

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для проведення практичних занять і контрольні завдання

за курсами «Котельні установки», «Проектування сучасних котлів та котелень»

для студентів спеціальності

144 «Теплоенергетика» усіх форм навчання

Затверджено

редакційно-видавничою

радою університету,

протокол № 1 від 16.02.2023

Харків

НТУ «ХПІ»

2023

Методичні вказівки для проведення практичних занять і контрольні завдання за курсами «Котельні установки», «Проектування сучасних котлів та котелень» для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» усіх форм навчання/ уклад.: М. О. Тарасенко, О. М. Тарасенко. – Харків: НТУ «ХПІ», 2023. – 24 с.

Укладачі: М. О. Тарасенко
О. М. Тарасенко

Рецензент Т. М. Пугачова

Кафедра теплотехніки та енергоефективних технологій

ВСТУП

Котельна установка складається з котельного агрегату, в якому виробляється водяна пара або гаряча вода із заданими параметрами (тиск, температура), і ряду допоміжних пристроїв, до яких відносяться насоси, вентилятори, димотяги, система пилоприготування, золоуловлювальні та золовидаючі пристрої.

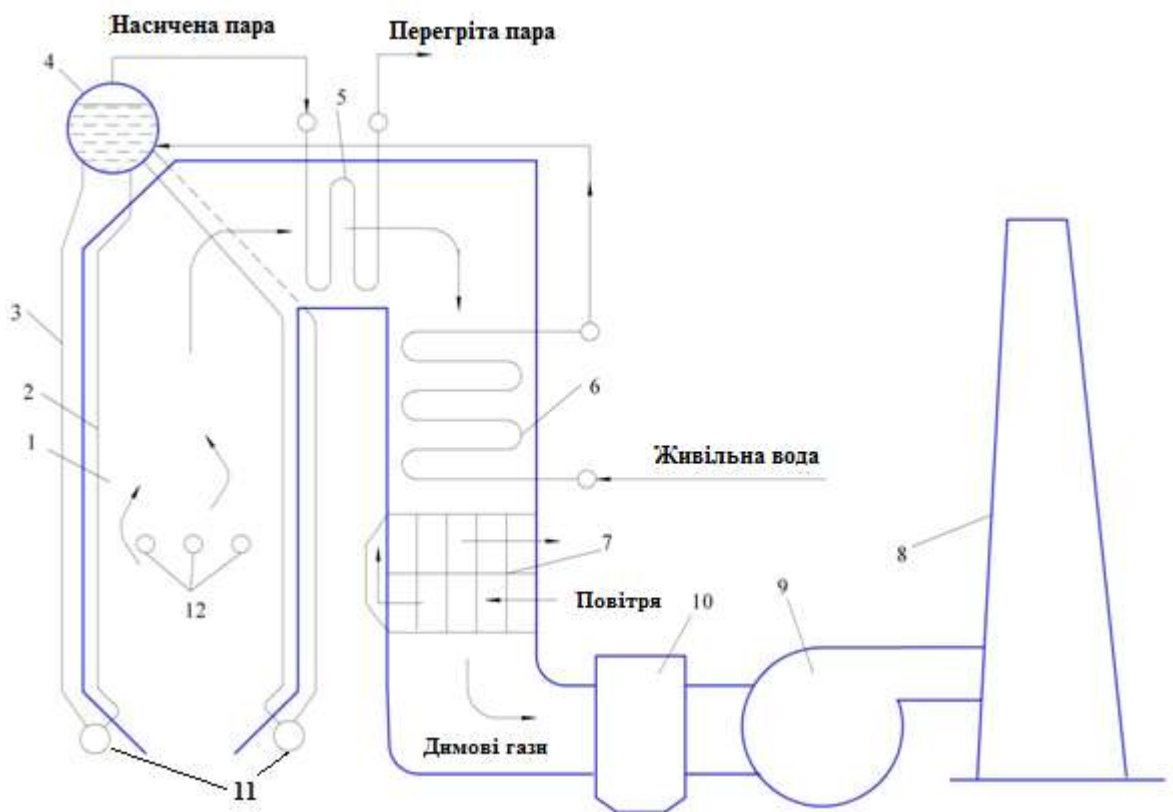


Рисунок 1 – Схема котла П-подібного компоновання (вертикально-водотрубного котла):

1 – топка котла; 2 – екрани, 3 – опускні труби; 4 – барабан котла; 5 – пароперегрівач; 6 – водяний економайзер; 7 – повітропідігрівач; 8 – димова труба; 9 – димотяг; 10 – золоуловлювач; 11 – колектори екранів, 12 – пальники

Водяна пара широко застосовується в енергетиці на теплових та атомних електростанціях як робоче тіло для паротурбінних установок. Крім того, вода й водяна пара є найпоширенішими теплоносіями в теплообмінних

апаратах, в енергетичних та технологічних системах, а також у системах теплопостачання та опалення.

