

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до самостійної роботи та виконання контрольної роботи**  
**зосвітньої компоненти «Котельні установки»**  
**«Розрахунок топки»**  
для здобувачів вищої освіти спеціальності 144 «Теплоенергетика»  
(освітня програма «Промислова і комунальна теплоенергетика»)  
усіх форм навчання

Методичні вказівки до самостійної роботи та виконання контрольної роботи з освітньої компоненти «Котельні установки» «Розрахунок топки» для здобувачів вищої освіти спеціальності 144 «Теплоенергетика» (освітня програма «Промислова і комунальна теплоенергетика») усіх форм навчання./Укл.: Трикашний М.В., Кузьменко А.А., Каюков Ю.М., Назаренко І.А., Запоріжжя: НУЗП, 2022. 50 с.

Укладачі: Трикашний М.В., доц. канд.техн.наук;  
Кузьменко А.А., старш. викладач;  
Каюков Ю.М., доц. канд.техн.наук;  
Назаренко І.А., доц. канд.техн.наук.

Рецензент Назаренко О.М., доц. канд.техн.наук.  
Відповідальний за випуск Яримбаш Д.С., професор  
докт.техн.наук.

Затверджено на засіданні  
кафедри «Електричні машини»  
Протокол № 10 від 10.05.2022

Рекомендовано до видання  
НМК Електротехнічного факультету  
Протокол № 2 від 02.06.2022 р.

## ЗМІСТ

Словник термінів.....	4
1 Розрахунок теплообміну в топці та конструктивне оформлення топкової камери.....	5
1.1 Загальні зауваження.....	5
1.2 Геометричні розміри топки та розрахункові величини при шаровому спалюванні палива.....	6
1.3 Геометричні розміри та розрахунки котельних установок з камерами догоряння.....	11
1.4 Геометричні розміри та розрахунки котельних установок з факельним способом спалювання палива .....	12
1.5 Розрахунок теплообміну в топці.....	16
1.6 Примітки.....	20
2 Приклад опису та теплового розрахунку топки котельної установки з шаровим спалюванням палива.....	23
2.1 Геометричні розміри топкової камери та розрахункові параметри її елементів.....	23
2.2 Розрахунок теплообміну в топці.....	29
3 Приклад опису конструкції та теплового розрахунку топки котельної установки з факельним способом спалювання твердого палива.....	33
3.1 Конструктивні характеристики топки.....	33
3.2 Розрахунок теплообміну в топці.....	36
Перелік посилань.....	41
Додаток А .....	43

## СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Бічна	Боковая
Випромінюючий	Излучающий
Вісь	Ось
Виведення	Удаление
Дзеркало	Зеркало
Добуток	Произведение
Згоряння	Сгорание
Котельня	Котельная
Крок	Шаг
Луската	Чешуйчатая
Млин	Мельница
Надмірний	Излишний
Надлишок	Излишек
Нагрівання	Нагрев
Напівсвітне	Полусветящееся
Опис	Описание
Пальник	Горелка
Перетин	Сечение
Площина	Плоскость
Повздожній	Продольный
Промінь	Луч
Променевосприймаюча	Лучевоспринимающая
Променистий	Лучистый
Припущення	Допущение
Розбіжність	Несовпадение
Розмел	Размол
Склепіння	Свод
Сприймання	Воспринимание
Стеля	Потолок
Стрічка	Лента
Сумарна	Суммарная
Схил	Скат
Топковий пристрій	Топочноеустройство
Устя	Устье
Ущільнення	Уплотнение

# 1 РОЗРАХУНОК ТЕПЛООБМІНУ В ТОПЦІ ТА КОНСТРУКТИВНЕ ОФОРМЛЕННЯ ТОПКОВОЇ КАМЕРИ

## 1.1 Загальні зауваження

Розрахунки теплообміну в топці, які виконуються в розрахунках котельних установок промислових підприємств (КУПП), можуть мати два призначення, що визначаються конкретними вимогами проектування в залежності від того, яка задача ставиться перед виконавцем- створення нової котельної установки чи модернізація існуючої конструкції з тим, щоб як найкраще задовольнялися вимоги економічного спалювання заданого виду та сорту палива.

Вирішення поставленого завдання в разі спалювання твердого палива починається з вибору способу спалювання (шарового або факельного), вибору типу топкового пристрою, а також способу виведення шлаку. При використанні рідкого або газового палива факельний спосіб спалювання в камерній топці є єдино можливим.

Незалежно від обраного способу спалювання, приймається значення температури, яку мають продукти згоряння на виході з топки та визначається розмір променевосприймаючої поверхні такий, що забезпечує охолодження газів до цієї температури. Потім приймають геометричні розміри топки і відповідно їм розташовують променевосприймаючу поверхню.

Викладена послідовність виконання розрахунків та конструювання називається конструкторським розрахунком. Конструктор на підставі зроблених їм розрахунків, рекомендацій, які взяті з літературних джерел, та свого особистого досвіду, створює нову конструкцію КУПП.

Проте частіше потребується проведення перевірного теплового розрахунку. Його роблять стосовно існуючої конструкції КУПП для спалювання певного виду палива. Задача виконавця теплових розрахунків полягає у тому, щоб шляхом розрахунку визначити можливість і доцільність використання такої конструкції для спалювання заданого виду палива, тобто палива з іншими якісними характеристиками.

При виконанні контрольної роботи рекомендується використовувати цей метод розрахунку, оскільки він найбільше

імовірний в майбутній інженерній діяльності.

Послідовність розташування матеріалу в розрахунках визначається у кожному окремому випадку конструкцією топки, яка обумовлена видом палива та способом його спалювання. Тому не можна дати єдину систему викладання. Однак в будові топок для спалювання газу, мазуту та факельного

спалювання твердого палива є багато спільного і це дозволяє теплові розрахунки таких топок звести до єдиної схеми. У розрахунках топок для спалювання твердого палива у шарі, при всій різноманітності будов топок, також спостерігається єдина послідовність. Виходячи з того, рекомендації щодо розрахунку топки надані у двох варіантах.

## **1.2 Геометричні розміри топки та розрахункові величини при шаровому спалюванні палива**

Основою теплового розрахунку топки є геометричні розміри топки, що забезпечують підрахунки об'єму та поверхні активного простору топки, активної поверхні колосникової решітки (дзеркала горіння), променевосприймаючої поверхні екранів і котельного пучка та їх теплової ефективності. При виконанні перевірного теплового розрахунку усі необхідні величини підраховують за розмірами на кресленнях або обміром існуючої конструкції топки.

Послідовність вимірювань та їх запис може бути прийнята такою, як приведена нижче стосовно котельної установки ТС-20, яка має топку з безпровальною колосниковою решіткою БЦР 3040x6500 для спалювання антрациту (Тут і далі вказані примітки, пояснення котрих надано в п.1.6).

1.2.1 Визначають конструктивну довжину колосникової решітки, яку сприймають як відстань між вісями валів, м

$$L =$$

[8, с.75, п.4-2, с.81, табл. 4-1; 8, с. 80, підр. 8-2].

1.2.2 Визначають перекриття решітки за довжиною, яка приймається від вісі переднього валу до регулятора шару (для топок ТЧ), або до площини фронтової стіни, м

$$l_{\text{п}} =$$

[8. с.93 або за кресленням конструкції].



площа дзеркала горіння), м<sup>2</sup>

$$R = L_a \cdot A_a =$$

1.2.8 Приймають товщину шару палива на колосниковій решітці, м

$$S_m =$$

[1, с.22, п. 6-01].

1.2.9 Знаходять ширину топки (між внутрішніми площинами стін топки, якщо відсутні бічні екрани, або між площинами, що проходять крізь вісі труб бічних екранів), м

$$a_m =$$

1.2.10 Визначають висоту попереднього склепіння над площиною колосникової решітки (до вісей труб екрану), м

$$h'_{п.с} =$$

1.2.11 Знаходять довжину вильоту попереднього шару в бік об'єму топки, м

$$b_{п.с} =$$

1.2.12 Визначають висоту заднього склепіння над колосниковою решіткою біля виходу в топку (в передній частині), м

$$h'_{з.с} =$$

1.2.13 Знаходять висоту задньої частини заднього склепіння, м

$$h''_{з.с} =$$

1.2.14 Визначають довжину вильоту заднього склепіння (глибину об'єму під заднім склепінням від вертикальної площини, що проходить крізь вісь заднього валу), м

$$b_{з.с} =$$

1.2.15 Знаходять довжину стелі заднього склепіння (звичайно у межах труб екрану, що закриті хромітовою масою), м

$$l_{з.с} =$$

1.2.16 Вимірюють висоту площини, від якої починається збільшення глибини топки, м

$$h_{н.р} =$$

1.2.17 Вимірюють висоту площини, що розділяє частину топки, яка розширюється, та призматичну її частину, м

$$h_{в.р} =$$

1.2.18 Визначають кут нахилу задньої стіни до горизонтальної площини, град

$$\alpha_{з.н} =$$

1.2.19 Вимірюють довжину нахиленої частини задньої стіни (між площинами на висоті  $h_{н.р}$  і  $h_{в.р}$ ), м

$$l_{з.н} =$$

1.2.20 Визначають глибину призматичної частини топки (між поверхнями фронтної та задньої стін при відсутності екранів та між площинами, що проходять крізь вісі труб екранів, якщо стіни екрановані), м

$$b_{пр} =$$

1.2.21 Знаходять висоту призматичної частини топки, м

$$h_{пр} =$$

1.2.22 Визначають кут нахилу площини, що проходить крізь вісі першого ряду труб фестону (котельного пучка), град

$$\alpha_{\phi} =$$

Величини у п.(1.2.9...1.2.22) визначають за кресленнями або вимірами на існуючій конструкції топки.

