

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ



КАФЕДРА ТЕПЛОГАЗОПОСТАЧАННЯ І ВЕНТИЛЯЦІЇ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічної роботи
"РОЗРАХУНОК КОНВЕКТИВНИХ
ПОВЕРХОНЬ НАГРІВУ"

з дисципліни «Промислові теплогенеруючі установки»
для студентів освітнього рівня магістр
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітньої програми «Теплогазопостачання і вентиляція»

ОДЕСА 2020 р.

УДК 697.326

«Затверджено»
Вченою Радою Інституту
гідротехнічного будівництва
та цивільної інженерії

Укладачі: к.т.н., доц. В.П.Баришев,
ас. Т.Д.Чунєєва

Рецензенти: к.т.н., доц. каф. ТГУіВ, Шевченко Л.Ф.
к.т.н., доц. каф. ТГУіВ, Ісаєв В. Ф.

Розрахунково-графічна робота присвячена вивченню роботи та розрахунку економайзерів та повітря підігрівачів в теплогенеруючих установках

Відповідальний за випуск: Зав. каф. ТГП, доц. Ю.Г. Елькін

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ВИХІДНІ ДАНІ ТА ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ.....	4
2. ОБСЯГ І ПЛАН ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ ...	5
3. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМАЙЗЕРА.....	7
4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ	9
5. РОЗРАХУНОК ВТРАТ ТЕПЛОТИ, КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ І ВИТРАТ ПАЛИВА.....	17
6. РОЗРАХУНОК ВОДЯНОГО ЕКОНОМАЙЗЕРА.....	21
КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ЕКОНОМАЙЗЕРА.....	22
8. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ВОДЯНОГО ЕКОНОМАЙЗЕРУ	24
9. СКЛАДЕННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ І РОЗРАХУНОК ГОДИННОЇ ВИТРАТИ ПАЛИВА	29
10. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ЕКОНОМАЙЗЕРА.....	31

ВСТУП

Навчальний план з дисципліни «Промислові теплогенеруючі установки» з дисципліни «Промислові теплогенеруючі установки» для студентів освітнього рівня магістр спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньої програми «Теплогазопостачання і вентиляція» передбачає виконання студентами розрахунково-графічної роботи. Для підвищення економічності установки за котлом встановлюють додаткові – конвективні поверхні нагріву.

В методичних вказівках викладено послідовний хід розрахунку економайзера і повітря підігрівача, а також необхідний довідковий матеріал.

Розрахунково-графічна робота складається з:

1. Розрахунку об'ємів продуктів згоряння.
2. Побудови $I - \Theta$ діаграми.
3. Розрахунку теплового балансу котельного агрегату, розрахунку конвективних поверхонь нагріву

1. ВИХІДНІ ДАНІ ТА ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Розрахунково-графічна робота передбачає розрахунок економайзера та повітря підігрівача за вихідними даними, наведеними у табл. 1. Вихідні дані до розрахунку вибираються за двома останніми цифрами номера залікової книжки.

Розрахунково-графічна робота повинна бути представлена пояснювальною запискою, графічною частиною та оформлена у встановленому порядку. У пояснювальній записці повинні бути представлені: схема економайзера та повітря підігрівача, опис котельного агрегату, та всі необхідні розрахунки. При виконанні розрахунків варто встановити, яка величина визначається. Нижче наведена формула, яку використовують для обчислення, підставляються відповідні числові значення й виконуються обчислення. При виконанні розрахунково-графічної роботи всі величини повинні бути виражені в одиницях Міжнародної системи (SI).

У всіх розділах пояснювальної записки результати розрахунків рекомендується представляти в табличній формі. Наприкінці кожного розділу повинен бути наведений аналіз отриманих результатів, що містить об'єктивну оцінку ефективності роботи конвективних поверхонь нагріву, оцінку доцільності про-

ведених технічних заходів, пояснення причин обмеження ефективності й обґрунтування шляхів її підвищення.

2. ОБСЯГ І ПЛАН ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Розрахунково - пояснювальна записка повинна містити :

1. Завдання.
2. Принципові схеми економайзера і повітря підігрівача. Схеми виконуються в тексті записки олівцем.

Розрахунки по розрахунково-графічній роботі містять у собі наступні розділи:

1. Розрахунок параметрів продуктів згоряння в різних газоходах котельного агрегату, побудова I-Θ діаграми. Визначення втрат теплоти.
2. Складення теплового балансу котельного агрегату і розрахунок годинної витрати палива.
3. Розрахунок конвективних поверхонь нагріву.
4. Номер завдання визначається двома останніми цифрами шифру студента-заочника (табл.1, табл.2).

Таблиця 1

Завдання на виконання розрахунково-графічної роботи

Передостання цифра шифру	Тип котла	Топка	Паропродуктивність котла, т/год або Теплопродуктивність котла, МВт, (Гкал/годину)	Температура питної води, °С	Розрахункова поверхня нагріву	Температура газів перед розрахунковою поверхнею нагріву
1	ДКВр-2,5-13	ПМЗ-РПК (камерная)	2,5	80	повітря підігрівач	330
2	ДКВр-4-13	ПМЗ-РПК (камерная)	4	80	повітряпідігрівач	340
3	ДКВр-6,5-13	ПМЗ-РПК (камерная)	6,5	70	Економайзер, повітряпідігрівач (при бурому вугіллі)	350
4	ДКВр-10-13	Цепная решетка (камерная)	10	65	повітряпідігрівач (економайзер)	300

Передостання цифра шифру	Тип котла	Топка	Паропродуктивність котла, т/год або Теплопродуктивність котла, МВт, (Гкал/годину)	Температура питної води, °С	Розрахункова поверхня нагріву	Температура газів перед розрахунковою поверхнею нагріву
5	ДКВр-20-13	Цепная решетка (камерная)	20	50	повітряпідігрівач (економізатор)	350
6	КВ-ГМ(ТС)-4	Цепная решетка (камерная)	4,6 (4)	65	повітряпідігрівач (топка)	310
7	КВ-ГМ(ТС)-6,5	Цепная решетка (камерная)	7,5 (6,5)	70	повітряпідігрівач (топка)	340
8	КВ-ГМ(ТС)-10	Цепная решетка (камерная)	11,6 (10)	75	повітряпідігрівач (топка)	350
9	КВ-ГМ(ТС)-20	Цепная решетка (камерная)	23 (20)	80	повітряпідігрівач (топка)	340
10	КВ-ГМ(ТС)-50 КВ-ГМ(ТК)-50	Камерная	58 (50)	70	повітряпідігрівач (топка)	320

Таблиця 2

Види палива

Остання цифра шифру	Паливо	Деталь, що розробляється
1	Донецький А-Р	Паливоподача
2	Кузнецький Г-Р	Газоповітряний тракт
3	Черемховський Д-Р	Шлаковидалення
4	Підмосковний Б-2-Р	Золовлівлювання
5	Екібастузський ССР	Паливоподача
6	Мазут малосернистий	Схема мазутного господарства
7	Саратовський газ	Газомазутний пальник

Остання цифра шифру	Паливо	Деталь, що розробляється
8	Ставропольський газ	Газоповітряний тракт
9	Узбекський газ	Газоповітряний тракт
10	Шебелінський газ	Газоповітряний тракт

3. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМАЙЗЕРА

Призначенням теплового розрахунку водяного економайзера є визначення поверхні нагріву та температури підігріву води, вибір групування водяного економайзера і перевірка швидкості газів, яка відповідає прийнятій компоновці.

Водяні економайзери встановлюють для зниження температури газів, які виходять, а також для підвищення величини коефіцієнту корисної дії котельної установки .

В парових котельних водяні економайзери встановлюють, як на живильній так і на мережевій воді: проте у останньому випадку необхідно забезпечити їх постійну сезонну (для опалювальних котельних) або цілорічну (для опалювально-виробничих котельних) навантажність. У водогрійних котельних економайзери встановлюють на мережевій воді.

Економайзери бувають індивідуальні та групові. Як правило слід встановлювати індивідуальні економайзери тому що вони працюють більш рівномірно і з меншим надлишком повітря. Групові економайзери можна встановлювати в котельних установках з постійною або з тепловою загрузкою яка мало змінюється з котлами конструктивні властивості яких створюють труднощі для встановлювання індивідуальних економайзерів. Водяні економайзери виготовлюють чавунними, або сталевими.

Чавунні економайзери складають з окремих типових елементів ребристих труб і встановлюють до котлів, які працюють з тиском до 24 атм. Сталеві економайзери зварюють зі сталевих труб діаметром 28-38 мм у вигляді змійовиків, комплектують у окремі пакети і встановлюють до котлів з тиском більше

24атм. Тепловий розрахунок водяного економайзера – конструктивний тобто при температурах димових газів, які задаються визначаються необхідні величини поверхонь нагріву вказаних елементів.