На рис. 1 наведено схему парового котла з природною циркуляцією. До пальників 12 подається паливо та попередньо підігріте у повітропідігрівнику повітря. Паливоповітряна суміш, що подається в топкову камеру котла 1, згоряє, утворюючи високотемпературний факел (приблизно 1400–1600 °C). Віддавши частину теплоти екранам, топкові гази з температурою близько 1000 °C проходять через верхню частину заднього екрана (фестон) і омивають пароперегрівач 5. Потім продукти згоряння проходять через водяний економайзер 6, повітропідігрівник 7 та залишають котел з температурою близько 120–150 °C.

Екрани в топковій камері є радіаційними поверхнями нагріву, які внаслідок високої температури димових газів отримують тепло переважно випромінюванням. Теплообмін між димовими газами та трубками у водяному економайзері та повітропідігрівнику в основному відбувається конвективним шляхом, тому що при низькій температурі димових газів (менше 500 °C) інтенсивність теплообміну випромінювання порівняно невелика. Тому ці поверхні нагрівання називають конвективними.

Живильна вода, що надходить у паровий котел, підігрівається у водяному економайзері 6, забираючи теплоту від продуктів згоряння. Процес пароутворення відбувається у екранних трубах 2. Випарювальні поверхні підключені до барабана 4 та разом з опускними трубами 3, що з'єднують барабан із нижніми колекторами екранів 11, утворюють циркуляційний контур. У барабані відбувається розділення пароводяної суміші, що надходить з екранних труб. Суха насичена пара з барабана надходить у пароперегрівач 5, перегріта пара прямує до споживача. В котельному агрегаті відбувається безперервна циркуляція води та пароводяної суміші.

Завдання 1.

Визначити розрахункову витрату палива, що подається в камеру топки парового котельного агрегату. Дані до розрахунку взяти з табл. 1.

Таблиця 1 – Початкові дані

Варіант	Паропроодуктивність D , т/год	Тиск перегрітої пари, $P_{\text{пп}}$ бар	Температура перегрітої пари $t_{\text{пп}}$, °C	Температура живильної води, °C	Температура відхідних газів, $t_{\text{від}}$, °C	Коефіцієнт надлишку повітря у відхідних газах $\alpha_{\text{від}}$	Величина безперервної продувки, $p_{\text{пр}}$, %	Теоретичний об'єм повітря, $V^0_{\text{пов}}$	Теоретичний об'єм димових газів, $V^0_{\text{Г}}$
1	10	10	350	90	120	1,5	5	9,54	10,6
2	15	12	375	100	130	1,45	5	10,1	11,15
3	20	14	400	110	140	1,44	5	9,6	10,64
4	25	14	410	120	120	1,4	5	9,59	10,62
5	30	20	420	100	130	1,35	4	9,69	10,72
6	40	50	440	110	140	1,37	4	9,82	10,87
7	50	25	450	120	150	1,4	4	10	11,06
8	60	30	470	100	130	1,33	3	8,26	9,26
9	75	40	480	110	140	1,47	3	9,52	10,53
10	100	40	520	120	150	1,45	3	9,45	10,47

Методичні вказівки

Вибрати вихідне газоподібне паливо з табл. Д.1 для заданого варіанта роботи.

1. Нижча теплота згоряння газоподібного палива, кДж/м³:

$$Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 358\text{CH}_4 + 638\text{C}_2\text{H}_6 + 913\text{C}_3\text{H}_8 + 1187\text{C}_4\text{H}_{10} + \\ + 1460\text{C}_5\text{H}_{12} + 126\text{CO} + 108\text{H}_2 + 234\text{H}_2\text{S}.$$

2. Наявне тепло в котельній установці, кДж/ м³:

$$Q_p = Q_n.$$

3. Дійсний об'єм димових газів на виході з котла, м³/ м³:

$$V_{\Gamma} = V_{\Gamma}^o + (\alpha_{\text{від}} - 1)V_{\text{пов}}^o.$$

4. Ентальпія відхідних газів, кДж/ м³:

$$I_{\text{від}} = V_{\Gamma} \cdot c_{p\Gamma} \cdot t_{\text{від}},$$

де $c_{p\Gamma}$ – теплоємність димових газів при температурі $t_{\text{від}}$ (табл. Д.2).

5. Ентальпія холодного повітря, кДж/м³:

$$I_{\text{х. пов}}^o = V_{\text{пов}}^o \cdot c_{p \text{ пов}} \cdot t_{\text{х. пов}},$$

де $c_{p \text{ пов}}$ – теплоємність холодного повітря, кДж/кг (табл. Д.3);

$t_{\text{х. пов}} = 30^{\circ}\text{C}$ – температура холодного повітря.

6. Втрати теплоти від хімічної неповноти згорання $q_3 = 0,5 \%$.

7. Втрати теплоти від механічної неповноти згорання $q_4 = 0 \%$.

8. Втрати теплоти з відхідними (димовими) газами:

$$q_2 = \frac{(I_{\text{від}} - \alpha_{\text{від}} I_{\text{х. пов}}^o)(100 - q_4)}{Q_p^p}, \%$$

9. Втрати теплоти від в навколишнє середовище через стіни котла $q_5, \%$
(рис. 2).

