

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Методичні вказівки
до виконання студентами самостійної роботи
з дисципліни
«Джерела теплопостачання промислових
підприємств» для студентів спеціальності
«Теплоенергетика»

Вінниця
ВНТУ
2017

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 6 від 23.01. 2014 р.)

Рецензенти :

С. Й. Ткаченко, доктор технічних наук, професор

І. В. Коц , кандидат технічних наук, професор

Методичні вказівки до виконання студентами самостійної роботи з дисципліни «Джерела тепlopостачання промислових підприємств» для студентів спеціальності «Теплоенергетика» / Уклад. Д. В. Степанов. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 40 с.

У методичних вказівках розглянуті питання організації викладання дисципліни «Джерела тепlopостачання промислових підприємств», наведені індивідуальні завдання, приклади їх розв'язання, контрольні запитання та тести, необхідний довідковий матеріал розміщений у додатках.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ.....	5
2 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ...	7
3 ЗАДАЧІ НА САМОСТІЙНУ РОБОТУ	8
4 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ	13
5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ	31
6 ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ	33
ЛІТЕРАТУРА.....	35
Додаток А	36
Додаток Б.....	38
Додаток В	39

ВСТУП

Метою вивчення дисципліни «Джерела теплопостачання промислових підприємств» є засвоєння теоретичних та практичних знань для розрахунків теплових схем, проектування, експлуатації і модернізації систем теплопостачання промислових підприємств, впровадження раціональних засобів, що підвищують ефективність роботи основного та допоміжного обладнання, вибору ефективних схем використання енергоносіїв з метою енергозбереження, розрахунків техніко-економічних показників роботи систем теплопостачання. Завдання вивчення даної дисципліни як складової циклу дисциплін професійної та практичної підготовки полягає у формуванні у студентів навичок розрахунків теплових схем джерел теплопостачання, підбирання та компонування обладнання і оцінювання ефективності роботи.

Дані методичні вказівки призначені для студентів денної та заочної форм навчання напряму підготовки «Теплоенергетика». Методичні вказівки підготовлені відповідно до навчального плану та навчальної програми дисципліни «Джерела теплопостачання промислових підприємств».

Самостійна робота студента (СРС) – це форма організації навчального процесу, при якій заплановані завдання виконуються студентом під методичним керівництвом викладача, але без його безпосередньої участі. СРС є основним засобом засвоєння навчального матеріалу під час позааудиторної навчальної роботи.

Викладений в методичних вказівках матеріал дозволить студентам готуватись до лекційних, лабораторних та практичних занять, поточного та підсумкового контролю знань, виконувати розрахунки в рамках підготовки випускної кваліфікаційної роботи.

Самостійна робота може виконуватись студентом у бібліотеці, навчальних кабінетах, лабораторіях та комп'ютерних класах, в домашніх умовах.

Згідно з навчальним планом підготовки за напрямом 6.050601 – «Теплоенергетика» вивчення дисципліни «Джерела теплопостачання промислових підприємств» проводиться у десятому триместрі денної форми та у восьмому семестрі заочної форми навчання.

Автор вдячний рецензентам за корисні поради і зауваження в процесі рецензування і підготовки рукопису.

1 ОРГАНІЗАЦІЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Програма вивчення навчальної дисципліни складена з урахуванням вимог освітньо-професійних програм підготовки бакалаврів напряму підготовки 6.050601 – «Теплоенергетика».

Предметом вивчення навчальної дисципліни «Джерела теплопостачання промислових підприємств» є теплові схеми та обладнання парових, водогрійних та пароводогрійних котелень, методи розрахунків схем, підбору обладнання та оцінювання ефективності джерел теплопостачання.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати: теплові схеми котелень, основне та допоміжне устаткування систем теплопостачання, методи розрахунку схем та обладнання. Студент повинен вміти: виконувати теплові розрахунки схем промислових та опалювальних котелень, аналізувати отримані результати та приймати рішення за результатами цих розрахунків, користуватись науковою, довідковою та нормативною літературою, знаходити раціональні методи розв'язання практичних завдань.

Теоретичною базою курсу є такі дисципліни «Математика», «Фізика», «Гідрогазодинаміка», «Технічна термодинаміка», «Тепломасообмін», «Котельні установки промислових підприємств». Матеріал курсу забезпечує основу для вивчення таких дисциплін «Проектування теплоенергетичних та теплотехнічних установок», «Експлуатація, випробування та налагодження теплоенергетичного і теплотехнологічного обладнання».

Поточний та підсумковий контроль знань студентів проводиться шляхом фронтального, індивідуального чи комбінованого опитування студентів під час практичних занять, контрольних робіт, колоквиумів, тестування, іспиту.

На позааудиторну роботу виносяться вивчення окремих проблем курсу, виконання курсового проекту, підготовка до практичних занять, колоквиумів, тестування, іспиту, виконання індивідуальних завдань.