1.2.23 Знаходять довжину площини, що проходить крізь перший ряд труб фестону, м

$$L = \left( \frac{h_{н.к.п}}{\sin \alpha_{\phi}} \right) + (h_{к.п} - h_{н.к.п}) =$$

1.2.24 Підраховують поверхню стін, що оточують активний об'єм топки (без площі дзеркала горіння), м<sup>2</sup>:

а) фронтної стіни

$$F_{ф.ст} = a_m \cdot [(h_{п.с} - S_m) + l_{п.с} + l_{ф.с} + l_{пот}] =$$

б) за бічною стіною

$$\begin{aligned} F_{б.ст} = & F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6 + F_7 = [0,5 \cdot (h'_{п.с} + h''_{п.с}) - S_m] \cdot \\ & b_{п.с} + \\ & + [0,5 \cdot (h'_{з.с} + h''_{з.с}) - S_m] \cdot b_{з.с} + h_{в.р} \cdot b' + 0,5 \cdot (b_{пр} - b') (b_{пр} - b') \cdot \\ & tg \alpha_{зн} + \\ & + b_{пр} \cdot h_{пр} + 0,5 \cdot [b_{пр} + (b_{пр} - b'')] \cdot h_{н.к.п} + 0,5 \cdot [(h'_{\phi} - h_{н.к.п}) + \\ & + (h'_{к.п} - h_{н.к.п}) \cdot (b_{пр} - b'')] = \end{aligned}$$

в) за задньою стіною

$$F_{з.ст} = [(h''_{з.с} - S_m) + l'_{з.с} + l''_{з.с} + l_{з.н} + h_{пр}] \cdot a_m =$$

г) за площиною, яка проходить крізь перший ряд труб котельного пучка (фестону)

$$F_{\phi} = l_{\phi} \cdot a_m =$$

д) сумарна

$$F_{cm} = F_{\phi,cm} + 2 \cdot F_{6,cm} + F_{3,cm} + F_{\phi} =$$

1.2.25 Підраховують об'єм активного простору топки <sup>2/</sup>, м<sup>3</sup>

$$V_m = F_{6,cm} \cdot a_m =$$

1.2.26 Визначають товщину випромінюючого газового об'єму у топці <sup>3/</sup>, м

$$S = 3,6 \frac{V_m}{F_{cm} + R} =$$

1.2.27 Підраховують площину екранованої поверхні фронтної стіни, м<sup>2</sup>, у тому числі:

а) що закрита хромітовою масою <sup>4/</sup>

$$F_{\phi,cm,з} = l_{п.с} \cdot a_m =$$

б) що не закрита

$$F_{\phi,cm,от} = (h_{\phi,c} + l_{nom}) \cdot a_m =$$

1.2.28 Вказують число труб, що утворюють фронтний екран, їх зовнішній діаметр та крок в екрані, шт., м

$$n_{\phi,э} =$$

$$d_{\phi,э} =$$

$$S_{\phi,э} =$$

1.2.29 Знаходять кутовий коефіцієнт фронтного екрану <sup>5/</sup>

$$\chi_{\phi,э} =$$

[1, с.240, номогр. 1; 2, с.67, рис. 8-4; 3, с.59, рис. 4-6; 5, с.439, рис. 7-4].

1.2.30 Приводять прийняті значення коефіцієнтів забруднення <sup>6/</sup>, у тому числі:

а) частини екрану, яка закрита хромітовою масою

$$\xi_{зак} =$$

[1, с.29, табл. 6-2; 2, с.64, табл. 8-2; 3, с.58, текст; 5, с.435, табл. 7-15].

б) відкритих екранів

$$\xi_{от} =$$

[1, с.29, табл. 6-2; 2, с.64, табл. 8-2; 3, с.58, текст; 5, с.435, табл. 7-15].

1.2.31 Підраховують коефіцієнт теплової ефективності

фронтового екрану

$$\Psi_{\text{ф.э.}} =$$

[1, с.28, п.6-20; 2, с.63, текст; 5, с.442, форм. 7-34].

Обчислення, аналогічні тим, що приведені в п.(1.2.27...1.2.31), робляться для всіх інших екранів (заднього та бічних, якщо вони є).

1.2.32 Підраховують сумарну поверхню стін топки, яка закрита екранами, та площини, що проходять крізь перший ряд фестону, м<sup>2</sup>

$$F_{\text{э.ст}} = \sum F_{\text{э.ст.зак}} + \sum F_{\text{э.ст.от}} + F_{\text{фест}} =$$

1.2.33 Підраховують середнє значення коефіцієнта теплової ефективності

$$\Psi_{\text{ср}} =$$

[1, с. 28, п.6-20; 2, с. 63, форм. 8-17; 3, с. 58, текст; 5, с. 442, форм. 7-35].

Приведена послідовність обчислення конструктивних та пов'язаних з ними теплових характеристик топки ( $S$  і  $\Psi_{\text{ср}}$ ) відповідає конструкціям котельних установок з лусковими решітками прямого ходу, що виконані за ДСТУ 108.033.102-76 і ДСТУ108.033.103-76 [9].

Необхідні розміри, які повинні бути виконані по кресленням при розрахунках теплообміну в котельних установках інших конструкцій, зокрема типу ДКВР, обчислюються аналогічно. Креслення вказаних котельних установок приведені у Каталозі-довіднику [10]. В даних розробках їх розрахункові схеми не приводяться.

### 1.3 Геометричні розміри та розрахунки котельних установок з камерами догорання

Котельні установки продуктивністю до 2,78 кг/с (ДКВР-2,5-13; ДКВР-4-13; ДКВР-6,5-13; ДКВР-10-13) мають камери догорання. Це об'єм, що призначений для перемішування газоподібних продуктів згорання, які виходять з топки, та допалювання продуктів неповного горіння.

Задня стіна камери догорання екранована трубами, що є частиною котельного пучку. Також екранована частина поверхні бічних стін. Частина поверхні верхнього барабану також сприймає

тепло.

Передача тепла від продуктів згоряння до поверхні нагріву у камері догоряння відбувається в основному променевим теплообміном. Його розрахунок схожий на тепловий розрахунок топки. На основі цього у камері догоряння окремий розрахунок можна не робити, а виконувати його разом з розрахунком топки. У цьому випадку обчислюють поверхню стін та об'єм простору камери догоряння і підсумовують їх до поверхні стін та об'єму топки. По сумованим величинам підраховують товщину випромінюючого газового об'єму. Аналогічнопо сумі з добутоків променевосприймаючих поверхонь топки і камери догоряння та коефіцієнтів їх теплової ефективності підраховують усереднену (розрахункову) величину коефіцієнту теплової ефективності  $\Psi_{cp}$ , яку використовують у розрахунку теплообміну.

#### **1.4 Геометричні розміри та розрахунки котельних установок з факельним способом спалювання палива**

Топки для факельного спалювання палива в котельних установках продуктивністю від 9,46 кг/с до 20,8 кг/с практично однотипні. Деяку різницю може мати лише конструкція нижньої частини. При спалюванні твердого палива з гранульованим (сухим) шлаковиведенням її виконують у вигляді холодної воронки, а в котельних установках, що працюють на рідкому або газовому паливі, - у формі слабонахилоного поду.

Далі приведена послідовність обміру та підрахунків стосовно котельної установки БКЗ-75-39 ФБ для факельного спалювання бурого та кам'яного вугілля з виведенням шлаку у захопленому стані (з твердим шлаковиведенням). Креслення котельної установки приведені у Каталозі - довіднику [10]. Перед розрахунками у текстіприведені відомості про род палива (буре або кам'яне вугілля), про наявність системи пилоприготування (з прямим вдуванням або з проміжним бункером), протипальникових пристроїв, їх кількість та місце встановлення, спосіб виведення шлаку (сухий або рідкий), а також відомості про наявність запалювального пояса та його розміри. Розрахунки рекомендується виконувати у такій послідовності.

1.4.1 Визначають розміри горизонтального перетину топки <sup>7/</sup>, м:

- ширина

$$a_m =$$

- глибина

$$b_m =$$

1.4.2 Приймають глибину устя холодної воронки (розміри у вузькому перетині), м

$$l_{x.B} =$$

1.4.3 Знаходять кут нахилу фронтového та заднього схилів холодної воронки, град

$$\alpha_{x.B} =$$

Величини в п.(1.4.1...1.4.3) визначають за кресленнями котельної установки, що розраховується, або обміром.

1.4.4 Підраховують висоту холодної воронки, м

$$h_{x.B} = 0,5 \cdot (b_m - l_{x.B}) / tg \alpha_{x.B} =$$

1.4.5 Підраховують розмір площини по глибині топки, яка обмежує активний об'єм топки унизу<sup>8/</sup>, м

$$b_{op} =$$

1.4.6 Підраховують довжину схилу холодної воронки у межах активного об'єму топки, м

$$l_{CK} =$$

1.4.7 Визначають висоту фронтвої стіни (розмір від верху холодної воронки до нахиленої стелі), м

$$h_{\phi.pr} =$$

1.4.8 Знаходять висоту задньої стіни (розмір від верху холодної воронки до низу фестону), м

$$h_{з.пр} =$$

1.4.9 Визначають кут нахилу стелі до горизонтальної площини, град

$$\alpha_{nom} =$$

1.4.10 Знаходять довжину нахиленої стелі, м

$$l_{nom} =$$

1.4.11 Визначають кут нахилу фестону до вертикальної площини, град

$$\alpha_{\phi} =$$

1.4.12 Знаходять розмір по висоті площини, яка проходить крізь перший ряд фестону, м

$$l_{\phi} =$$

Величини в п.(1.4.7...1.4.12) визначаються за кресленнями конструкції, що розраховується.

1.4.13 Підраховують розміри проєкцій фєстону на горизонтальну та вертикальну площини, м:

$$l'_{\phi} = \quad ; \quad l''_{\phi} =$$

1.4.14 Підраховують площу поверхонь, що обмежують активний об'єм топки, м<sup>2</sup>

а) по фронтівій стїні

$$F_{\phi.cm} = a_m \cdot (0,5 \cdot b_{огр} + l_{ск} + h_{\phi.пр} + l_{пот}) =$$

б) по бїчній стїні

$$F_{б.cm} = 0,5 \cdot (b_m + b_{огр}) \cdot 0,5 h_{х.в} + b_m \cdot h_{пр} + 0,5 \cdot (h_{\phi.пр} - h_{з.пр} + l''_{\phi}) \cdot (b_m - l'_{\phi}) + 0,5 \cdot (l'_{\phi} - m) \cdot l''_{\phi} =$$

в) по задній стїні

$$F_{з.cm} = a_m \cdot (0,5 \cdot b_{огр} + l_{ск} + h_{з.пр}) =$$

г) по площинї першого ряду фєстона

$$F_{\phi} = a_m \cdot l_{\phi} =$$

д) сумарна

$$F_{cm} = F_{\phi.cm} + 2 \cdot F_{б.cm} + F_{з.cm} + F_{\phi} =$$

1.4.15 Підраховують об'єм активного простору топки, м<sup>3</sup>

$$V_m = F_{б.cm} \cdot a_m =$$

1.4.16 Підраховують товщину випромїнюючого шару топкового середовища, м

$$S = 3,6 \frac{V_m}{F_{cm}} =$$

1.4.17 Вказують зовнїшній дїаметр труб екранїв, м

$$d =$$

1.4.18 Вказують конструктивнї характеристики екранїв <sup>9/</sup>, м:

а) число труб у кожному екранї, шт.

$$n_{э} =$$

б) вїдстань крайнїх труб екрану до вїсевої площини екрану на сумїжній стїні (наприклад, крайнїх труб фронтowego екрану до площини бїчного екрану), м

$$m =$$

в) крок труб в екранах, м

$$S_{э} =$$

г) відстань вісі труб екрану до внутрішньої поверхні стіни топки, м

$$e_3 =$$

Перелічені величини визначають за кресленнями або обміром конструкції.

