

<b>Вступ</b> .....	5
<b>Тема № 1.</b> Загальні положення по проектуванню джерел теплопостачання.....	6
<b>Тема № 2.</b> Розрахунок теплової схеми котельні з паровими котлами.....	9
<b>Практичне заняття № 1.</b> Підготовка початкових даних для розрахунку теплової схеми котельні з паровими котлами для закритої системи теплопостачання.....	9
<b>Практичне заняття № 2.</b> Розрахунок теплової схеми опалювально-виробничої котельні з паровими котлами для закритої системи теплопостачання.....	19
<b>Практичне заняття № 3.</b> Підготовка початкових даних для розрахунку теплової схеми опалювально-виробничої котельні з паровими котлами для відкритої системи теплопостачання.....	28
<b>Практичне заняття № 4.</b> Розрахунок теплової схеми опалювально-виробничої котельні з паровими котлами для відкритої системи теплопостачання.....	37
<b>Література</b> .....	51

у ХХІ сторіччя людство вступило з широкорозвинутою промисловістю. Подальший розвиток цивілізації пов'язаний із збільшенням об'ємів видобутку, переробки і споживання енергоресурсів.

Розвиток теплоенергетики в Україні йшов по шляху централізації як споживачів теплової і електричної енергії, так і джерел енергопостачання.

На виробництво теплової енергії витрачається більше 30% споживаних первинних енергоресурсів. За експертними оцінками за 2000 рік структура покриття теплових навантажень різними джерелами була наступною: ТЕЦ – 30%, промислові, промислово-опалювальні і комунальні котельні – 55%, індивідуальні джерела теплопостачання – 15%.

Розв'язання енергетичних проблем багато в чому залежить від рівня наукових досліджень в області розробки енергозберігаючих технологій і реалізації освітньої Програми населення України з питань енергозбереження.

У зв'язку з цим питання проектування нових джерел теплопостачання, реконструкція і модернізація діючих набувають в даний час особливу актуальність.

У запропонованому навчальному посібнику узагальнені і систематизовані методичні матеріали по проектуванню систем централізованого теплопостачання, зокрема, методика розрахунку теплових схем промислових і опалювальних котельень, розрахунку і вибору основного і допоміжного устаткування котельних, розрахунку техніко-економічних показників котельних.

Методичні вказівки рекомендовані студентам вищих учбових закладів, що навчаються за фахом «Теплоенергетика» при виконанні практичних робіт з дисципліни „Джерела теплопостачання промислових підприємств”.

## ТЕМА №1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПО ПРОЕКТУВАННЮ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Проектуванню будь-якого джерела теплопостачання передують аналіз початкових даних по характеру теплових навантажень, виду теплоносія і вибір для даних конкретних умов схеми відпуску теплоти в цілому. Слід мати на увазі, що варіант проектування теплової станції з паровими котлами може розглядатися за наявності споживачів пари для технологічних цілей, а також для відпуску невеликої (по відношенню до відпуску пари) кількості теплоти у водяні мережі.

Проектування джерела теплопостачання і вибір основного і допоміжного устаткування базується на результатах розрахунку теплової схеми.

Розрахунок теплової схеми виконується для наступних режимів:

I – максимального зимового при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для проектування систем опалювання.

II – зимового режиму при середній температурі зовнішнього повітря за найхолодніший місяць. Розрахунок по цьому режиму здійснюється для вибору одиничної потужності котлоагрегатів.

III – відповідає середній температурі зовнішнього повітря за опалювальний сезон. Розрахунок теплової схеми по цьому режиму здійснюється з метою визначення основних техніко-економічних показників роботи станції.

IV – режим літній, характеризує роботу котельні в літній період за відсутності опалювально-вентиляційного навантаження. Технологічне навантаження приймається максимально-добовим; навантаження гарячого водопостачання – по середньодобовій за добу найбільшого водоспоживання.

Методика розрахунку теплової схеми джерела для відпуску теплоти промислово-опалювальним споживачам зводиться до наступного:

1. Робиться підрахунок потужності котлоагрегатів відповідно до розрахункового споживання тільки зовнішніми паротеплоспоживачами. Ця потужність визначається виходячи із заданих теплових навантажень.

2. Підрахунок потужності котлоагрегатів потрібної для покриття витрат теплоти на власні потреби котельні: деаератори, пароводяні і водоводяні підігрівачі і т.п.

Витрата пари на власні потреби багато в чому визначається схемою теплової мережі (відкрита або закрита) і величиною повернення конденсату на станцію.

У свою чергу ці чинники впливають на величину додаткової води, що поступає на станцію для компенсації втрат теплоносія у споживача і в теплових мережах.

3. Підрахунок дійсної (сумарної) теплопродуктивності котельної установки.

Розрахунок слід виконувати паралельно для всіх чотирьох режимів. Результати розрахунку зручно представити в табличній формі.

При визначенні втрат теплоносія у водяних теплових мережах слід приймати її рівною 0,5 % об'єму води в трубопроводах і місцевих опалювально-вентиляційних системах споживачів.

Об'єм води в зовнішніх трубопроводах може бути визначений по питомих об'ємах залежно від розрахункового теплового навантаження за формулою

$$V_{тс} = Q_{ж}^* \cdot A_{жж} + Q_{пр}^* \cdot A_{пр}$$

де  $Q_{ж}^*$ ,  $Q_{пр}^*$  – розрахункові теплові навантаження житлових будівель і підприємств, МВт;

$A_{жж}$ ,  $A_{пр}$  – питомі об'єми зовнішніх тепломереж, м<sup>3</sup>/МВт.

Для міст і населених пунктів  $A_{жж} \approx 8,0 - 10,0$ ; для селища  $A_{жж} \approx 10,0 - 12,0$ ; для пром підприємств  $A_{пр} \approx 6,0 \div 8,0$ .

Об'єм трубопроводів усередині будівель (місцеві системи) підраховуються аналогічно, при цьому  $A_{мж}=25,0$ ;  $A_{мн}=12,0+15,0$ .

У розрахунку теплової схеми парової котельні втрати теплоти з випаром не враховуються, оскільки за наявності охолоджувача випару вони нікчемно малі.

Величину безперервної продувки котлів в розрахунку теплової схеми згідно нормам для парових котлів з робочим тиском до 1,4 МПа слід приймати не більш 10% номінальної паропродуктивності котла, а для котлів з тиском 4 МПа –5%.

При деаерації живильної і підживлюючої води в деаераторах атмосферного типу з подачею в нього грійоючої пари, величина додаткової (сирої) води по станції зменшується на величину конденсату грійоючої пари.

Розрахунок теплової схеми базується на складанні і рішенні системи рівнянь теплового і матеріального балансу.

Вибір основного і допоміжного устаткування котельної установки на підставі розрахунку її теплової схеми повинен здійснюватися відповідно до діючих норм проектування [1]. Рекомендації по вибору допоміжного устаткування промислово-опалювальної котельні приведені в [2]. Слід також мати на увазі, що парове максимально-зимове навантаження котельні, як правило, повинне покриватися всіма встановленими паровими котлами без резерву. Одиична потужність парових котлів повинна дозволити проведення планово-запобіжних ремонтів.

Для швидкого визначення ряду розрахункових величин рекомендується використовувати графіки, поміщені в додатках [3].

Послідовність виконання розрахунків теплових схем наведена в прикладах, приведених в даному посібнику.

В якості прикладу використані розрахунки теплових схем з паровими і водогрійними котлами для закритої і відкритої систем теплопостачання [3, 4].

## ТЕМА №2. РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОЇ СХЕМИ КОТЕЛЬНОЇ З ПАРОВИМИ КОТЛАМИ

**Практичне заняття №1.** Підготовка початкових даних для розрахунку теплової схеми котельні з паровими котлами для закритої системи теплопостачання

Тепловою схемою опалювально-виробничої котельні передбачається відпуск споживачам теплоти у вигляді насиченої пари і води. Тому вона є найзагальнішою схемою з якої шляхом виключення окремих елементів можуть бути одержані схеми виробничої і опалювальної котельні.

Теплова схема опалювально - виробничої котельні з відпуском теплоти в закриті теплові мережі показана на малюнку 2.1.

Загальна методика розрахунку ілюструється на прикладах, приведених в таблицях 2.1. і 2.2.

Розрахункові режими.

Для опалювально-виробничої і опалювальної котельні розрахунок ведеться для чотирьох характерних режимів:

- 1) максимального зимового при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для проектування опалювання і вентиляція;
- 2) режиму при середній температурі найхолоднішого місяця;
- 3) режиму при температурі зовнішнього повітря в точці зламу температурного графіка мережної води (за наявності навантаження на гаряче водопостачання);
- 4) літнього режиму.