Таблиця 1 – Загальна характеристика дисципліни «Джерела теплопостачання промислових підприємств»

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 3,5	Галузь знань 0506 – «Енергетичне машинобудування»	Варіативна	
	Напрямок підготовки 6.050601 – «Теплоенергетика»		
Модулів – 2	Спеціальність «Теплоенергетика»	Рік підготовки:	
Змістових модулів – 4		4	4
Індивідуальне науково-дослідне завдання (реферати, розрахункові, графічні, розрахунково-графічні роботи); контрольні роботи, що виконуються під час СРС (домашні контрольні роботи); курсові, дипломні проекти (роботи) та інші визначаються робочим навчальним планом чи рішенням кафедри) КП – 36 год (1 кр)		Триместр	
Загальна кількість годин - 126			
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 3,88		Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	Лекції
	32 год		10 год
	Практичні, семінарські		
	16 год		6 год
	Лабораторні		
	16 год		2 год
Самостійна робота			
62 год	108 год		
Вид контролю: іспит			

2 ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

На початку вивчення дисципліни викладач ознайомлює студентів з формою та методами організації СРС, метою, трудомісткістю, строками виконання, формою контролю та критеріями оцінювання якості СРС.

На СРС виносяться матеріали, які доступні за рівнем складності, такі що розширюють та деталізують знання, отримані в аудиторії, дозволяють сформуванню навички розв'язання інженерних завдань.

Перед виконанням завдання для самостійної роботи необхідно ретельно ознайомитись із змістом лекційного матеріалу за даною темою, що наведений у [1], крім того, бажано отримати доступ до матеріалів дистанційного курсу «Джерела теплопостачання промислових підприємств», що розміщений на сайті Центру дистанційної освіти ВНТУ за адресою <http://cde.vntu.edu.ua>. Для цього треба подати заявку, вибрати відповідний курс і зареєструватись.

Починаючи виконувати завдання, необхідно проаналізувати умову задачі, скласти теплову схему джерела теплопостачання, оцінити набір розрахункових залежностей, скласти порядок розрахунку або запозичити його у прикладі розв'язання. Необхідний для розв'язання довідковий матеріал слід вибрати з літературних джерел [2, 3]. Для полегшення засвоєння матеріалу наведені тестові завдання та контрольні питання до кожної теми.

Критерії оцінювання виконання СРС включають: рівень засвоєння студентом навчального матеріалу, винесеного на СРС; вміння використовувати теоретичні знання при виконанні практичних задач; обґрунтованість та логічність викладення самостійно вивченого матеріалу; повноту розкриття завдання; якість оформлення матеріалів згідно з висунутими вимогами.

3 ЗАДАЧІ НА САМОСТІЙНУ РОБОТУ

Приклад 3.1. Промислова котельня забезпечує споживача паром з тиском P_0 бар, перегрітою на $100\text{ }^\circ\text{C}$. Теплова потужність споживача $Q_{\text{сп}}$. Конденсат від споживача повертається з температурою $90\text{ }^\circ\text{C}$ в кількості 80% , а в деаератор надходить $\beta_k\%$ конденсату з температурою $75\text{ }^\circ\text{C}$. В схемі встановлений деаератор ДСП з тиском 3 бар. Теплота продувальної води використовується для підігрівання хімоочищеної води. Визначити ККД котельні, витрату мазуту з теплотою згорання 42 МДж/кг та витрату умовного палива, якщо ККД котла 90% . Частку продування прийняти 5% , частку власних потреб 2% . Підібрати котлоагрегати, тягодуттєве обладнання, насосне обладнання. Визначити ККД нетто котельні.

Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{\text{сп}}$ МВт	100	85	70	55	40	25	20	15	10	5
β_k	75	60	50	45	40	30	25	15	10	5

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_0 , бар	10	8,5	12	14	16	7	5	3	20	23

Приклад 3.2. Два промислових споживачі обслуговуються паром з тиском P_0 бар, перегрітою на Δt $^\circ\text{C}$. Теплова потужність першого 32 МВт , витрата пари для другого 50 кг/с . Конденсат від першого споживача повертається переохолодженим на $80\text{ }^\circ\text{C}$ в кількості $\alpha_{k1}\%$, а від другого з температурою $95\text{ }^\circ\text{C}$ в кількості 60% , а в деаератор надходять відповідно 11% конденсату з температурою $110\text{ }^\circ\text{C}$ – від першого споживача і 51% конденсату з температурою $80\text{ }^\circ\text{C}$ – від другого. Теплота продувальної води використовується для підігрівання хімоочищеної води. Визначити ККД котельні, витрату природного газу з теплотою згорання 35 МДж/м^3 та витрату умовного палива, якщо ККД котла 92% , частка продування 3% , частка власних потреб 1% . Підібрати котлоагрегати, насосне та теплообмінне обладнання, визначити ККД нетто котельні, якщо електричні власні потреби 2 МВт .

Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_0 , бар	12	3	5	8	10	16	23	26	39	2
Δt , $^\circ\text{C}$	100	20	80	60	50	40	30	20	30	70

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
α_{k1} , %	10	85	20	40	60	70	35	30	20	5

Приклад 3.3. Визначити ККД парової котельні, витрату умовного палива та природного газу з теплою згорання 35 МДж/м^3 , якщо ця котельня постачає пару двом промисловим споживачам. Першому – з тиском P_1 бар і перегрівом на $25 \text{ }^\circ\text{C}$, другому – з тиском 3 бар і перегрівом $\Delta t_2 \text{ }^\circ\text{C}$. Витрата пари на перший споживач 20 т/год, потужність другого – 70 Гкал/год. Від першого споживача повертається конденсат в кількості 10 % з температурою $t_{к1} \text{ }^\circ\text{C}$, від другого – весь конденсат з ентальпією 300 Дж/кг. Втрати теплоти $q_2 = 6 \%$, $q_5 = 1,5 \%$, $q_3 = 1 \%$, $q_4 = 0,2 \%$. Частка продування котла 2 %, частка власних потреб 1 %. Підібрати котлоагрегати, тягодуттєве обладнання, визначити діаметри основних трубопроводів.

Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_0 , бар	15	13	25	18	10	16	23	6	9	2
Δt_2 , $^\circ\text{C}$	10	20	70	60	150	40	30	20	30	80

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{к1}$, $^\circ\text{C}$	100	65	20	40	80	70	95	30	20	45

Приклад 3.4. Промислово-опалювальна котельня постачає пару з тиском P_0 бар і температурою $300 \text{ }^\circ\text{C}$ промислового споживачу потужністю 28 Гкал/год, а також на мережний підігрівник – пару з надлишковим тиском 2 бар, перегрівом на $50 \text{ }^\circ\text{C}$ і витратою 40 т/год. Температурний графік мережної води $110/60 \text{ }^\circ\text{C}$. Від промислового споживача повертається 80 % конденсату з температурою $80 \text{ }^\circ\text{C}$, а від мережного підігрівника – весь конденсат з температурою $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Втрати мережної води $\alpha_{втр} \%$. Визначити ККД котельної, витрату умовного палива та природного газу з $Q_H^P = 33,9 \text{ МДж/м}^3$, якщо теплоємність повітря і димових газів $1 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$, густина повітря і димових газів $1,29$ та $0,85 \text{ кг/м}^3$, об'єм повітря та димових газів $8,95$ та $9,9 \text{ м}^3/\text{м}^3$, температура холодного повітря $5 \text{ }^\circ\text{C}$, а димових газів $t_r \text{ }^\circ\text{C}$. Втрати теплоти $q_3 = 0,5 \%$, $q_5 = 1,5 \%$. Частка продування 3 %, частка власних потреб 2 %. Підібрати котлоагрегати, тягодуттєве та насосне обладнання. Визначити ККД нетто котельні.

Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_0 , бар	15	3	2,5	1,8	10	16	13	6	9	12
$\alpha_{втр}$, %	2,1	2,0	1,5	2,5	3	4,2	5	0,5	2,8	3,5

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
t_r , $^\circ\text{C}$	120	150	180	200	130	140	170	125	155	110

Приклад 3.5. Промислово-опалювальна котельня постачає пару двом технологічним споживачам і на мережний підігрівник. Першому технологічному споживачу потужністю 10 МВт – пару надлишковим тиском 10 бар і перегрівом 100 °С, другому технологічному споживачу та на мережний підігрівник – пару з тиском 3,5 бар і перегрівом 10 °С. Витрата пари другому промислому споживачу $D_{сп2}$ т/год. Графік тепломережі 120/70 °С, витрата мережної води $G_{мв}$ т/год. Повернення конденсату від першого промислового споживача 80 % з температурою 110 °С, від другого промислового споживача 60 % з ентальпією 400 кДж/кг, від мережного підігрівника – весь конденсат з температурою 90 °С. В деаератор надходять відповідно β_k % конденсату з температурою 90 °С – від першого споживача, 55 % з ентальпією 370 кДж/кг – від другого споживача, весь конденсат з температурою 88 °С – від мережного підігрівника. Втрати мережної води 3 %.

Визначити ККД котельної, витрату умовного палива та вугілля з теплотою згорання 22 МДж/кг, якщо ККД котла 88 %, частка продування 3 %, частка власних потреб 3 %. Підібрати деаератор, насосне обладнання та визначити діаметри трубопроводів.

Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D_{сп2}$, т/год	15	70	25	30	45	60	35	6	19	22
$G_{мв}$, т/год	250	500	1200	2500	300	650	800	150	200	140
Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
β_k , %	17	25	50	20	35	47	40	55	60	15

Приклад 3.6. Водогрійна котельня, що працює на мазуті з теплотою згорання $Q_H^p = 38$ МДж/кг, постачає теплоту в систему опалення потужністю $Q_{оп}$ МВт та систему гарячого водопостачання потужністю 15 МВт. Графік мережної води в котельні 110/60 °С. Охолодження мережної води в прямому та зворотному трубопроводах по 3 °С. Система теплопостачання закрыта. Втрати мережної води $\alpha_{втр}$ %. Температура сирієї води 5 °С. Підігрівники сирієї та хімічненої води заживлені за паралельною схемою. Визначити витрату умовного та робочого палива і ККД котельної, якщо в схемі встановлений вакуумний деаератор, ККД котла 0,91, температура мазуту перед спалюванням 120 °С, частка власних потреб 2 %.

Підібрати котлоагрегати, насосне та теплообмінне обладнання. Визначити ККД нетто котельні, якщо власні електричні потреби 1,5 МВт.

Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{оп}$, МВт	5	15	25	30	45	60	80	120	150	200
Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha_{втр}$, %	0,5	1,1	1,6	0,8	2,0	1,5	1,8	0,3	0,7	2,5

Приклад 3.7. Визначити витрату умовного та робочого палива і ККД водогрійної котельні, якщо вона працює на природному газі з теплотою згорання $Q_{н}^p = 33,8 \text{ МДж/м}^3$, постачає теплоту в систему опалення потужністю 100 МВт та систему гарячого водопостачання потужністю 23 МВт. Графік мережної води $t_{пр}/t_{зв}$ °С. Втрати теплоти в схемі котельні 1%. Система теплопостачання закрита. Втрати мережної води 2% Температура сирової води 5 °С. Підігрівники сирової та хімоочищеної води заживлені за послідовною схемою. В схемі встановлений атмосферний деаератор. Теплоємність повітря і димових газів 1 кДж/(кг·К), густина повітря і димових газів 1,29 та 0,85 кг/м³, об'єм повітря та димових газів 8,95 та 9,9 м³/м³, температура холодного повітря 5 °С, а відхідних газів $t_{вг}$ °С. Втрати $q_3 = 1 \%$, $q_5 = 1,5 \%$. Підібрати котлоагрегати, насосне та тягодуттєве обладнання. Визначити ККД нетто котельні.

Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{пр}$, °С	150	130	110	90	120	140	125	115	135	145
$t_{зв}$, °С	90	70	50	50	80	60	65	80	70	85

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{вг}$, °С	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190

Приклад 3.8. Пароводогрійна котельня, що працює на природному газі з теплотою згорання 32 МДж/м³, відпускає насичену пару тиском 23 бар температурою 250 °С та воду в теплову мережу з графіком 100/60 °С. Потужність споживача пари $Q_{сп}$ МВт, потужність мережного підігрівника 80 МВт. Конденсат від споживача повертається в кількості 70 % з температурою $t_{к1}$ °С, а в деаератор надходить 62 % з температурою 91 °С. Температура сирової води 5 °С. Втрати мережної води 2 %. Охолодження води в мережних трубопроводах по 2 °С. Визначити ККД котельні, витрату умовного та робочого палива, якщо частка продування парового котла p %, власні потреби 2 %, ККД котла 0,91. Підібрати котлоагрегати, насосне та тягодуттєве обладнання.

Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{сп}$, МВт	15	25	30	40	50	65	75	80	95	120
$t_{к1}$, °С	110	115	105	100	98	95	120	112	92	101

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
p , %	1	0,1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

Приклад 3.9. Визначити витрату умовного та робочого палива і ККД котельні в м. Вінниці, що обслуговує систему опалення та гарячого водопостачання підприємства. Котельня працює на природному газі з $Q_{н}^P = 33,2 \text{ МДж/м}^3$. Розрахункова потужність системи опалення $Q_{оп}$ МВт. Потужність системи гарячого водопостачання 9 МВт. Підігрівники сирової та хімічещеної води заживлені послідовно. Встановлений вакуумний деаератор. Система теплопостачання закрыта. Графік мережної води $t_{пр}/t_{зв}$ °С. Втрати мережної води 1,5 %. Температура сирової води 8 °С. ККД котла 92 % Частка власних потреб 1 %. Розрахувати схему для середньоопалювального та літнього режимів. Визначити річну витрату палива.

Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{оп}$, МВт	5	12	25	34	49	65	72	81	90	100
$t_{пр}$, °С	150	145	140	135	130	125	120	115	110	100

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{зв}$, °С	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40

Приклад 3.10. Водогрійна котельня з атмосферним деаератором працює на вугіллі з $Q_{н}^P = 21 \text{ МДж/кг}$. До неї підключені система опалення та гарячого водопостачання потужністю 54 МВт і $Q_{гвп}$ МВт, відповідно. Система теплопостачання відкрита. Графік мережної води $t_{пр}/t_{зв}$ °С. Втрати мережної води 1,5 %. Температура сирової води 8 °С. Визначити витрату умовного та робочого палива і ККД котельні, якщо ККД котла 90 %, частка власних потреб 0,5 %. Підібрати основне та допоміжне обладнання котельні. Визначити ККД нетто котельні.

Передостання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_{гвп}$, МВт	3	2	2,5	4	6	15	27	40	80	100
$t_{пр}$, °С	110	100	140	135	115	125	120	130	145	105

Остання цифра шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{зв}$, °С	70	50	60	75	50	85	65	55	45	80

4 ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ

Приклад 4.1. Парова промислово-опалювальна котельня постачає споживачам насичену пару тиском 7 бар в кількості 20 т/год. Цією ж парою заживлений мережний теплообмінник (рис. 4.1). Конденсат від промислових споживачів повертається з температурою 120 °С в кількості 75 % від споживаної пари, а в деаератор підвищеного тиску ($P_d = 3$ бар) надходить в кількості 65 % з температурою 100 °С. Конденсат від мережних теплообмінників потужністю 150 МВт повертається в деаератор повністю з температурою 95 °С. Температурний графік мережі 150/90 °С. Втрати мережної води складають 2,5 %. Для покриття втрат мережної води частина води після деаератора спрямовується в зворотний трубопровід тепломережі. Вода безперервного продування відводиться в розширник безперервного продування (РБП), тиск в якому вищий тиску в деаераторі. Утворена насичена пара з РБП відводиться в деаератор. Теплота зливної води використовується для нагрівання додаткової води перед деаератором в охолоднику продувальної води (ОПВ). Визначити показники роботи котельні, якщо паливо – природний газ з теплою згорання $Q_n^c = 33,7$ МДж/м³, ККД котлів 0,92, температура продувальної води на виході з ОПВ $t_{зл} = 40$ °С; частка власних потреб теплової енергії $\alpha_{вп} = 0,02$; частка безперервного продування $p = 0,02$.