1.4.19 Розраховують відносні кроки і відносні відстані

$$S_3/d =$$

$$e_3/d =$$

1.4.20 Визначають кутові коефіцієнти кожного екрану та площини, що проходить крізь фестон

$$\chi_{\varepsilon} =$$

$$\chi_{к.п} =$$

[1, с. 240, номогр.1;2, с. 67, рис. 8-4; с. 59, рис. 4-6; 5, с. 439, рис.7-4].

1.4.21 Вказують висоту запалювального поясу (якщо він є) і вказують, на яких екранах він розташований, м

$$h_{\varepsilon,л} =$$

1.4.22 Знаходять коефіцієнти забруднення поверхонь нагріву екранів (відкритих екранів і частини екранів, що закрита хромітовою масою)

$$\xi_{\varepsilon\text{откр}} =$$

$$\xi_{\varepsilon\text{закр}} =$$

[1, с.29, табл. 6-2; 2, с.64, табл. 8-2; 3, с.58, текст; 5, с.435, табл. 7-15].

1.4.23 Підраховують середнє значення коефіцієнту теплової ефективності<sup>10/</sup>

$$\Psi_{\text{ср}} =$$

[1, с. 28, п.6-20; 2, с. 63, форм. 8-17; 3, с. 58, текст; 5, с. 442, форм. 7-35].

Приведену схему підрахунку конструктивних і деяких теплових характеристик також можна застосувати для котельних установок, що працюють на газі та мазуті. Різниця у тому, що замість розмірів холодної воронки розраховують розміри та характеристики поверхні горизонтального або слабонахиленого поду.

### 1.5 Розрахунок теплообміну в топці

Підрахунки, що виконані по схемі вище викладених підрозділів, дозволяють приступити до розрахунку теплообміну в топці та до визначення температури в кінці топки. Рекомендується така послідовність розрахунків.

1.5.1 Приводять коефіцієнт надлишку повітря (коефіцієнт витрати повітря) в кінці топки

$$\alpha_m =$$

1.5.2 Приймають величини присосів повітря в топку і систему пилоприготування<sup>11/</sup>

$$\Delta\alpha_m =$$

$$\Delta\alpha_{n.n.y} =$$

[1, с. 198-199, табл. XVI; 2, с.52, табл. 6-1; 3, с. 61, табл.8-1; 3, с. 40, табл. 2-3; с.41, табл.2-4]

1.5.3 Вказують величину раніш прийнятої температури холодного повітря, °С

$$t_{x.e} =$$

1.5.4 Визначають ентальпію повітря при цій температурі, МДж/кг

$$I_{x.e} =$$

1.5.5 Приймають температуру гарячого повітря на вході в топку (на виході з повітропідігрівача), °С

$$t_{2.e} =$$

[1, с. 72, табл. II-10; с. 202, табл. XXI; 2, с.17, табл. 1-3; 3, с. 133, табл. 8-4].

1.5.6 Визначають ентальпію повітря при цій температурі, МДж/кг

$$I_{2.e} =$$

[12, табл. 1.2].

1.5.7 Підраховують тепло, що вноситься в топку разом з повітрям<sup>12/</sup>, МДж/кг

$$Q_e =$$

[1, с. 28, форм. 6-34; 2, с. 61, форм 8-2; 3, с. 52, форм. 4-1; 5, с. 440, форм. 7-22].

1.5.8 Підраховують корисне тепловиділення в топці, МДж/кг

$$Q_m =$$

[1, с. 28, форм. 6-33; 2, с. 61, форм 8-1; 3, с. 52, форм. 4-1; 5, с.

440, форм. 7-20].

1.5.9 Визначають теоретичну температуру горіння, що відповідає корисному тепловиділенню, °С

$$g_a =$$

[12, табл. 1.2].

1.5.10 Приймають ймовірну температуру продуктів згоряння в кінці топки

$$g''_m =$$

[1, с. 66, підр. б, пункт 3; 2, с. 25, табл. 3-1; 3, с. 52, табл. 4-1; 5, с. 434, табл. 7-12].

1.5.11 Знаходять ентальпію продуктів згоряння при цій температурі, МДж/кг

$$I''_m =$$

[12, табл. 1.2].

1.5.12 Підраховують об'ємну теплоємність продуктів згоряння одиниці маси (об'єму) палива, МДж/(кг·К)

$$V \bar{c} =$$

[1, с. 28, п. 6-17; 2, с. 71, форм 8-35; 5, с. 440, текст].

1.5.13 Вказують об'ємні частки водяної пари і трьохатомних газів у продуктах згоряння при надлишку повітря в кінці топки та їх сумму

$$r_{\text{H}_2\text{O}} =$$

$$r_{\text{RO}_2} =$$

$$r_n = (r_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{RO}_2}) =$$

[12, табл. 1.1].

1.5.14 Приймається тиск у топці, бар / МПа/

$$P =$$

[1, с. 24, п. 6-06; 2, с. 64, текст; 3, с. 56, текст].

1.5.15 Підраховують сумарний парціальний тиск водяної пари і трьохатомних газів, бар

$$P_n =$$

[1, с. 25, п. 6-08; 2, с. 65, форм. 8-22; 5, с. 441, текст].

1.5.16 Підраховують оптичну товщину потоку газів (коефіцієнт послаблення променів газами)<sup>13/</sup>

$$\tau_r = K_r \cdot r_n \cdot p \cdot s =$$

[1, с. 24, п. 6-07; 2, с. 65, форм. 8-22; 3, с. 56, текст, 5, с. 441, форм. 7-28].

1.5.17 Знаходять оптичну товщину золотих частинок у продуктах згоряння

$$\tau_{\text{зл}} = K_{\text{зл}} \cdot \mu \cdot p \cdot s =$$

[1, с. 25, п. 6-08; 2, с. 65, рис. 8-2; 3, с. 57, текст; 5, с. 442, форм. 7-32, 7-33].

1.5.18 Визначають оптичну товщину коксових частинок (або частинок сажі) у потоці полум'я

$$\tau_{\text{кокс}} = K_{\text{кокс}} \cdot \chi_1 \cdot \chi_2 \cdot p \cdot s =$$

[1, с. 25, п. 6-08; 2, с. 57, текст. 3; 3, с. 57, текст; 5, с. 442, текст].

1.5.19 Підраховують ступінь чорноти факелу напівсвітнього (або світнього) полум'я у топці

$$a_{\text{ф}} =$$

[1, с. 24, п. 6-07; 2, с. 64, форм. 8-19; 3, с. 57, текст, 5, с. 441, форм. 7-30].

1.5.20 Підраховують співвідношення між площею дзеркала горіння та повною поверхнею стін топки (при шаровому спалюванні палива)

$$\rho = R/F_{\text{ст}}$$

1.5.21 Підраховують ступінь чорноти топки

$$a_{\text{м}} =$$

[1, с. 28, п. 6-19; 2, с. 64, форм. 8-18; 3, с. 55, текст, 5, с. 440, форм. 7-23, 7-24].

1.5.22 Приймають відстань зони максимальної температури від рівня пальників (або шару палива)

$$\Delta\chi =$$

[1, с. 27, п. 6-14; 2, с. 63, форм. 8-15; 3, с. 55, текст].

1.5.23 Знаходять відносну висоту зони максимуму температури у топці

$$\chi_{\text{м}} =$$

[1, с. 27, п. 6-14; 2, с. 63, форм. 8-14; 3, с. 55, текст; 5, с. 444, форм. 7-39].

1.5.24 Підраховують параметр температурного поля

$$M =$$

[1, с. 26, п. 6-13; 2, с. 63, форм. 8-13; 3, с. 55, текст].

1.5.25 Визначають температуру продуктів згоряння у кінці топки (розрахункова)<sup>14/</sup>, °C

$$g''_{\text{м}} =$$

[1, с. 28, п. 6-16; 3, с. 54, текст].

1.5.26 Знаходять ентальпію продуктів згорання, відповідну цій температурі, МДж/кг

$$I''_m =$$

[12, табл. 1.2].

1.5.27 Знаходять коефіцієнт збереження тепла

$$\varphi =$$

[1, с. 21, п. 5-10; 3, с. 53, текст].

1.5.28 Підраховують кількість тепла, яке передано поверхням нагріву у топці, МДж/кг

$$Q_n =$$

[1, с. 28, п. 6-18; 2, с. 62, форм. 8-10; 3, с. 51, текст; 5, с. 443, форм. 7-36].

Отриману в наслідок розрахунків температуру продуктів згорання порівнюють з температурою, яка ймовірна на виході з топки для даного виду палива. Якщо вона не більше ймовірного значення, визначають придатність прийнятої конструкції для спалювання заданого палива. Найбільші значення температур продуктів згорання на виході з топки знаходять по вказаним джерелам.

[1, с. 66, підр. б, п. 3; 2, с. 25, табл. 3.1; 3, с. 52, табл. 4.1; 5, с. 434, табл. 7-12].

1.5.29 Підраховують видиму щільність теплового потоку дзеркала горіння (енерговиділення дзеркала горіння), МВт/м<sup>2</sup>

$$q_R = B_p Q_n^p / R =$$

1.5.30 Визначають об'ємну щільність тепловиділення у топці (енерговиділення в об'ємі топки, видиме тепло навантаження топкового об'єму), МВт/м<sup>3</sup>

$$q_V = B_p Q_n^p / V_m =$$

Знайдені значення не повинні перевищувати гранично допустимих. Значення щільності теплового потоку і енерговиділення в об'ємі, що рекомендовані, вказані у нормативній та довідниковій літературі.

[1, с. 200-203; 2, с. 58, табл. 7-1; 3, с. 182-184, с. 190-191; 5, с. 363, табл. 6-13, с. 407, табл. 6-37].

За приведеною схемою виконують розрахунки теплообміну у топкових пристроях усіх котельних установок незалежно від типу топкового пристрою та способу спалювання. В окремих випадках

підрахунок якихось величин може виявитися непотрібним.

У розділі 2 надано чисельний приклад перевірконого теплового розрахунку котельної установки ТС-20. Приклад теплового розрахунку топки котельної установки з факельним спалюванням твердого палива наведений у розділі 3.

### 1.6 Примітки

1. Будови топок котельних установок для шарового спалювання палива випускають під найменуванням:

- БЦР - безпровальні ланцюгові решітки (8 типорозмірів);
- ПМЗ-ЛЦР – стрічкові ланцюгові решітки з пневмомеханічними закидачами палива (3 типорозміри);
- ПМЗ-ЧЦР – лускатіланцюгові решітки з пневмомеханічними закидачами палива (1 типорозмір).

