрати на електроенергію  $Z_{\text{е/е}}$

$$Z_{\text{E/E}} = N_{\text{уст.}} \times T_{\text{р.}} \times S_{\text{тар}} \times K_{\text{загр}} (1 + \eta_{\text{пот.}}),$$

де  $N_{\text{уст.}} = 180$  кВт – встановлена потужність споживачів електроенергії, які передбачені технологією виробництва, кВт;

$T_{\text{р.}} = 6000$  год. – річне число годин роботи устаткування;

$S_{\text{тар}} = 1,8$  грн./кВт год. – діючий тариф на електроенергію;

$K_{\text{загр}} = 0,8$ . – коефіцієнт загрузки обладнання;

$\eta_{\text{пот.}} = 0,02$  – коефіцієнт втрат електроенергії в мережі.

$$Z_{\text{E/E}} = 180 \times 6000 \times 1,8 \times 0,8 \times 1,02 = 1,98 \times 10^6 \text{ грн.}$$

Витрати на паливо (природний газ), грн

$$Z_{\text{паливо}} = Q_{\text{газ.}} \times T_{\text{рік.}} \times C_{\text{газ.}} \times (1 + K_{\text{втр.газ.}}),$$

де  $Q_{\text{газ.}}$  - витрата природного газу за годину, дорівнює 7,643 тис.нм<sup>3</sup>/ год.;

$T_{\text{рік.}} = 6000$  год. – річне число годин роботи устаткування;

$C_{\text{газ.}} = 20000$  грн./ тис. н м<sup>3</sup> - ціна за газ;

$K_{\text{втр.газ.}} = 0,02$  – коефіцієнт втрат газу по тракту.

$$Z_{\text{паливо}} = 7,643 \times 6000 \times 20000 \times 1,02 = 935 \times 10^6 \text{ грн.}$$

Витрати на воду, грн.

$$Z_{\text{вод.}} = C_{\text{В}} \times T_{\text{рік}} \times V \times 0,05,$$

де  $C_{\text{В}}$  дорівнює 16 грн./т – ціна за воду.

На підживлення води йде 5 % від витрати пари.

$$Z_{\text{вод.}} = 16 \times 6000 \times 100 \times 0,05 = 0,48 \times 10^6 \text{ грн.}$$

Витрати на дотримання та експлуатацію обладнання  $Z_{\text{рто}}$  включає усі витрати на поточне обслуговування, регулювання, дрібний та середній ремонт усіх видів технологічного обладнання, грн.

$$Z_{\text{рто}} = 0,3 \times Z_{\text{аморт.}}$$

$$Z_{\text{рто}} = 0,3 \times 1,26 \times 10^6 = 0,38 \times 10^6.$$

Величина амортизаційних відрахувань  $Z_{\text{аморт.}}$  визначаються за прямолінійним методом:

$$Z_{\text{аморт}} = I_{\Sigma} \times \alpha_{\text{осн.}} \times a_{\text{н}},$$

де  $\alpha_{\text{осн.}}$  – частка основних фондів, що підлягають амортизації (орієнтовно 0,7);

де  $a_{\text{н}}$  – середня норма амортизаційних відрахувань, для даного виду техніки (приблизно 0,25).

$$Z_{\text{аморт}} = 7,2 \times 10^6 \times 0,7 \times 0,25 = 1,26 \times 10^6.$$

Витрати на оплату праці з нарахуваннями  $Z_{\text{опл.пр.}}$ , грн. включає усі витрати на оплату праці оперативного персоналу (основних виробничих робочих) з врахуванням основної і додаткової зарплати та соціальних відрахувань з цих сум, передбачених діючим законодавством.

$$Z_{\text{опл. пр.}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{дод.}} + Z_{\text{св}},$$

де  $Z_{\text{осн.}}$  – основна заробітна плата обслуговуючого персоналу, яка розраховується прямим рахунком, грн.

$$Z_{\text{осн.}} = P_{\text{обсл}} \times Z_{\text{міс}} \times 12,$$

де  $P_{\text{обсл.}}$  – чисельність обслуговуючого персоналу з урахуванням змінності;