У разі відсутності навантаження на гаряче водопостачання режим при температурі зовнішнього повітря в точці зламу температурного графіка мережної води замінюється режимом в кінці опалювального періоду (температура зовнішнього повітря  $+8^{\circ}\text{C}$ ).

Для опалювальної котельні за наявності тільки опалювально-вентиляційного навантаження виключається літній режим (котельня в літній період не працює).

Виробнича котельня розраховується для максимального зимового режиму, режиму при середній температурі найхолоднішого місяця і літнього.

Початкові дані до прикладу розрахунку теплової схеми опалювально-виробничої котельної для закритої системи теплопостачання наведені в табл.2.1.

Додаткові початкові дані:

- а) паливо тверде;
- б) повернення конденсату від виробничих споживачів під тиском.

Графік, приведений в додатку [3], дозволяє визначити питому витрату пари на деаерацію живильної води залежно від частки конденсату в сумарній вазі потоків, що поступають в деаератор (окрім грючої пари) і від величини безперервної продувки.

Графік побудований для наступних розрахункових умов:

- середньовагова температура конденсату, що поступає в деаератор,  $+80^{\circ}\text{C}$ ;
- температура сирі води, що поступає в котельню,  $+5^{\circ}\text{C}$ .

У разі відхилення дійсних умов від вказаних розрахункових на величину питомої витрати пари вводяться поправки:

- а) для літнього режиму у зв'язку з підвищенням температури сирі води ( $15^{\circ}\text{C}$ ;
- б) на зміну середньовагової температури конденсату, що поступає в деаератор, у зв'язку з можливою зміною температури конденсату, що повертається

з виробництва (температура конденсату від підігрівачів мережної води приймається постійною і рівною  $80^{\circ}\text{C}$ ).

Середньовагова температура конденсату, що надходить в деаератор, визначається за формулою

$$t_{\text{ср.к}} = \frac{G_{\text{с}} t_{\text{с}} + \sum_{i=1}^n G_{i, \text{номп}} t_{i, \text{кн}}}{G_{\text{с}} + \sum_{i=1}^n G_{i, \text{номп}}}$$

- де  $G_{\text{с}}$  - кількість конденсату, що поступає від підігрівачів мережної води, кг/с;  
 $t_{\text{с}}$  - температура конденсату, що поступає від підігрівачів мережної води, рівна  $80^{\circ}\text{C}$ ;  
 $G_{i, \text{потр}}$  - кількість конденсату, що поступає від виробничих споживачів пари, кг/с;  
 $t_{i, \text{кн}}$  - температура потоків конденсату, поступаючих від виробничих споживачів пари,  $^{\circ}\text{C}$ .

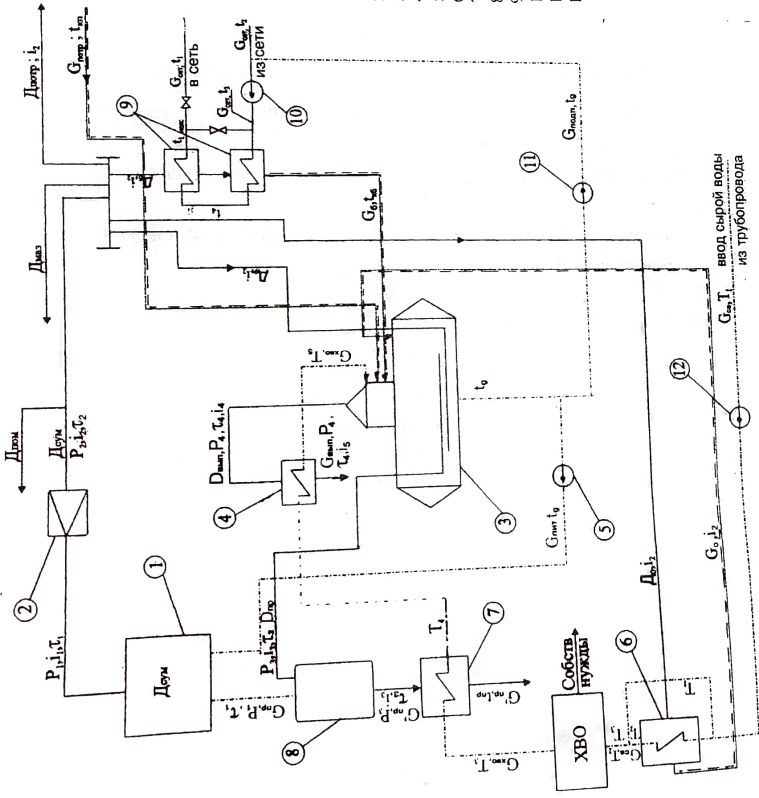


Рисунок 2.1 – Розрахункова теплова схема опалювально-виробничої котельні з паровими котлами для закритої системи теплопостачання

1. Паровий котел.
2. Редуційна установка.
3. Деаератор живильної води.
4. Охолоджувач випару.
5. Насос живильний.
6. Підігрівач сирій води.
7. Охолоджувач продукту очної води.
8. Сепаратор неперервної продукції
9. Установка підігріву мережної води.
10. Насос мережної води.
11. Насос підживлюючий.
12. Насос сирій води.

Умовні позначення  
 Пар  
 Конденсат  
 Вода

Таблиця 2.1 – Початкові дані для розрахунку теплової схеми виробничо-опалювальної котельні з паровими котлами для закритої системи теплопостачання

№ поз. иск. дав. ных	Найменування	Позначення	Одиниці вимірювання	Максимальний зимовий, $t_{\text{ж}}^{\text{р}}$	Розрахункові режими				Літній $t_{\text{ж}}^{\text{л}}$	Примітки
					При середній температурі повітря в шото місяця $t_{\text{ж}}^{\text{ср}}$	При температурі повітря в тоці злому, $t_{\text{ж}}^{\text{зл}}$	III	IV		
И <sub>01</sub>	Температура повітря	$t_{\text{ж}}^{\text{н}}$	°C	-39	6	7	*	8	9	Згідно [12] Згідно [13]
И <sub>02</sub>	Температура повітря всередині опалювальних приміщень	$t_{\text{ж}}^{\text{вн}}$	°C							
И <sub>03</sub>	Максимальна температура прямої мережної води	$t_{\text{ж}}^{\text{макс}}$	°C	150						Здається
И <sub>04</sub>	Мінімальна температура прямої мережної води в тоці злому	$t_{\text{ж}}^{\text{мін}}$	°C			70				Здається
И <sub>05</sub>	Максимальна температура зворотної мережної води	$t_{\text{ж}}^{\text{макс}}$	°C	70						Здається
И <sub>06</sub>	Температура деаерированої води	T	°C							З таблиць насиченої пари і води при 0,1 МПа по [14]
И <sub>07</sub>	Ентальпія деаерированої води	I	кДж/кг							
										437,44

Продовження таблиці 2.1

Параметри пари, що виробляється котлами (до редукційної установки):						
И <sub>08</sub>	Температура сирової води на вході в котельню	T <sub>1</sub>	°C	5	15	Согласно [13]
И <sub>09</sub>	Температура сирової води перед хімводочисткою	T <sub>2</sub>	°C	25		Принймається
И <sub>10</sub>	Литомий обсяг води в системі теплопостачання в м <sup>3</sup> на 1 МВт сумарного випуску теплоти на опалення, вентиляцію та гаряче водопостачання: - міст та житлових районів, - пром. підприємств		м <sup>3</sup> /МВт	43,0 30,0		По [15]
И <sub>11</sub>	Тиск	P <sub>1</sub>	МПа	1,4		Із таблиць [14] при тиску 1,4 МПа
И <sub>12</sub>	Температура	t <sub>1</sub>	°C	194,1		
И <sub>13</sub>	Ентальпія	i <sub>1</sub>	кДж/кг	2788,4		
Параметри пари після редукційної установки:						
И <sub>14</sub>	Тиск	P <sub>2</sub>	МПа	0,7		
И <sub>15</sub>	Температура	t <sub>2</sub>	°C	115,17		Із таблиць [14]
И <sub>16</sub>	Ентальпія	i <sub>2</sub>	кДж/кг	2699,5		
Параметри пари, що утворюється в сепараторі неперервної продукції						
И <sub>17</sub>	Тиск	P <sub>3</sub>	МПа	0,17		
И <sub>18</sub>	Температура	t <sub>3</sub>	°C	114,8		Із таблиць [14]