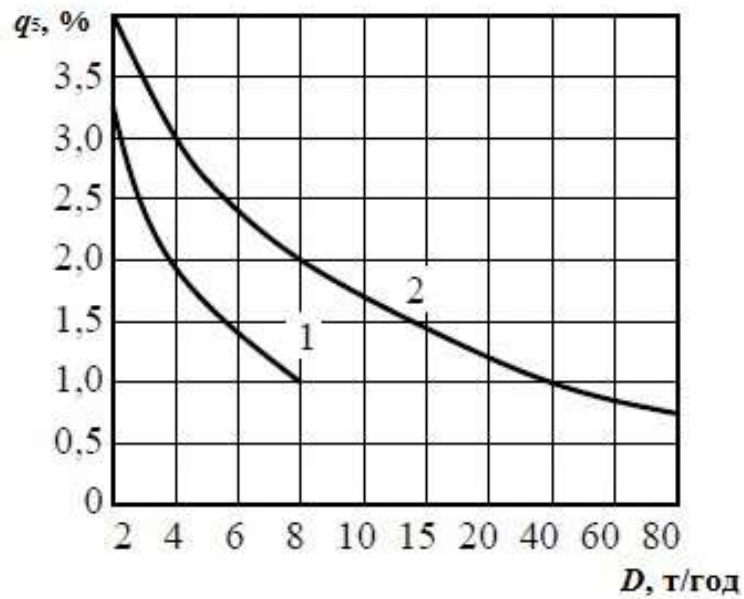


Рисунок 2 – Залежність втрат тепла через стіни від паровидатності:

1 – котел без хвостових поверхонь; 2 – котел с хвостовими поверхнями

10. Втрати з фізичною теплотою шлаку $q_6 = 0 \%$.

11. Сумарні теплові втрати котла, %:

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6.$$

12. ККД котла брутто, %:

$$\eta_{\kappa}^{\text{бр}} = 100 - \sum q.$$

13. Коефіцієнт збереження тепла:

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{\kappa}^{\text{бр}} + q_5}.$$

14. Ентальпія перегрітої пари $i_{\text{пп}}$, визначається в залежності від тиску $P_{\text{пп}}$ та температури пари $t_{\text{пп}}$ (рис. Д. 6).

15. Ентальпія живильної води $i_{\text{жв}}$, визначається в залежності від тиску $P_{\text{пп}}$ та температури пари $t_{\text{жв}}$ (табл. Д.5).

16. Ентальпія котлової води $i_{\text{кв}}$, яка визначається для умов стану насичення при тиску в барабані котла (табл. Д.4 в залежності від $P_{\text{пп}}$).

17. Витрати води з продувкою, кг/с:

$$D_{\text{пр}} = 0,01 \cdot p \cdot D ,$$

де p – величина безперервної продувки, % (вихідні данні).

18. Корисно використана теплота в котлі, кВт:

$$Q_{\text{ка}} = D (i_{\text{пп}} - i_{\text{жв}}) + D_{\text{пр}} (i_{\text{кв}} - i_{\text{жв}}).$$

19. Витрата палива, м³/с :

$$B = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}}}.$$

Запитання до завдання 1

1. Дайте визначення поняття котельна установка. З яких елементів вона складається?
2. Схеми та принцип дії водотрубних котлів.
3. Класифікація котлів за технологічним призначенням.
4. Які чинники впливають на втрати теплоти з відхідними газами?
5. Схеми циркуляції пароводяної суміші в котельній установці.
6. Призначення продувки котла.
7. Тип компонування котла та перелік поверхонь нагріву.
8. Які види теплових втрат ви знаєте?
9. Які види енергоресурсів використовують в котельних агрегатах?
10. Поясніть різницю між ККД бруто і ККД нетто котла.

Завдання 2

Використовуючи дані завдання 1, визначити поверхню нагріву конвективного пароперегрівача (ПП) з прямоточною схемою руху теплоносіїв.

Таблиця 2 – Вихідні дані до завдання 2

Варіант	Температура димових газів на вході в ПП, $t'_{г\text{ пп}}, ^\circ\text{C}$	Коефіцієнт надлишку повітря $\alpha'_{\text{пп}}$	Коефіцієнт теплопередачі пароперегрівача $k, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{K})$
1	920	1,1	50
2	940	1,11	52
3	880	1,12	54
4	950	1,13	56
5	970	1,14	58
6	990	1,15	60
7	1000	1,1	55
8	1030	1,12	53
9	1010	1,13	62
10	900	1,5	65

Методичні вказівки

1. Дійсний об'єм димових газів перед пароперегрівачем, $\text{м}^3/\text{м}^3$:

$$V'_{г\text{ пп}} = V_{г}^0 + (\alpha'_{\text{пп}} - 1)V_{\text{пов}}^0.$$

2. Ентальпія газів на вході в пароперегрівач, $\text{кДж}/\text{м}^3$:

$$I'_{г\text{ пп}} = V_{г} \cdot c_{pg} \cdot t'_{г\text{ пп}},$$

де c_{pg} – теплоємність димових газів при температурі $t'_{г\text{пп}}$, кДж/кг.