$Z_{\text{міс}}$  – середньомісячна заробітна плата за період, який розглядається грн.;

12 – середня тривалість робочого періоду за календарний рік в місяцях з урахуванням тарифної відпустки, компенсація за який виплачується з додаткової заробітної плати.

$$Z_{\text{осн}} = 6 \times 15000 \times 12 = 1,08 \times 10^6 \text{ грн.}$$

$Z_{\text{дод.}}$  – додаткова заробітна плата, яка витрачається на оплату тарифних відпусток та усіх інших невиходів на роботу, які оплачуються та передбачені діючим законодавством, грн.

$$Z_{\text{дод.}} = 0,2 \times Z_{\text{осн.}},$$

$$Z_{\text{дод.}} = 0,2 \times 1,08 \times 10^6 = 0,216 \times 10^6 \text{ грн.}$$

$Z_{\text{с.в.}}$  – відрахування на соціальні виплати, грн.

$$Z_{\text{с.в.}} = K_{\text{нар.}} \times (Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{дод.}}),$$

де  $K_{\text{нар.}} = 0,22$  – законодавчо визначений коефіцієнт нарахувань на соціальне страхування від усіх видів заробітної плати.

$$Z_{\text{с.в.}} = 0,22 \times (1,08 + 0,216) \times 10^6 = 0,285 \times 10^6 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на оплату праці складають, грн.

$$Z_{\text{опл. пр.}} = (1,08 + 0,216 + 0,285) \times 10^6 = 1,58 \times 10^6 \text{ грн.}$$

Непрямі витрати  $Z_{\text{непр.}}$  – це витрати на адміністрування, утримування апарата управління, діловиробництво, представницькі витрати, поштові, банківські нарахування, збутові потреби та інше. Визначаються вони по середньому складальному відношенню, грн.

$$Z_{\text{непр.}} = 0,2 \times (Z_{\text{опл. пр.}} + Z_{\text{р.т о}}),$$

$$Z_{\text{непр.}} = 0,2 \times (1,58 + 0,38) \times 10^6 = 0,4 \times 10^6 \text{ грн.}$$

Розрахунки річних експлуатаційних витрат і собівартості пари (одиниці продукції) представлені у табл. 8.2.

Таблиця 8.2 – Розрахунок річних експлуатаційних витрат і собівартості пари (одиниці продукції)

Найменування показника	Розрахункова формула	Величина
1 Кількість відпущеної пари (паропродуктивність котла $D = 100$ т/год.), т	$\mathcal{E}_{\text{відп.}} = D \times T_{\text{год.}}$	600 000
2 Вартість річної витрати палива, $Z_{\text{паливо}}$ , млн. грн.	$Z_{\text{паливо}} = Q_{\text{газ.}} \times T_{\text{год.}} \times \text{Ц}_{\text{паливо}} \times (1 + K_{\text{втр}})$	935
3 Розмір основних фондів, $I_{\Sigma}$ , млн.грн	$I_{\Sigma}$	7,2
4 Кількість працюючих на станції, $P_{\text{обсл.}}$ , осіб	$P_{\text{обсл.}}$	6
5 Витрати електроенергії, млн. грн.	$Z_{\text{Е/Е}}$	1,85
6 Амортизаційна складова собівартості, $Z_{\text{аморт.}}$ , млн. грн.	$Z_{\text{аморт.}}$	1,25
7 Витрати з утримання та експлуатації обладнання, $Z_{\text{рто}}$ , млн. грн.	$Z_{\text{рто}} = 0,3 \times Z_{\text{аморт.}}$	0,38
8 Витрати на оплату праці з нарахуваннями, $Z_{\text{опл.пр.}}$ , млн. грн.	$Z_{\text{опл.пр.}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{дод.}} + Z_{\text{с.с.}}$	1,58
9 Непрямі витрати, $Z_{\text{непр.}}$ , млн. грн.	$Z_{\text{непр.}} = 0,2 \times (Z_{\text{рто}} + Z_{\text{опл.пр.}})$	0,4
10 Витрати на воду, $Z_{\text{вод.}}$ , млн. грн.	$Z_{\text{вод.}} = \text{Ц}_{\text{в}} \times T_{\text{рік}} \times V \times 0,05$	0,48
11 Сумарна величина річних експлуатаційних витрат, $Z_{\text{екс.}}$ , млн. грн.	$Z_{\text{екс.}} = Z_{\text{Е/Е}} + Z_{\text{рто}} + Z_{\text{опл.пр.}} + Z_{\text{в}} + Z_{\text{пал}} + Z_{\text{непр.}}$	387,69