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
И <sub>19</sub>	Ентальпія	i <sub>3</sub>	кДж/кг	2700,5				
Параметри пари, що надходить в охолоджувач випару з деаератора:								
И <sub>20</sub>	Тиск	P <sub>4</sub>	МПа	0,12				З таблиць [14]
И <sub>21</sub>	Температура	t <sub>4</sub>	°C	104,8				
И <sub>22</sub>	Ентальпія	i <sub>4</sub>	кДж/кг	2683,8				
Параметри конденсата після охолоджувача випару:								
И <sub>23</sub>	Тиск	P <sub>4</sub>	Мпа	0,12				З таблиць [14]
И <sub>24</sub>	Температура	t <sub>4</sub>	°C	104,8				
И <sub>25</sub>	Ентальпія	i <sub>5</sub>	кДж/кг	439,36				
Параметри продукційної води на вході в сепаратор неперервної продукції:								
И <sub>26</sub>	Тиск	P <sub>1</sub>	МПа	1,4				З таблиць [14]
И <sub>27</sub>	Температура	t <sub>1</sub>	°C	195,04				
И <sub>28</sub>	Ентальпія	i <sub>1</sub>	кДж/кг	830,1				
Параметри продукційної води на виході з сепаратора неперервної продукції:								
И <sub>29</sub>	Тиск	P <sub>3</sub>	МПа	0,17				З таблиць [14]
И <sub>30</sub>	Температура	t <sub>3</sub>	°C	115,17				
И <sub>31</sub>	Ентальпія	i <sub>4</sub>	кДж/кг	483,22				
И <sub>32</sub>	Температура продукційної води після охолоджувача продукційної води	t <sub>пр</sub>	°C	40				Принймається
И <sub>33</sub>	Температура конденсата від блока підігрівачів мережної води	t <sub>к.б</sub>	°C	80				Принймається

Продовження таблиці 2.1

И <sub>34</sub>	Температура конденсата після пароводяного підігрівача сирної води	$t_2$	°C	164,96	3 таблиці [14]
И <sub>35</sub>	Ентальпія конденсата після пароводяного підігрівача сирної води	$i_6$	кДж/кг	697,1	3 таблиці [14]
И <sub>36</sub>	Температура конденсата, що вертається з виробництва	$t_{к.п.}$	°C	80	Задається
И <sub>37</sub>	Величина неперервної продувки	$\Pi$	%	5	9
И <sub>38</sub>	Питомі витрати пари з випаром з деаератора живильної води в кг. на 1 т деаерованої води	$d_{\text{max}}$	кг/т	2	Приймається до рекомендації ЦКП.
И <sub>39</sub>	Коефіцієнт власних потреб хімводочистки	$K_{\text{вм}}$	-	1,2	Приймається з розрахунку хімводочистки
И <sub>40</sub>	Коефіцієнт внутрішніх витрат пари	$K_{\text{вот}}$	-	0,02	Приймається
И <sub>41</sub>	Максимальний відпуск теплоти з котельні на опалення і вентиляцію	$Q_{\text{оп.макс}}$	МВт	11,25	-
И <sub>42</sub>	Середньодобовий відпуск теплоти на гаряче водопостачання за добу найбільшого водоспоживання.	$Q_{\text{р.тв}}$	МВт	1,25	-

Продовження таблиці 2.1

И <sub>43</sub>	Відпуск пари на технологію	$D_{\text{техр}}$	кг/с	3,72	Задається
И <sub>44</sub>	Зворот конденсата від технологічних споживачів	$G_{\text{вотр}}$	кг/с	1,83	Задається
И <sub>45</sub>	Витрати пари на мазутне господарство**	$D_{\text{маз}}$	кг/с	-	-

\*) Температура повітря в точці злома визначається розрахунком або за графіком.

\*\*) Витрати пари на мазутне господарство враховуються тільки при роботі котельні на мазуті.

**Практичне заняття №2.** Розрахунок теплової схеми опаловально-виробничої котельні з паровими котлами для закритої системи тепlopостачання

Теплова схема опаловально - виробничої котельні з відпуском теплоти в закриті теплові мережі показана на малюнку 2.1.

Загальна методика розрахунку ілюструється на прикладі, приведеному в таблиці 2.2.

Розрахункові режими.

Для опаловально-виробничої і опаловальної котельень розрахунок ведеться для чотирьох характерних режимів:

- 1) максимального зимового при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для проектування опалювання і вентиляція;
- 2) режиму при середній температурі найхолоднішого місяця;
- 3) режиму при температурі зовнішнього повітря в точці зламу температурного графіка мережної води (за наявності навантаження на гаряче водопостачання);
- 4) літнього режиму.

У разі відсутності навантаження на гаряче водопостачання режим при температурі зовнішнього повітря в точці зламу температурного графіка мережної води замінюється режимом в кінці опаловального періоду (температура зовнішнього повітря  $+8^{\circ}\text{C}$ ).

Для опаловальної котельні за наявності тільки опаловально-вентиляційного навантаження виключається літній режим (котельня в літній період не працює).

Виробнича котельня розраховується для максимального зимового режиму, режиму при середній температурі найхолоднішого місяця і літнього.

Таблиця 2.2 - Приклад розрахунку теплової схеми опаловально-виробничої котельні з паровими котлами для закритої системи тепlopостачання

№ поз.	Найменування	Позначення	Од. вимір	Розрахункова формула	Розрахункові режими			
					I	II	III	IV
1	1)	3	°C	5	6	7	8	9
1	Температура зовнішнього повітря в точці зламу температурного графіка мережної води	$T_{\text{н.зл}}$	°C	$t_{\text{вот}} = 0,354(t_{\text{вот}} - t_{\text{впр}})$	-	-	2,2	-
2	Коефіцієнт зниження витрати тепла на опалювання і вентиляцію залежно від температури зовнішнього повітря	$K_{\text{ов}}$	-	$\frac{t_{\text{вот}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{вот}} - t_{\text{впр}}}$ (п.5.3)	1	0,617	0,354	-
3	Розрахунковий відпуск теплоти на опалювання і вентиляцію	$Q_{\text{ов}}$	МВт	$Q_{\text{ов макс}} K_{\text{ов}}$	11,25	6,94	3,98	-
4	Значення коефіцієнта К в ступені 0,8	$K_{\text{ов}}$	-	-	1	0,68	0,436	-



Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Температура прямої мережної води на виході з котельні	$t_1$	°C	18+64,5K+67,5Kов	150 (см.И(03))	103,5	70 (см.И(04))	70
6	Температура зворотної мережної води на вході в котельню	$t_2$	°З	t1-80Ков	70 (см.И(05))	54,1	41,7	41,7
7	Сумарний відпуск теплоти на опалювання, вентиляцію і гаряче водопостачання	$Q_{т.зак}$	МВт	$Q_{ов}+Q_{т.в.сп}$	12,5	8,19	5,23	-
8	Розрахункова витрата мережної води в зимових режимах	$G_{т.зак}^{сет}$	кг/с	$\frac{Q_{зак} \cdot 10^3}{(t_1 - t_2) \cdot 4,19}$	37,5	38,7	44,17	-
2)	Максимальний відпуск теплоти на гаряче водопостачання в літньому режимі	$Q_{т.лет}^{макс}$	МВт		$Q_{т.в.сп}$	-	-	1,18
9	Розрахункова витрата мережної води в літньому режимі	$G_{т.лет}^{сет}$	кг/с		$\frac{Q_{т.макс} \cdot 10^3}{(t_{топ} - t_{зад}) \cdot 4,19}$	-	-	10,61
11	Обєм мережної води в системі теплопостачання	$G_{сист}$	т	$V_{сист} \cdot Q_{т.зак}^{макс}$		375		

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	Витрата підживлюючої води на заповнення витоків в тепломережі	Гут	кг/с	$\frac{0,1 \cdot G_{зак}^{сет}}{100 \cdot 3600}$		0,525		
13	Кількість зворотної мережної води	$G_{обр}^{сет}$	кг/с	$\square_{ет-Гут}$	36,975	39,19	43,64	9,8
14	Температура зворотної мережної води перед мережами насосом	$t_3$	°З	$\frac{t_2 \cdot G_{обр}^{сет} + T_{Гут}}{G_{обр}^{сет}}$	70,3	54,7	42,5	44,8
15	Витрата пари на підігрівачі мережної води	$D_8$	кг/с	$G_{сет} \cdot \frac{t_1 - t_2}{(t_2 - t_{в.с.}) \cdot 0,98}$	5,28	3,42	2,14	0,47
16	Кількість конденсату від підігрівачів мережної води	$G_8$	кг/с	$D_8$	5,28	3,42	2,14	0,47
17	Парове навантаження на котельню за вилученням витрати пари на підігрів сирової води, живильної води, а також без урахування внутрішніх втрат	D	кг/с	$D_{пир} + D_6 + D_{ма}$	8,99	7,14	5,86	4,19

