

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ**

**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**Кафедра МiТЛiВ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання контрольних робіт з дисципліни  
« Теплоенергетика»,**

**для студентів заочної форми навчання освітнього ступеня  
бакалавр  
спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Ливарне  
виробництво чорних та кольорових металів та сплавів»**

**Запоріжжя, 2019**

Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з дисципліни «Теплоенергетика», для студентів заочної форми навчання освітнього ступеня бакалавр спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Ливарне виробництво чорних та кольорових металів та сплавів»/ Укл.:А.В.Пархоменко, Ю.П.Петруша – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2019. - 17 с.

Укладачі: А.В.Пархоменко, доцент, к.т.н.  
Ю.П.Петруша, доцент, к.т.н.

Рецензент: В.В.Луцьов професор, д.т.н.

Відповідальний  
за випуск: В.В.Луцьов професор, д.т.н.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
МіТЛВ  
Протокол №2  
від “26” жовтня 2019 р.

Рекомендовано до видання НМК ІФФ  
Протокол № 3  
від “12” 11 2019 р.

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

Контрольна робота спрямована на закріплення матеріалу отриманого студентами під час вивчення теоретичного курсу “Теплоенергетика”. Виконання роботи передбачає розгляд двох теоретичних питань та виконання розрахунку одного з теплоенергетичних процесів металургійного виробництва.

Контрольна робота виконується згідно з варіантами наведеними далі в методичних вказівках. Розгляд теоретичних питань передбачає докладне вивчення та викладення матеріалу згідно з темою завдання з наведенням необхідних схем, графіків, зображень тощо. Розрахункова частина завдання виконується згідно приклада наведеного в Додатку Б, варіант розрахункового завдання наведено в таблиці А1 Додатку А.

Контрольна робота виконується в окремому зошиті і оформлюється згідно СТП 15-96.

### ВАРІАНТИ ВИКОНАННЯ ЗАВДАННЯ

#### Варіант 1.

1. Енергоносії та їх розподіл.
2. Класифікація та характеристики вторинних енергоресурсів металургійного виробництва.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

#### Варіант 2.

1. Газозабезпечення заводів чорної металургії.
2. Утилізація тепла готового продукту та шлаків в металургії.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

#### Варіант 3.

1. Використання тепла в металургійних печах.
2. Утилізація тепла газів що відходять у металургійних печах.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 4.

1. Термодинамічні основи роботи теплової електростанції (ТЕС).
2. Аналіз економії палива за рахунок утилізації тепла газів що відходять в металургійних печах.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 5.

1. Котельне устаткування що використовується на підприємствах металургійної галузі.
2. Котли-утилізатори металургійного виробництва.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 6.

1. Турбінне устаткування ТЕС.
2. Утилізація тепла охолодження елементів печі.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 7.

1. Оснащення ТЕС та теплосбереження.
2. Енергоносії процесу коксування.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 8.√

1. Поршневі компресорні машини що використовуються при виробництві стисненого повітря на металургійних підприємствах.
2. Вторинні енергоресурси (ВЕР) коксового виробництва.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 9.

1. Лопатеві компресорні машини що використовуються при виробництві стисненого повітря на металургійних підприємствах.
2. Енергоносії доменного виробництва.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 10.

1. Вакуумні насоси що використовуються на підприємствах металургійного комплексу.
2. ВЕР доменного виробництва.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 11.

1. Термодинамічні основи отримання кисню.
2. Енергоносії мартенівського виробництва.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 12.

1. Устаткування для отримання кисню.
2. ВЕР мартенівського виробництва.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 13.

1. Класифікація та оцінка роботи пиловловлювачів.
2. Особливості теплоенергетики сталеплавильного агрегату двованної та безперервної дії.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 14.

1. Сухе механічне очищення газів на підприємствах металургійного комплексу.
2. Використання палива в нагрівальних печах прокатного виробництва.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 15.

1. Вологе очищення газів на підприємствах металургійного комплексу.
2. Використання ВЕР в прокатному виробництві.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 16.

1. Очищення газів металургійних печей за допомогою електричних фільтрів.
2. Виробництво та використання захисних газів на металургійних підприємствах.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 17.