3. Температура t_n та ентальпія i_n насиченої пари на вході в пароперегрівач визначається за табл. Д. 4 в залежності від $P_{пп}$.

4. Ентальпія перегрітої пари на виході з пароперегрівача $i_{пп}$ визначається за табл. Д.6 в залежності від $P_{пп}$ та температури $t_{пп}$.

5. Теплота, яку сприймає пароперегрівач, кДж/ м³:

$$Q_{пп} = D(i_{пп} - i_n)/B .$$

6. Визначимо ентальпію газів після пароперегрівача, кДж/ м³:

$$I''_{г\text{пп}} = I'_{г\text{пп}} - \frac{Q_{пп}}{\varphi} + \Delta\alpha_{пп} \cdot I^{\circ}_{х.пов} .$$

7. Коефіцієнт надлишку повітря за пароперегрівачем:

$$\alpha''_{пп} = \alpha'_{пп} + \Delta\alpha_{пп} ,$$

де $\Delta\alpha_{пп} = 0,03 \div 0,05$ – присоси повітря в газоході.

8. Дійсний об'єм димових газів за пароперегрівачем, м³/ м³:

$$V''_{г\text{пп}} = V'_{г\text{пп}} + (\alpha''_{пп} - 1)V^{\circ}_{пов} .$$

9. Температура газів на виході з пароперегрівача визначається методом підбору температури та теплоємності, °С:

$$t''_{г.пп} = \frac{I''_{г}}{V''_{г} \cdot c''_{pg}} .$$

10. Середній температурний напір (рис.3), °С:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}}} ,$$

де $\Delta t_M = t''_{r,пп} - t_{пп}$ – менша різниця температур,

$\Delta t_6 = t'_{r,пп} - t_n$ – більша різниця температур.

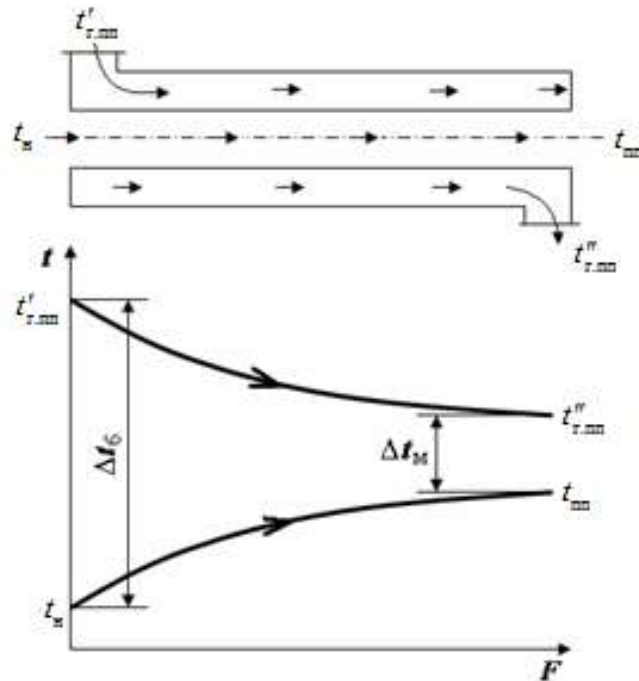


Рисунок 3 – Схема для визначення температурного напору

12. Необхідна поверхня нагріву, m^2 :

$$F_{пп} = \frac{Q_{пп} \cdot B \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t_{cp}}.$$

Запитання до завдання 2

1. Призначення та принцип дії пароперегрівачів.
2. Переваги та недоліки прямо - та протиточної схем руху теплоносіїв у пароперегрівачі.
3. Які чинники впливають на зміни температури перегрітої пари під час експлуатації котла?
4. Методи регулювання температури перегрітої пари.
5. Класифікація пароперегрівачів.

Завдання 3

Використовуючи дані завдання 1, 2 визначити поверхню нагріву водяного економайзера (ВЕ).

Таблиця 3 – Вихідні дані до завдання 3

Варіант	Температура живильної води на вході в ВЕ, $t'_{\text{жв}}$, °C	Величина присосів холодного повітря $\Delta\alpha_{\text{ве}}$	Коефіцієнт теплопередачі водяного економайзера k , Вт/(м²К)
1	90	0,08	50
2	100	0,07	47
3	110	0,06	49
4	120	0,05	53
5	130	0,1	58
6	90	0,09	51
7	100	0,08	45
8	120	0,07	55
9	130	0,1	57
10	110	0,05	60

Методичні вказівки

1. Ентальпію $I'_{\text{г ве}}$ та температуру димових газів $t'_{\text{г ве}}$ на вході в водяний економайзер приймаємо із завдання 2:

$$I'_{\text{г ве}} = I''_{\text{г пп}}, t'_{\text{г ве}} = t''_{\text{г пп}}.$$

2. Коефіцієнт надлишку повітря за водяним економайзером:

$$\alpha''_{\text{ве}} = \alpha''_{\text{пп}} + \Delta\alpha_{\text{ве}}.$$

3. Дійсний об'єм димових газів за водяним економайзером, м³/кг:

$$V''_{\text{г ве}} = V''_{\text{г пп}} + (\alpha''_{\text{ве}} - 1)V^{\circ}_{\text{пов}}.$$

4. Ентальпія живильної води на вході в водяний економайзер $i'_{\text{жв}}$ (завдання 1 $i'_{\text{жв}} = i_{\text{жв}}$).