#### 8.4 Розрахунок величини та структури собівартості одиниці продукції

Розрахунок виконується по загальній методиці, тому що для повного калькулювання собівартості продукції нема достатньо вихідних даних.

Собівартість відпущеної пари, грн/т

$$C_{\text{од}} = \frac{Z_{\text{експл.}}}{\mathcal{E}_{\text{відп.}}},$$

де  $C_{\text{од}}$  – собівартість відпущеної пари;

$Z_{\text{експл.}}$  – річні експлуатаційні витрати;

$\mathcal{E}_{\text{відп.}}$  – кількість відпущеної пари за рік.

$$C_{\text{од}} = 387,69 \times 10^6 / 600000 = 646,15.$$

Висока собівартість пари визначена високою вартістю палива.

В таблиці 8.3 наведено розрахунок структури собівартості одиниці продукції.

Таблиця 8.3– Розрахунок структури собівартості одиниці продукції

Найменування складової витрат	Річні експлуатаційні витрати, млн. грн	Структура собівартості одиниці продукції, %
1. Річні витрати на паливо, $Z_{\text{паливо}}$ , млн.грн.	935	99,5
2. Річні витрати на електроенергію, $Z_{\text{Е/Е}}$ , млн.грн.	1,85	0,19
3. Витрати на утримання і обслуговування устаткування, $Z_{\text{РТО}}$ , млн.грн.	0,38	0,04
4. Витрати на оплату праці з нарахуваннями, $Z_{\text{опл.пр.}}$ , млн.грн.	1,58	0,16
5. Непрямі витрати, $Z_{\text{непр.}}$ , млн.грн.	0,4	0,04
6. Витрати на воду $Z_{\text{Вод.}}$ ,грн.	0,48	0,05
РАЗОМ	939,69	100 %

Висновок: в собівартості основний відсоток складають річні витрати на паливо.



## 9 ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Цивільний захист – це функція держави, спрямована на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час, а також в особливий період - у межах реалізації заходів держави щодо оборони України.

Цивільний захист забезпечується з урахуванням особливостей, визначених Законом України "Про національну безпеку України", суб'єктами, уповноваженими захищати населення, території, навколишнє природне середовище і майно [23].

Суб'єктами забезпечення цивільного захисту є центральні органи виконавчої влади, інші державні органи, місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування, суб'єкти господарювання, громадські організації [24].

Цивільний захист здійснюється за такими основними принципами:

1) гарантування та забезпечення державою конституційних прав громадян на захист життя, здоров'я та власності, а також виконання у воєнний час норм міжнародного гуманітарного права;

2) комплексного підходу до вирішення завдань цивільного захисту;

3) пріоритетності завдань, спрямованих на рятування життя та збереження здоров'я громадян;

4) максимально можливого, економічно обґрунтованого зменшення ризику виникнення надзвичайних ситуацій;

5) централізації управління, єдиноначальності, підпорядкованості, статутної дисципліни Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту, аварійно-рятувальних служб;

6) гласності, прозорості, вільного отримання та поширення публічної інформації про стан цивільного захисту, крім обмежень, встановлених законом;

7) добровільності - у разі залучення громадян до здійснення заходів цивільного захисту, пов'язаних з ризиком для їхнього життя і здоров'я;

8) відповідальності посадових осіб органів державної влади та органів місцевого самоврядування за дотримання вимог законодавства з питань цивільного захисту;

9) виправданого ризику та відповідальності керівників сил цивільного захисту за забезпечення безпеки під час проведення аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт [25].