Розміри перерахованих будов топок приведені у книзі [8]. Також введені галузеві стандарти на механічні топки та пневмомеханічні закидачі (ДСТУ 108.033.102-76 та ДСТУ 108.033.103-76; ТУ 108-143-76). В наш час випускаються решітки для топок шарового спалювання палива:

- ТЧ - топки лускаті прямого ходу (3 типорозміри);
- ТЧЗ - топки лускаті з закидачами зворотнього ходу (3 типорозміри);
- ТЛЗ - топки стрічкові (зворотнього ходу) з закидачами (5 типорозмірів);
- ЗП-РПК - решітки з поворотними колосниками та пневмомеханічними закидачами (4 типорозміри).

Розміри решіток, крім тих стандартів, що вказані вище, приведені в [9].

2. Підрахувати об'єм топки як добуток поверхні бічної стіни на ширину топки можна лише при умові, що ширина по всій висоті топки однакова, тобто бічні стіни не мають виступів. В іншому випадку об'єм підраховують як суму окремих об'єміву межах однакової ширини.

При визначенні активного простору топок котельних установок ДКВР-2,5-13; ДКВР-4-13; ДКВР-6,5-13 площу поверхні фронтної стіни треба помножити на глибину топки.

3. В літературних джерелах, в тому числі і в нормативних [1], надається формула

$$S = 3,6 \frac{V_m}{F_{cm}}$$

Слід мати на увазі, що в цій формулі  $F_{cm}$  містить всі поверхні, які обмежують об'єм топки, отже сюди входить і активна площа колосникової решітки.[1, с. 27, п.6-14].

4. Ширину фронтového та заднього екранів приймають як відстань між вісями крайніх труб цих екранів. Якщо відстань від крайньої труби екрану до прилеглої бічної стіни не більше кроку труб у екранах, за ширину екрану можна прийняти ширину активного простору топки, тобто

$$a_{\text{екр}} = a_m$$

5. Кутові коефіцієнти для окремих екранів визначають лише у випадку, коли кроки труб (або діаметри) неоднакові. В іншому випадку кутовий коефіцієнт усіх екранів знаходять після підрахунку площин, які закриті екранами.

6. Оскільки коефіцієнти забруднення залежать лише від виду забруднення (не залежать від конструкції екрану), їх доцільно вказати один раз після визначення всіх екранованих поверхонь та їх кутових коефіцієнтів.

7. Шириною топки вважається відстань між бічними площинами активного об'єму, глибиною - відстань від фронтвої площини до задньої.

Площинами, які обмежують активний об'єм, вважаються внутрішні поверхні стін, а якщо стіни закриті трубами екранів, тоді площини, які проходять крізь вісі труб. При наявності холодної воронки площиною, яка обмежує низ топки, вважається площина, що проходить горизонтально уздовж середньої висоти холодної воронки.

8. Ширина обмежуючої площини дорівнює ширині топки.

9. Якщо всі екрани (фронтвий, бічний та задній) мають однакові конструктивні характеристики, то їх в розрахунках приводять один раз, попередньо вказуючи, що всі екрани мають однаковий діаметр труб, однакові кроки та відстані труб від площин стін.

10. Якщо внутрішні поверхні стін не повністю закриті екранами, в підрахунку середнього значення коефіцієнта теплової ефективності  $\psi_{\text{ср}}$  приймають участь лише ті поверхні, на яких розташовані екрани.

11. При шаровому спалюванні твердого палива та при спалюванні газу та мазуту присоси  $\Delta\alpha_{n,n,y}$  відсутні.

12. У випадку відсутності підігрівання повітря, що може мати місце при шаровому спалюванні палива, підрахунки за п. (1.5.2...1.5.7) відсутні. Переказувати зміст пунктів у розрахунках не треба.

13. Послаблення променів газами у різних літературних джерелах називається та позначається неоднаково. В [3] воно називається оптичною щільністю та позначається  $\tau$ , в інших джерелах [1,2,5] підраховується з використанням коефіцієнта послаблення променів  $K$ . Запис може бути наведений одним з добутків рівності

$$\tau = K_{\Gamma} \cdot p_n \cdot s = K_{\Gamma} \cdot r_n \cdot p \cdot s.$$

Аналогічно, послаблення променів частинками золи та коксу (сажі) у продуктах згоряння можна представити будь - яким членом рівнянь:

$$\begin{aligned} \tau_{зл} &= K_{зл} \cdot \mu_{зл} \cdot p_n \cdot s; \\ \tau_{кокс} &= K_{кокс} \cdot \chi_1 \cdot \chi_2 \cdot p_n \cdot s; \end{aligned}$$

14. Отримане за розрахунком значення температури  $\vartheta''_m$  порівнюють з тим, що було прийняте попередньо [п.1.5.10]. Якщо розбіжність не перевищує 50°Су більший або менший бік, температура, яка отримана за розрахунком, остаточно для подальших розрахунків. В іншому разі уточнюють розрахунок, приймаючи інше попереднє значення температури.

## 2 ПРИКЛАД ОПИСУ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕПЛОВОГО РОЗРАХУНКУ ТОПКИ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ШАРОВИМ СПАЛЮВАННЯМ ПАЛИВА

Наведений тепловий розрахунок виконаний за умов спалювання горючих сланців в котельній установці ТС-20. Розрахунок виконаний перевірочним методом з визначенням температури продуктів згорання в кінці топки.

В його основу покладені геометричні розміри, які наведені на кресленнях листа 17 [11]. Спалювання палива передбачене на безпровальній ланцюговій колосниковій решітці БЦР 3040х 6500.

### 2.1 Геометричні розміри топкової камери та розрахункові параметри її елементів

Топкова камера котельної установки, яку розраховують, уявляє з себе об'єм досить складної конфігурації з високо піднятим переднім та низько спущеним заднім склепіннями.

Загальний вигляд та основні розміри топкової камери приведені на рисунку 2.1.

2.1.1 Довжина колосникової решітки, яку виміряли між вісями валів, мм

$$L=6500.$$

2.1.2 Перекриття решітки уздовж, яке приймається від вісі переднього валу до площини фронтної стіни, мм

$$l_n=1600.$$

2.1.3 Довжина активної частини колосникової решітки, мм

$$L_a = L - l_n = 6500 - 1600 = 4900.$$

2.1.4 Ширина решітки конструктивна, мм

$$A = 3040.$$

2.1.5 Перекриття решітки по ширині балками, що охолоджуються, мм

$$a_n= 30.$$

2.1.6 Активна ширина решітки, мм

$$a_a = A - 2 \cdot a_n = 3040 - 2 \cdot 30 = 2980.$$

2.1.7 Площа активної поверхні решітки, м<sup>2</sup>

$$R = L_a \cdot a_a = 4900 \cdot 2980 \cdot 10^{-6} = 14,6.$$

2.1.8 Товщина шару палива на колосниковій решітці, мм

$$S_m = 200.$$

2.1.9 Висота неекраниваних бічних стін топки від площини колосникової решітки до початку бічного екрану, мм

$$h_{н.э} = 2950.$$

2.1.10 Ширина топки в межах неекраниваних стін, мм

$$a_{н.э} = 3150.$$

2.1.11 Ширина активного об'єму топки в межах розміщення настінних екранів, мм

$$a = 3310.$$

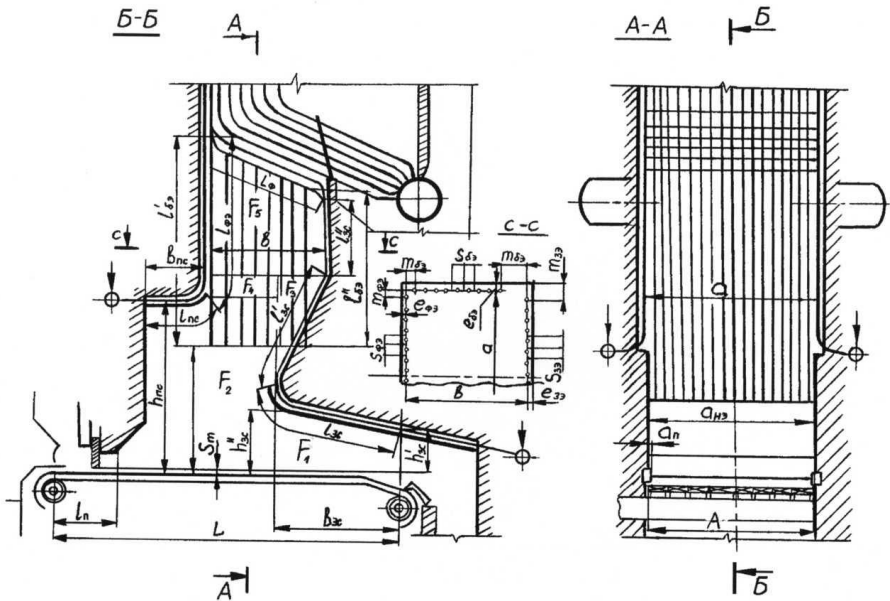


Рисунок 2.1 – Топкова камера котла ТС-20

2.1.12 Висота переднього склепіння над площиною колосникової решітки, мм

$$h_{н.с} = 3200.$$

2.1.13 Виліт переднього склепіння в бік топки, мм

$$b_{н.с} = 1000.$$

2.1.14 Довжина фронтного екрану, що закритий хромітовою масою, мм

$$l_{n.c} = 1000.$$

2.1.15 Довжина відкритої частини фронтного екрану, мм

$$l_{\phi.з} = 2700.$$

2.1.16 Висота заднього склепіння над площиною колосникової решітки біля шлакознімача, мм

$$h'_{зс} = 760.$$

2.1.17 Висота заднього склепіння над площиною колосникової решітки біля виходу склепіння в топку, мм

$$h''_{зс} = 1160.$$

2.1.18 Виліт заднього склепіння в бік об'єму топки, мм

$$b_{зс} = 2600.$$

2.1.19 Довжина заднього екрану, закритого хромітовою масою, мм

$$l_{зс} = 2850.$$

2.1.20 Кут нахилу нижньої частини задньої стіни до вертикальної площини, град

$$\alpha_{зс} = 30.$$

2.1.21 Довжина похилої частини заднього відкритого екрану, мм

$$l'_{зс} = 2600.$$

2.1.22 Довжина вертикальної частини заднього відкритого екрану, мм

$$l''_{зс} = 1400.$$

2.1.23 Довжина площини, яка проходить крізь перший ряд фестона в межах між заднім та фронтним екранами, мм

$$l_{\phi} = 2470.$$

2.1.24 Глибина топки в верхній призматичній частині, мм

$$b = 2300.$$

2.1.25 Діаметр труб екранних площин, мм

$$d = 83.$$

2.1.26 Крок труб в задньому екрані, мм

$$S_{з.з} = 185.$$

2.1.27 Відносний крок труб заднього екрану, мм

$$S_{з.з}/d = 185/83 = 2,23.$$

2.1.28 Відстань від вісі труб заднього екрану до внутрішньої площини стіни, мм

$$e_{3,э} = 50.$$

2.1.29 Відносна відстань труб заднього екрану

$$e_{3,э} / d = 50/83 = 0,6.$$

2.1.30 Відстань крайньої труби заднього екрану від площини бічного екрану, мм

$$m_{3,э} = 185.$$

2.1.31 Кількість труб у задньому екрані, шт.