1. Очищення газів в металургії від газоподібних шкідливих речовин.
2. Підвищення ефективності використання енергії в технологічних процесах металургійного виробництва.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 18.

1. Схеми очищення газів основних виробничих процесів металургійного комплексу.
2. Перспективи використання нетрадиційних джерел енергії в металургійному виробництві.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 19.

1. Водопостачання металургійних підприємств.
2. Теплоенергетика конверторного виробництва.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

## Варіант 20.

1. Очищення стічних вод на підприємствах металургійного комплексу.
2. Електропостачання заводів чорної металургії.
3. Розрахунок котла-утилізатора.

ДОДАТОК А

8

Вихідні данні до виконання розрахункової частини контрольної роботи

Таблиця А1.

Параметри димових газів перед котлом	Варіант																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$V_{до}$ , $M^3/h$	7500	6500	1000	8500	6000	9500	9000	8000	9000	7500	1000	1150	1450	1400	1250	1350	1050	1200	1300	1100
$t_{г}$ , °C	660	610	670	620	700	650	690	630	680	640	680	720	710	660	670	700	740	750	690	730
Склад димових газів																				
$CO_2$	11,2	14	13,5	12	12,6	11,4	11,9	12,7	13,1	12,3	11,2	14	13,5	12	12,6	11,4	11,9	12,7	13,1	12,3
$H_2O$	9,6	8,3	9,7	10,2	11,2	11,1	10,6	9	9,3	10,8	9,6	8,3	9,7	10,2	11,2	11,1	10,6	9	9,3	10,8
$O_2$	6,9	5,9	4,7	5,1	5,2	6,2	5,5	6,6	4,6	4,4	6,9	5,9	4,7	5,1	5,2	6,2	5,5	6,6	4,6	4,4
$N_2$	72,3	71,8	72,1	72,7	71	71,3	72	71,7	73	72,5	72,3	71,8	72,1	72,7	71	71,3	72	71,7	73	72,5
$P_1$ , МПа	1,75	1,6	1,85	1,8	1,5	1,9	1,65	1,95	1,55	1,7	4,8	4,6	4,3	4,7	4,1	4,5	5,0	4,4	4,2	4,9
Тиск пари в барабані котла																				

Приклад теплоенергетичного розрахунку котла-утилізатора КУ-125,  
встановленого за методичною пічкою.

### ЗАВДАННЯ:

Визначити продуктивність та температуру перегрітого пару.

### ВИХІДНІ ДАННІ:

Параметри димових газів перед котлом: витрати на годину  $V_{\text{од.г.}} = 125000 \text{ м}^3/\text{год}$ ; температура  $t_{\text{д}}^{\text{н}} = 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; склад, % :  $\text{CO}_2$  12,0;  $\text{H}_2\text{O}$  10,5;  $\text{O}_2$  5,5;  $\text{N}_2$  72.

Тиск пари в барабані котла  $p = 4,5 \text{ Мпа}$ . Величина продувки  $n = 8$  %. Частка підсмоктуємого повітря від кількості димових газів, надходячих до котла,  $\alpha = 0.05$ .

### КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ КОТЛА КУ-125:

Поверхні нагріву  $F$ ,  $\text{м}^2$ : передвімкненого випаровуючого пакету 110; пароперегрівача 114; випаровуючих секцій 1150; водяного економайзера 615; загальна 2019.

Живі перетини для проходу димових газів  $f_{\text{д}}$ ,  $\text{м}^2$ : передвімкненого випаровуючого пакету 13,2; пароперегрівача 10,3; випаровуючих секцій 10,3; водяного економайзера 9,4.

Живий перетин проходу пари  $f_{\text{п}} = 0,0276 \text{ м}^2$ .

Кількість рядів труб в пакеті по ходу димових газів  $z_2$ : передвімкненого випаровуючого пакету 12; пароперегрівача 8; випаровуючих секцій I-20; II-22; III-22; водяного економайзера 2\*20.