Завдання на виконання розрахунково-графічної роботи вибираються по останній та передостанній цифрам шифру (№ залікової книжки у відповідності з таблицями № 1, 2). Пояснювальна записка повинна мати вступ, зміст та нумерацію сторінок, графічна частина виконується у відповідності з вимогами ЕСКД.

Таблиця 3

Розрахункові характеристики палива (вугілля, мазут)

Джерело, марка	Склад робочої маси палива							МДж/кг
	W ^P	A ^P	S _a ^P	C ^P	H ^P	N ^P	O ^P	Q _H ^P
Донецький А-Р	5,0	20,9	2,4	66,6	2,6	1,0	1,5	25,27
Кузнецький Г-Р	8,5	11	0,5	66,6	4,7	1,8	7,5	26,15
Черемховський Д-Р	14	21,5	1,0	50,0	3,7	1,0	8,8	19,51
Підмосковний Б-2-Р	33	23,5	2,9	29,1	2,2	0,6	8,7	10,51
Екібастузський ССР	7	38,1	0,8	43,4	2,9	0,8	7,0	16,76
Мазут малосернистий	3	0,05	0,3	84,65	11,7	0,3	0,3	40,31

Розрахункові характеристики палива (природний газ)

Джерело, марка	Склад палива по обсягу							МДж/м ³
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	N ₂	Q _н ^c
Саратовський газ	84,5	3,8	1,9	0,9	0,3	0,8	7,8	35,8
Ставропольський газ	93,8	2,0	0,8	0,3	0,1	0,4	2,6	36,12
Узбекський газ	94,9	3,2	0,4	0,1	0,1	0,4	0,9	36,70
Шебелінський газ	92,8	3,9	1,0	0,4	0,3	0,1	1,5	37,30

4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ

Встановлюються наступні величини:

1. Розрахункові характеристики палива (таблиця 3, 4): склад палива та нижча теплота згоряння Q_n^p .

2. Теоретичний обсяг повітря V_b^o , м³/кг необхідний для згоряння 1 кг твердого палива

$$V_{\Pi}^o = 0,0889(C^p + 0,375S_{\Pi}^p) + 0,265H^p - 0,0333O^p \quad (1)$$

Або для спалювання газоподібних палив V_b^o , м³/м³.

$$V_{\Pi}^o = 0,0476 \left[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4} \right) C_m H_n - O_3 \right], \quad (2)$$

де m та n число атомів вуглецю та водню у хімічній формулі вуглеводнів, які входять до складу палива.

3. Склад продуктів згоряння палива в різних газоходах котельного агрегату розраховуються по формулам:

– при спалюванні твердого і рідинного палива об'єм трьохатомних газів V_{RO_2} м³/кг

$$V_{RO_2} = 0,01866(C^p + 0,375 \cdot S_{\Pi}^p) \quad (3)$$

– при спалюванні газу об'єм трьохатомних газів V_{RO_2} м³/кг

$$V_{\text{RO}_2} = 0,01 \cdot (\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{S} + \sum m\text{C}_m\text{H}_n) \quad (4)$$

Теоретичний об'єм азоту в продуктах згоряння при спалюванні твердого і рідинного палива, м³/кг

$$V_{\text{N}_2}^{\text{o}} = 0,79 V_{\text{B}}^{\text{o}} + 0,008 N_2^{\text{P}} \quad (5)$$

При спалюванні газу $V_{\text{N}_2}^{\text{o}}, \text{ м}^3/\text{м}^3$

$$V_{\text{N}_2}^{\text{o}} = 0,79 V_{\text{B}}^{\text{o}} + 0,01 N_2^{\text{P}} \quad (6)$$

Теоретичний об'єм водяної пари:

– при спалюванні твердого і рідинного палива $V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{o}}, \text{ м}^3/\text{кг}$ при $\alpha_{\text{m}}=1$

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{o}} = 0,111 H^{\text{P}} + 0,0124 W^{\text{P}} + 0,0161 V_{\text{П}}^{\text{o}} \quad (7)$$

– при спалюванні газу, м³/м³

$$V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{o}} = 0,01(\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2 + \sum \frac{n}{2} \text{C}_m\text{H}_n + 0,0124 d_{\text{r}}) + 0,016 V_{\text{П}}^{\text{o}}, \quad (8)$$

Де вологовміст палива, віднесений до 1 м³ сухого газу при $t_{\text{палива}} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, можна прийняти $d_{\text{r}} = 10 \text{ г} / \text{м}^3$.

Для визначення характеристик продуктів згоряння в поверхнях нагріву необхідно задатися коефіцієнтом надлишку повітря в топці – α_{r} , використовуючи таблиці 5, 6, 7.

Для твердого палива в залежності від типу топочного пристрою (табл. 1).

Таблиця 5

Втрати теплоти в залежності від виду топки

Показники	Топка ПМЗ-РПК			Топки ЧЦР		
	вугілля			вугілля		
	бурі	кам'яні	антрацити	бурі	кам'яні	антрацити
Значення коефіцієнта надлишку повітря, α_{r}	1,4	1,4	1,6	1,3÷1,4	1,3÷1,4	1,5÷1,6
втрата теплоти від	0,5÷1,0	0,5÷1,0	0,5÷1,0	0,5÷1,0	0,5÷1,0	0,5÷1,0

Показники	Топка ПМЗ-РПК			Топки ЧЦР		
	вугілля			вугілля		
	бурі	кам'яні	антрацити	бурі	кам'яні	антрацити
хімічної неповноти горіння q_3 , %						
втрата теплоти від механічної неповноти горіння q_4 , %	7,5÷9	4,5÷6,5	10÷13,3	5,5÷7,5	3÷5,5	10÷15,5

Таблиця 6

Розрахункові характеристики топок для спалювання рідкого палива

Тип топки	Теплова напруга топочного об'єму, V_T , кВт/м ²	Коефіцієнт надлишку повітря, α_T	втрата теплоти від хімічної неповноти горіння q_3 , %	Розрядження в топці в мм вод. ст
Екрановані	290÷470	1,1	2,0	4÷6
Неекрановані	230÷290	1,2	1,0	3÷4

Таблиця 7

Розрахункові характеристики топок для спалювання природного газу

Топки	Тип палика	Значення коефіцієнта надлишку повітря α_T	втрата теплоти від хімічної неповноти горіння q_3 , %	Розрядження в топці в мм вод. ст	Теплова напруга топочного об'єму, кВт/м ³
Екрановані	Подові	1,1...1,15	1,0	3...6	580
	Змішуванні	1,1...1,15	1,5	3...4	350
	Ежекційні	1,1...1,15	1,5	3...4	350
Неекрановані	Подові	1,25	1,0	3...5	470
	Змішуванні	1,2	1,5	3	290
	Ежекційні	1,2	1,5	3	290

Присоси повітря по газоходам котла приймаємо $\Delta\alpha = 0,1$ і визначаємо коефіцієнти надлишку повітря в характерних місцях шляхом додатку до α_T прийнятих присосів.

Для котлів ДКВр

а) в пучці кип'ятильних труб $\alpha_K = \alpha_T + 0,1$

б) перед хвостовою поверхнею нагріву (економайзером або повітряпідігрівачем): $\alpha'_{ек}(\alpha'_{вп}) = \alpha'_K + 0,1$

в) за котлом, тобто за хвостовою поверхнею нагріву:

$$\alpha''_{ек}(\alpha''_{вп}) = \alpha'_{ек}(\alpha'_{вп}) + 0,1 = \alpha_{вих}$$

Для водогрійних котлів з камерними топками (крім КВ-ТК) за котельним агрегатом $\alpha_K = \alpha_m + 0,1 = \alpha_{yx}$

Для водогрійних котлів зі шаровими топками і для котлів КВ-ТК:

А) перед хвостовою поверхнею $\alpha'_{ек} = \alpha_m + 0,1$

Б) за хвостовою поверхнею: $\alpha''_{ек} = \alpha'_{ек} + 0,1 = \alpha_{yx}$

Склад продуктів згоряння палива і об'ємні долі трьохатомних газів у різних пунктах котельного агрегату зведені у таблицю 8.