$$n_{3,э} = \frac{a - 2 \cdot m_{3,э}}{S_{3,э}} + 1 = \frac{3310 - 2 \cdot 185}{185} + 1 = 17.$$

2.1.32 Крок труб у фронтальному екрані, мм

$$S_{ф,э} = 185.$$

2.1.33 Відносний крок труб фронтального екрану

$$S_{ф,э} / d = 185/83 = 2,23.$$

2.1.34 Відстань вісей труб фронтального екрану від площини стіни, мм

$$e_{ф,э} = 50.$$

2.1.35 Відносна відстань труб фронтального екрану

$$e_{ф,э} / d = 50/83 = 0.6.$$

2.1.36 Відстань крайньої труби фронтального екрану від площини бічного екрану, мм

$$m_{ф,э} = 175.$$

2.1.37 Кількість труб у фронтальному екрані, шт.

$$n_{ф,э} = \frac{a - 2 \cdot m_{ф,э}}{S_{ф,э}} + 1 = \frac{3310 - 2 \cdot 175}{185} + 1 = 17.$$

2.1.38 Крок труб у бічних екранах, мм

$$S_{б,э} = 185.$$

2.1.39 Відносний крок труб у бічних екранів

$$S_{б,э} / d = 185/83 = 2,23.$$

2.1.40 Відстань вісей труб бічного екрану від площини стіни, мм

$$e_{б,э} = 50.$$

2.1.41 Відносна відстань труб бічного екрану

$$e_{б,э} / d = 50/83 = 0.6.$$

2.1.42 Відстань від крайньої труби бічного екрану до площини фронтального екрану, мм

$$m'_{б,э} = 92,5.$$

2.1.43 Кількість труб у кожному з бічних екранів, шт.

$$n_{б.э} = 10.$$

2.1.44 Ширина кожного бічного екрану, мм

$$b_{б.э} = (n_{б.э} - 1) \cdot S_{б.э} = (10 - 1) \cdot 185 = 1665.$$

2.1.45 Освітлена довжина труб бічного екрану біля фронтної стіни, мм

$$l'_{б.э} = 3600.$$

2.1.46 Освітлена довжина труб бічного екрану по задній межі екрану, мм

$$l''_{б.э} = 2960.$$

2.1.47 Площа поверхонь, які обмежують активний об'єм топки по задній стіні, м<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} F_{з.с} &= [(h'_{з.с} - S_m) + l_{з.с}] \cdot a_{н.э} + (l'_{з.с} + l''_{з.с}) \cdot a = \\ &= [(760 - 200) + 2850] \cdot 3150 \cdot 10^{-6} + (2600 + 1400) \cdot 3310 \cdot \\ &10^{-6} = 24, 0. \end{aligned}$$

2.1.48 Площа поверхонь, які обмежують активний об'єм топки по фронтній стіні, м<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} F_{ф.с} &= (h_{н.с} - S_m) \cdot a_{н.э} + (l_{н.с} + l_{ф.э}) \cdot a = \\ &= (3200 - 200) \cdot 3150 \cdot 10^{-6} + (1000 + 2700) \cdot 3310 \cdot 10^{-6} = 21, 7. \end{aligned}$$

2.1.49 Площа поверхні, яка проходить крізь перший ряд труб фестона, м<sup>2</sup>

$$F_{\phi} = l_{\phi} \cdot a = 2470 \cdot 3310 \cdot 10^{-6} = 8, 2.$$

2.1.50 Площа поверхні бічної стіни (рис.2.1), м<sup>2</sup>

$$F_{б.с} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 = 16, 5.$$

2.1.51 Повна поверхня стін топки, включаючи площину, що проходить крізь перший ряд труб фестона, м<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} F_{см} &= F_{з.с} + F_{ф.с} + F_{\phi} + 2 \cdot F_{б.с} = 24, 0 + 21, 7 + 8, 2 + 2 \cdot 16, 5 \\ &= 86, 9. \end{aligned}$$

2.1.52 Активний об'єм топки, м<sup>3</sup>

$$V_m = F_{б.с} \cdot a = 16, 5 \cdot 3310 \cdot 10^{-3} = 54, 6.$$

2.1.53 Кутові коефіцієнти настінних незакритих бічних, фронтного і заднього екранів, що мають однакові відносні кроки і відносні відстані від стін

$$\chi_{откр} = 0,78.$$

2.1.54 Кутові коефіцієнти екранів, закритих хромітовою масою, і поверхні, що проходять крізь перший ряд фестона

$$\chi_{закр} = \chi_{лл.кп} = 1.$$

2.1.55 Коефіцієнт забруднення відкритих екранів прийнятий [1]

$$\xi_{откр} = 0,6.$$

2.1.56 Коефіцієнт забруднення екранів, закритих хромітовою масою [1]

$$\xi_{откр} = 0,2.$$

2.1.57 Коефіцієнт теплової ефективності відкритих екранів

$$\Psi_{откр} = \chi_{откр} \cdot \xi_{откр} = 0,78 \cdot 0,6 = 0,47.$$

2.1.58 Коефіцієнт теплової ефективності площини, що проходить крізь перший ряд котельного пучка

$$\Psi_{кп} = \chi_{кп} \cdot \xi_{откр} = 1 \cdot 0,6 = 0,6.$$

2.1.59 Коефіцієнт теплової ефективності екранів, що закриті хромітовою масою

$$\Psi_{закр} = \chi_{закр} \cdot \xi_{закр} = 1 \cdot 0,2 = 0,2.$$

2.1.60 Площа поверхонь стін топки, на яких розміщені відкриті екрани, м<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} F_{э.см} &= l_{ф.э} \cdot a + (l'_{з.с} + l''_{з.с}) \cdot a + 2 \cdot 0,5 \cdot (l'_{б.э} + l''_{б.э}) \cdot b_{б.э} = \\ &= [(2700 \cdot 3310) + (2600 + 1400) \cdot 3310 + 2 \cdot 0,5(3600 + 2950) \cdot \\ &1665] \cdot 10^{-6} = 33,09. \end{aligned}$$

2.1.61 Площа поверхні площини, що проходить крізь перший ряд фестона, м<sup>2</sup>

$$F_{к.п} = l_{ф} \cdot a = 2470 \cdot 3310 \cdot 10^{-6} = 8,18.$$

2.1.62 Площа поверхонь екранів, що закриті хромітовою масою, м

$$F_{см.з.э} = (l_{п.с} + l_{з.с}) \cdot a_{н.э} = (1000 + 2850) \cdot 3150 \cdot 10^{-6} = 12,13.$$

2.1.63 Сумарна ефективна променевосприймаюча поверхня топки, м<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \sum \psi \cdot F_{см} &= \psi_{откр} \cdot F_{э.см} + \psi_{к.п} \cdot F_{к.п} + \psi_{закр} \cdot F_{см.з.э} = \\ &= 0,47 \cdot 33,09 + 0,6 \cdot 8,18 + 0,2 \cdot 12,13 = 22,90. \end{aligned}$$

2.1.64 Середнє значення коефіцієнта теплової ефективності

$$\psi_{cp} = \frac{\Sigma \psi \cdot F_{cm}}{F_{\Sigma, cm} + F_{к,п} + F_{cm,з.э}} = \frac{22,90}{33,09 + 8,18 + 12,13} = 0,43.$$

2.1.65 Ефективна товщина випромінюючого шару, м

$$S = 3,6 \frac{V_m}{F_{cm} + R} = 3,6 \frac{54,6}{86,9} = 2,26.$$

2.1.66 Співвідношення між площею дзеркала горіння та повною поверхнею стін топки

$$\rho = \frac{R}{F_{cm}} = \frac{14,6}{86,9} = 0,17.$$

## 2.2 Розрахунок теплообміну в топці

2.2.1 Коефіцієнт надлишку повітря в топці прийнято

$$\alpha_m = 1,30.$$

2.2.2 Присос повітря в топку прийнято

$$\Delta \alpha_m = 0,10.$$

2.2.3 Температура холодного повітря, °С

$$t_{x.6} = 30.$$

2.2.4 Ентальпія повітря при цій температурі, МДж/кг

$$I_{x.6}^0 = 0,099.$$

2.2.5 Температура гарячого повітря прийнята, °С

$$t_{z.6} = 100.$$

2.2.6 Ентальпія повітря при цій температурі, МДж/кг

$$I_{z.6}^0 = 0,329.$$

2.2.7 Тепло, яке вноситься в топку разом з повітрям, МДж/кг

$$\begin{aligned} Q_6 &= (\alpha_m - \Delta \alpha_m) \cdot I_{Г.В}^0 + \Delta \alpha_m \cdot I_{Х.В}^0 = \\ &= (1,3 - 0,10) \cdot 0,329 + 0,10 \cdot 0,099 = 0,405. \end{aligned}$$

2.2.8 Корисне тепловиділення в топці, МДж/кг

$$Q_m = Q_p^v \frac{100 - q_3 - q_6}{100} + Q_6 = 8,60 \frac{100 - 0,5 - 0,1}{100} + 0,405 = 8,95.$$

2.2.9 Теоретична температура горіння, °C

$$g_a = 1400.$$

2.2.10 Температура продуктів згорання в кінці топки припускається, °C

$$g''_m = 1000.$$

2.2.11 Ентальпія продуктів згорання при цій температурі, МДж/кг

$$I''_m = 5,797.$$

2.2.12 Середня об'ємна теплоємність продуктів згорання одиниці маси палива, МДж/(кг·К)

$$V\bar{c} = \frac{Q_m - I''_m}{V_a - V''_m} = \frac{8,95 - 5,797}{1400 - 1000} \cdot 10^3 = 7,86.$$

2.2.13 Коефіцієнт збереження тепла

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{к.у} + q_5} = 1 - \frac{0,5}{88,6 + 0,5} = 0,99.$$

2.2.14 Тиск продуктів згорання у топці приймається, бар

$$P = 1.$$

2.2.15 Об'ємна частка водяної пари в продуктах згорання в топці

$$r_{H_2O} = 0,252.$$

2.2.16 Об'ємна частка трьохатомних газів в продуктах згорання

$$r_{RO_2} = 0,124.$$

2.2.17 Сумарний парціальний тиск водяної пари і трьохатомних газів, бар

$$P_n = (r_{H_2O} + r_{RO_2}) \cdot p = (0,252 + 0,124) \cdot 1 = 0,376.$$

2.2.18 Оптична товщина газового потоку полум'я

$$\tau_r = \left( \frac{0,78 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \sqrt{p_n \cdot s}} - 0,1 \right) (1 - 0,37 \cdot T_m^n \cdot 10^{-3}) \cdot p_n \cdot s =$$

$$= \left( \frac{0,78 + 1,6 \cdot 0,252}{3,16 \sqrt{0,376 \cdot 2,26}} - 0,1 \right) (1 - 0,37 \cdot 1273 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,376 \cdot 2,26 = 0,138.$$