Діаметр труб поверхнь нагріву  $d_{\text{н}} = 32 \text{ мм}$ , товщина стінок 3мм, крок труб по ширині пучка  $S_1$ , мм: випаровуючі секції 172; остані 86.

Крок труб по глибині пучка  $S_2 = 70 \text{ мм}$ .

**РОЗРАХУНОК:** По заданому складу димових газів розраховуємо і будуємо іт-діаграму. Розрахунок іт-діаграми виконується по наступній формулі:

$$i = (r_{\text{CO}_2} i_{\text{CO}_2} + r_{\text{H}_2\text{O}} i_{\text{H}_2\text{O}} + r_{\text{O}_2} i_{\text{O}_2} + r_{\text{N}_2} i_{\text{N}_2}) / 100,$$



де :  $i$  – ентальпія димових газів при заданій температурі, кДж /м<sup>3</sup>;  $i_{CO_2}$ ,  $i_{H_2O}$ ,  $i_{O_2}$ ,  $i_{N_2}$  – ентальпія CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> і N<sub>2</sub> при заданій тем..., кДж /м<sup>3</sup>;  $r_{CO_2}$ ,  $r_{H_2O}$ ,  $r_{O_2}$ ,  $r_{N_2}$  – вміст CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> і N<sub>2</sub> у димових газах, %.

Виходячи з принципової схеми котла-утилізатора, розрахунок його елементів виконуємо послідовно по ходу димових газів в наступній послідовності : передвімкнений випаровуючий пакет, пароперегрівач, випаровуючі секції, водяний економайзер.

Для спрощення розрахунку допускаємо, що середня кількість димових газів, що проходять крізь його секції, однаково і разом з повітрям, що всмоктується дорівнює :

$$V_{од} = \frac{V_{од.год}}{3600} + \frac{\alpha}{2} \frac{V_{од.год}}{3600} = \frac{V_{од.год}}{3600} \left(1 + \frac{\alpha}{2}\right) = \frac{12500}{3600} \left(1 + \frac{0,05}{2}\right) = 35,6 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ентальпія димових газів перед котлом при температурі  $t''_д = 700$  °С,  $i''_д = 1030$  кДж/м<sup>3</sup>.

Розрахунок передвімкнутого випаровуючого пакету.

Температура димових газів перед секцією  $t'_д = t''_д = 700$  °С.  
Температура насичення при тиску в барабані котла  $p = 4,5$  Мпа дорівнює  $t = 257$  °С.

Припускаємо температуру димових газів за секцією  $t''_д = 630$  °С.

Середньоарифмічний температурний напір :

$$\Delta t = \frac{(t'_д - t'') - (t''_д - t'')}{\ln[(t'_д - t'') / (t''_д - t'')]} = \frac{(700 - 257) - (630 - 257)}{\ln[(700 - 257) / (630 - 257)]} = 407 \text{ °С}$$

Середня температура димових газів

$$t_{\bar{д}} = 0,5 (t_{\bar{д}}' + t_{\bar{д}}'') = 0,5(700 + 630) = 665 \text{ °С}$$

Дійсні витрати димових газів

$$V_{д} = V_{од} * \frac{T_{д}}{273} = 35,6 * \frac{665 + 273}{273} = 122 \text{ м}^3/\text{с}$$

Середня швидкість димових газів

$$\overline{\omega_{\lambda}} = \frac{\overline{V_{\lambda}}}{f_{\lambda}} = \frac{122}{13,2} = 9,3 \text{ м/с}$$

По номограмам\* визначаємо коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від димових газів до шахового пучка труб:

$$\alpha_K = \alpha_0 k_z k_s k_t$$

при  $z_2 = 12$ ;  $s_1 / d_n = 86/32 = 2,68$ ;  $s_2 / d_n = 70/32 = 2,19$ ;  $\alpha_0 = 77 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ;  $k_z = 0,97$ ;  $k_s = 1,08$ ;  $k_t = 1,0$ .

Тоді  $\alpha_K = 77 \cdot 0,97 \cdot 1,08 \cdot 1,0 = 80,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ .

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням від димових газів до труб. Так як  $(s_1 + s_2 / d_n) = \frac{86 + 70}{32} < 7$ , ефективну товщину

випромінюючого газового шару розрахуємо за формулою

$$S_{\text{еф}} = (1,87 \frac{S_1 + S_2}{d_i} - 4,1) d_n = (1,87 \frac{86 + 70}{32} - 4,1) \cdot 0,0032 =$$

0,161 м.

Добуток парціального тиску випромінюючих складових на ефективну товщину випромінюючого газового шару

$$P_{\text{CO}_2} \cdot S_{\text{еф}} = 98,1 \cdot 0,12 \cdot 0,161 = 1,89 \text{ кН/м};$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} \cdot S_{\text{еф}} = 98,1 \cdot 0,105 \cdot 0,161 = 1,66 \text{ кН/м},$$

де 98,1 – перевідний коефіцієнт з атмосфери в кілоньютони.

\*Табельков Б.П.

Ступінь чорності димових газів

$$\varepsilon_d = \varepsilon_{\text{CO}_2} + \beta \cdot \varepsilon_{\text{H}_2\text{O}}$$

при  $t_d = 665^{\circ}\text{C}$ ;  $\varepsilon_{\text{CO}_2} = 0,065$ ;  $\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0,041$ ;  $\beta = 1,08$

$$\varepsilon_d = 0,065 + 1,08 \cdot 0,041 = 0,109.$$

Ступінь чорності стінок труб приймаємо  $\varepsilon_{\text{ст}} = 0,8$ .

Ефективна ступінь чорності

$$\varepsilon_{\text{ст.еф}} = (1 + \varepsilon_{\text{ст}}) / 2 = (1 + 0,8) / 2 = 0,9$$

Приймаємо температуру стінок труб рівній температурі пароводяної суміші :

$$\overline{t_{\text{НО}}} = t'' = 257^{\circ}\text{C}$$

Ступінь чорності димових газів при температурі стінки  $\varepsilon_d^{\text{ст}} = 0,133$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням

$$\alpha_{\text{AEID}} = \frac{C_o * \varepsilon_{\text{NO}, \text{AO}} [\varepsilon_{\bar{A}} (\bar{O}_{\bar{A}}/100)^4 - \varepsilon_{\bar{A}}^{\text{NO}} (\bar{O}_{\text{NO}}/100)^4]}{\bar{O}_{\bar{A}} - \bar{O}_{\text{NO}}} =$$

$$\frac{5,7 * 0,9 [0,109 (\frac{665 + 273}{100})^4 - 0,133 (\frac{257 + 273}{100})^4]}{938 - 530} = 9,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі від димових газів до труб

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{\bar{E}} + \alpha_{\text{AEID}} = 80,7 + 9,3 = 90 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Так як котел працює на незабруднених газах, коефіцієнт теплопередачі розраховуємо по формулі при  $\varepsilon = 0$ , тоді

$$k = \alpha_{\Sigma} = 90 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Кількість тепла, віддане димовим газам в передвімкненому випарувуючому пакеті :

$$Q_{\text{пр}} = k F \bar{\Delta t} / 1000 = (90 * 11 * 407) / 1000 = 4030 \text{ кВт}$$

Ентальпія димових газів на виході з пакету

$$i''_{\bar{A}} = i'_{\bar{A}} - Q_{\text{пр}} / \bar{V}_{\bar{A}} \xi = 1030 - \frac{4030}{35,6 * 0,95} = 911 \text{ кДж}/\text{м}^3$$

По  $i$ -діаграмі визначаємо температуру димових газів на виході з пакету  $t''_{\bar{A}} = 625^{\circ}\text{C}$

Різниця між прийнятою та відданою температурами

$$\delta = 630 - 625 / 625 * 100 = 0,8 \%$$

Розрахунок пароперегрівача.

Температура димових газів перед пароперегрівачем  $t''_{\bar{A}.I.I.} = 625^{\circ}\text{C}$

Приймаємо температуру перегрітого пара  $t = 400^{\circ}\text{C}$ .

Задаємося температурою димових газів за секцією  $t''_{\bar{A}.I.I.} = 550^{\circ}\text{C}$ .