5. Температура води на виході з економайзера $t_{\text{н}}$ визначається з табл Д.4 в залежності від $P_{\text{пп}}$.

6. Ентальпію живильної води на виході з водяного економайзера визначаємо за табл. Д.4 ($i''_{\text{жв}} = i_{\text{кв}}$).

7. Кількість тепла, яка сприймається водяним економайзером, кДж/м³:

$$Q_{\text{ве}} = \frac{D_{\text{ве}} (i''_{\text{жв}} - i'_{\text{жв}})}{B_{\text{р}}},$$

де $D_{\text{ве}}$ – витрата води в економайзері, кг/с, $D_{\text{ве}} = D + D_{\text{пр}}$.

11. Визначимо ентальпію газів після водяного економайзера, кДж/м³:

$$I''_{\text{г ве}} = I'_{\text{г ве}} - \frac{Q_{\text{пп}}}{\phi} + \Delta\alpha_{\text{ве}} \cdot I^{\circ}_{\text{х.пов}}.$$

9. Температура газів на виході з водяного економайзера визначається методом підбору температури та теплоємності, °С:

$$t''_{\text{г ве}} = \frac{I''_{\text{г ве}}}{V''_{\text{г ве}} \cdot c''_{\text{рг}}}.$$

10. Середній температурний напір (рис.4), °С:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}},$$

де $\Delta t_{\text{м}} = t''_{\text{г ве}} - t'_{\text{жв}}$ – менша різниця температур,

$\Delta t_{\text{б}} = t'_{\text{г ве}} - t''_{\text{жв}}$ – більша різниця температур.

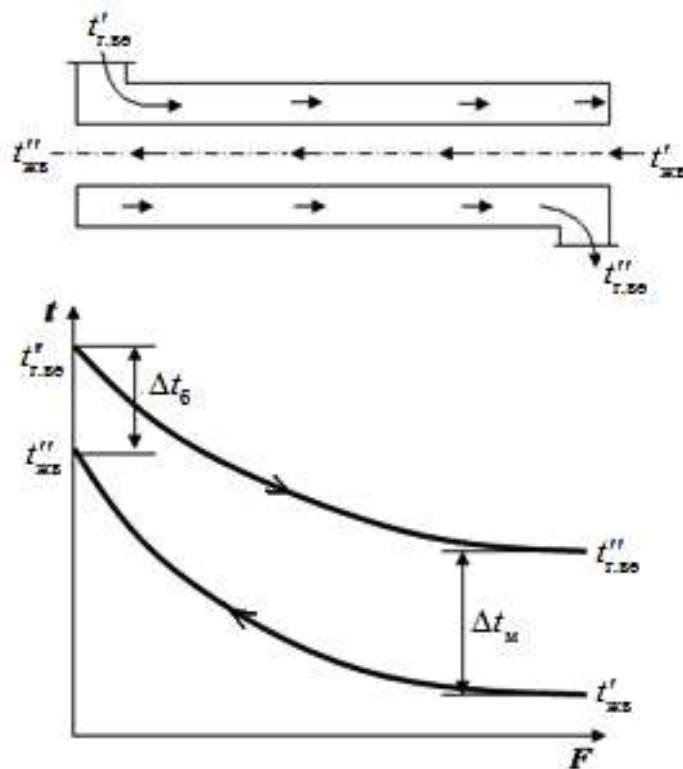


Рисунок 4 – Схема руху теплоносіїв та графік зміни їх температур при протитечії

11. Необхідна поверхня нагріву, м^2 :

$$F_{\text{ве}} = \frac{Q_{\text{ве}} \cdot B \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t_{\text{ср}}}.$$

Запитання до завдання 3

1. Призначення та принцип дії водяних економайзерів.
2. Економайзери киплячого та некиплячого типу.
3. Чавунні економайзери та їх сфера застосування.
4. Чому при розрахунку коефіцієнтів теплопередачі у випарних поверхнях нагріву та водяному економайзері не враховується коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні нагрівання?
5. Основні рівняння для розрахунку конвективних поверхонь нагрівання.

Завдання 4

Використовуючи дані та результати розрахунків попередніх завдань, визначити поверхню нагріву рекуперативного повітропідігрівача (П).