2.2.19 Середній діаметр золових часток, мкм

$$d_3 = 20.$$

2.2.20 Оптична товщина потоку золових часток

$$\tau_3 = \frac{5 \cdot \mu_{3д} \cdot P_n \cdot S}{3 \sqrt{T_m'^2 \cdot d_3^2}} = \frac{5 \cdot 10,6 \cdot 0,376 \cdot 2,26}{3 \sqrt{1273^2}} = 0,052.$$

2.2.21 Середня ефективна оптична товщина напівсвітлого пиловугільного полум'я

$$\tau_\phi = \tau_r + \tau_3 = 0,138 + 0,052 = 0,19.$$

2.2.22 Ступінь чорноти факелу напівсвітнього полум'я

$$a_\phi = 1 - e^{-\tau_\phi} = 1 - e^{-0,19} = 0,173.$$

2.2.23 Ступінь чорноти топки

$$a_m = \frac{a_\phi + (1 - a_\phi) \cdot \rho}{1 - (1 - a_\phi)(1 - \psi_{cp})(1 - \rho)} = \frac{0,173 + (1 - 0,173) \cdot 0,17}{1 - (1 - 0,173)(1 - 0,43)(1 - 0,17)} = 0,516.$$

2.2.24 Відносна відстань зони максимальних температур від низу топки прийнято

$$X = 0.$$

2.2.25 Коефіцієнт, який визначається місцеположенням максимуму температур

$$M = 0,59 - 0,5X = 0,59.$$

2.2.26 Розрахункова витрата палива (визнана раніше), кг/с

$$B_p = 1,46.$$

2.2.27 Температура продуктів згорання в кінці топки, °С

$$\vartheta''_T = \frac{T_a}{M \left( \frac{\sigma_0 \cdot a_m \cdot (\Sigma \psi \cdot F_{cm}) \cdot T_a^3}{\varphi \cdot B_p \cdot V c_{cp}} \right)^{0,6} + 1} - 273 =$$

$$= \frac{1673}{0,59 \left( \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,516 \cdot 22,90 \cdot 1673^3}{0,99 \cdot 1,46 \cdot 7,86} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1042.$$

Розбіжність із попередньо прийнятим значенням менше 50 °С. Уточнення середньої об'ємної теплоємності та подальшого її розрахунку не потрібно.

2.2.28 Ентальпія продуктів згоряння, відповідна цій температурі, МДж/кг

$$I''_m = 5,868.$$

2.2.29 Кількість тепла, відданого газами в топці, МДж/кг

$$Q_{л} = \varphi \cdot (Q_m - I''_m) = 0,99 \cdot (8,95 - 5,868) = 3,05.$$

2.2.30 Видиме енерговиділення дзеркала горіння при номінальному навантаженні, кВт/м<sup>2</sup>

$$q_R = \frac{B_p \cdot Q_p^p}{R} = \frac{1,46 \cdot 8,6 \cdot 10^3}{14,6} = 860,$$

що не перевищує допустимого значення.

2.2.31 Видиме енерговиділення об'єму топкової камери, кВт/м<sup>2</sup>

$$q_V = \frac{B_p \cdot Q_p^p}{V_m} = \frac{1,46 \cdot 8,6 \cdot 10^3}{54,6} = 230,$$

що також не перевищує максимально допустимого значення.

## 3 ПРИКЛАД ОПИСУ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕПЛООВОГО РОЗРАХУНКУ ТОПКИ КОТЕЛЬНОЇ УСТАНОВКИ З ФАКЕЛЬНИМ СПОСОБОМ СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА

Приведений тепловий розрахунок топкової камери зроблено з припущенням, що котельна установка буде мати паропроодуктивність 14кг/с (50т/год) і забезпечить виробництво пари тиском 4 МПа з температурою перегріву 440°C при температурі поживної води 145°C. Експлуатація котельної установки передбачена на горючих сланцях розрізу «Сиргола» Естонії. Прототипом конструкції є котельна установка Б-50-40.

Розмел палива передбачений у двох системах пилоприготування з молотковими млинами та прямим вдуванням пилу палива. Розташування млинів фронтове з поворотом у 8 град до поздовжнього осевого перетину топки. Сушильним агентом прийнято повітря, нагріте до 300°C.

У зв'язку з прийнятим високим підігріванням повітря компоновка конвективних поверхонь повітропідігрівача та економайзера припускається двоступеневою. Проектом передбачено сухе шлаковиведення. Розрахункова схема показана на рисунку 3.1.

### 3.1 Конструктивні характеристики топки

3.1.1 Ширина активного об'єму топки, мм

$$a = 5400.$$

3.1.2 Глибина активного об'єму топки, мм

$$b = 4800.$$

3.1.3 Ширина устя холодної воронки, мм

$$l_{х.в.} = 800.$$

3.1.4 Кут нахилу схилів холодної воронки, град

$$\alpha_{х.в.} = 55.$$

3.1.5 Висота холодної воронки, мм

$$h = \frac{b - l_{х.в.}}{2} \cdot tg \alpha_{х.в.} = \frac{4800 - 800}{2} \cdot tg 55 = 2850.$$

3.1.6 Довжина схилу холодної воронки в межах активного об'єму топки, мм

$$l_{\text{СК}} = \frac{b-b_{\text{огр}}}{2} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_{\text{х.в}}} = \frac{4800-2800}{2 \cdot \cos 55} = 1740.$$

3.1.7 Розмір площини, яка обмежує активний об'єм топки по глибині, мм

$$b_{\text{огр}} = \frac{b+l_{\text{х.в}}}{2} = \frac{4800+800}{2} = 2800.$$

3.1.8 Кут нахилу найвищого рівня (стелі) топки, град

$$\alpha_{\text{ном}} = 30.$$

3.1.9 Кут нахилу котельного пучка (фестона), град

$$\alpha_{\text{к.п}} = 30.$$

3.1.10 Розмір стелі в напрямку глибини топки, мм

$$l_{\text{пот}} = \frac{b/2}{\cos \alpha_{\text{пот}}} = \frac{4800}{2} \cdot \frac{1}{\cos 30} = 2790.$$

3.1.11 Довжина площини, яка проходить крізь перший ряд котельного пучка (фестона), мм

$$l_{\text{к.п}} = 2790.$$

3.1.12 Висота пірамідальної частини топки, мм

$$h_{\text{в.ч}} = 1390.$$

3.1.13 Висота призматичної частини топки, мм

$$h = 6200.$$

3.1.14 Екранні поверхні в топці виконані з труб діаметром, мм

$$d = 60.$$

3.1.15 Крок труб у задньому, фронтovому та бічних екранах, мм

$$S_3 = 70.$$

3.1.16 Відстань між всіяма труб та площинами стін, мм

$$e_3 = 100.$$

3.1.17 Відстань крайніх труб заднього та фронтovого екранів від площин бічних екранів, мм

$$m = 145.$$

3.1.18 Кількість труб в задньому і фронтovому екранах, шт.

$$n_3 = n_{\text{ф}} = 74.$$

3.1.19 Відстань крайніх труб бічних екранів від площин фронтovого та заднього екранів, мм

$$n = 55.$$

3.1.20 Кількість труб у кожному з бічних екранів, шт.

$$n_6 = 68.$$

3.1.21 Відносний крок труб екранів

$$S_3/d = 70/60 = 1,17.$$

3.1.22 Відносна відстань труб від площин стін

$$e_3/d = 100/60 = 1,67.$$

3.1.23 Площа поверхонь, які обмежують активний об'єм топки, м<sup>2</sup>:

а) по фронтній стіні

$$F_{ф.см} = (0,5 \cdot b_{огр} + l_{ск} + h + l_{ном}) \cdot a = (0,5 \cdot 2800 + 1740 + 6200 + 2790) \cdot 5400 \cdot 10^{-6} = 65,50;$$

б) по бічній стіні

$$F_{ф.см} = \frac{b + b_{огр}}{2} \cdot \frac{h_{х.в}}{2} + b \cdot h + \frac{b \cdot h_{в.ч}}{2} = \left( \frac{4800 + 2800}{2} \cdot \frac{2860}{2} + 4800 \cdot 6200 + \frac{4800 \cdot 1300}{2} \right) \cdot 10^{-6} = 38,53;$$

в) по задній стіні

$$F_{з.см} = (0,5 \cdot b_{огр} + l_{ск} + h) \cdot a = (0,5 \cdot 2800 + 1740 + 6200) \cdot 5400 \cdot 10^{-6} = 50,44;$$

г) по площині, яка проходить крізь перший ряд фестона

$$F_{ф} = l_{кн} \cdot a = 2790 \cdot 5400 \cdot 10^{-6} = 15,07.$$

3.1.24 Сумарна площа поверхонь, які обмежують активний об'єм топки, м<sup>2</sup>

$$F_{см} = F_{ф.см} + F_{з.см} + 2 \cdot F_{б.см} + F_{ф} = 65,50 + 50,44 + 2 \cdot 38,53 + 15,07 = 208,07.$$

3.1.25 Об'єм активного простору топки, м<sup>3</sup>

$$V_m = F_{б.см} \cdot a = 38,53 \cdot 5400 \cdot 10^{-3} = 208,1.$$

3.1.26 Кутовий коефіцієнт настінних екранів [1]

$$\chi_3 = 0,98.$$

3.1.27 Кутовий коефіцієнт площини, яка проходить крізь перший ряд фестона

$$\chi_{ф} = 1.$$

3.1.28 Коефіцієнт забруднення променевосприймаючих поверхонь

$$\xi = 0,25.$$

3.1.29 Коефіцієнт теплової ефективності настінних екранів

$$\psi_{\text{э}} = \chi_{\text{э}} \cdot \xi = 0,98 \cdot 0,25 = 0,245.$$

3.1.30 Коефіцієнт теплової ефективності площини, яка проходить крізь перший ряд фесто́на

$$\psi_{\text{ф}} = \chi_{\text{ф}} \cdot \xi = 1 \cdot 0,25 = 0,25.$$

3.1.31 Площа поверхонь, які зайняті амбразурами пальників, м<sup>2</sup>

$$F_2 = 6,0.$$

3.1.32 Сумарна ефективна променевосприймаюча поверхня, м<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} \sum \psi \cdot F_{cm} &= (F_{cm} - F_{\text{ф}} - F_{\text{г}}) \cdot \psi_{\text{э}} + F_{\text{ф}} \cdot \psi_{\text{ф}} = \\ &= (208,7 - 15,07 - 6,0) \cdot 0,245 + 15,07 \cdot 0,25 = 49,74. \end{aligned}$$