Принципова теплова схема котельні наведена на рис. 4.1.

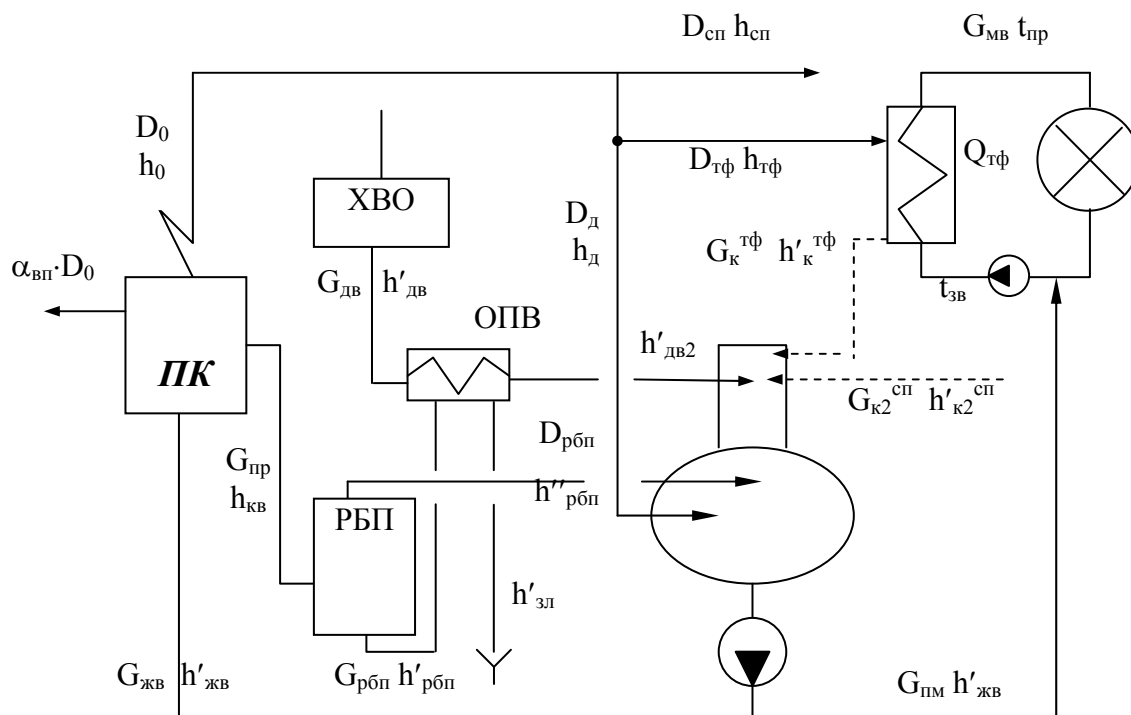


Рисунок 4.1 – Теплова схема парової котельні до прикладу 4.1

Розв'язування

Користуючись таблицями властивостей води і водяної пари [2], визначаємо ентальпії потоків пари, конденсату і води згідно з позначеннями на рис. 4.1, кДж/кг

$$h_0 = h_{\text{сп}} = h_{\text{тф}} = 2770; h'_{\text{к1}}^{\text{сп}} = 502,8; h'_{\text{к1}}^{\text{тф}} = h'_{\text{к2}}^{\text{тф}} = 398; h'_{\text{к2}}^{\text{сп}} = 419; h'_{\text{жв}} = 561,4; h'_{\text{дв}} = 84; h'_{\text{кв}} = 719,3; h'_{\text{хв}} = 21; \text{ тиск в РБП приймемо } 4 \text{ бар, тоді} \\ h'_{\text{рбп}} = 604,7; h''_{\text{рбп}} = 2738,5; h'_{\text{зл}} = 168.$$

Витрата пари на теплофікаційний теплообмінник, кг/с

$$D_{\text{тф}} = Q_{\text{тф}} / [(h_{\text{тф}} - h'_{\text{к1}}^{\text{тф}}) + (1 - \alpha_{\text{к}}^{\text{тф}}) \cdot (h'_{\text{к1}}^{\text{тф}} - h'_{\text{хв}})] = \\ = 150 \cdot 10^3 / [(2770 - 398) + (1 - 1) \cdot (398 - 21)] = 62,68.$$

Потужність промислового споживача, МВт

$$Q_{\text{сп}} = D_{\text{сп}} \cdot [(h_{\text{сп}} - h'_{\text{к1}}^{\text{сп}}) + (1 - \alpha_{\text{к}}^{\text{сп}}) \cdot (h'_{\text{к1}}^{\text{сп}} - h'_{\text{хв}})] \cdot 10^{-3} = \\ = 20/3,6 \cdot [(2770 - 502,8) + (1 - 0,75) \cdot (502,8 - 21)] \cdot 10^{-3} = 13,26.$$

Витрати конденсатів, що надходять в деаератор, кг/с

$$G_{\text{к2}}^{\text{сп}} = D_{\text{сп}} \cdot \beta_{\text{к}}^{\text{сп}} = 20/3,6 \cdot 0,65 = 3,61; \\ G_{\text{к2}}^{\text{тф}} = G_{\text{к1}}^{\text{тф}} = G_{\text{к}}^{\text{тф}} = D_{\text{тф}} \cdot \beta_{\text{к}}^{\text{тф}} = 62,68 \cdot 1 = 62,68.$$