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	Кількість конденсату від підігрівачів мережної води і з виробництва	Gк	кг/с	G+Gпотр	7,1	5,25	3,97	2,3
19	Кількість продукочної води, що надходить сепаратор безпечної продукції	Gпр	кг/с	$\frac{\Pi \cdot D}{100}$	0,45	0,35	0,29	0,38
20	Кількість пари на виході з сепаратора безпечної продукції	D* <sub>пр</sub>	кг/с	0,148G <sub>пр</sub>	0,07	0,05	0,04	0,06
21	Кількість продукочної води на виході сепаратора безпечної продукції	G*	кг/с	G <sub>пр</sub> - D <sub>пр</sub>	0,38	0,3	0,25	0,32
22	Внутрішньо котельні витрати пари	D <sub>пот*</sub>	кг/с	0,02D	0,18	0,14	0,12	0,8
23	Кількість води на виході із деаератора	G <sub>д*</sub>	кг/с	D + G <sub>пр</sub> + G <sub>гр</sub>	9,97	8,02	6,68	5,1
3) 24	Випар із деаератора	D <sub>вип*</sub>	кг/с	d <sub>вип</sub> G <sub>д</sub>	0,019	0,017	0,014	0,011
25	Кількість зм'якненої води, що поступає в деаератор	G <sub>зоб*</sub>	кг/с	$(D_{\text{потр}} + G_{\text{пр}}) + G_{\text{пр}} + D_{\text{потр}} + D_{\text{вип}} + G_{\text{гр}} + D_{\text{зоб}}$	2,99	2,87	2,79	2,83

22

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
26	Кількість сирій води, що поступає на хіміодозування	G <sub>с.в.*</sub>	кг/с	K <sub>сумарно</sub> G <sub>зоб</sub>	3,61	3,46	3,33	3,4
27	Витрата пари для підігріву сирій води	D <sub>с*</sub>	кг/с	$G_{с.в.} * \frac{T_1 - T_2}{(t_1 - t_2) \cdot 0,98}$	0,15	0,14	0,13	0,07
28	Кількість конденсату від підігрівачів сирій води	G <sub>с*</sub>	кг/с	D <sub>с</sub>	0,15	0,14	0,13	0,07
29	Сумарна вага поточків, що поступають в деаератор (окрім грійочної пари)	G <sub>с*</sub>	кг/с	G <sub>с*</sub> + G <sub>зоб</sub> + G <sub>с</sub> + D <sub>пр</sub> - D <sub>вип</sub>	0,15	0,14	0,13	0,07
4) 30	Частка конденсату від підігрівачів мережної води і з виробництва в сумарній вазі поточків, що надходять в деаератор	-	-	$(\frac{G_{с*}}{G_{с*}})^*$	0,69	0,63	0,57	0,44
31	Питома витрата пари на деаератор	d <sub>д*</sub>	кг/кг	-	0,0615	0,067	0,072	0,076
32	Абсолютна витрата пари на деаератор	D <sub>д*</sub>	кг/с	d <sub>д</sub> G <sub>с</sub>	0,63	0,55	0,49	0,39
33	Витрата пари на деаератор живильно і для підігріву сирій води	-	кг/с	(D <sub>д</sub> + D <sub>с</sub> )*	0,78	0,69	0,64	0,44

23

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
34	Парове навантаження на котельню без урахування внутрішньокотельних витрат	$D^*$	кг/с	$D+(D_d+D_c)$	9,78	7,84	6,49	4,66
35	Внутрішньокотельні витрати пари	$D_{пот}$	кг/с	$D^* \cdot K_{пот} / (1 - K_{пот})$	0,19	0,16	0,13	0,09
36	Сумарне парове навантаження на котельню	$D_{сум}$	кг/с	$D^* + D_{пот}$	9,97	8	6,62	4,75
37	Кількість продукочної води, що надходить в сепаратор неперервної продукції	$G_{пр}$	кг/с	$\Pi / 100 \cdot D_{сум}$	0,499	0,399	0,333	0,428
38	Кількість пари на виході з сепаратора неперервної продукції	$D_{пр}$	кг/с	$G_{пр} \frac{t_7 + 0,98 \cdot t_6}{t_5 - t_6}$	0,075	0,058	0,049	0,064
39	Кількість продукочної води, на виході сепаратора неперервної продукції	$G_{пр}$	кг/с	$G_{пр} - D_{пр}$	0,424	0,341	0,284	0,364
40	Кількість води на живлення котлів	$G_{пит}$	кг/с	$D_{сум} + G_{пр}$	10,48	8,39	6,97	5,19

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
41	Кількість води на виході з деаератора	$G_d$	кг/с	$G_{пит} + G_{ср}$	11	8,92	7,49	5,71
42	Витрат з деаератора	$D_{вып}$	кг/с	$d_{вып} G_d$	0,02	0,017	0,014	0,011
43	Кількість зм'якшеної води, що надходить в деаератор	$G_{хво}$	кг/с	$(D_{пот} - G_{пот}) + G_{ср} + D_{пот} + D_{вып} + G_{ср} + D_{вып}$	3,06	3,21	2,84	2,88
44	Кількість сирої води, що надходить на хімідоочищення	$G_{с.в.}$	кг/с	$K_{ср} G_{хво}$	3,67	3,51	3,42	3,47
45	Витрата пари для підігрівачів сирої води	$D_c$	кг/с	$G_{с.в.} \cdot \frac{t_5 - t_1}{(t_2 - t_1) \cdot 0,98}$	0,15	0,144	0,142	0,072
46	Кількість конденсату, що надходить в деаератор від підігрівачів сирої води	$G_c$	кг/с	$D_c$	0,15	0,144	0,142	0,072
47	Сумарна вага потоків, що надходять в деаератор (окрім гріючої пари)	$G_{\Sigma}$	кг/с	$G_{ср} + G_{хво} + G_c + D_{пр} + D_{вып}$	10,38	8,37	6,99	5,31
48	Частка конденсату від підігрівачів мережної води і з виробництва в сумарній вазі потоків, що надходять в деаератор	$G_k / G_{\Sigma}$	-	$G_k / G_{\Sigma}$	0,69	0,63	0,57	0,41
49	Питома витрата пари на деаератор	$d_d$	кг/кг	-	0,0615	0,067	0,072	0,076
50	Абсолютна витрата пари на деаератор	$D_d$	кг/с	$d_d \cdot G_{\Sigma}$	0,64	0,56	0,51	0,41

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
51	Витрата пари на деаератор живильної води і для підігріву сирної води	-	кг/с	$D_{д+D_c}$	0,79	0,704	0,65	0,48
52	Парове навантаження на котельню без урахування внутрішньокотельних втрат	D'	кг/с	$D + (D_{д+D_c})$	9,79	7,84	6,51	4,67
53	Сумарне парове навантаження на котельню	$D_{сум}$	кг/с	$D' + D_{пот}$	9,98	8	6,69	4,77
54	Відсоток витрати пари на власні потреби котельні (деаерація, підігрів сирної води, розігрівання мазуту)	$K_{ен}$	%	$\frac{D_{д+D_c} + D_{маз} \cdot 100}{D_{сум}}$	7,92	8,82	9,7	10
55	Кількість працюючих парових котлів	$N_k$ раб	КОМП	$\frac{D_{сум}}{D_{1,макс} - 100}$ таб.1 котли ДСР-20-13 таб.2 котли ДСР-10-13	$\frac{2}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
56	Відсоток завантаження працюючих парових котлів	$K_{нагр}$	%	$\frac{D_{сум}}{D_{1,макс} \cdot K_{к,раб} \cdot 100}$	$\frac{85}{78,3}$	$\frac{68}{83,4}$	$\frac{56,2}{69,4}$	$\frac{81}{74,6}$
57	Кількість води, що пропускається мимо підігрівачів мережної води (через перемичку між трубопроводами прямої і зворотної мережної води)	$G_{серт}$	кг/с	$G_{серт} \cdot \frac{1_{1,макс} - 1_1}{1_{1,макс} - 1_3}$	- 0	19,36	32,98	8,06
58	Кількість води, що пропускається через підігрівачі мережної води	$G_{серт\delta}$	кг/с	$G_{серт} - G_{серт1}$	37,49	20,36	11,25	2,56

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
59	Температура мережної води на вході в пароводяні підігрівачі	$t_4$	°C	$\frac{t_{1,макс}(t_6 - t_{серт}) + t_1(t_7 - t_6)}{t_2 - t_{серт}}$				
60	Температура змікшеної води, що поступає в деаератор з охолоджувача випару	$T_5$	°C	$T_4 + \frac{D_{вип}}{G_{сум}} \cdot (4-5) \cdot 0,98$	39	37	35,1	36,3
61	Температура змікшеної води на виході з охолоджувача продувочної води	$T_4$	°C	$T_3 + \frac{G'_{вип}}{G_{сум}} \cdot (t_6 - t_{серт}) \cdot 0,98$	35,3	33,55	32,3	34