Таблиця 8

Склад продуктів згоряння

Найменування величин	Формула для розрахунку	Одиниці вимірювання	топка	$\alpha_{ек}'$	$\alpha''_{ек}$
Коефіцієнт надлишку повітря α	α		α_T	$\alpha_{ек}' = \alpha_T + 0,1$	$\alpha''_{ек} = \alpha_{ек}' + 0,1$
Теоретичний об'єм двохатомних газів V_{R_2}	$V_{R_2} = V_{N_2}^o + (\alpha - 1)V_{п}^o$	$m^3/kg;$ (m^3/m^3)			
Теоретичний об'єм	$V_{RO_2} = 0,01866(C^p + 0,375S_{л}^p) -$	$m^3/kg;$			

Найменування величин	Формула для розрахунку	Одиниці вимірювання	топка	$\alpha_{ек}'$	$\alpha_{ек}''$
трьохатомних газів V_{RO_2}	для твердого палива $V_{RO_2} = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum mC_m H_n) -$ для газопалива	$(м^3/м^3)$			
Об'єм надлишкового повітря ΔV	$\Delta V = (\alpha - 1) V_n^o$	$м^3/кг;$ $(м^3/м^3)$			
Об'єм водяних парів V_{H_2O}	$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0,0161(\alpha - 1) V_n^o$	$м^3/кг;$ $(м^3/м^3)$			
Загальний об'єм димових газів, V_Γ	$V_\Gamma = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O}$	$м^3/кг;$ $(м^3/м^3)$			
Об'ємна доля трьохатомних газів, r_{RO_2}	$r_{RO_2} = \frac{V_{RO_2}}{V_\Gamma}$	-			
Об'ємна доля водяних парів, r_{H_2O}	$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_\Gamma}$	-			
Загальна об'ємна доля трьохатомних газів, r_n	$r_n = r_{RO_2} + r_{H_2O}$	-			

Визначив об'єми димових газів, знаходимо їх тепловміст (ентальпію) в заданих пунктах котельної установки за двома крайовими значеннями температур, характерним для цих пунктів.

Тепловміст димових газів підраховується по рівнянню

$$I = V_{RO_2} \cdot (C\Theta)_{RO_2} + V_{N_2}^o (C\Theta)_{N_2} + V_{H_2O}^o (C\Theta)_{H_2O} + \Delta V (Ct)_n \text{ кДж/кг; кДж/м}^3 \text{ (9)}$$

де $(C\Theta)_n$ – ентальпія 1 м^3 повітря, кДж/м^3 , беруть для кожної вибраної температури за таблицею 9; V_n^o – теоретичний об'єм повітря необхідного для горіння, дивись таблицю 8.

Значення добутоків $(C\Theta)$ кДж/м^3 для всіх компонентів вибираємо з табл. 9.

Таблиця 9

Значення добутоків $(C\Theta)$ кДж/м³ для всіх компонентів

$\Theta, ^\circ\text{C}$	$(C\Theta)_{\text{п}}$	$(C\Theta)_{\text{RO}_2}$	$(C\Theta)_{\text{N}_2}$	$(C\Theta)_{\text{H}_2\text{O}}$	$(C\Theta)_{\text{зл}}$
100	132	169	130	151	81
200	266	357	260	304	169
300	403	559	392	463	264
400	542	772	527	626	360
500	684	996	664	794	458
800	1130	1704	1093	1335	663
1000	1436	2202	1394	1725	984
2000	3064	4843	2964	3926	2512

Отримані по рівнянню (9) результати зводимо в таблицю 10. Для уникнення кропітких обчислень в подальшому по результатам табл. 10 будемо І- Θ діаграму (рис. 1).

По осі абсцис відкладені значення температур газів, по осі ординат – відповідні значення тепловмісту, отримані при складенні табл. 9.

Таблиця 10

Ентальпія продуктів згоряння у різних газоходах котельного агрегату I, кДж/кг(кДж/м³)

Темпе- ратура газів, °С	трьохатомні гази			двохатомні гази			Водяні пари			надлишкове повітря			тепловміст продуктів згоряння
	V_{RO_2}	$(C\Theta)_{RO_2}$	$V_{RO_2} \times$ $(C\Theta)_{RO_2}$	$V_{N_2}^0$	$(C\Theta)_{N_2}$	$V_{N_2} \times$ $(C\Theta)_{N_2}$	$V_{H_2O}^0$	$(C\Theta)_{H_2O}$	$V_{H_2O}^0 \times$ $(C\Theta)_{H_2O}$	ΔV	$(ct)_п$	$\Delta V \times$ $(ct)_e$	
					при α_T								
2000													
800													
					при $\alpha'_{ек}$								
900													
500													
					при $\alpha''_{ек}$								
600													
100													

Для кожного значення коефіцієнта надлишку повітря знаходять два значення тепловмісту, відповідні двом доволно прийнятним значенням температур димових газів, котрі і наносять на графік (рис. 1) (точки а, б, в, г, д, е). З'єднуючи ці крапки, отримаємо прямі, що дозволяють знаходити по будь-яких заданих температурах значення тепловмісту. Графік виконується на міліметровому папері.

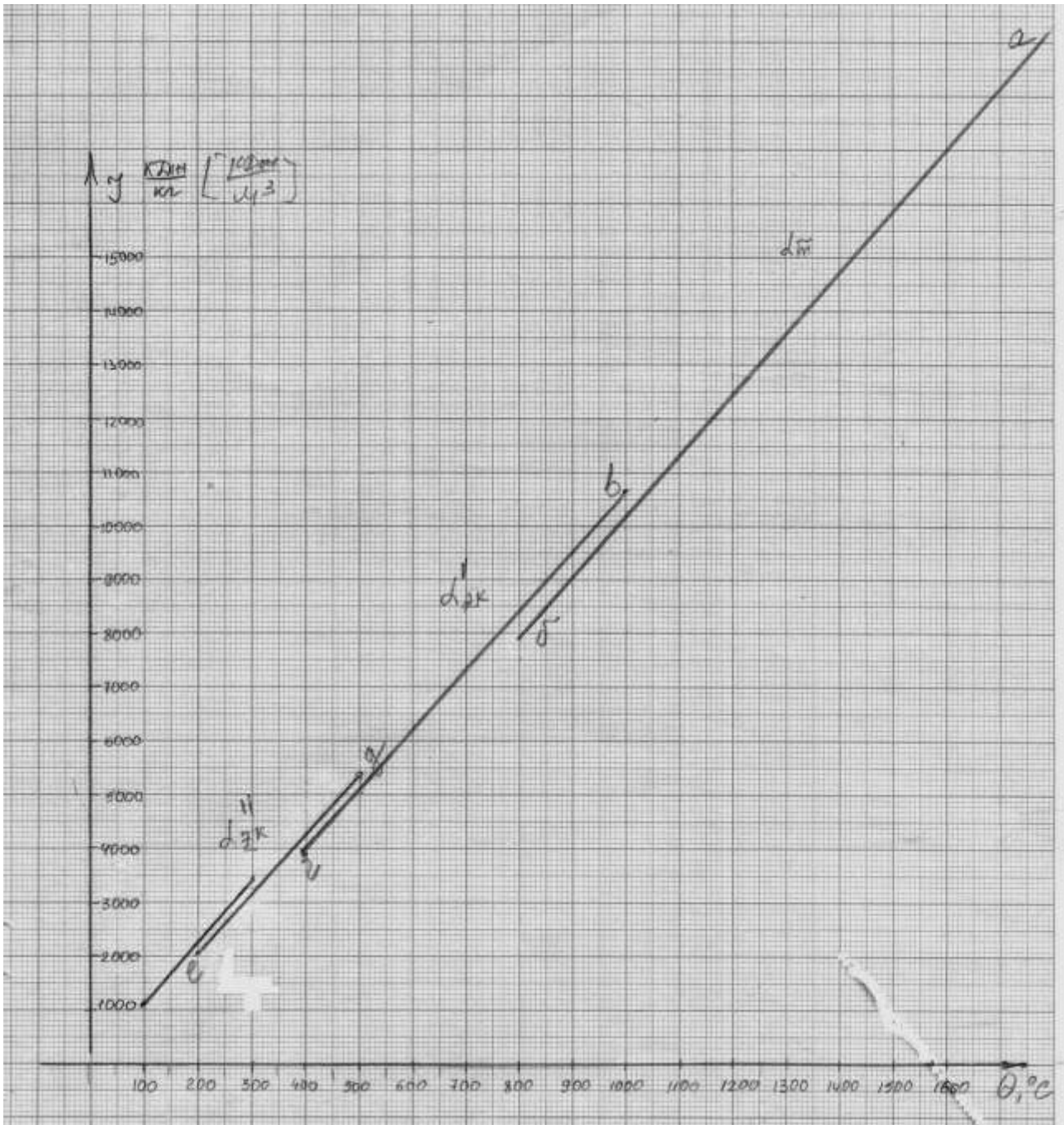


Рис. 1. I- Θ діаграма продуктів згоряння.