Температурний напір

$$\bar{\Delta t} = \frac{(625 - 400) - (550 - 257)}{\ln[(625 - 400)/(550 - 257)]} = 257^{\circ}\text{C}.$$

Середня температура газового потоку

$$\bar{t}_{\text{п.д.}} = 0,5(625+550) = 558^{\circ}\text{C}$$

Дійсні витрати димових газів

$$\bar{V} = 35,6 \frac{588 + 273}{273} = 112 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Середня швидкість димових газів в секції

$$\bar{\omega}_{\text{д}} = 112/10,3 = 10,9 \text{ м/с}$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від димових газів трубам:

при  $S_1/d_{\text{н}} = 86/32 = 2,68$ ;  $S_2/d_{\text{н}} = 86/32 = 2,19$ ;  $Z_2 = 8$ ;  $\alpha_0 = 84 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $k_z = 0,96$ ;  $k_s = 1,08$ ;  $k_t = 1,0$

$$\alpha_k = 84 \cdot 0,96 \cdot 1,08 \cdot 1,0 = 87,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням від димових газів к трубам: при  $S_{\text{эф.}} = 0,161 \text{ м}$ ;  $P_{\text{CO}_2} S_{\text{эф.}} = 1,89 \text{ кН/м}$ ;  $P_{\text{H}_2\text{O}} S_{\text{эф.}} = 1,66 \text{ кН/м}$ ;  $Z_{\text{п.д.}} = 558^{\circ}\text{C}$ ;  $\epsilon_{\text{CO}_2} = 0,001$ ;  $\epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0,045$ ;  $\beta = 1,08$

$$\epsilon_{\text{д}} = 0,064 + 1,08 \cdot 0,045 = 0,113$$

Температура стінок труб секції приймаємо дорівнюючий середній температурі пара:  $\bar{t}_{\text{ст.}} = (t'' + t)/2 = (257+400)/2 = 328^{\circ}\text{C}$ .

При  $\bar{t}_{\text{ст}} = 328^{\circ}\text{C}$  ступінь чорності димових газів  $\epsilon_{\text{д}}^{\text{ст.}} = 0,125$ .  
Розрачуємо:

$$\alpha_{\text{АЕІВ.}} =$$

$$\frac{57 \cdot 0,9 [0,113((588 + 273)/100)^4 - 0,125((328 + 273)/100)^4]}{588 - 328}$$

$$8,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_{\Sigma} = 87,1 + 8,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ .

Коефіцієнт теплопередачі  $k = \alpha_{\Sigma} = 96 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ .

Кількість тепла, віддане димовими газами в пароперегрівачі:

$$Q_{\text{п.п.}} = (96 \cdot 144 \cdot 252)/1000 = 3550 \text{ кВт}$$

Ентальпія димових газів на виході з пароперегрівача

$$\bar{s}_{\text{А.ІІ}}'' = 911 - \frac{3550}{35,6 \cdot 0,95} = 806 \text{ кДж/м}^3$$

По  $i$ -діаграмі визначаємо температуру димових газів за пароперегрівачем:

$$t_{\text{А.ІІ}} = 555^{\circ}\text{C}$$

Розходження між прийнятою і отриманою температурами  
 $\delta = (555-550)/555 \cdot 100 = 0,9 \%$

Розрахунок випоруюємих секцій.

Температура димових газів перед секціями  $t'_{A-II} = 555 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Температура пароводяної суміші при  $p = 4,5 \text{ МПа}$  складає  $t'' = 257 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Приймаємо температуру димових газів за секціями  $t''_{A-II} = 555 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Температурний напір

$$\Delta \bar{t} = \frac{(555 - 257) - (290 - 257)}{\ln[(555 - 257)/(290 - 257)]} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

Середня температура димових газів

$$\bar{t}_{\text{д.вип}} = 0,5(555+290) = 422 \text{ }^\circ\text{C}$$

Дійсні витрати газів

$$\bar{V}_{\text{д}} = 35,6 \cdot (422+273)/273 = 90,6 \text{ м}^3/\text{с}$$

Середня швидкість дим-х газів в секціях  $\omega_{\text{д}} = 90,6/10,3 = 8,8 \text{ м/с}$ .