Таблиця 4 – Вихідні дані до завдання 4

Варіант	Коефіцієнт надлишку повітря в топковій камері α_T	Величина присосів холодного повітря $\Delta\alpha_{\Pi}$	Коефіцієнт теплопередачі повітропідігрівника k , Вт/(м ² К)
1	1,03	0,15	14
2	1,03	0,17	16
3	1,03	0,18	18
4	1,05	0,2	20
5	1,05	0,13	22
6	1,05	0,15	15
7	1,07	0,16	17
8	1,07	0,19	19
9	1,07	0,12	21
10	1,07	0,17	18

Методичні вказівки

1. Ентальпію $I'_{\Gamma\Pi}$ та температуру димових газів $t'_{\Gamma\Pi}$ на вході в повітропідігрівач приймаємо із завдання 3:

$$I''_{\Gamma\text{вс}} = I'_{\Gamma\Pi}, \quad t''_{\Gamma\text{вс}} = t'_{\Gamma\Pi}.$$

2. Температура димових газів на виході з повітропідігрівника $t''_{\Gamma\Pi} = t_{\text{від}}$ (вихідні дані).

3. Ентальпія димових газів на виході з повітропідігрівника $I''_{\Gamma\Pi} = I_{\text{від}}$ (завдання 1).

4. Температура повітря на вході в повітропідігрівник $t'_{\text{пов}} = t_{\text{х.пов}} = 30^{\circ}\text{C}$.

5. Ентальпія повітря на вході в повітропідігрівник $I'_{\text{пов}} = I^0_{\text{х.пов}}$.

6. Кількість тепла, яка сприймається повітропідігрівником, кДж/м³:

$$Q_{\text{пов}} = \varphi \cdot (I'_{\Gamma\Pi} - I''_{\Gamma\Pi} + \Delta\alpha_{\Pi} \cdot I^0_{\text{х.пов}}).$$

7. Ентальпія повітря на виході з повітропідігрівника, кДж/м³:

$$I''_{\text{пов}} = I'_{\text{пов}} + \frac{Q_{\text{пов}}}{\alpha_{\text{T}}}.$$

8. Дійсний об'єм повітря на виході з повітропідігрівника, кДж/м³:

$$V_{\text{пов}} = \alpha_{\text{T}} \cdot V^0_{\text{пов}}.$$

9. Температура повітря на виході з повітропідігрівника визначається методом підбору температури та теплоємності, °С:

$$t''_{\text{пов}} = \frac{I''_{\text{пов}}}{V_{\text{пов}} \cdot c'_{p\text{ пов}}},$$

10. Середній температурний напір, °С:

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2},$$

де $\Delta t_1 = t'_{\Gamma\Pi} - t''_{\text{пов}}$ – різниця температур на вході газів;

$\Delta t_2 = t''_{\Gamma\Pi} - t'_{\text{пов}}$ – різниця температур на виході газів.

11. Необхідна поверхня нагріву, м²:

$$F_{\text{пов}} = \frac{Q_{\text{пов}} \cdot B \cdot 10^3}{k \cdot \Delta t_{\text{cp}}}.$$

Запитання до завдання 4

1. Призначення та принцип дії повітропідігрівників.
2. Переваги компонування водяного економайзера та повітропідігрівника в розсічку.
3. Які переваги дає використання підігріву повітря в котлах?
4. Способи передачі тепла в топці та конвективних поверхнях нагріву.
5. Переваги та недоліки рекуперативних та регенеративних повітропідігрівників.

ДОДАТКИ

Таблиця Д.1 – Розрахункові характеристики газоподібних палив

№ п \ п	CH ₄ %	C ₂ H ₆ %	C ₃ H ₈ %	C ₄ H ₁₀ %	C ₅ H ₁₂ %	N ₂ %	CO ₂ %	H ₂ S %	CO %	H ₂ %
1	84,5	3,8	1,9	0,9	0,3	7,8	0,8			
2	89,4	3,6	2,6	0,9	0,2	3,2	0,1			
3	91,9	2,1	1,3	0,4	0,1	3	1,2			
4	93,8	2,0	0,8	0,3	0,1	2,6	0,4			
5	92,8	2,8	0,9	0,4	0,1	2,5	0,5			
6	91,2	3,9	1,2	0,5	0,1	2,6	0,5			
7	89,7	5,2	1,7	0,5	0,1	2,7	0,1			
8	85,8	0,2	0,1	0,1	-	13,7	0,1			
9	98,9	0,3	0,1	0,1	-	0,4	0,2			
10	95,6	0,7	0,4	0,2	0,2	2,8	0,1			
11	98,5	0,2	0,1	-	-	1,0	0,2			
12	92,8	3,9	1,1	0,4	0,1	1,6	0,1			
13	92,8	3,9	1,0	0,4	0,3	1,5	0,1			
14	94,1	3,1	0,6	0,2	0,8	1,2	-			
15	81,7	5,3	2,9	0,9	0,3	8,8	0,1			
16	58,0	17,2	7,4	2,0	0,5	13,6	0,8	0,5		
17	42,7	19,6	12,6	5,1	1,3	16,9	1,0	0,8		
18	68,5	14,5	7,6	3,5	1,0	3,5	1,4			
19	93,9	3,4	1,3	0,7	0,2	0,1	0,4			
20	0,3					55,0	12,5		27,2	5,0
21	25,5	1,0				4,0	2,4	0,3	7,0	59,8
22	0,3					58,5	10,5		28	2,7
23	22,3	2,7				8,1	2,6	0,4	6,9	57

Таблиця Д.2 – Значення теплоємності димових газів c_p при різних температурах ($B = 760$ мм. рт. ст).