У даному розділі дипломної роботи розглядається тема: **«Дії населення при пожежі у надзвичайних ситуаціях (НС)»**.

Актуальність цієї теми, обумовлена безліччю нещасних випадків, значними матеріальними втратами які спричиняють пожежі щорічно. Особливо важливо постає це питання під час дії військового стану, коли державна система цивільного захисту змушена працювати в особливо екстремальних умовах, а ризики для населення пов'язані з неконтрольованим розповсюдженням вогню кратно зросли.

### **9.1 Поняття пожежа**

Пожежа — це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується у часі і просторі.

Пожежі можуть виникати в лісах, на торф'яниках, у житлових будинках, на виробництві, в енергетичних мережах і на транспорті, і спричиняють великі збитки та втрати і часто приводять до загибелі людей. При пожежі потрібно остерігатися: високої температури, задимленості і загазованості, обвалу конструкцій будинків і споруд, вибухів технологічного обладнання і приладів, падіння обгорілих дерев і провалля. Небезпечно входити в зону задимлення, якщо видимість менше 10 м.

Будь-яка пожежа починається із загорання, яке інколи може ліквідувати одна людина, якщо має відповідні навички та знає правила поведінки під час

пожежі. Тому, у разі виникнення пожежі необхідно заздалегідь знати: де і які засоби пожежогасіння розміщуються та як ними користуватися.

## 9.2 Порядок дій у разі пожежі

Порядок дій у разі пожежі наведено в Правилах пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом МВС від 30.12.2014 № 1417.

Отже, кожний, хто виявив ознаки пожежі (горіння), повинен дотримуватися такого порядку оповіщення про пожежу:

- негайно зателефонувати за номером «101». Потрібно назвати свої ПІБ та надати оператору повну інформацію щодо пожежі, а саме: місце її виникнення, кількість поверхів будівлі та місце розташування, загальну обстановку на об'єкті, наявність людей у зоні пожежі та за необхідності іншу допоміжну інформацію;
- У разі якщо пожежа сталася на підприємстві, слід негайно повідомити про неї директору або відповідальним за пожежну безпеку особам (черговим);
- За можливості здійснити заходи, спрямовані на гасіння пожежі як за допомогою спеціального протипожежного інвентарю, так і за допомогою первинних інструментів пожежогасіння (посипати місце пожежі піском, залити водою);
- Допомогти людям залишити приміщення, де виникла пожежа, за наявності відповідних навичок або знань — надати домедичну допомогу постраждалим;
- За необхідності — викликати інші рятувальні служби (ДСНС, швидку медичну допомогу тощо).

Якщо пожежа виникла на підприємстві, посадова особа об'єкта, яка прибула до місця пожежі, зобов'язана:

- Викликати оперативно-рятувальну службу цивільного захисту або переконатись, що її вже викликали інші співробітники;
- Оцінити ступінь і небезпеку пожежі та скласти орієнтовний план дій;

- Зупинити проведення всіх робіт у приміщенні, крім тих, що необхідні для гасіння пожежі. Для перешкодження розповсюдженню пожежі слід вимкнути електроживлення, припинити роботу пристроїв, обладнання та устаткування і зупинити роботу вентиляційних систем;
- Невідкладно організувати і провести евакуацію людей з приміщення на вулицю або до безпечного сховища. Усіх сторонніх осіб, не причетних до ліквідування пожежі, потрібно негайно вивести;
- Увімкнути центральні системи оповіщення людей про пожежу, стаціонарні установки пожежогасіння та протидимового захисту;
- Вчинити дії, необхідні для збереження або евакуації матеріальних цінностей;
- Зустріти представників оперативно-рятувальної служби цивільного захисту, надати їм допомогу при під'єднанні техніки до зовнішніх джерел водопостачання.