Витрата мережної води, кг/с

$$G_{\text{мв}} = Q_{\text{тф}} \cdot \eta_{\text{т0}} / [c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{пр}} - t_{\text{зв}})] = 150 \cdot 10^3 \cdot 0,98 / [4,187 \cdot (150 - 90)] = 596,6.$$

Витрата води на підживлення мережі, кг/с

$$G_{\text{пм}} = \alpha_{\text{втр}} \cdot G_{\text{мв}} = 0,025 \cdot 596,6 = 14,9.$$

Паровидатність котельні, кг/с

$$D_0 = D_{\text{сп}} + D_{\text{тф}} + D_{\text{д}} = 20/3,6 + 62,68 + D_{\text{д}} = D_{\text{д}} + 68,2.$$

Витрата живильної води, кг/с

$$G_{\text{жв}} = D_0 + \alpha_{\text{вп}} \cdot D_0 + p \cdot D_0 = D_0 \cdot (1 + 0,02 + 0,02) = 70,9 + 1,04 \cdot D_{\text{д}}.$$

Кількість продувальної води, кг/с

$$G_{\text{пр}} = 0,02 \cdot D_0 = 0,02 \cdot D_{\text{д}} + 1,364.$$

Витрата насиченої пари вторинного скипання з РБП, кг/с

$$D_{\text{рбп}} = G_{\text{пр}} \cdot (h'_{\text{кв}} - h'_{\text{рбп}}) / (h''_{\text{рбп}} - h'_{\text{рбп}}) = (0,02 \cdot D_{\text{д}} + \\ + 1,364) \cdot (719,3 - 604,7) / (2738,5 - 604,7) = 0,00086 \cdot D_{\text{д}} + 0,058.$$

Витрата насиченої води з РБП, кг/с

$$G_{\text{рбп}} = G_{\text{пр}} - D_{\text{рбп}} = (0,02 \cdot D_{\text{д}} + 1,364) - (0,00086 \cdot D_{\text{д}} + 0,058) = 0,01914 \cdot D_{\text{д}} + 1,305.$$

Ентальпія додаткової води після підігрівання в ОПВ, кДж/кг

$$h'_{\text{дв2}} = h'_{\text{дв}} + G_{\text{рбп}} \cdot (h'_{\text{рбп}} - h'_{\text{зл}}) / G_{\text{дв}} = 84 + (0,01914 \cdot D_{\text{д}} + 1,305) \times \\ \times (604,7 - 168) / G_{\text{дв}} = 84 + (8,35 \cdot D_{\text{д}} + 569,88) / G_{\text{дв}}.$$

Оскільки в даному рівнянні в чисельнику величина, виражена через $D_{\text{д}}$, і в знаменнику величина, виражена через $D_{\text{д}}$, то далі задачу можна розв'язувати як систему рівнянь, ітераціями або залишити у такому вигляді. Останній варіант найпростіший.

Матеріальний баланс деаератора, кг/с

$$D_d + G_{k2}^{cp} + G_{k2}^{тф} + G_{дв} + D_{рбп} = G_{жв} + G_{пм}$$

або $D_d + 3,61 + 62,68 + G_{дв} + 0,01914 \cdot D_d + 1,305 = 1,04 \cdot D_d + 70,9 + 14,9$,
звідки $G_{дв} = 18,21 + 0,021 \cdot D_d$.

Теплота, що вноситься з додатковою водою, визначиться таким чином, кВт

$$G_{дв} \cdot h'_{дв2} = G_{дв} \cdot [84 + (8,35 \cdot D_d + 569,88)/G_{дв}] =$$

$$= 84 \cdot G_{дв} + (8,35 \cdot D_d + 569,88).$$

Тепловий баланс деаератора, кВт

$$D_d \cdot h_d + G_{k2}^{cp} \cdot h'_{k2}^{cp} + G_{k2}^{тф} \cdot h'_{k2}^{тф} + G_{дв} \cdot h'_{дв2} + D_{рбп} \cdot h''_{рбп} = (G_{жв} + G_{пм}) \cdot h'_{жв} .$$

Тоді $D_d \cdot 2770 + 3,61 \cdot 419 + 62,68 \cdot 398 + 84 \cdot (18,21 + 0,021 \cdot D_d) +$
 $+ (8,35 \cdot D_d + 569,88) = (70,9 + 1,04 \cdot D_d + 14,9) \cdot 561,4$.

Звідки $D_d = 9,54$ кг/с.