Побудовані прямі будуть небагато відрізнятись від істинних, хоча і слабо виражених кривих, так як залежність теплоємності від температури не має лінійного характеру, але через невеликі інтервали між температурами, що приймаються одержимо нев'язку, яка буде невелика.

5. РОЗРАХУНОК ВТРАТ ТЕПЛОТИ, КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ І ВИТРАТ ПАЛИВА

Ціль розрахунку – визначення коефіцієнта корисної дії котельного агрегату і годинної витрати палива. Для виконання вказаного напишемо рівняння теплового балансу і послідовно визначимо всі витрати в котлі. Тепловий баланс теплогенератора для одного кг твердого і рідинного палива, або 1 м³ газу за нормальних умовах буде мати вигляд

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (9')$$

де Q_p^p – розрахункова теплота кДж/кг, для твердого і рідинного палива $Q_p^p = Q_H^p$, для газоподібного палива, кДж/м³, $Q_p^p = Q_H^c$, де Q_H^p – нижча теплота згоряння робочої маси твердого або рідинного палива (дивись таблицю 3).

Q_H^c – нижча теплота згоряння сухої маси газу, кДж/м³, (дивись таблицю 4).

Q_1 – корисна теплота водяної пари або гарячої води, кДж/кг; кДж/м³;

Q_2, Q_3, Q_4, Q_5, Q_6 – втрати теплоти з вихідними газами, від хімічної неповноти горіння, від механічної неповноти горіння, від зовнішнього охолодження, від фізичної теплоти шлаку, відповідно, кДж/кг; кДж/м³;

Тепловий баланс теплогенератора складається стосовно сталого теплового режиму, а втрати теплоти виражаються у відсотках, або в частках одиниці розрахункової теплоти.

Коефіцієнт корисної дії теплогенератора визначається із рівняння

$$\eta_t = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \% \quad (10)$$

Втрата теплоти з вихідними газами q_2 пов'язана з тим, що температура продуктів згоряння, які виходять з теплогенератора, значно вища за температуру навколишнього атмосферного повітря. Ця втрата залежить від виду спалюваного палива, коефіцієнту надлишку повітря у вихідних газах, температури вихідних газів, чистоти зовнішніх і внутрішніх поверхонь нагріву, температури повітря, забраного дуттєвим вентилятором, %.

$$q_2 = \frac{(I_{\text{вих}} - Q_{\text{пал}} - Q_{\text{пов}})(100 - q_4)}{Q_{\text{H}}^{\text{p}} \cdot 10^3}, \% \quad (11)$$

Де $I_{\text{вих}}$ – ентальпія вихідних газів, кДж/кг, або кДж/м³, знаходиться по І-Θ діаграмі (дивись рис. 1) за температурою вихідних газів $\Theta_{\text{вих}}$.

Значення $\Theta_{\text{вих}}$ попередньо беруть залежно від потужності теплогенератора, виду палива і вимагають обов'язкової перевірки. Для теплогенераторів зниженого тиску з хвостовими поверхнями нагріву беруть залежно від палива: для газу $\Theta_{\text{вих}}$ – 140 °С, для мазуту $\Theta_{\text{вих}}$ – 160 °С, для кам'яного вугілля та антрациту $\Theta_{\text{вих}}$ – 180 °С, для торфу та деревини $\Theta_{\text{вих}}$ – 200 °С. Для водогрійних теплогенераторів з повітряпідігрівачем $\Theta_{\text{вих}}$ – 180 °С, для теплогенераторів без хвостових поверхонь нагріву (типу КВ-ГМ) $\Theta_{\text{вих}}$ – 250 °С.

$Q_{\text{пал}}$ – фізичне тепло палива, кДж/кг; для мазуту $Q_{\text{пал}} = C_{\text{пал}} t_{\text{пал}}$,

тут $t_{\text{пал}} = 120^\circ\text{C}$ – температура палива, $C_{\text{пал}} = 1,674$ кДж/(кг*К) теплоємність палива.

$Q_{\text{пал}} = 0$ – для газів і твердого палива.

$Q_{\text{пов}}$ – ентальпія повітря, яке надходить до топки, кДж/кг визначаємо по формулі

$$Q_{\text{пов}} = \alpha_{\text{вих}} V_{\text{п}}^{\circ} C_{\text{п}} t_{\text{п}} \quad (12)$$

Де $C_{\text{п}}$ – теплоємність повітря $C_{\text{п}} = 1,34$ кДж/(м³*К), $t_{\text{п}} = 30^\circ\text{C}$.

q_3 – втрата теплоти від хімічної неповноти горіння вибирається з таблиці 5.

Q_4 – втрата теплоти від механічної неповноти горіння для газів $Q_4 = 0$, для твердого палива вибирається з табл. №5.

Q_5 – втрати теплоти від зовнішнього охолодження. Для парових котлів з хвостовими поверхнями нагріву Q_5 визначається за допомогою графіка 2 (рис. 2); а без хвостових поверхонь по графіку 1 рисунок 2.

Для водогрійних котлів Q_5 приймається рівним 2%.

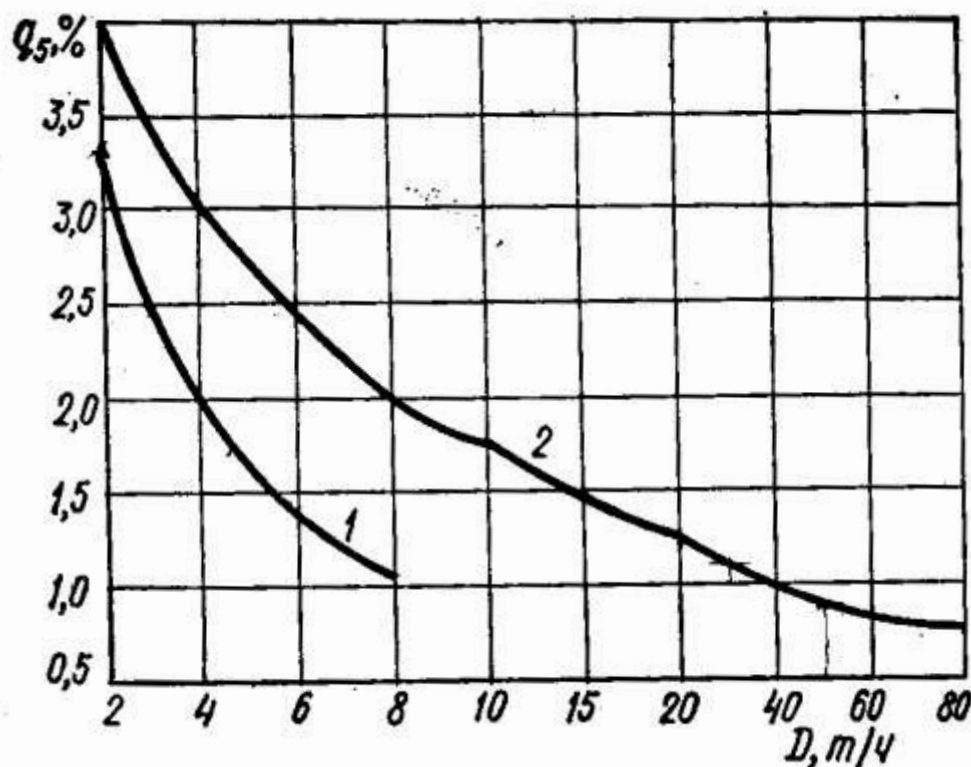


Рис. 2. Графік для визначення втрат теплоти від зовнішнього охолодження парогенератора без хвостових поверхонь (1) і з хвостовими поверхнями (2).

Втрату теплоти від зовнішнього охолодження, яка приходить на долю окремих газоходів, можна знайти вводячи у формули для визначення теплоти, яка віддається поверхням нагріву, значення коефіцієнта збереження теплоти φ ,

який дорівнює $\varphi = 1 - \frac{Q_5}{100}$.

При видаленні нагрітого шлаку з топки неминучі втрати, які пов'язані з фізичною теплою шлаків $Q_6^{\text{шл}}$, які визначаються

$$q_6^{\text{шл}} = \frac{a_{\text{шл}} \cdot A^p(\text{СО})_{\text{шл}}}{Q_H^p \cdot 10^3}, \% \quad (13)$$

Де $a_{\text{шл}} = 1 - a_{\text{вих}}$; $a_{\text{вих}}$ – частка золи палива, яка виноситься димовими газами приймається $a_{\text{вих}} = 0,07 \div 0,15$. Ентальпія золи $(\text{СО})_{\text{шл}} = 561$ кДж/кг.