Крім того, пожежно-рятувальним підрозділам необхідно забезпечити безперешкодний доступ на територію об'єкта. Ця вимога не поширюється на підприємства з особливим порядком допуску.

Працівники підприємства за потреби зобов'язані брати участь у консультуванні керівника гасіння пожежі щодо конструктивних і технологічних особливостей об'єкта, де виникла пожежа, прилеглих будівель та пристроїв, організувати залучення сил і засобів об'єкта до вжиття необхідних заходів, пов'язаних із ліквідацією пожежі та попередженням її поширенню [26].

### **9.3 Пожежі та вибухи**

Вибухи та їх наслідки – пожежі, виникають на об'єктах, які виробляють вибухонебезпечні та хімічні речовини. При горінні багатьох матеріалів утворюються високотоксичні речовини, від дії яких люди гинуть частіше; ніж від вогню. Раніше при пожежах виділявся переважно чадний газ. Але в останні десятиріччя горить багато речовин штучного походження: полістирол,

поліуретан, вініл, нейлон, поролон. Це призводить до виділення в повітря синильної, соляної й мурашиної–кислот, метанолу, формальдегіду та інших високотоксичних речовин.

Найбільш вибухо– та пожежонебезпечні суміші з повітрям утворюються при витоку газоподібних та зріджених вуглеводних продуктів метану, пропану, бутану, етилену, пропилену тощо.

В останнє десятиріччя від третини до половини всіх аварій на виробництві пов'язано з вибухами технологічних систем та обладнання: реактори, ємності, трубопроводи тощо. Пожежі на підприємствах можуть виникати також внаслідок ушкодження електропроводки та машин, які перебувають під напругою, опалювальних систем.

Певний інтерес (щодо причин виникнення) можуть становити дані офіційної статистики,:

- несправність електрообладнання – 23 %;
- куріння в неналежному місці – 18 %;
- перегрів внаслідок тертя в несправних вузлах машин – 10 %;
- перегрів пальних матеріалів – 8 %;
- контакти з пальними поверхнями через несправність котлів, печей, димоходів – 7 %;
- контакти з полум'ям, запалення від полум'я пальника – 7 %;
- запалення від пальних часток (іскри) від установок та устаткування для спалювання – 5 %;
- самозапалювання пальних матеріалів – 4 %;
- запалювання матеріалів при різці та зварюванні металу – 4 % [2].

Більше 63 % пожеж у промисловості обумовлено помилками людей або їх некомпетентністю. Коли підприємство скорочує штати й бюджет аварійних служб, знижується ефективність їх функціонування, різко зростає ризик виникнення пожеж та вибухів, а також рівень людських та матеріальних втрат.

#### **9.4 Висновки**

Цивільний захист – це функція держави, спрямована на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій.

Пожежі це небезпечне явище яке щорічно спричиняє безліч нещасних випадків та завдають значних матеріальних втрат. У випадку виникнення пожежі слід дотримуватись затверджених правил пожежної безпеки та викликати службу порятунку.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі було виконано розрахунок топково-пальникового пристрою для котла паропродуктивністю 100 т/год., тиском перегрітої пари 3,9 МПа і температурою 440 °С, який працює на газі Шебелинського родовища. Питома теплота згоряння цього палива дорівнює  $37,3 \cdot 10^3$  кДж/м<sup>3</sup>.

У ході розрахунку були отримані наступні дані. Коефіцієнт надлишку повітря на виході з топки - 1,05, відхідних газів – 1,13, коефіцієнт надлишку повітря яке подається в пальник 1,03. Теплове навантаження топкового об'єму дорівнює 201 кВт/м<sup>3</sup>, що відповідає гранично припустимим параметрам. Хімічний состав газу не має сірки, це дозволило знизити температуру відхідних газів до 100 °С, й не приводить до низькотемпературної корозії в конвективних поверхнях нагріву. Температура живильної води дорівнює 125 °С. Коефіцієнт корисної дії котла – 95,48 %. Також була розрахована температура продуктів згоряння на виході з топки яка склала 1087 °С, що нижче від прийнятої на 13 °С. Відхилення розрахованої температури від прийнятої складає менш ніж 100 °С, це говорить про те, що розрахунок вірний.