3.1.33 Середнє значення коефіцієнта теплової ефективності

$$\bar{\psi} = \sum \psi \cdot F_{cm} / F_{cm} = 49,74 / 208,07 = 0,24.$$

3.1.34 Оптична товщина випромінюючого шару топкового середовища, м

$$S = 3,6 \frac{V_m}{F_{cm}} = 3,6 \frac{208,1}{208,07} = 3,6.$$

## 3.2 Розрахунок теплообміну в топці

3.2.1 Присос повітря в топку та всистемупилоприготування відповідно прийнято

$$\Delta\alpha_m = 0,10;$$

$$\Delta\alpha_{n.n.y} = 0,03.$$

3.2.2 Температура холодного повітря (прийнята раніше), °C

$$t_{x.g} = 30.$$

3.2.3 Ентальпія повітря при цій температурі, МДж/кг

$$I_{x.g}^o = 0,10.$$

3.2.4 Температура гарячого повітря, °C

$$\vartheta_{z.g} = 300.$$

3.2.5 Ентальпія повітря при цій температурі, МДж/кг

$$I_{z.g}^o = 1,002.$$

3.2.6 Кількість тепла, яка вноситься в топку разом з повітрям, МДж/кг

$$\begin{aligned} Q_g &= (\alpha_m - \Delta\alpha_m - \Delta\alpha_{n.n.y}) \cdot I_{z.g}^o + (\Delta\alpha_m + \Delta\alpha_{n.n.y}) \cdot I_{x.g}^o = \\ &= (1,25 - 0,10 - 0,03) \cdot 1,002 + (0,10 + 0,03) \cdot 0,10 = 1,135. \end{aligned}$$

3.2.7 Рециркуляція продуктів згоряння в топку не передбачена.

3.2.8 Корисне тепловиділення в тощі, МДж/кг

$$Q_m = Q_p^p \frac{100 - q_3 - q_6}{100} + Q_B = 8,60 \frac{100 - 0,5 - 0,1}{100} + 1,135 = 9,683.$$

3.2.9 Теоретична температура горіння, яка відповідає корисному тепловиділенню в тощі, °C

$$\vartheta_a = 1421.$$

3.2.10 Температура продуктів згорання в кінці топки передбачається, °C

$$\vartheta''_m = 1000.$$

3.2.11 Ентальпія продуктів згорання при цій температурі, МДж/кг

$$I''_m = 5,797.$$

3.2.12 Середня сумарна теплоємність продуктів згорання в інтервалі температур від  $\vartheta''_m$  до  $\vartheta_a$ , кДж/(кг·К)

$$\bar{V}c_{cp} = \frac{Q_m}{\vartheta_a - \vartheta''_m} = \frac{9,683 - 5,797}{1421 - 1000} \cdot 10^3 = 9,23.$$

3.2.13 Коефіцієнт збереження тепла

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{к.у} + q_5} = 1 - \frac{0,5}{86,6 + 0,5} = 0,99$$

3.2.14 Відносне місцеположення максимуму температур передбачається

$$x_{max} = 0,3.$$

3.2.15 Параметр температурного поля

$$M = 0,59 - 0,5 \cdot x_{max} = 0,59 - 0,5 \cdot 0,3 = 0,44.$$

3.2.16 Тиск продуктів згорання в тощі приймається, бар

$$P = 1.$$

3.2.17 Об'ємна частка водяної пари в продуктах згорання в тощі

$$r_{H_2O} = 0,252.$$

3.2.18 Об'ємна частка трьохатомних газів у продуктах згорання

$$r_{RO_2} = 0,124.$$

3.2.19 Сумарний парціальний тиск водяної пари та трьохатомних газів, бар

$$P_n = (r_{H_2O} + r_{RO_2}) \cdot P = (0,252 + 0,124) \cdot 1 = 0,376.$$

3.2.20 Оптична товщина газового потоку полум'я

$$\tau_r = \left( \frac{0,78 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{3,16 \sqrt{p_n \cdot s}} - 0,1 \right) (1 - 0,37 \cdot T''_m \cdot 10^{-3}) \cdot p_n \cdot s =$$

$$= \left( \frac{0,78+1,6 \cdot 0,252}{3,16 \cdot \sqrt{0,376 \cdot 3,6}} - 0,1 \right) (1 - 0,37 \cdot 1273 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,376 \cdot 3,6 = 0,159.$$

3.2.21 Середній діаметр зольних частинок приймається, мкм  
 $d_3 = 16.$

3.2.22 Оптична товщина потоку зольних частинок

$$\tau_{\text{зол}} = \frac{b \cdot \mu_{\text{зол}} \cdot p_n \cdot s}{\sqrt[3]{T_m''^2 \cdot d_3^2}} = \frac{5 \cdot 103,4 \cdot 0,376 \cdot 3,6}{\sqrt[3]{1273^2 \cdot 16^2}} = 0,938.$$

3.2.23 Оптична товщина потоку коксових частинок у факелі полум'я

$$\tau_{\text{кокс}} = 0,05 \cdot p_n \cdot s = 0,05 \cdot 0,376 \cdot 3,6 = 0,068.$$

3.2.24 Середня оптична товщина напівсвітнього пиловугільного полум'я

$$\tau_{\phi} = \tau_{\text{зол}} + \tau_{\text{кокс}} = 0,159 + 0,938 + 0,068 = 1,165.$$

3.2.25 Ступінь чорноти факелу напівсвітнього полум'я

$$a_{\phi} = 1 - e^{-\tau_{\phi}} = 1 - e^{-1,165} = 0,688.$$

3.2.26 Ступінь чорноти топки

$$a_m = \frac{a_{\phi}}{a_{\phi} + (1 - a_{\phi}) \cdot \psi} = \frac{0,688}{0,688 + (1 - 0,688) \cdot 0,24} = 0,9.$$

3.2.27 Випромінювальна спроможність абсолютно чорного тіла, кВт/(м<sup>2</sup>·К)

$$\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-11}.$$

3.2.28 Розрахункова витрата палива, яка визначена раніше, кг/с

$$B_p = 2,64.$$

3.2.29 Температура продуктів згоряння на виході з топки, °С

$$t_m'' = \frac{T_a}{M \left( \frac{\sigma_0 \cdot a_m \cdot \psi \cdot F_{cm} \cdot T_a^3}{\phi \cdot B_p \cdot V \cdot c_{cp}} \right)^{0,6} + 1} - 273 =$$

$$= \frac{1694}{0,44 \left( \frac{5,67 \cdot 10^{-11} \cdot 0,9 \cdot 49,74 \cdot 1694^3}{0,99 \cdot 2,64 \cdot 9,23} \right)^{0,6} + 1} - 273 = 1036.$$

Одержана розрахунком температура від раніше прийнятої відрізняється менше ніж на 50°C, тому уточнюючого розрахунку не потрібно.

3.2.30 Ентальпія продуктів згоряння, відповідна температурі 1036°C, МДж/кг

$$I''_m = 5,990.$$

3.2.31 Кількість тепла, яке передано в топці променистим теплообміном, МДж/кг

$$Q_l = \varphi \cdot (Q_m - I''_m) = 0,99 \cdot (9,683 - 5,990) = 3,656.$$

3.2.32 Видиме енерговиділення в об'ємі топки, кВт/м<sup>3</sup>

$$q_v = \frac{B \cdot Q_p^p}{V_m} = \frac{2,64 \cdot 8,60 \cdot 10^3}{208,1} = 109,1,$$

що не перевищує припущеного[1].

З розрахунку виходить, що за умовами горіння котельна установка Б-50-40 може бути використана для спалювання горючих сланців.

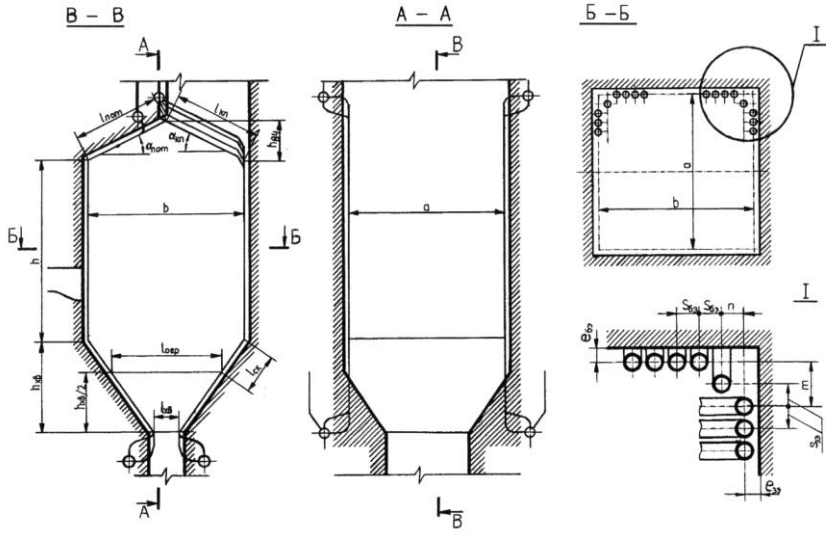


Рисунок 3.1 – Топкова камера котла Б-50-40

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Тепловой расчет котельных агрегатов: нормативный метод / В.В. Митор, И.Е. Дубовский, Э.С. Карасина и др.; под общ. ред. Н.В. Кузнецова. – 2-е изд., перераб. Москва: Энергия, 1973. - 296 с., илл.
2. Липов, Ю.М. Компонировка и тепловой расчет парогенератора : учеб. пособие / Ю.М. Липов, Ю.Ф. Самойлов, З.Г. Модель. Москва: Энергия, 1975. - 176 с., илл.
3. Александров, В.Г. Паровые котлы малой и средней мощности: учеб. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Энергия, 1972. - 200 с., илл.
4. Теплотехнический справочник / под ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. Т.1, 2-е изд., перераб. Москва: Энергия, 1976. 743 с., илл.
5. Теплотехнический справочник / под ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. Т.2, 2-е изд., перераб. Москва: Энергия, 1976. 896 с., илл.
6. Смирнов А.Д. Справочная энергетика. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Энергия, 1972. 424 с., илл.
7. Ривкин, С.Л., Теплофизические свойства воды водяного пара : таблицы / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. Москва: Энергия, 1980. - 76 с., илл.
8. Нечаев Е.В., Лубнин А.Ф. Механические топки для котлов малой и средней мощности. Москва: Энергия, 1968. 309 с., илл.
9. Либерман Н.Б., Мянковская М.Т. Справочник по проектированию котельных установок систем центрального теплоснабжения. Москва: Энергия, 1979. 224 с., илл.
10. Котлы малой и средней мощности и топочные устройства: каталог-справочник. Москва: НИИ Информтяжмаш., 1972. 203 с., илл.
11. Атлас котельных агрегатов / под ред. Кузнецова. Москва: Энергия, 1975. 158 с., илл.
12. Трикашний, М.В., Кузьменко А.А., Каюков Ю.М., Назаренко І.А. «Розрахунки палива»: Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Паливо та основи теорії горіння» для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» (освітня програма «Промислова і комунальна теплоенергетика») для всіх форм навчання. Запоріжжя : НУЗІП, 2022. 34 с.
13. Тепловой расчет промышленных парогенераторов: учеб. пособие / Частухин В.И., Заречанский Е.Л., Константинов С.М. и

др.; под. общ. ред. В.И.Частухина. Киев :Вища школа.1980. 184 с., илл.