Визначаємо коефіцієнт корисної дії теплогенератора.

$$\eta_t = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \%$$

Фактична та розрахункова витрата палива V (кг/с) або ($\text{м}^3/\text{с}$).

Для парових котлів:

$$V = \frac{D(i_{\text{п}} - i_{\text{пв}}) + D_{\text{пр}}(i_{\text{кип}} - i_{\text{пв}})}{Q_H^p \cdot \eta \cdot 10^3} \quad (\text{кг/с}), (\text{м}^3/\text{с}) \quad (14)$$

Для водогрійних котлів

$$V = \frac{Q_{\text{котла}} \cdot 10^3}{Q_H^p \cdot \eta \cdot 10^3} \quad (\text{кг/с}), (\text{м}^3/\text{с}) \quad (15)$$

Де D – паропроодуктивність котла, кг/с.

$i_{\text{п}}$ кДж/кг – ентальпія пара при тиску в котлі при $P = 14$ ата (1,4 МПа),

$$i_{\text{п}} = 2788,4 \text{ кДж/кг}$$

$i_{\text{пв}}$ кДж/кг – ентальпія питної води $i_{\text{пв}} = t_{\text{пв}} \cdot 4,186$; (значення $t_{\text{пв}}$ наводяться у вихідних даних, табл.1).

$D_{\text{пр}}$ – кг/с – витрата продувальної води $D_{\text{пр}} = 0,03D$ кг/с;

$i_{\text{кип}}$ – ентальпія киплячої води у барабані парового теплогенератора при $P=14$ ата (1,4 МПа); $i_{\text{кип}} = 830,1$ кДж/кг;

Q_H^p Дж/кг (кДж/м^3) нижча теплота згоряння палива;

η – коефіцієнт корисної дії котла в долях від одиниці.

$Q_{\text{котла}}$, МВт – теплопродуктивність водогрійного котла.

Розрахункові витрати палива V_p (кг/с)

$$V_p = V \left(1 - \frac{q_4}{100} \right); \text{ м}^3/\text{с} \text{ (кг/с)} \quad (15 \text{ а})$$

Де q_4 – втрати тепла від механічної неповноти горіння, для мазуту і газу $q_4=0$

6. РОЗРАХУНОК ВОДЯНОГО ЕКОНОМАЙЗЕРА

У промислових та промислово-опалювальних парових теплогенераторах, які працюють при тиску пари до 2,5 МПа, найчастіше використовують чавунні водяні економайзери, а при більшому тиску – сталеві. При цьому в теплогенераторах горизонтальної компоновки потужністю до 25 т/рік, які мають розвинені конвективні поверхні нагріву, обмежуються встановленням тільки водяного економайзера. В теплогенераторах паровою потужністю 25 т/рік вертикальної компоновки з пиловугільними топками, після водяного економайзера завжди встановлюють повітряпідігрівач. При встановленні водяних економайзерів некиплячого типу, які підігрівають питну воду, необхідно забезпечити її незакипання, тобто дотримуватися умов $t''_{ек} \leq (t_n - 20) \text{ }^\circ\text{C}$. Де $t''_{ек}$ – температура води на виході з економайзера; t_n – температура насиченої пари, яка відповідає тиску в котлі (при тиску в котлі $P=14$ ата, $t_n = 194,1 \text{ }^\circ\text{C}$., Перевірка цієї температури проводиться згідно рівнянню (16)

$$D(t''_{ек} - t'_{ек}) \times C_b = V_p \times \varphi(I'_{ек} - I''_{ек}) \quad (16)$$

Де D – кількість води, яка проходить через економайзер і відповідає розрахунковій продуктивності котла, кг/с;

$t'_{ек}, t''_{ек}$ – температури питної води на вході і виході з економайзера відповідно;

V_p – розрахункові витрати палива на котел, кг/с ($\text{м}^3/\text{с}$);

φ – коефіцієнт збереження теплоти;

C_b – теплоємність води $C_b \approx 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$;

$I'_{ек}, I''_{ек}$ кДж/кг ($\text{кДж}/\text{м}^3$) – ентальпії продуктів згорання на вході і виході з економайзера визначаються за допомогою діаграми I- Θ (рис. 1) в залежності від $\Theta'_{ек}$, (яке вибирається по завданню) і $\Theta''_{ек} = \Theta_{вих}$.

$\Theta'_{ек}$ – температура газів перед економайзером, °С (по завданню);

$\Theta''_{ек} = \Theta_{вих}$ – температура продуктів згоряння після економайзера (вибирається)

згідно рекомендаціям на стор. 19.

Визначаємо тепло сприйняття у водяному економайзері

$$Q_{ек} = \phi V_p (I'_{ек} - I''_{ек} + \Delta I_{хп})$$

$I'_{ек}$, $I''_{ек}$ – ентальпія продуктів згоряння до та після економайзера відповідно

$\Delta I_{хп} = \Delta \alpha \cdot V_n^o \cdot C_n t_n$ – ентальпія повітря, яка присосона в газоход ;

C_n і t_n – теплоємність і температура повітря $C_n = 1,34$ кДж/(м³*К); $t_n = 30$ °С.

Визначаємо температуру води на виході з економайзера

$$t''_{ек} = \frac{Q_{ек}}{D \cdot C_B} + t'_{ек} \quad , \text{ } ^\circ \text{C} \quad (17)$$

Де D – паропроодуктивність котла кг/с

$C_B = 4,19$ кДж/кгК теплоємність води

$t'_{ек} = t_{пв}$ – температура питної води (по завданню), °С

Перевірка умов незакіпання $t''_{ек} \leq (t_n - 20)$ °С

КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ЕКОНОМАЙЗЕРА

В залежності від напрямку руху води та продуктів згоряння визначаємо температурний натиск за рівнянням (18), (дивись рис. 3).

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M}} \left(\text{при } \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M} \geq 1,7 \right) \quad (18)$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} + \Delta t_M}{2} \left(\text{при } \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M} \leq 1,7 \right) \quad (18')$$

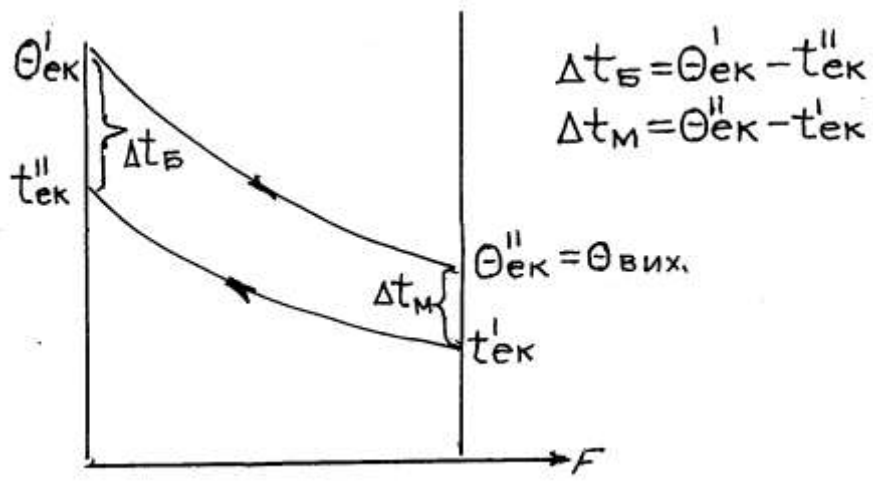


Рис. 3.