Примітки:

- У приведеному прикладі був прийнятий згідно завданню температурний графік мережної води 150-70 °С.  
 Розрахункові формули температури зовнішнього повітря в точці зламу (поз. 1), температури прямої і зворотної мережної води (поз. 5 і 6) складені для заданого температурного графіка.  
 При графіку 130-70 °С вказані величини можуть бути визначені по наступних формулах або графіках:  
 Температура зовнішнього повітря в точці зламу (рис 5.2)  

$$t_{н.зд.} = t_{вн} - 0,418(t_{вн} - t_{нр})$$
  
 Температура прямої мережної води (рис 5.3)  

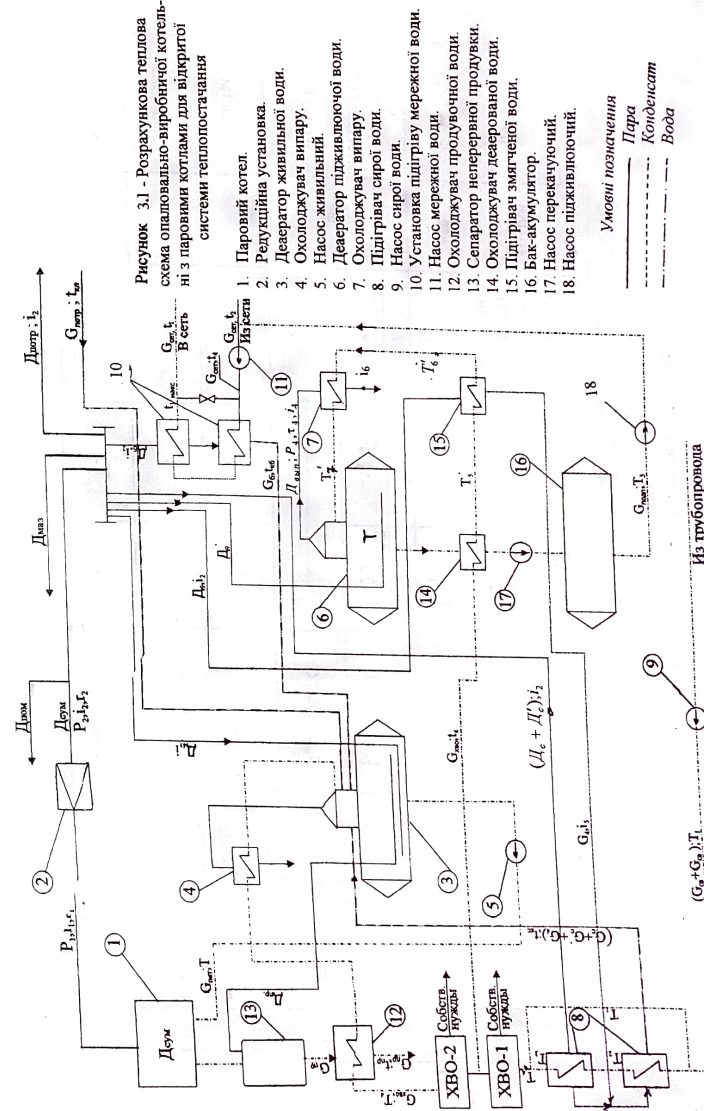
$$t_1 = 18 + 64,5K_{ов}^{0,8} + 47,5K_{ов}$$
  
 Температура зворотної мережної води (рис 5.3)  

$$t_2 = t_1 - 60 K_{ов}$$
- Максимальна годинна відпустка теплоти на гаряче водопостачання промислового підприємства співпадає з середньогодинним (коефіцієнт годинної нерівномірності  $K_T$  згідно СНиП П. Г-10-62 дорівнює 1). При відпустці теплоти на гаряче водопостачання міст і населених пунктів максимальна годинна витрата приймається з коефіцієнтом 1,3 від середньогодинного.
- Питомі втрати пари з випаром з деаератора прийняті в прикладі 2 кг на 1000 кг деаерованої води; по рекомендації ЦКПТ можуть бути коливання в межах 0,002-0,004 т/т.  
 \*) – попереднє значення

### Практичне заняття №3. Підготовка початкових даних до

розрахунку теплової схеми опалювально-виробничої котельні з паровими котлами для відкритої системи теплопостачання.

Розрахункова тепла схема опалювально-виробничої котельні з паровими котлами для відкритої системи теплопостачання приведена на малюнку 3.1.



Таблиця 2.3.- Початкові дані для розрахунку теплової схеми опалювально-виробничої котельної з паровими казанами ДКВР для відкритої системи теплоснабчання

№ поз. вих. дан.	Найменування	Познач.	Один. виміру	Розрахункові режими					Примітка
				Максимальний зимовий $t_{\text{min}}^{\text{в.о}}$	При середній температурі найхолоднішого місяця $t_{\text{ср.м.}}$		При температурі повітря в точці зламу температурного графіка $t_{\text{з.л.м}}$	Літній $t_{\text{л}}$	
					I	II			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
И01	Температура зовнішнього повітря	$t_{\text{в}}$	°C	-26	-10,3	*	-	Згідно [12]	
И02	Температура повітря усередині опалювальних будівель	$t_{\text{вн}}$	°C	18					Згідно [13]
И03	Максимальна температура прямої мережної води	$t_{\text{гmax}}$	°C	150	-	-	-	Задається	
И04	Мінімальна температура прямої мережної води в точці зламу	$t_{\text{гзлп}}$	°C	-	-	70	-	Задається	
И05	Максимальна температура зворотної мережної води	$t_{\text{звmax}}$	°C	70	-	-	-	Задається	

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
И06	Температура деаерованої води і дезаргаторів живильної і подживлюючої води	$T$	°C	104,2		-		3 таблиць [14]
И07	Ентальпія деаерованої води	$\bar{T}$	кДж/кг	437,44		-		При тиску 0,12 МПа
И08	Температура живильної води	$t_{\text{г}}$	°C	70		-		
И09	Температура сирій води на вході в котельню	$T_1$	°C	5	15			Згідно [13]
И10	Температура сирій води перед хімоводоочисткою	$T_4$	°C	25		-		Приймається
И11	Температура зм'якшеної води перед деаератором подживлюючої води	$T_7$	°C	94		-		Приймається
И12	Розрахункова температура гарячої води в місцевій системі гарячого водопостачання	$t_{\text{гв}}$	°C	70		-		Приймається

## Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
И13	Підвищуючий коефіцієнт на середньогодинну витрату води на гаряче водопостачання	$\alpha$	-			5		Згідно [13] для побутового водогарячого водопостачання
И14	Питомий об'єм води в системі теплостачання в м <sup>3</sup> на 1 МВт сумарного теплового навантаження	$\beta_{\text{енет}}$	м <sup>3</sup> /МВт			43		Для міст і житлових районів
Параметри пари, що виробляється котлами (до редукційної установки):								
И15	тиск	$P_1$	МПа			1,4		3 таблиць [14] при тиску 1,4 МПа
И16	температура	$t_1$	°С			194,1		
И17	ентальпія	$i_1$	кДж/кг			2791,38		
Параметри пари після редукційної установки								
И18	тиск	$P_2$	МПа			0,7		3 таблиць насич. пара при тиску 0,7 МПа
И19	температура	$t_2$	°С			164,2		
И20	ентальпія	$i_2$	кДж/кг			2764,98		

32

## Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Параметри пари що утворюються в сепараторі: неперервної продукції								
И21	тиск	$P_3$	МПа			0,17		3 таблиць насич. пари при тиску 0,17 МПа
И22	температура	$t_3$	°С			114,6		
И23	ентальпія	$i_3$	кДж/кг			2700,45		
Параметри пари що надходять в охолоджувач випару з деаератора								
И24	тиск	$P_4$	МПа			0,12		3 таблиць насич. пари при тиску 0,12 МПа
И	температура	$t_4$	°С			104,2		
И26	ентальпія	$i_4$	кДж/кг			2684,53		
Параметри конденсату після охолоджувача випару								
И27	тиск	$P_4$	МПа			0,12		3 таблиць насич. пари при тиску 0,12 МПа
И28	температура	$t_4$	°С			104,2		
И29	ентальпія	$i_5$	кДж/кг			437,44		
Параметри продукційної води на вході в сепаратор неперервної продукції								
И30	тиск	$P_1$	МПа			1,4		3 таблиць насич. пари при тиску 1,4 МПа
И31	температура	$t_1$	°С			194,1		
И32	ентальпія	$i_7$	кДж/кг			826,69		