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі конвекцією:  $S_1/d_n = 172/32 = 5,36$ ;  $S_2/d_n = 70/32 = 2,19$ ;  $Z_2 = 22$ ;  $\bar{t}_{\text{д.вип}} = 422 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\alpha_o = 74 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}); k_z = 0,99; k_s = 1,25; k_r = 1,01$$

$$\alpha_k = 74 \cdot 0,99 \cdot 1,25 \cdot 1,01 = 92,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C})$$

Знаходимо коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням : так як  $(S_1 + S_2)d_n = (172+70)/32 > 7$ , то ефективна товщина випромінюючого шару димових газів визначається по такій формулі:

$$S_{\text{еф}} = (2,87 \frac{S_1 + S_2}{d_i} - 10,6) d_n = (2,87 \frac{86 + 70}{32} - 10,6) \cdot 0,032 =$$

0,355 м;

$$P_{\text{CO}_2} \cdot S_{\text{еф}} = 98,1 \cdot 0,12 \cdot 0,355 = 4,18 \text{ кН/м};$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} \cdot S_{\text{еф}} = 98,1 \cdot 0,105 \cdot 0,355 = 3,66 \text{ кН/м}.$$

Ступінь чорності димових газів  $\varepsilon_{\text{д}}$  при  $t_{\text{д.вип}} = 422 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\varepsilon_{\text{CO}_2} = 0,079$ ;  $\varepsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0,088$ ;  $\beta = 1,075$

$$\varepsilon_{\text{д}} = 0,079 + 1,075 \cdot 0,088 = 0,174.$$

Температура стінок труб секції

$$\overline{t_{\text{ND}}} = t'' = 257^{\circ}\text{C}$$

При  $\overline{t_{\text{ND}}} = 257^{\circ}\text{C}$  ступінь чорності димових газів  $\varepsilon_{\text{д}}^{\text{ст}} = 0,192$

$$\alpha_{\text{аеро}} = \frac{5.7 * 0.9 [0.174 (\frac{422 + 273}{100})^4 - 0.192 (\frac{257 + 273}{100})^4]}{422 - 257} = 7,5$$

Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_{\Sigma} = 92,5 + 7,5 = 100$   
Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Коефіцієнт теплопередачі  $k = \alpha_{\Sigma} = 100$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Кількість тепла, віддане димовими газами в секціях:

$$Q_{\text{вип}} = (100 * 1150 * 120) / 100 = 138000 \text{ кВт.}$$

Ентальпія димових газів на виході з випаровувємих секцій

$$t_{\text{А...II}}'' = 803 - \frac{138000}{35.6 * 0.95} = 393 \text{ кДж/м}^3.$$

По іt- діаграмі знаходимо температуру димових газів за випаровувємих секціями  $t_{\text{А...II}}'' = 284^{\circ}\text{C}$ .

Різниця між прийнятою і знайденою температурою складає:  
 $\delta = 290 - 284 / 284 * 100 = 2,1\%$

Розрахунок економайзера .

Температура димових газів перед економайзером  $t_{\text{А.А.}}' = 625^{\circ}\text{C}$ .

Температура наповню вальної води  $t_{\text{н.в.}} = 400^{\circ}\text{C}$ . Знаємо, що в економайзері вода нагрівається до температури насичення при  $p = 4,5$  МПа, тобто до  $t'' = 257^{\circ}\text{C}$ . Приймаємо температуру димових газів за секцією  $t_{\text{А.А.}}' = 230^{\circ}\text{C}$ .