Витрати теплоносіїв, кг/с

$$D_0 = 68,2 + D_d = 68,2 + 9,54 = 77,74 ; G_{жв} = 70,9 + 1,04 \cdot D_d = 80,82 ;$$

$$G_{дв} = 18,21 + 0,021 \cdot D_d = 18,41 ; G_{пр} = 0,02 \cdot D_d + 1,364 = 1,555 ;$$

$$D_{рбп} = 0,00086 \cdot D_d + 0,058 = 0,0662 ; G_{рбп} = 0,01941 \cdot D_d + 1,305 = 1,488 .$$

Ентальпія додаткової води на вході в деаератор, кДж/кг

$$h'_{дв2} = 84 + (8,35 \cdot D_d + 569,88) / G_{дв} = 119,3 \text{ кДж/кг} .$$

Теплова потужність охолодника продувальної води, кВт

$$Q_{опв} = G_{рбп} \cdot (h'_{рбп} - h'_{зл}) \cdot \eta_{то} = 1,488 \cdot (604,7 - 168) \cdot 0,98 = 649,8 .$$

Теплова потужність котельні, МВт

$$Q_k = [(D_0 + D_0 \cdot \alpha_{вп}) \cdot (h_0 - h'_{жв}) + D_0 \cdot p \cdot (h'_{кв} - h'_{жв})] \cdot 10^{-3} =$$

$$= [77,74 \cdot (1 + 0,02) \cdot (2770 - 561,4) + 77,74 \cdot 0,02 \cdot (719,3 - 561,4)] \cdot 10^{-3} = 175,15 .$$

Витрата умовного і робочого палива, кг/с і м³/с

$$V_y = Q_k / (Q_{н^p_y} \cdot \eta_k) = 175,15 / (29,330 \cdot 0,92) = 6,49 .$$

$$V_p = Q_k / [(Q_{н^c} \cdot \eta_k)] = 175,15 / [(33,7 \cdot 0,92)] = 5,769 .$$

ККД котельної

$$\eta_{кот} = (Q_{сп} + Q_{тф}) / (V_y \cdot Q_{н^p_y}) = (13,26 + 150) / (6,49 \cdot 29,330) = 0,857 .$$

Приклад 4.2. Промислово-опалювальна котельня постачає пару двом промисловим споживачам і на мережний підігрівник. До першого споживача потужністю 0,1 ГВт із головної парової магістралі котельні надходить перегріта на 100 °С пара тиском 2,2 МПа. Другому споживачу постачається пара із РОУ1 тиском 1 МПа, яка перегріта на 25 °С. На мережний підігрівник від РОУ2 надходить пара з тиском 0,3 МПа, яка перегріта на 10 °С (рис. 4.2). Витрата мережної води 1000 т/год, а її температурний режим 120/80 °С. Від першого споживача повертається 20 % конденсату з температурою 150 °С, від другого – 80 % конденсату з ентальпією 500 кДж/кг. Від мережного підігрівника конденсат повертається повністю з температу

рою 90 °С. В атмосферний деаератор надходить, відповідно, 12 % конденсату від 1-го споживача з температурою 100 °С, 70 % конденсату 2-го споживача з ентальпією 300 кДж/кг і 95 % конденсату із мережного підігрівника з температурою 85 °С. Втрати мережної води складають 3 % і поповнюються деаерованою водою. Визначити ККД бруutto і нетто котельні, витрату умовного і робочого палива, якщо паливо – вугілля з теплотою згорання 22 МДж/кг, ККД котлів 0,88; частка продування 0,02; частка теплових власних потреб 0,03; електрична потужність власних потреб $N_{ВП} = 2,2$ МВт; деаератор заживлений паром з РОУ2; ККД електростанцій і електромережі $\eta_{ес} = 0,345$, $\eta_{ем} = 0,9$.