За допомогою графіка (рисунок 4) визначаємо значення коефіцієнта теплопередачі K_H [Вт/м²К] для чавунних економайзерів, використовуючи значення швидкості руху газів в економайзері у межах 6-9 м/с і середню температуру газів $\frac{\Theta_{ek}^I + \Theta_{ek}^{II}}{2} = \Theta_{cp}$, а потім визначаємо значення коефіцієнта теплопередачі $K = K_H \cdot C_\theta$

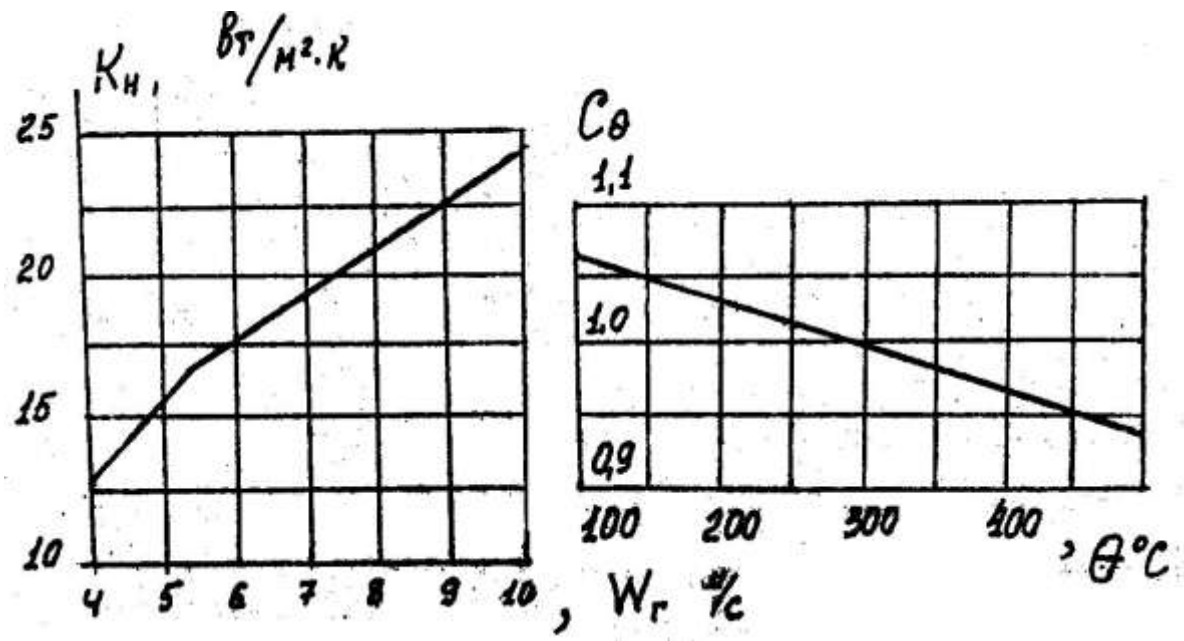


Рис 4. Номограма для використання коефіцієнта теплопередачі чавунних ребристих економайзерів.

Визначаємо площу поверхні нагріву водяного економайзеру

$$H_{\text{ек}} = \frac{Q_{\text{ек}} \cdot 10^3}{K \Delta t_{\text{ср}}}, \text{ м}^2$$

По отриманій поверхні нагріву економайзера остаточно встановлюємо його конструктивні характеристики.

Таблиця 12

Конструктивні характеристики чавунних економайзерів

Довжина, мм	Площа поверхні нагріву з газового боку, $h_{\text{ек}}, \text{ м}^2$	Площа живого перерізу для проходу продуктів згоряння, $f_{\text{ек}}, \text{ м}^2$
1500	2,18	0,088
2000	2,95	0,120
2500	3,72	0,152
3000	4,49	0,184

Визначаємо площу живого перерізу економайзеру для проходу газів

$$F_{\text{ек}} = \frac{B_p \cdot V_r (273 + \Theta_{\text{ср}})}{273 \cdot W_r} \quad (19)$$

Визначаємо число труб у горизонтальному ряду $m = F_{\text{ек}}/f_{\text{ек}}$,

Кількість труб для компоновки $n = H_{\text{ек}}/h_{\text{ек}}$

Де $f_{\text{ек}}$ – живий переріз труби для проходу газів (табл. 12) і визначаємо число горизонтальних рядів труб $z = n/m$

8. ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ ВОДЯНОГО ЕКОНОМАЙЗЕРУ

Вихідні данні

1. Паливо – Донецький антрацит.
2. Тип котла – ДКВр – 6,5 – 13.
3. Топка – ПМЗ – РПК.
4. Паропроductивність – 6,5 т/годину.
5. Температура питної води – 70 °С.
6. Розрахункова поверхня нагріву – економайзер.

Температура газів перед розрахунковою поверхнею = 330 °С

Розрахунок параметрів продуктів згоряння

1. Розрахункові характеристики палива

Родовище, марка	Склад робочої маси палива							МДж/кг
	W ^p	A ^p	S _л ^p	C ^p	H ^p	O ^p	N ^p	Q _н ^p
Донецький антрацит	5,0	20,9	2,4	66,6	2,6	1,5	1,0	25,27

2. Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha_m = 1,5$

3. Приймаємо присоси повітря по газоходах котла $\Delta\alpha = 0,1$ та визначаємо коефіцієнт надлишку повітря в характерних місцях шляхом додатка до α_m прийнятих присосів.

а) у пучку кип'ятильних труб $\alpha_k = \alpha_m + 0,1 = 1,5 + 0,1 = 1,6$

б) перед хвостовою поверхнею нагріву (економайзером)

$$\alpha'_{ек} = \alpha_k + 0,1 = 1,6 + 0,1 = 1,7$$

в) за котлом, тобто за хвостовою поверхнею нагріву:

$$\alpha''_{ек} = \alpha'_{ек} + 0,1 = \alpha_{вих} = 1,7 + 0,1 = 1,8$$

4. Теоретичний об'єм повітря, необхідного для згоряння 1 кг твердого палива:

$$V_n^o = 0,0889 (C^p + 0,375 * S_{л}^p) + 0,265 * H^p - 0,0333 * O^p$$

$$V_n^o = 0,0889 (66,6 + 0,375 * 2,4) + 0,265 * 2,6 - 0,0333 * 1,5 = 6,64 \text{ м}^3/\text{кг}$$

5. Склад продуктів згоряння палива і об'ємні долі трьохатомних газів у різних пунктах котельного агрегату

$$V_{RO_2} = 0,01866 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S_{л}^p) = 0,01866 \cdot (66,6 + 0,375 \cdot 2,4) = 1,26 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Об'єм двохатомних газів для твердого палива:

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot V^o + 0,008N_2^p = 0,79 \cdot 6,64 + 0,008 \cdot 1 = 5,23, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Об'єм водяних парів для твердого палива.

$$V_{H_2O} = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V_{H_2O}^o$$

$$V_{H_2O} = 0,111 \cdot 2,6 + 0,0124 \cdot 5,0 + 0,0161 \cdot 6,64 = 0,46, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Характеристика продуктів згоряння палива і об'ємні долі трьохатомних газів у різних пунктах котельного агрегату зведені у таблицю 8

Таблиця 8

Характеристика продуктів згоряння палива і об'ємні долі трьохатомних газів

Найменування величин	Формула для розрахунку	Одиниці вимірювання	топка	перед економайзером	після економайзера
Коефіцієнт надлишку повітря α_t	α	—	1,6	1,7	1,8
Теоретичний об'єм двохатомних газів V_{R_2}	$V_{R_2} = V_{N_2}^o + (\alpha - 1)V_{H_2}^o$	$\text{м}^3/\text{кг};$ $(\text{м}^3/\text{м}^3)$			
Теоретичний об'єм двохатомних газів V_{RO_2}	$V_{RO_2} = 0,01866(C^p + 0,375S_a^p)$ $V_{RO_2} = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum mC_mH_n)$	$\text{м}^3/\text{кг};$ $(\text{м}^3/\text{м}^3)$	1,26	1,26	1,26
Об'єм надлишкового повітря ΔV	$\Delta V = (\alpha - 1)V_{H_2}^o$	$\text{м}^3/\text{кг};$ $(\text{м}^3/\text{м}^3)$	3,98	4,65	5,31
Об'єм водяної пари V_{H_2O}	$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0,016(\alpha - 1)V_{H_2}^o$	$\text{м}^3/\text{кг};$ $(\text{м}^3/\text{м}^3)$	0,52	0,53	0,54
Загальний об'єм димових газів, V_{Γ}	$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{R_2} + V_{H_2O}$	$\text{м}^3/\text{кг};$ $(\text{м}^3/\text{м}^3)$	10,99	11,67	12,34

Найменування величин	Формула для розрахунку	Одиниці вимірювання	топка	перед економмайзером	після економмайзера
Об'ємна доля трьохатомних газів, Γ_{RO_2}	$\Gamma_{\text{RO}_2} = \frac{V_{\text{RO}_2}}{V_{\Gamma}}$	-	0,11	0,11	0,10
Об'ємна доля водяних парів, $\Gamma_{\text{H}_2\text{O}}$	$\Gamma_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_{\Gamma}}$	-	0,05	0,05	0,04
Загальна об'ємна доля триатомних газів, Γ_{n}	$\Gamma_{\text{n}} = \Gamma_{\text{RO}_2} + \Gamma_{\text{H}_2\text{O}}$	-	0,16	0,16	0,14

6. Ентальпія димових газів у різних пунктах котельного агрегату по двом крайнім значенням температур, характерним для цих пунктів.