Температура $t_r, ^\circ\text{C}$	Теплоємність $c_{pg}, \text{кДж/м}^3\text{ }^\circ\text{C}$	Температура $t_r, ^\circ\text{C}$	Теплоємність $c_{pg}, \text{кДж/м}^3\text{ }^\circ\text{C}$
100	1,383	550	1,553
150	1,401	600	1,572
200	1,421	650	1,588
250	1,437	700	1,605
300	1,453	750	1,621
350	1,472	800	1,637
400	1,491	850	1,655
450	1,513	900	1,671
500	1,535	950	1,680

Таблиця Д.3 – Значення теплоємності повітря c_p при різних температурах ($B = 760$ мм. рт. ст).

Температура $t_r, ^\circ\text{C}$	Теплоємність $c_{pg}, \text{кДж/кг}$	Температура $t_r, ^\circ\text{C}$	Теплоємність $c_{pg}, \text{кДж/кг}$
0	1,299	120	1,305
30	1,299	150	1,312
50	1,299	200	1,327
80	1,305	2500	1,342
100	1,305	300	1,354

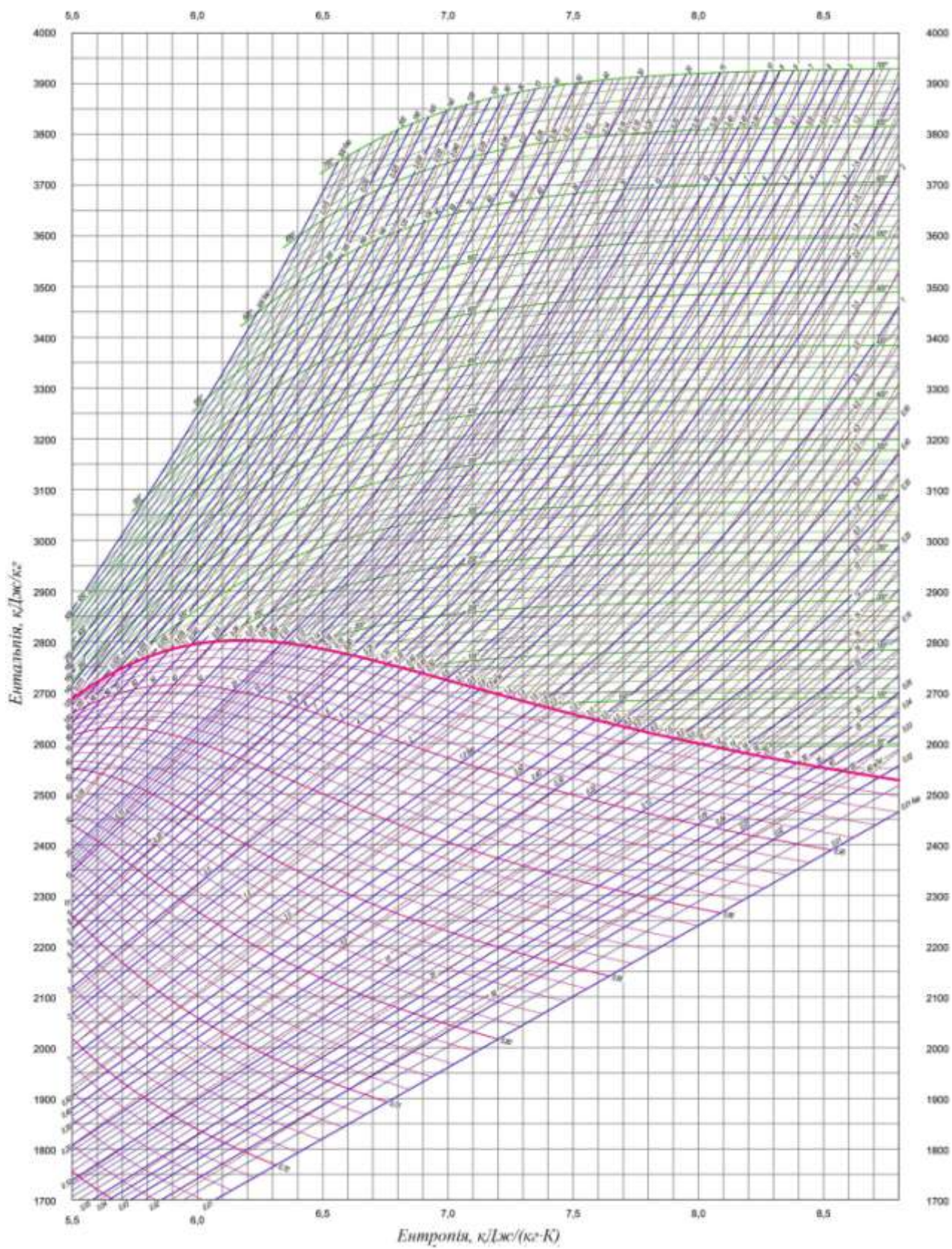
Таблиця Д.4 – Тепловміст води і пари на лінії насичення