Температурний напір

$$\Delta t = \frac{(284 - 257) - (230 - 100)}{\ln[(284 - 257) / (230 - 100)]} = 66^{\circ}\text{C}.$$

Середня температура димних газів

$$\bar{t}_{п.е} = 0,5(284+230) = 257^{\circ}\text{C}$$

Дійсні витрати димових газів

$$\bar{V}_д = 35,6 \cdot (257+273)/273 = 69 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Середня швидкість димових газів в секції

$$\bar{\omega}_д = 69/9,4 = 7,4 \text{ м/с}$$

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією:

$$\text{при } S_1/d_n = 86/32 = 2,68; S_2/d_n = 70/32 = 2,19; Z_2 = 20; \bar{t}_{д.е.} = 257^{\circ}\text{C}.$$

$$\alpha_o = 66 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}); k_z = 0,99; k_s = 1,08; k_t = 1,02$$

$$\alpha_k = 84 \cdot 0,96 \cdot 1,08 \cdot 1,0 = 87,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням:

$$\text{при } S_{еф.} = 0,161 \text{ м}; P_{\text{CO}_2} \cdot S_{еф.} = 1,89 \text{ кН/м}; P_{\text{H}_2\text{O}} \cdot S_{еф.} = 1,66 \text{ кН/м};$$

$$\bar{t}_{д.е.} = 257^{\circ}\text{C}; \epsilon_{\text{CO}_2} = 0,059; \epsilon_{\text{H}_2\text{O}} = 0,071; \beta = 1,08$$

$$\epsilon_d = 0,059 + 1,08 \cdot 0,071 = 0,136$$

Температура стінок труб економайзера дорівнює середній

$$\text{температурі води: } \bar{t}_{ст.} = (257+100)/2 \approx 179^{\circ}\text{C}.$$

Ступінь чорності димових газів при  $\bar{t}_{ст.} = 179^{\circ}\text{C}; \epsilon_{ст.}^d = 0,144.$

$$\alpha_{\text{АЕІВ.}} = \frac{57 \cdot 0,9 \left[ 0,136 \left( \frac{257 + 273}{100} \right)^4 - 0,144 \left( \frac{179 + 273}{100} \right)^4 \right]}{257 - 179} = 3,0$$

Вт/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})

Сумарний коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_{\Sigma} = 71,9+3 = 74,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$

Коефіцієнт теплопередачі  $k = \alpha_{\Sigma} = 74,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$

Кількість тепла, віддане димовими газами в економайзері:

$$Q_e = (74,9 \cdot 615 \cdot 66)/1000 = 3030 \text{ кВт}$$

Ентальпія димових газів на виході з економайзера

$$\frac{3\dot{E}}{A} = 398 \frac{3030}{35,6 \cdot 0,95} = 308 \text{ кДж/м}^3.$$

По it- діаграмі визначаємо температуру димових газів за економайзером:

$$\frac{3\dot{E}}{A} = 224^{\circ}\text{C}$$

Розходження між прийнятою і отриманою температурами

$$\delta = \frac{230 - 224}{224} * 100 = 2,6 \%$$

Розрахунок паропроодуктивності котла і температури пароперегрівача пара .

По формулі (VII,29) ентальпія перегрітого пара

$$i = \frac{Q_{\dot{E}} i'' - Q_{I.I} [i_{I.A.} - 0.01n(i' - i_{I.A.})]}{Q_{\dot{E}} - Q_{I.I}}$$

З формул (VII,29) і (VII,28)

$$Q_K = \quad =$$

$$\bar{V}_{од} (i_{\dot{A}}'' - i_{\dot{A}}^K) \xi = 36.5(1030 - 308)0.95 = 24420 \text{ кДж}$$

$$Q_{np} = \quad =$$

$$\bar{V}_{од} (i_{\dot{A}.II}'' - i_{\dot{A}.II}') \xi = 36.5(911 - 806)0.95 = 3550 \text{ кВт};$$

$$i = \frac{24420 * 2800 - 3550[421 - 0.08(1129 - 421)]}{24420 - 3550} = 3214$$

Цій ентальпії відповідає температура перегрітої пари  $t = 401 \text{ }^\circ\text{C}$

Різниця між прийнятою і знайденою температурами

$$\delta = \frac{401 - 400}{401} * 100 = 0.25 \%$$

Паропроодуктивність котла  $D_c = 3550 / (3214 - 2800) = 8.5 \text{ кг/с}$ .

Часова паропроодуктивність  $D_4 = 3600 * 8.5 / 1000 = 30,6 \text{ т/ч}$ .