Розрахункові значення ентальпії продуктів згоряння в різних газоходах котельного агрегату

Темпера- тура газів, °С	трьохатомні гази			двохатомні гази			Водяні пари			надлишкове повітря			тепловміст продуктів згоряння
	V_{RO_2}	$(C\Theta)_{CO_2}$	$V_{RO_2} \times$ $(C\Theta)_{CO_2}$	$V_{N_2}^o$	$(C\Theta)_{N_2}$	$V_{N_2} \times$ $(C\Theta)_{N_2}$	$V_{H_2O}^o$	$(C\Theta)_{H_2O}$	$V_{H_2O}^o \times$ $(C\Theta)_{H_2O}$	ΔV	$(ct)_{п}$	$\Delta V \times$ $(ct)_{п}$	$\sum v_i(C\Theta)_i$ кДж/кг; (кДж/м ³)
					при α_T								
2000	1,26	483,3	6089,58	5,26	2964	15590,64	0,458	3926	1798,108	3,32	3064	10172,48	33650,808
800	1,26	1704	2147,04	5,26	1093	5749,18	0,458	1335	611,43	3,32	1130	3751,6	12259,25
					при $\alpha'_{ек}$								
1000	1,26	2202	2774,52	5,26	1394	7332,44	0,458	1725	790,05	3,98	1436	5715,28	16612,29
400	1,26	772	972,72	5,26	524	2772,02	0,458	626	286,708	3,98	542	2157,16	6188,588
					при $\alpha''_{ек}$								
500	1,26	996	1254,96	5,26	664	3492,64	0,458	794	363,652	4,65	684	3180,6	8291,855
200	1,26	357	449,82	5,26	260	1367,6	0,458	309	139,232	4,65	266	1236,9	3193,552

Для кожного значення коефіцієнта надлишку повітря знаходять два значення в залежності від температури

9. СКЛАДАННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТУ І РОЗРАХУНОК ГОДИННОЇ ВИТРАТИ ПАЛИВА

1. Оцінюємо втрати тепла від хімічної неповноти згоряння q_3 і механічного недопалу q_4 в залежності від роду палива й способу спалювання.

$$q_3 = 0,5\%; q_4 = 10\%$$

2. Втрати тепла в навколишнє середовище $q_5 = 0,35$

$$\text{Коефіцієнт збереження тепла } \varphi = 1 - \frac{q_5}{100} = 1 - \frac{0,35}{100} = 0,99$$

3. Втрата тепла з фізичним теплом шлаків

$$q_6^{\text{шл}} = \frac{a_{\text{шл}}(C\Theta)_{\text{шл}} \cdot A^p}{Q_{\text{н}}^p} \text{ де } a_{\text{шл}} = 1 - a_{\text{ун}}; a_{\text{ун}} - \text{доля золи палива в шлаках } a_{\text{ун}} = 0,15$$

$$a_{\text{шл}} = 1 - 0,15 = 0,85$$

Ентальпія золи $(C\Theta)_{\text{шл}} = 561$ кДж/кг

$$\text{Тоді } q_6^{\text{шл}} = \frac{a_{\text{шл}}(C\Theta)_{\text{шл}} \cdot A^p}{Q_{\text{н}}^p} = \frac{0,85 \cdot 561 \cdot 20,9}{25270} = 0,39\%$$

4. Втрата тепла з димовими газами:

$$q_2 = \frac{(I_{\text{вих}} - Q_{\text{пал}} - Q_{\text{пов}})(100 - q_4)}{Q_{\text{н}}^p \cdot 10^3}, \%$$

$Q_{\text{пал}} = 0$ (для газів і твеірного палива)

$\Theta_{\text{вих}} = 180^\circ\text{C}$ $I_{\text{вих}} = 3100$ кДж/кг (згідно мал. 5).

$$Q_{\text{пов}} = \alpha_{\text{вих}} \cdot C_{\text{п}} \cdot t_{\text{п}} \cdot V_{\text{п}}^0 \text{ кДж/кг,}$$

Тут $C_{\text{п}}$ – теплоємність повітря = 1,34 кДж/кг, $t_{\text{п}} = 30^\circ\text{C}$; $V_{\text{п}}^0 = 6,64$ м³/кг $\alpha_{\text{вих}} = 1,8$

$$Q_{\text{пов}} = 1,8 \cdot 1,34 \cdot 30 \cdot 6,64 = 480,470 \text{ кДж/кг}$$

$$\text{Тоді } q_2 = \frac{(3100 - 480,470 - 0)(100 - 10)}{25270} = 9,33, \%$$

5. Визначаємо коефіцієнт корисної дії котла.

$$\eta = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6^{\text{шл}}) = 100 - 9,33 - 0,5 - 10 - 0,35 - 0,39 = 79,43, \%$$

6. Визначаємо фактичну та розрахункову витрати палива V (кг/с) або (м³/с).

Для парових котлів:

$$B = \frac{D(i_{\text{п}} - i_{\text{пв}}) + D_{\text{пр}}(i_{\text{кип}} - i_{\text{пв}})}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot 10^3} \text{ (кг/с), (м}^3\text{/с)}$$

Де D – паропроодуктивність котла = 1,806, кг/с.

$i_{\text{п}}$ кДж/кг – ентальпія пара при тиску в котлі при $P = 14$ ата (1,4 МПа),

$$i_{\text{п}} = 2788,4 \text{ кДж/кг}$$

$i_{\text{пв}}$ кДж/кг – ентальпія питної води $i_{\text{пв}} = t_{\text{пв}} \cdot 4,186 = 70 \cdot 4,186 = 293,02$ кДж/кг;

$D_{\text{пр}}$ – кг/с – витрата продувальної води $D_{\text{пр}} = 0,03 \cdot D = 0,03 \cdot 1,806 = 0,054$ кг/с;

$i_{\text{кип}}$ – ентальпія киплячої води у барабані парового теплогенератора при $P=14$ ата (1,4 МПа); $i_{\text{кип}} = 830,1$ кДж/кг;

$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ кДж/кг (кДж/м³) – нижча теплота згоряння палива

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 25270 \text{ кДж/кг};$$

η – коефіцієнт корисної дії котла в долях від одиниці. $\eta = 0,7943$.

$$\text{Тоді } B = \frac{1,806(2788,4 - 293,02) + 0,054(830,1 - 293,02)}{25270 \cdot 0,7943} = 0,23 \text{ (кг/с)}$$

Розрахункові витрати палива $B_{\text{р}}$ (кг/с)

$$B_{\text{р}} = B \left(1 - \frac{Q_4}{100} \right); \text{ м}^3\text{/с (кг/с)}$$

Де Q_4 % – втрати тепла від механічної неповноти горіння, = 10%

B – фактичний розрахунок палива.

$$\text{Тоді } B_{\text{р}} = 0,23 \left(1 - \frac{10}{100} \right) = 0,21; \text{ м}^3\text{/с}$$

7. Температура води на виході з економайзеру

$$D(t''_{\text{ек}} - t'_{\text{ек}}) \times C_{\text{в}} = B_{\text{р}} \times \varphi(I'_{\text{ек}} - I''_{\text{ек}})$$

Де D – кількість води, яка проходить через економайзер і відповідає розрахунковій продуктивності котла, = 1,806 кг/с ;

$t'_{\text{ек}}$ – температура питної води на вході в економайзер $t_{\text{пв}} = t'_{\text{ек}} = 70^{\circ}\text{C}$

$t''_{\text{ек}}$ – температура питної води на виході з економайзеру;

V_p – розрахункові витрати палива на котел, = 0,21 м³/с;

Φ – коефіцієнт збереження теплоти = 0,99;

C_v – теплоємність води $C_v \approx 4,19$ кДж/(кг*К).