P , МПа	t_n , °С	$i_{кв}$, кДж/кг	i_n , кДж/кг	P , МПа	t_n , °С	i_v , кДж/кг	i_n , кДж/кг
1,0	179,9	763	2778	3,1	235,7	1017	2804
1,1	184,1	781	2782	3,2	237,5	1025	2804
1,2	188,0	799	2785	3,3	239,2	1034	2804
1,3	191,6	815	2788	3,4	240,9	1042	2804
1,4	195,1	830	2790	3,5	242,6	1050	2803
1,5	198,3	845	2792	3,6	244,2	1058	2803
1,6	201,4	859	2794	3,7	245,8	1065	2803
1,7	204,3	872	2796	3,8	247,4	1073	2802
1,8	207,1	885	2797	3,9	248,4	1080	2802
1,9	209,8	897	2798	4,0	250,4	1087	2801
2,0	212,4	909	2800	4,1	251,9	1094	2801
2,1	214,9	920	2800	4,2	253,3	1101	2800
2,2	214,9	931	2801	4,3	254,7	108	2800
2,3	217,3	942	2802	4,4	256,1	1115	2799
2,4	219,6	952	2803	4,5	257,5	1122	2798
2,5	221,8	962	2803	4,6	258,8	1129	2798
2,6	224,0	972	2803	4,7	260,1	1135	2797
2,7	226,1	981	2804	4,8	261,5	1142	2796
2,8	228,1	991	2804	4,9	262,7	1148	2795
2,9	230,1	1000	2804	5,0	264,0	1154	2794
3,0	232,0	1008	2804	5,1	265,2	1160	2793

Таблиця Д. 5 – Тепловміст живильної води

$t, ^\circ\text{C}$	Тиск P , МПа								
	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2
90	377,6	377,9	378,2	378,5					
100	419,7	420,0	420,3	420,6	420,9	421,2	421,5	421,8	422,1
110	461,9	462,2	462,5	462,8	463,1	463,4	463,6	463,9	464,2
120	504,3	504,5	504,8	505,1	505,4	505,7	505,9	506,2	506,5
130	546,8	547,1	547,3	547,6	547,9	548,1	548,4	548,7	549,0
140	589,5	589,8	590,0	590,3	590,6	590,8	591,1	591,3	591,6
150	632,5	632,8	633,0	633,2	633,5	633,7	634,0	634,2	634,5
160	675,8	676,0	676,2	676,5	676,7	676,9	677,2	677,4	677,6
170	719,3	719,5	719,7	720,0	720,2	720,4	720,6	720,8	721,1
180		763,4	763,6	763,8	764,0	764,2	764,4	764,6	764,8
190			807,9	808,0	808,2	808,4	808,6	808,8	809,0
200			852,5	852,7	852,9	853,0	853,2	853,4	853,5

Рисунок Д. 6 – $I - S$ діаграма водяної пари



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанов Д.В. Котельні установки промислових підприємств: навч. посібник/ Д. В. Степанов, Є.С. Корженко, Л.А. Боднар.– Вінниця: ВНТУ, 2011. – 120 с.
2. Чепурний М. М. Теплові розрахунки парогенераторів / М. М. Чепурний, Д. В. Степанов, Є. С. Корженко.– Вінниця : ВНТУ, 2005. – 154 с.
3. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Пізнання й досвід - шлях до сучасної енергетики / Є. Т. Базеєв, Г. Б. Варламов, І. А. Вольчин [та ін.] ; наук. ред. Ю. О. Ландау, І. Я. Сігал, С. В. Дубовської. – Київ : Б.в., 2013. – 328 с.
4. Павловський В.Г. Термодинаміка фізико-енергетичних процесів: навч. посібник для студентів технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. У 2-х ч.: Ч. 2 / В.Г. Павловський, Г.І. Павловський. – Харків : НТУ «ХП», 2003. – 336 с.
5. Волощук, В.А., Денісов А.К., Трофимчук І.П. Котельні установки промислових підприємств: навч. посіб. / В.А. Волощук, А.К. Денісов, І.П. Трофимчук. – Рівне: НУВГП, 2013. – 227 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для проведення практичних занять і контрольні завдання
за курсами «Котельні установки»,
«Проектування сучасних котлів та котелень»
для студентів спеціальності
144 «Теплоенергетика» усіх форм навчання

Укладачі: ТАРАСЕНКО Микола Олексійович
ТАРАСЕНКО Олександр Миколайович

Відповідальний за випуск

проф. Микола КУНДЕНКО

Роботу до видання рекомендував

доц. Лариса ТЮТЮНИК

В авторській редакції

План 2023 р., поз. 117

Підп. до друку 16 .02. 2023. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.

Riso-друк. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,3.

Наклад 50 прим. Зам. №_____. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р.

61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Самостійне електронне видання