33

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Параметри продувочної води на виході з сепаратора безперервного продування.								
ИЗ3	тиск	$P_3$	МПа					3 таблиць насич. пари при тиску 0,17 МПа
ИЗ4	температура	$t_3$	°С		114,6			
ИЗ5	ентальпія	$i_g$	кДж/кг		481			
ИЗ6	Температура продувочної води після охолодження жувача продувочної води	$t_{np}$	°С		40			Приймається
ИЗ7	Температура конденсату від блоку підігрівачів мережної води	$t_{c,6}$	°С		80			Приймається
ИЗ8	Температура конденсату від пароводяних підігрівачів сирю і зм'ягченої води	$t_2$	°С		164,2			3 таблиць насич. пари при тиску 0,7 МПа
И40	Температура конденсату, що повертається з виробництва	$t_{c,4}$	°С		80			Задається

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
И41	Температура конденсату після охолодження у водоводяному підігрівачі сирю води	$t_{c,3}$	°С		80			Задається
И42	Величина безперервної продувки	П	%		3,5			7
И43	Питома втрата пари з випаром з деаератора живильної води в тн. на 1 т. деаерованої води	$d_{вип}$	т/т		0,002			Приймається по рекомендації ЦКСТ
И44	Коефіцієнт власних потреб хімводоочистки	$D_{0,ав}$	-		1,2			Приймається з розрахунку хімводоочистки
И45	Коефіцієнт внутрішньо-котельних втрат пари	$K_{пот}$	-		0,02			Приймається
И46	Максимальний відпуск теплої на опалення і вентиляцію	$Q_{оп, макс}$	МВт	28,27				Задається
И47	Середньогодинний відпуск теплої на гаряче водопостачання за добу найбільшого водоспоживання	$Q_{оп}^{ср}$	МВт	2,37				Задається



Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
И48	Годинний відпуск пари виробничим споживачам	$D_{\text{порр}}$	кг/с (т/г)		5,09 (18,35)		2,94 (10,6)	
И49	Повернення конденсату від виробничих споживачів	$G_{\text{порр}}$	кг/с (т/г)		3,01 (10,85)			Задается 1,52 (5,47)
И50	Витрата пари на мазутне господарство	$D_{\text{маз}}$	кг/с (т/г)		0,28 (1)			З розрахунку мазутного господарства

**Практичне заняття №4.** Розрахунок теплової схеми опалювально-виробничої котельні з паровими котлами для відкритої системи теплопостачання

- У теплових схемах парових котельнь єдиним теплоносієм є пара, яка використовується як для зовнішньої теплофікації, так і власних потреб в межах самої котельні (для підігріву сирові і зм'якшеної води, для деаерації, для підігріву мазуту).
- Розрахунок теплової схеми котельні виконується з метою визначення витрати пари і води для окремих вузлів при певних режимах роботи котельні і складання загального матеріального балансу води. Розрахунком також визначається температура різних потоків води (мережної, підживлюючої зм'якшеної, сирові).
- На розрахунковій тепловій схемі котельні указується напрям основних потоків пари і води, їх витрати і температури.
- Результати розрахунку є початковими даними для вибору устаткування окремих вузлів теплової схеми і основних трубопроводів котельні.
- Розрахунок теплової схеми ведеться для наступних режимів:
  - максимального зимового при розрахунковій температурі зовнішнього повітря для проектування систем опалювання;
  - зимового режиму при температурі зовнішнього повітря в точці зламу опалювального графіка мережної води;
  - зимових режимів при середній температурі зовнішнього повітря найбільш холодного місяця;
  - літнього режиму.
- Розрахунок теплової схеми виконується паралельно для всіх режимів в рекомендованій послідовності (табл.2.4).
- У прикладах розрахунку теплової схеми котельної (табл. 2.4) розрахункові формули для визначення температури зовнішнього повітря в точці зламу опалювального графіка, а також формули для визначення температури мережної води в подаючому і зворотному трубопроводах наведені для опалювального графіка з температурою мережної води 150–70

<sup>0</sup>С При графіку 130 – 70 <sup>0</sup>С вказані величини слід визначати за наступними формулами:

Температуру зовнішнього повітря в точці зламу опалювального графіка.

$$t_{н.зла} = t_{ен} - 0,418 \cdot (t_{ен} - t_{н.р.})$$

Температуру мережевої води в подаючому трубопроводі.

$$t_1 = 18 + 64,5 \cdot K_{ов}^{0,8} + 47,5 \cdot K_{ов}$$

Температуру мережевої води в зворотному трубопроводі.

$$t_2 = t_1 - 60 \cdot K_{ов}$$

8. Для швидкого визначення деяких розрахункових величин рекомендується використовувати графіки.

Таблиця 2.4 - Приклад розрахунку теплової схеми опалювально-виробничої котельні з паровими казанами ДКВР для відкритої системи теплопостачання.

№ поз.	Найменування	Позн.	Од. виміру	Розрахункова формула	Розрахункові режими			
					Максимальний зимовий	При середній температурі найбільш холодного місяця	При температурі тури повітря в точці зламу	Літній
				I	II	III	IV	
1	Температура зовнішнього повітря в точці зламу температурного графіка мережної води	$t_{н.зла}$	°С	$t_{ен} - 0,354(t_{ен} - t_{н.р.})$	6	7	8	9
2	Коефіцієнт зниження споживання теплоти	$K_{ов}$		$\frac{t_{н.р.} - t_{н.зла}}{t_{н.р.} - t_{н.зла}}$	1	0,643	0,354	
3	Розрахунковий відпуск теплоти на опалювання і вентиляцію	$Q_{ов}$	МВт	$Q_{Ков}$	28,27	18,21	9,99	-
4	Значення коефіцієнта $K_{ов}^{0,8}$ в ступені 0,8	$K_{ов}^{0,8}$		-	1	0,702	-	-
5	Температура прямої мережної води на виході з котельні	$t_1$	°С	$18 + 64,5 \cdot K_{ов}^{0,8} + 47,5 \cdot K_{ов}$	150 (см.И103)	106,1	70 (см.И104)	70

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Температура зворотної мережної води на вході в котельню	$t_2$	°C	$t_1-80$ К <sub>об</sub>	70 (см.И05)	54,7	41,7	41,7
7	Сумарний відпуск теплоти на опалювання, вентиляцію і гаряче водопостачання в зимових режимах	$Q_{\text{вн}}$ кВт	МВт	$Q_{\text{об}}+Q_{\text{вн,оп}}$	30,64	20,58	12,36	-
8	Розрахункова витрата мережної води в зимових режимах	$G_{\text{зим}}^{\text{ст}}$ кг/с	(т/г)	$\frac{Q_{\text{вн}}^{\text{ст}} \cdot 10^3}{c_p \cdot (t_1 - t_2)} \cdot \frac{Q_{\text{об}}^{\text{ст}} - Q_{\text{вн,оп}}^{\text{ст}}}{t_1 - t_2}$	84,72 (305)	87,3 (314,3)	93,44 (336,4)	-
9	Розрахункова витрата мережної води в літньому режимі	$G_{\text{літ}}^{\text{ст}}$ кг/с	(т/г)	$0,65 \frac{Q_{\text{вн}}^{\text{ст}} \cdot 10^3}{t_1 - t_2}$	-	-	-	5,67 (20,4)
10	Максимальна година відпустка теплоти на гаряче водопостачання в літньому режимі	$G_{\text{літ}}^{\text{макс}}$ кг/с	(т/г)	$13 \frac{Q_{\text{вн}}^{\text{ст}} \cdot 10^3}{t_1 - t_2}$	-	-	-	11,33 (40,8)
11	Об'єм мережної води в системі теплопостачання	$G_{\text{сист}}$ т		$g_{\text{сист}} Q_{\text{вн,оп}}^{\text{макс}}$ т/год	1320			
12	Витрата підживлюючої води на заповнення витоків в тепломережі	$G_{\text{вт}}$ кг/с	(т/ч)	$\frac{0,5 \cdot G_{\text{сист}}}{100 \cdot 3600}$	1,83 (6,6)			0,92 (3,3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Максимальна витрата підживлюючої води в зимових режимах (для вибору підживлюючих насосів)	$G_{\text{підж,зим}}^{\text{макс}}$ кг/с	(т/ч)	$2 \cdot \frac{Q_{\text{вн}}^{\text{ст}} \cdot 10^3}{t_1 - t_2} + G_{\text{вт}}$	19,28 (69,4)	19,28 (69,4)	19,28 (69,4)	-
14	Розрахункова витрата підживлюючої води в зимових режимах	$G_{\text{підж}}^{\text{ст}}$ кг/с	(т/ч)	$\frac{Q_{\text{вн}}^{\text{ст}} \cdot 10^3}{t_1 - t_2} + G_{\text{вт}}$	10,56 (38)	10,56 (38)	10,56 (38)	-
15	Кількість зворотної мережної води	$G_{\text{обр}}^{\text{ст}}$ кг/с	(т/ч)	$G_{\text{обр}} - G_{\text{підж}}^{\text{ст}}$	74,16 (267)	76,75 (276,3)	82,89 (298,4)	-
16	Температура зворотної мережної води перед мережним насосом	$t_4$ °C		$\frac{1,5 \cdot G_{\text{обр}}^{\text{ст}} + 1,5 \cdot G_{\text{підж}}^{\text{ст}}}{G_{\text{обр}}}$	70 (см.И08 і И12)	56,7	44,9	-
17	Кількість води на виході з деаератора	$G_{\text{д}}$ кг/с	(т/ч)	$G_{\text{підж}}^{\text{ст}}$	10,56 (38)			
18	Розрахункова місткість баків-аккумуляторів	$V_{\text{бак}}$ м <sup>3</sup>		$\alpha \frac{Q_{\text{вн}}^{\text{ст}}}{t_1 - t_2}$	157			
19	Витрата пари на підігрівачі мережної води	$D_{\text{п}}$ кг/с	(т/ч)	$G_{\text{обр}} \frac{(t_1 - t_4) \cdot c_p}{(t_2 - t_{\text{п,в}}) \cdot 1098}$	11,94 (43)	7,64 (27,5)	4,17 (15)	-
20	Кількість конденсату від підігрівачів мережної води	$G_{\text{к}}$ кг/с	(т/ч)	$D_{\text{п}}$	11,94	7,64	4,17	-
21	Випар з деаератора підживлюючої води	$D_{\text{вип}}$ кг/с	(т/ч)	$d_{\text{вип}} G_{\text{д}}$	0,021 (0,08)			