14. Степанов Д.В., Корженко Є.С., Боднар А.А. Котельні установки промислових підприємств :навч. пос. Вінниця : ВНТУ, 2011. 120 с.

15. Волощук В.А., Денісов А.К., Трофимчук І.П. Котельні установки промислових підприємств : навч. пос. Рівне : НУВГП, 2013. 227 с.

16. Алабовський О.М., Боженко М.В. Проектування котелень промислових підприємств. Київ : Вища школа, 1992. 207 с.

## Додаток А

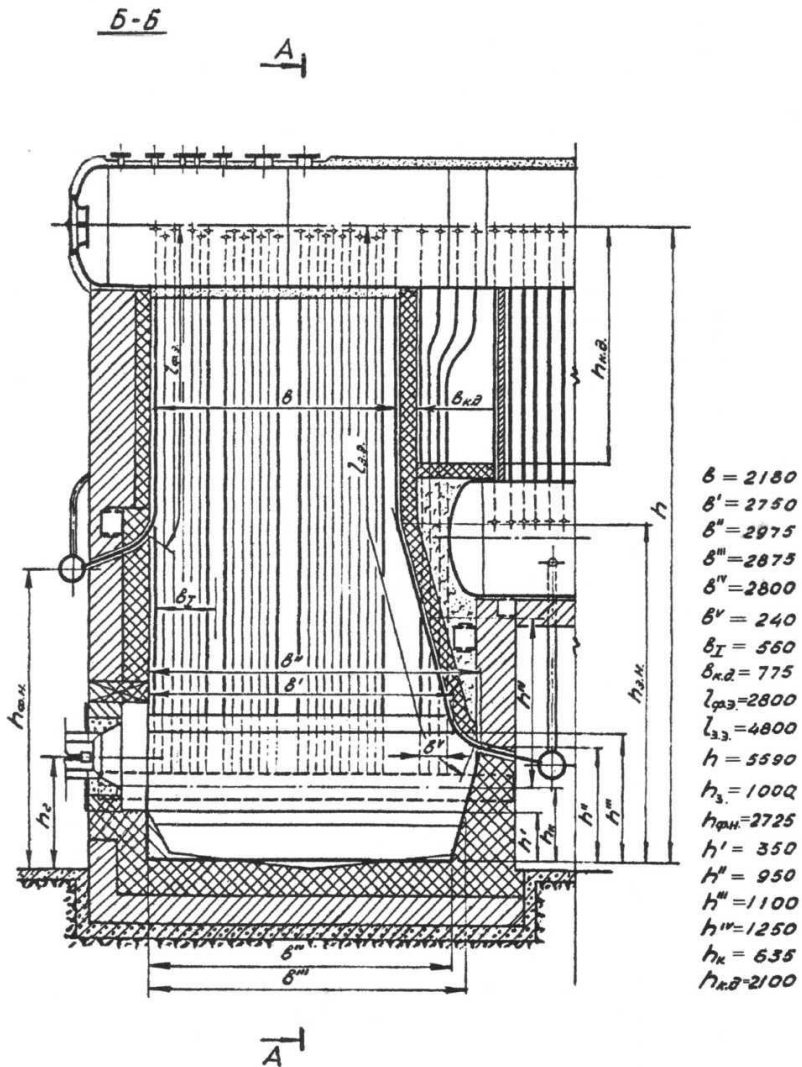


Рисунок А.1 – Топка та камера догорання котла ДКВР-10-13  
Повздовжній перетин





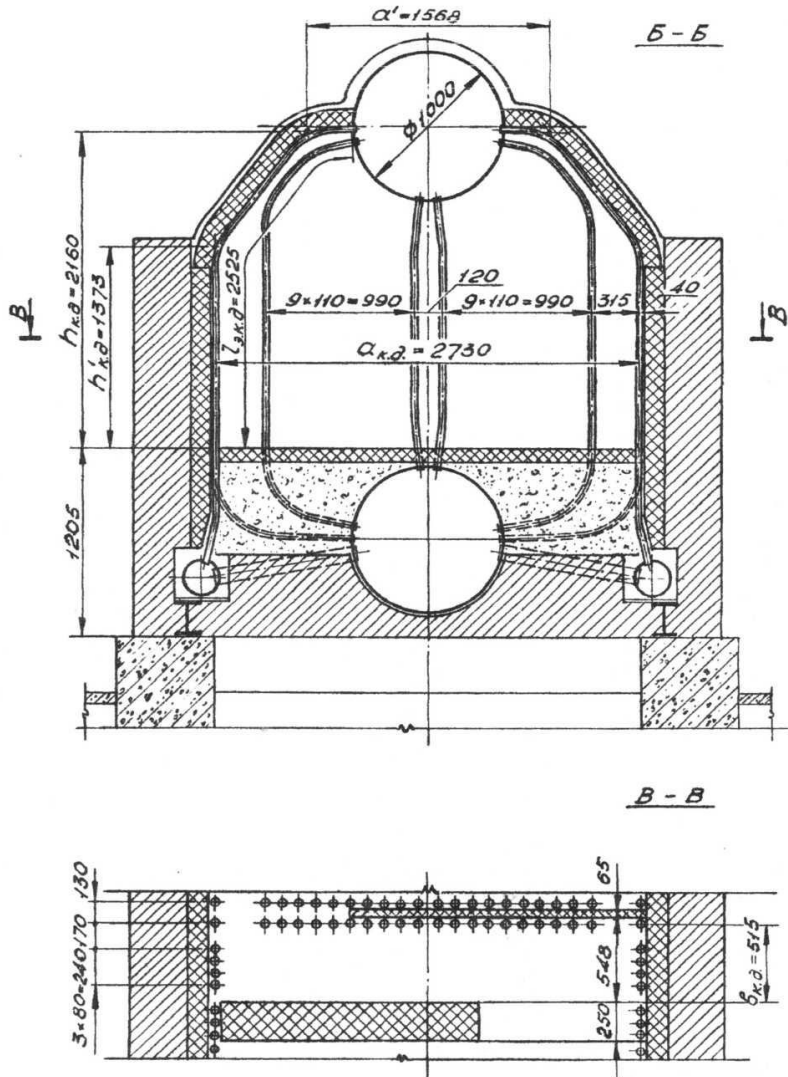


Рисунок А.4 – Топка та камера догорання котла ДКВР-6,5- 13

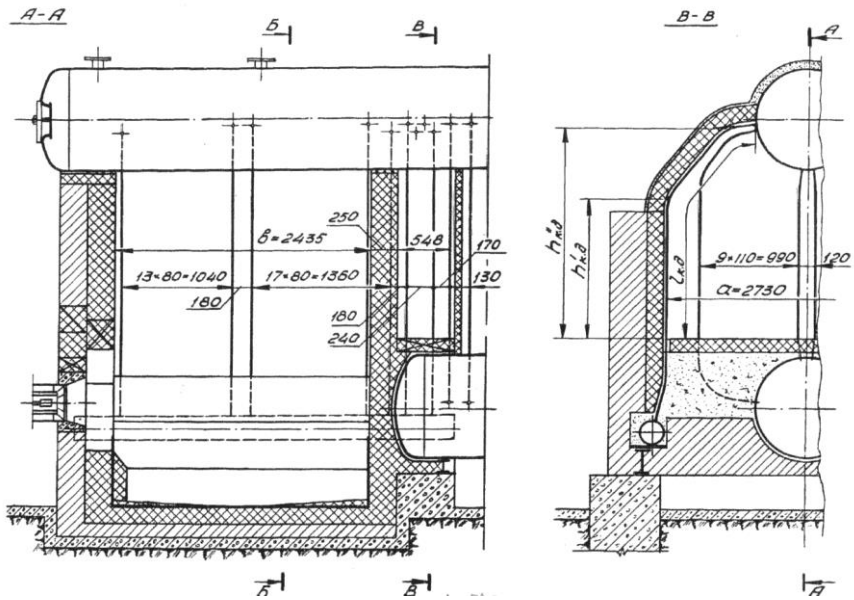


Рисунок А.5 – Топковая камера котла ДКВР -6.5-13.  
 Перетини А-А, В-В





Рисунок А.7 – Топкова камера котла ДКВР-4-13. Повздовжній перетин

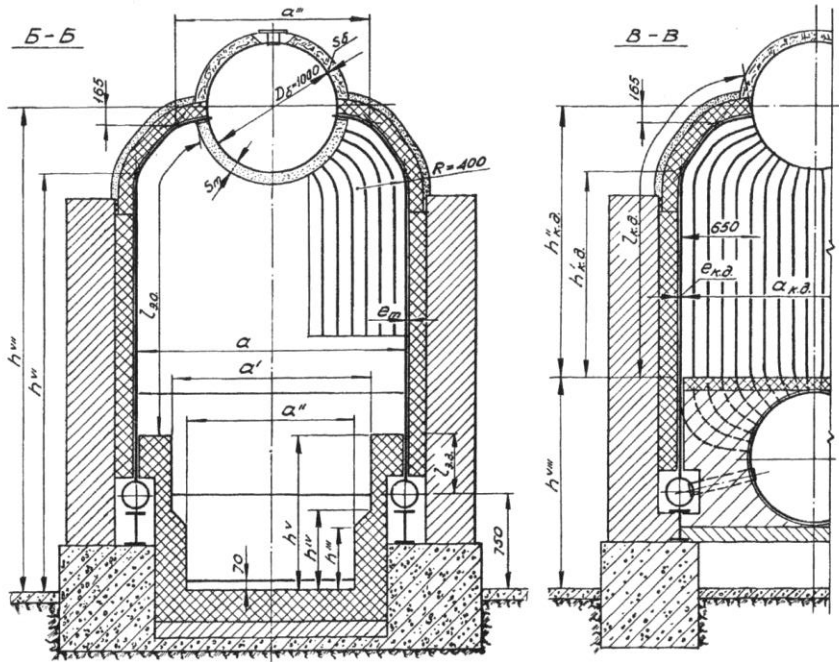


Рисунок А.8 – Топкова камера котла ДКВР-4-13. Поперечні перетини