$I'_{ек}$, $I''_{ек}$ кДж/кг (кДж/м³) – ентальпії продуктів згоряння на вході і виході з економайзера визначаються за допомогою діаграми I- θ (рис. 5) в залежності від $\theta'_{ек}$, (яке обирається по завданню) і $\theta''_{ек} = \theta_{вих}$.

$$I'_{ек} = 5400 \text{ кДж/кг} \quad I''_{ек} = 3100 \text{ кДж/кг}$$

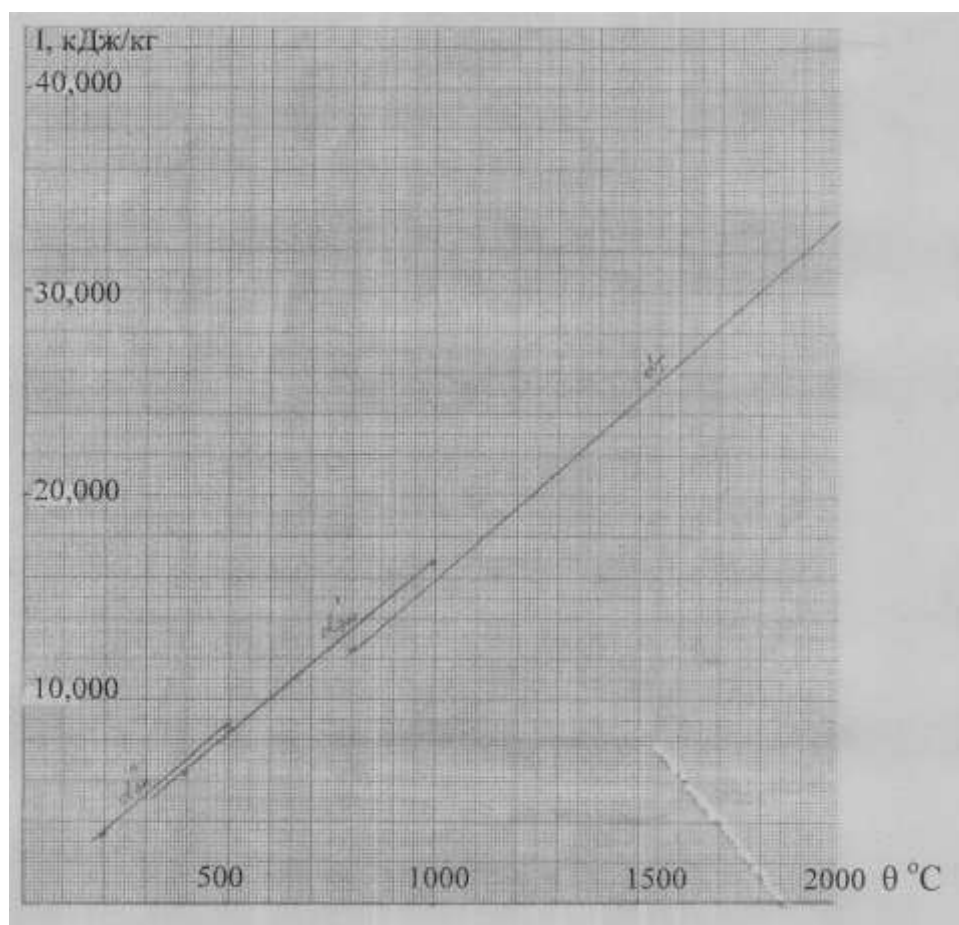


Рис. 5. Ентальпія продуктів згоряння в залежності від температури та коефіцієнту надлишку повітря

10. ТЕПЛОВИЙ РОЗРАХУНОК ЕКОНОМАЙЗЕРА

Знаходимо теплосприйняття у водяному економайзері по формулі

$$Q_{ек} = \Phi V_p (I'_{ек} - I''_{ек} + \Delta I_{хп}); \text{ кДж/с (кВт)}$$

$$Q_{ек} = 0,99 * 0,21 (5400 - 3100 + 26,7) = 488,6 \text{ кДж/с (кВт)},$$

Де $I'_{ек}$, $I''_{ек}$ – ентальпія продуктів згоряння до та після економайзера відповідно

$$I''_{\text{ек}} = I_{\text{вих}} = 3100 \text{ кДж/кг}; I'_{\text{ек}} = 5400 \text{ кДж/кг}$$

$$\Delta I_{\text{хп}} = \Delta \alpha \cdot V_{\text{п}}^{\circ} \cdot C_{\text{п}} t_{\text{п}} = 0,1 * 6,64 * 1,34 * 30 = 26,7 \text{ кДж/кг}$$

Визначаємо температуру води на виході з економайзера $t''_{\text{ек}}$

$$t''_{\text{ек}} = \frac{Q_{\text{ек}}}{D_{\text{эк}} \cdot C_{\text{в}}} + t'_{\text{ек}} \text{ , } ^{\circ} \text{C}; t''_{\text{ек}} = \frac{B_{\text{п}} \cdot \varphi (I'_{\text{ек}} - I''_{\text{ек}} + \Delta I_{\text{хп}})}{D_{\text{эк}} \cdot C_{\text{в}}} + t'_{\text{ек}} \text{ , } ^{\circ} \text{C}$$

Де $D_{\text{эк}}$ – паропроодуктивність котла, кг/с

$C_{\text{в}} = 4,19 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ – теплоємність води;

$t'_{\text{ек}} = t_{\text{пв}}$ – температура питної води (по завданню), $^{\circ}\text{C}$.

$$t''_{\text{ек}} = \frac{488,6}{1,806 \cdot 4,19} + 70 = 134,5 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Перевіряємо умови не закипання:

$$t''_{\text{ек}} \leq (t_{\text{н}} - 20) \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$135,5 \text{ } ^{\circ}\text{C} < (194 - 20) = 174 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Конструктивний розрахунок економайзера

1. Середній температурний напір

Дивись рисунок 6 (графік)

$$\frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}} = \frac{330 - 134,5}{180 - 70} = 1,77$$

$$\Delta t_{\text{сп}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}} = \frac{195,5 - 110}{\ln \frac{195,5}{110}} = 148,7 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

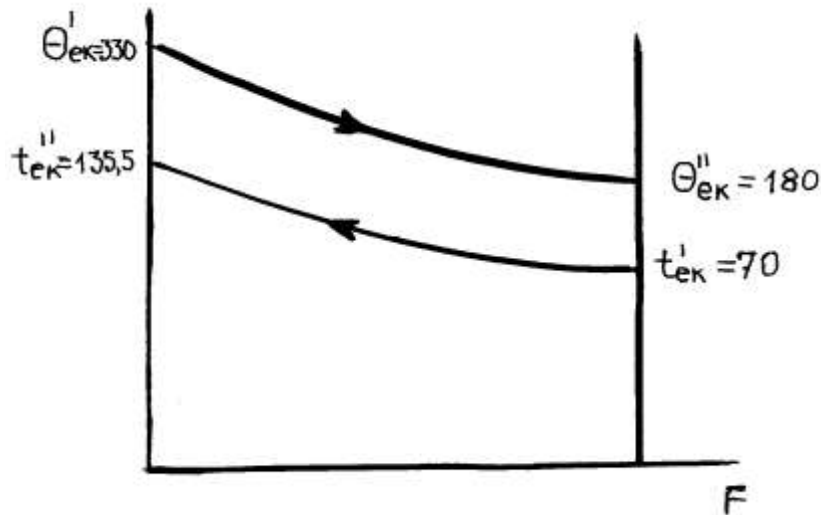


Рис. 6. Схема зміни температур теплоносіїв

2. За допомогою графіка (рис. 4) визначаємо значення коефіцієнта теплопередачі $K_H, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ для чавунних економайзерів, використовуючи значення швидкості руху газів в економайзері у межах 6-9 м/с $W_r=7 \text{ м/с}$ і середню температуру газів $\Theta_{cp} = \frac{\Theta'_{ек} + \Theta''_{ек}}{2} = \frac{330+180}{2} = 255 \text{ }^\circ\text{C}$, а потім визначаємо значення коефіцієнта теплопередачі $K = K_H \cdot C_\Theta$

$$C_\Theta = 1,01$$

$$K_H = 19 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

$$K = 19 \cdot 1,01 = 19,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

3. Визначаємо розрахункову поверхню нагріву економайзеру $H_{ек}$

$$H_{ек} = \frac{Q_{ек} \cdot 10^3}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{488,6 \cdot 10^3}{19,2 \cdot 148,2} = 172 \text{ м}^2$$

4. Обираємо труби для економайзеру

Довжина труби, мм	Поверхня нагріву труби з газової сторони труби, м^2	Живий переріз для проходу газів $f_{ек}, \text{м}^2$
2000	2,95	0,12

Знаходимо кількість труб для компоновки.

$$n = \frac{H_{ек}}{h_{ек}}; \text{ де } h_{ек} - \text{поверхня нагріву з газової сторони труби}$$

$$n = \frac{172}{2,95} = 59 \text{ труб}$$

5. Визначаємо площу живого перерізу економайзеру

$$F_{\text{ек}} = \frac{B_p \cdot V_r (273 + \Theta_{\text{cp}})}{273 \cdot W_r} = \frac{0,21 \cdot 12,34(273 + 255)}{273 \cdot 7} = 0,71 \text{ м}^2$$

6. Визначаємо число труб у горизонтальному ряду

$$m = F_{\text{ек}} / f_{\text{ек}} = \frac{0,71}{0,12} = 6 \text{ труб},$$

Де $f_{\text{ек}}$ – живий переріз труби для проходження газів (табл. 12)

7. Визначаємо число горизонтальних рядів труб

$$Z = n/m = \frac{59}{6} = 10 \text{ рядів.}$$