Виходячи з теплової потужності топки, яка дорівнює 84,43 МВт, було вибрано 4 пальника ВТИ-3иО, з тепловою потужністю 20,6 МВт. Витрата палива на котел склала 2,12 м<sup>3</sup>/с, а витрата палива на пальник 0,503 м<sup>3</sup>/с.

В економічному розділі було розраховано собівартість однієї тони пари яка склала 646,15 грн./т.

В роботі також були розглянуті питання охорони праці і навколишнього середовища, питання цивільного захисту населення в період надзвичайних ситуаціях.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1 Кузнецов Н.В. та ін. Тепловий розрахунок котельних агрегатів (нормативний метод) – Енергія, 1973.

2 Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра на тему «Розробка топково-пальникового пристрою котла» для студентів спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» блоку дисциплін 142-01 «Енергогенеруючі технології та установки» всіх форм навчання / Упоряд. О.М. Борисенко. - Харків: НТУ «ХП», 2021.- 80 с.

3 Березуцький В. В. Основи професійної безпеки та здоров'я людини: підручник / під ред. проф. В. В. Березуцького. Харків: НТУ "ХП", 2018. 553 с.

4 Про затвердження Державних санітарних норм та правил “Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу”: Наказ МОЗ України від 08.04.2014 р №248. Офіційний вісник України. 2014. № 41. С. 94. Ст. 1098.

5 ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Чинний від 01.01.2014 року. Затверджено наказами Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 25.01.2013 року №24 та від 28.08.2013 року № 410.

6 ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.// Затверджено постановою Головного санітарного лікаря України від 01.12.1999 року. № 42.

7 ДСТУ ОHSAS 18002:2015 Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог ОHSAS 18002:2007 (ОHSAS 18002:2008, IDT). Чинний від 01.01.2007.

8 ДБН В.2.5-28:2018 Державні будівельні норми України. Природне і штучне освітлення. [Чинний від 2019-03-01]. Київ: Мінрегіон України, 2018. 137 с.



9 ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.// Затверджено постановою Головного санітарного лікаря України від 01.12.1999 року № 37.

10 ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008. Вібраційна безпека. Загальна безпека. Чинний від 01.02.2009.

11 Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. – М.: «Энергоиздат»-1989.

12 ГОСТ 2457-81. Расчет пропускной способности предохранительных устройств. – Введ.01.01.82.

13 ПУЕ-2016 Правила улаштування електроустановок. Накази Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 30.07.2015 № 478, від 30.07.2015 № 479, від 23.06.2015 № 394, від 31.07.2015 № 480.

14 НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. (Затв. наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 20.06.1998 р. № 469).

15 ДБН В.1.1-7:2016 Державні будівельні норми України. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017-06-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 39 с.

16 ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [Чинний від 2017-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с.

17 ДСТУ Б В.2.5-38:2008 Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2008. 54 с.

18 НПАОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском.

19 СТЗВО-ХПІ-2.01-2021 Дипломні проекти та дипломні роботи.

Загальні вимоги до виконання.

20 СТЗВО–ХП–3.01.-2021 Текстові документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання.

21 СТВУЗ–ХП–3.03.-2006 ССОУП Конструкторські документи у сфері навчального процесу. Загальні вимоги до виконання. – Чинний від 01.07.2006.

22 СТВУЗ–ХП–3.04.-2006 ССОУП Формати. Основні надписи. Вимоги до виконання.

23 СТВУЗ–ХП–3.05.-2002 ССОУП Конструкторські документи. Креслення. Вимоги до виконання.

24 СТВУЗ–ХП–3.06.-2002 ССОУП Конструкторські документи. Специфікація. Вимоги до виконання.

25 СТВУЗ–ХП–3.07.-2007 ССОУП Конструкторські документи у сфері навчального процесу. Схеми.