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
22	Витрата пари на деаератор підживлюючої води	$D'_d$	кг/с (т/ч)	$\frac{G'_d \cdot C_p - T_{\text{пов}} \cdot C_p - D_{\text{дк}} \cdot T_{\text{пов}} \cdot C_p}{(t_1 - T_{\text{пов}}) \cdot C_p}$	0,26 (0,92)			
23	Витрата зм'якшеної води, що надходить в деаератор підживлюючої води	$G'_{\text{зо}}$	кг/с (т/ч)	$G'_d + D'_{\text{зо}} - D'_d$	10,32 (37,16)			
24	Витрата сирої води, відповідно витраті $G'_{\text{зо}}$	$G'_{\text{с.в}}$	кг/с (т/ч)	$K_{\text{со}} \cdot G'_{\text{зо}}$	12,36 (44,7)			
25	Витрата пари для підігріву сирої води $G'_{\text{с.в}}$	$D'_c$	кг/с (т/ч)	$G'_{\text{с.в}} \cdot \frac{(T_1 - T) \cdot C_p}{(t_1 - t_{\text{с.в}}) \cdot C_p} \cdot 0,98$	0,44 (1,57)			0,22 (0,79)
26	Температура зм'якшеної води за охолоджувачем деаерованої води	$T'_5$	°C	$T_4 + \frac{G'_d}{G_{\text{зо}}} \cdot C_p \cdot (T_4 - t_5) \cdot 0,98$	59,2			
27	Температура зм'якшеної води за пароводяним підігрівачем до деаератора підживлюючої води	$T'_5$	°C	$T_7 + (t_4 - t_5) \cdot 0,98$	92,9			
28	Витрати пари на підігрівач зм'якшеної до деаератора підживлюючої води	$D_y$	кг/с	$G'_{\text{зо}} \cdot \frac{(T_1 - T) \cdot C_p}{(t_1 - t_{\text{с.в}}) \cdot C_p} \cdot 0,98$	0,72			

Продовження таблиці 2.4

29	Витрати пари на установку гарячого водопостачання	$D_{\text{гв}}$	кг/с	$D'_d + D_y + D'_c$	1,41			
30	Парове навантаження на котельню за виключенням витрати пари на деаерацію живильної води і на підігрів сирої води, зм'якненої води для живлення котлів, а також без урахування внутрішніх витрат	$D$	кг/с	$D_{\text{пов}} + D_{\text{г}} + D_{\text{дк}}$	18,73	14,42	10,95	4,41
31	Кількість конденсату від підігрівачів мережної води і з виробництва	$G_k$	кг/с (т/ч)	$G + G_{\text{пов}}$	14,96 (53,85)	10,65 (38,35)	7,18 (25,85)	1,52 (5,47)
32	Кількість продукочної води що надходить в сепаратора безперервної продукції	$G^*$	кг/с (т/ч)	$\frac{D}{100} \cdot D$	0,655 (2,36)	0,505 (1,82)	0,38 (1,38)	0,32 (1,17)
33	Кількість пари на виході з сепаратора безперервної продукції	$D'_{\text{пр}}^*$	кг/с (т/ч)	$0,148 G_{\text{пр}}$	0,097 (0,35)	0,075 (0,27)	0,056 (0,2)	0,047 (0,16)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
34	Кількість продукотної води на виході з сепаратора безперервної продукції	G*	кг/с (т/ч)	$G_{\text{пр}} - D_{\text{пр}}$	0,538 (2,01)	0,43 (1,55)	0,324 (1,18)	0,273 (0,95)
35	Внутрішні втрати пари	$D_{\text{пот}}^*$	кг/с	0,02D	0,375	0,289	0,219	0,089
36	Кількість води на живлення котлів (на виході з деаератора живильної води)	$G_{\text{пит}}^*$	кг/с	$D + G_{\text{пр}}$	19,38	14,93	11,27	4,72
37	Випар з деаератора живильної води	$G_{\text{пит}}^*$	кг/с	$d_{\text{пит}}^* \cdot G_{\text{пит}}$	0,039	0,031	0,022	0,008
38	Кількість зм'яченої води що надходить в деаератор живильної води	$G_{\text{хво}}$	кг/с	$(D_{\text{пот}}^* \cdot G_{\text{пот}}) + G_{\text{пр}}^* + D_{\text{пот}} + D_{\text{пит}} + D_{\text{д}}$	3,59	3,37	3,186	2,32
39	Кількість сирової води що відповідає витраті $G_{\text{св}}$	$G_{\text{св}}$	кг/с	$K_{\text{св}} \cdot G_{\text{хво}}$	4,31	4,03	3,78	2,78
40	Витрати пари на підігрів сирової води $G_{\text{св}}$	$D^*$	кг/с	$G_{\text{св}} \cdot \frac{U_s - T_s}{(U_s - T_s)} \cdot 0,098$	0,15	0,14	0,136	0,05
41	Кількість конденсату, що надходить в деаератор живильної води від підігрівачів сирової води	$G_{\text{св}}^*$	кг/с (т/ч)	$G_c + G'_c + G_y$ (відповідно витратам пари) $D_6, D'_6$ і $D_y$	1,3 (4,7)	1,29 (4,66)	1,29 (4,64)	0,99 (3,55)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
42	Сумарна вага потоків що надходять в деаератор живильної води (окрім гриючої пари)	$G_{\Sigma}^*$	кг/с (т/ч)	$G_k + G_{\text{хво}} + G_{\text{св}} + D_{\text{пр}} - D_{\text{пит}}$ <sup>6)</sup>	1,81 (71,33)	15,28 (55,02)	11,63 (41,88)	4,82 (17,34)
43	Частка конденсату від підігрівачів мережної води і з виробництва сумарній вазі потоків, що надходять в деаератор живильної води		-	$\left(\frac{G_c}{G_{\Sigma}}\right)^*$	0,757	0,697	0,618	0,316
44	Відношення кількості зм'яченої води, що надходить в деаератор підживлюючої води до кількості зм'яченої води, що надходить в деаератор живильної води		-	$\frac{G'_{\text{хво}}}{G_{\text{хво}}}$	2,88	3,07	3,24	4,45
45	Питома витрата пари на деаератор живильної води	$d_{\Sigma}^*$	-	-	0,059	0,062	0,067	0,077
46	Абсолютна витрата пари на деаератор живильної води	$D_{\Sigma}^*$	кг/с (т/ч)	$d_{\Sigma}^* \cdot G_{\Sigma}$	1,17 (4,21)	0,95 (3,41)	0,78 (2,81)	0,37 (1,33)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
47	Витрата пари на деаерацію живильної води і підігрів сирної води	-	кг/с (т/ч)	$(D_{д'} + D_c)$	1,32 (4,76)	1,09 (3,92)	0,92 (3,3)	0,42 (1,51)
48	Парове навантаження на котельні без урахування внутрішньокотельних втрат	$D'*$	кг/с (т/ч)	$D + (D_{д'} + D_c)$	20,05 (72,18)	15,51 (55,84)	11,87 (42,72)	4,83 (17,4)
49	Внутрішньокотельні втрати пари	$D_{пот}*$	кг/с (т/ч)	$D * K_{пот} / (1 - K_{пот})$	0,41 (1,48)	0,32 (1,14)	0,25 (0,87)	0,09 (0,36)
50	Сумарне парове навантаження на котельню	$D_{сум}$	кг/с (т/ч)	$D + D_{пот}$	20,46 (73,66)	15,83 (56,98)	12,11 (43,59)	4,92 (17,76)
51	Кількість продувочної води, що надходить в сепаратор безперервної продувки	$G_{пр}$	кг/с (т/ч)	$\frac{\Pi}{100} D$	0,72 (2,58)	0,55 (1,99)	0,42 (1,52)	0,34 (1,24)
52	Кількість пари на виході із сепаратора неперервної продувки	$D_{пр}$	кг/с	$G_{пр} \cdot \frac{i_2 - 0,98 - i_3}{i_3 - i_6}$	0,106	0,083	0,064	0,05
53	Кількість продувочної води на виході із сепаратора неперервної продувки	$G'_{пр}$	кг/с	$G_{пр} - D_{пр}$	0,61	0,47	0,36	0,29

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
54	Кількість води на живлення котлів (навіході із деаератора живильної води)	$G_{мин}$	кг/с	$D_{сум} + G_{пр}$	21,18	16,38	12,53	5,28
55	Випар із деаератора живильної води	$D_{вип}$	кг/с	$D_{вип} G_{вип}$	0,042	0,033	0,025	0,011
56	Кількість зміяженої води, що поступає в деаератор живильної води	$G_{з'яв}$	кг/с (т/ч)	$(D_{пот} - G_{пот}) + G + D_{пот} + D_{вип} + D + D_{з'яв}$	3,68 (13,25)	3,44 (12,38)	3,24 (11,67)	2,36 (8,51)
57	Кількість сирної води, відповідний витраті $G'_{з'яв}$	$G_{с.в.}$	кг/с (т/ч)	$K_{з'яв} G'_{з'яв}$	4,42 (15,9)	4,14 (14,9)	3,89 (14,0)	2,83 (10,2)
58	Витрата пари для підігріву сирної води $G_{ос}$	$D_c$	кг/с (т/ч)	$G_{ос} \frac{C_{п1} - T_1 C_{п2}}{(i_2 - T_{с2} C_{п2}) * 0,98}$	0,155 (0,56)	0,147 (0,53)	0,136 (0,49)	0,049 (0,18)
59	Кількість конденсату, що надходить в деаератор живильної води від підігрівачів сирної води і зміяженої води	$G_{сy}$	кг/с (т/ч)	$G_{сy} + G'_{сy} + G_y$ (відповідно витратам пари $D_{сy}, D'_{сy}, D_y$ )	1,31 (4,71)	1,299 (4,68)	1,289 (4,64)	0,99 (2,55)
60	<sup>5)</sup> Сумарна вага потоків що надходять в деаератор живильної води (окрім грійночної пари)	$G_y$	кг/с (т/ч)	$G_{сy} + G_{з'яв} + G_{сy} + D_{пр} - D_{вип}$	19,9 (71,66)	15,36 (55,29)	11,69 (42,07)	4,86 (17,49)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5)	Частка конденсату від підігрівачів мережної води і з виробництва в сумарній вазі потоків, що надходять в деаератор живильної води	-	-	$\frac{G_k}{G_{\Sigma}}$	0,75	0,69	0,62	0,31
5)	Відношення кількості зм'якшеної води, що надходить в деаератор живильної води, до кількості зм'якшеної води, що надходить в деаератор живильної води	$\frac{G'_{жво}}{G_{жво}}$	-	$\frac{G'_{жво}}{G_{жво}}$	2,8	3	3,2	4,4
63	Питома витрата пари на деаератор живильної води	$d_d$	кг/кг (т/т)	-	0,059	0,062	0,067	0,077
64	Абсолютна витрата пари на деаератор живильної води	$D_d$	кг/с (т/ч)	$d_d G_{\Sigma}$	1,17 (4,23)	0,95 (3,43)	0,78 (2,82)	0,37 (1,35)
65	Витрата пари на деаератор живильної води і підігрів сирої води	-	кг/с (т/ч)	$D_d + D_c$	1,33 (4,79)	1,09 (3,96)	0,92 (3,31)	0,42 (1,53)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
66	Парове навантаження на котельню без ураховання внутрішньо-котельних витрат	$D'$	кг/с (т/ч)	$D + (D_d + D_c)$	20,06 (72,21)	15,52 (55,88)	11,87 (42,73)	4,84 (17,42)
67	Сумарне парове навантаження на котельню	$D_{\Sigma \text{ пар}}$	кг/с (т/ч)	$D + D_{\text{пит}}$	20,47 (73,69)	15,84 (57,02)	12,11 (43,6)	4,94 (17,78)
68	Кількість працюючих парових котлів	$N_{\text{пар}}$	шт	$\frac{D_{\Sigma \text{ пар}}}{D_{\text{пар.к.к.}}}$	3 5	2 4	2 3	1 2
69	Відсоток завантаження працюючих парових котлів	$K_{\text{пар}}$	%	$\frac{D_{\Sigma \text{ пар}}}{D_{\text{пар.к.к.}}}$	87,8 99,3	101,8 95	78 97	63,6 59,4
70	Витрата пари на власні потреби котельні (деаерація і підігрів сирої і зм'якшеної води і розігрівання мазути)	-	кг/с (т/ч)	$(D_d + D_c) + D_{\text{маз}}$	1,61 (5,79)	1,36 (4,96)	1,19 (4,31)	0,7 (2,53)
71	Відсоток витрати пари на власні потреби котельні	$K_{\text{вн}}$	%	$\frac{D_d + D_c + D_{\text{маз}}}{D_{\Sigma \text{ пар}}}$	7,85	8,7	9,9	14,2
72	Кількість води, що пропускається поза підігрівачами мережної води (у зимових режимах)	$G_{\text{ст.п}}$	кг/с (т/ч)	$G_{\text{ст.п}} \frac{t_{\text{макс}} - t_{\text{мін}}}{t_{\text{макс}} - t_{\text{мін}}}$	0	40,83 (147)	70,83 (255)	-

Продовження таблиці 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
73	Кількість води, що пропускається через підігрівачі мережної води (у зимових режимах)	$G_{\text{мер.б}}$	кг/с (т/ч)	$G_{\text{сет.тн}} - G_{\text{сет.д}}$	84,72 (305)	46,47 (167,3)	22,61 (81,4)	-
74	Температура мережної води на вході в пароводяні підігрівачі (у зимових режимах)	$t_5$	$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\Delta_{\text{max}} G_{\text{в.в.}} (t_{\text{в.в.}} - t_{\text{в.п.}}) + G_{\text{в.п.}} (t_{\text{в.п.}} - t_{\text{в.в.}})}{t_{\text{в.п.}} - t_{\text{в.в.}}}$	82	70,2	60	-
75	Температура змягченої води на виході з охолоджувача продукочної води	$T_5$	$^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{в.п.}} (t_8 - t_{\text{в.п.}})$	37,1	35,1	33,1	34,1
76	Температура змягченої води що надходить в дезератор живильної води з охолоджувача випару	$T_6$	$^{\circ}\text{C}$	$T_5 + \frac{D_{\text{max}}}{G_{\text{в.п.}}} (t_4 - t_5)$	43,1	40,1	37,15	36,45
77	Кількість сиріої води, що надходить на хімічно-водоочистку	-	кг/с (т/ч)	$G_{\text{в.в.}} + G_{\text{в.п.}}$	16,83 (60,6)	16,55 (59,6)	16,3 (58,7)	15,25 (54,9)

\* Попередні значення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. СНиП II-35-76. Котельные установки. Нормы проектирования. М.: -1977.
2. О.М. Алабовський, М.Ф. Боженко, Ю.В. Хоренженко. Проектування котельень промислових підприємств. -К.: Вища школа, 1992. -207 с.
3. Рекомендации по рас чету и выбору основного и вспомогательного оборудования котельных. Ч. 1. Рекомендации по расчету тепловых схем котельных с паровыми котлами. ГПИ «Сантехпроект. -М.: 1970.
4. Рекомендации по рас чету и выбору основного и вспомогательного оборудования котельных. Ч. 2. Рекомендации по расчету тепловых схем котельных с водогрейными и паровыми котлами. ГПИ «Сантехпроект. - М.: 1970.
5. Рекомендации по расчету и выбору основного и вспомогательного оборудования котельных. Ч. 3. Рекомендации по расчету тепловых схем котельных с водогрейными котлами. ГПИ «Сантехпроект. -М.: 1970.
6. Рывкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара.Справочник.-М.: Энергоатомиздат, 1984, 80 с. с ил.