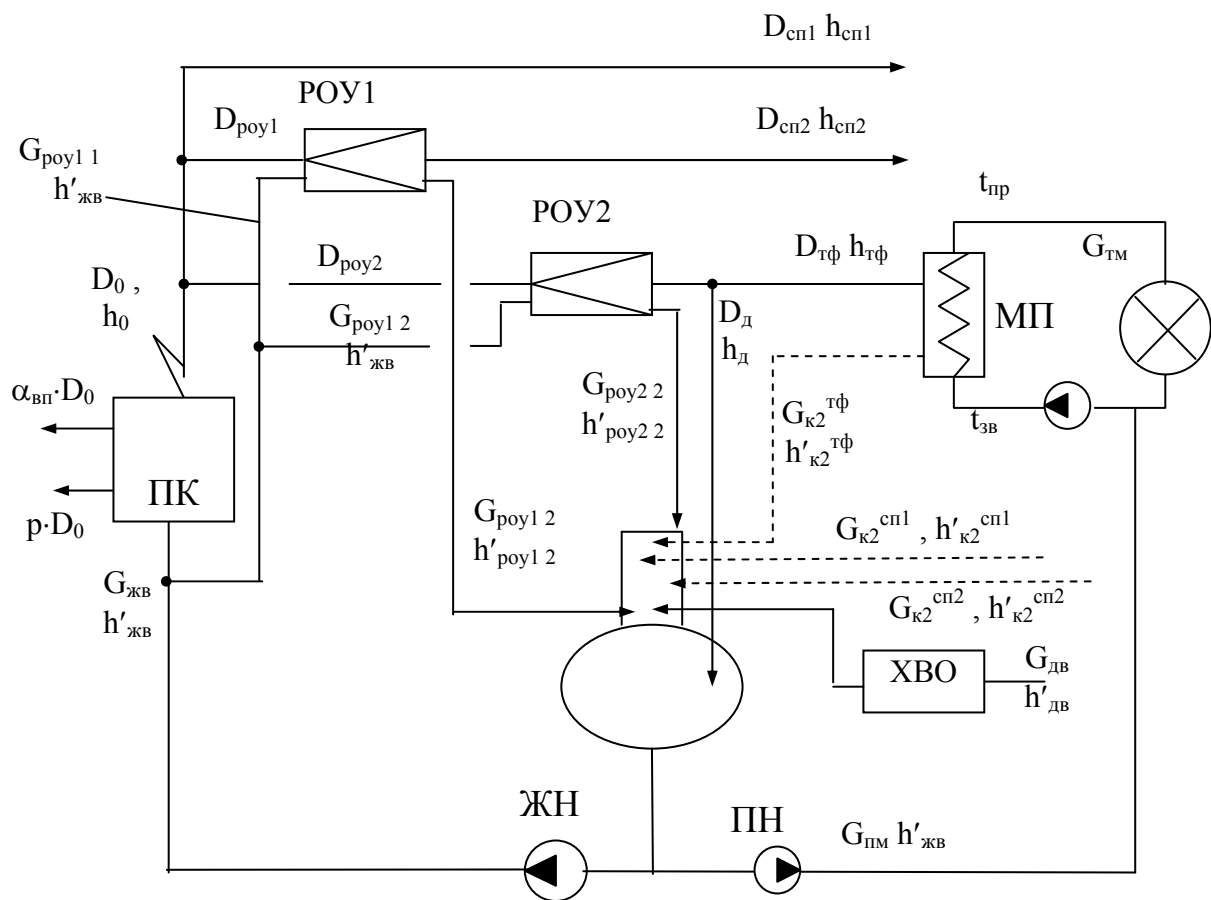


Рисунок 4.2 –Теплова схема парової котельні до прикладу 4.2

Розв'язування

За допомогою таблиць властивостей води і водяної пари [6] визначаємо ентальпії потоків пари, конденсату і води згідно з позначеннями на рис. 4.2, кДж/кг

$$h_0 = h_{сп1} = 3055; h_{сп2} = 2841; h_{тф} = h_d = 2749; h'_{к1}{}^{сп1} = 628,5; h'_{к1}{}^{сп2} = 500; h'_{к1}{}^{тф} = 377,1; h'_{к2}{}^{сп1} = 419; h'_{к2}{}^{сп2} = 300; h'_{к2}{}^{тф} = 356,2; h'_{жв} = 435,8; h'_{дв} = 84;$$

$$h'_{кв} = 926,2; h'_{роу1 2} = 758,9; h'_{роу2 2} = 558,5.$$

Витрата пари першим споживачем, кг/с

$$D_{сп1} = Q_{сп1} / [(h_{сп1} - h'_{к1}^{сп1}) + (1 - \alpha_k^{сп1}) \cdot (h'_{к1}^{сп1} - h_{хв})] = \\ = 100 \cdot 10^3 / [(3055 - 628,5) + (1 - 0,2) \cdot (628,5 - 21)] = 34,33 .$$

Потужність другого споживача, МВт

$$Q_{сп2} = D_{сп2} \cdot [(h_{сп2} - h'_{к1}^{сп2}) + (1 - \alpha_k^{сп2}) \cdot (h'_{к1}^{сп2} - h_{хв})] \cdot 10^{-3} = \\ = 22 \cdot [(2841 - 500) + (1 - 0,8) \cdot (500 - 21)] \cdot 10^{-3} = 53,609 .$$

Теплова потужність мережного підігрівника, МВт

$$Q_{тф} = G_{мв} \cdot c_v \cdot (t_{пр} - t_{зв}) = 1000/3,6 \cdot 4,19 \cdot (120 - 80) = 46,556.$$

Витрата пари на мережний підігрівник, кг/с

$$D_{тф} = Q_{тф} / [(h_{тф} - h'_{к1}^{тф}) \cdot \eta_{то}] = 46,556 \cdot 10^3 / [(2749 - 377,1) \cdot 0,98] = 20,02.$$

Витрата живильної води на підживлення теплової мережі, кг/с

$$G_{пм} = \alpha_{втр} \cdot G_{мв} = 0,03 \cdot 1000/3,6 = 8,33 .$$

Витрати конденсатів, що надходять в деаератор, кг/с

$$G_{к2}^{сп1} = D_{сп1} \cdot \beta_k^{сп1} = 34,33 \cdot 0,12 = 4,12 ;$$

$$G_{к2}^{сп2} = D_{сп2} \cdot \beta_k^{сп2} = 22 \cdot 0,7 = 15,4 ;$$

$$G_{к2}^{тф} = D_{тф} \cdot \beta_k^{тф} = 20,02 \cdot 0,95 = 19,02 .$$

Витрата охолодної води на одиницю гострої пари на РОУ, кг/кг

$$g_1 = \frac{h_{сп1} - h_{сп2}}{h'_{роу1 2} - h'_{жв} + \varphi \cdot (h_{сп2} - h'_{роу1 2})} = \\ = \frac{3055 - 2841}{758,9 - 435,8 + 0,8 \cdot (2841 - 758,9)} = 0,1076 .$$

$$g_2 = \frac{h_0 - h_{тф}}{h'_{роу2 2} - h'_{жв} + \varphi \cdot (h_{тф} - h'_{роу2 2})} = \\ = \frac{3055 - 2749}{558,5 - 435,8 + 0,8 \cdot (2749 - 558,5)} = 0,163 .$$

Матеріальні баланси РОУ

$$РОУ1 : D_{роу1} + G_{роу1 1} = D_{сп2} + G_{роу1 2} .$$

$$РОУ2 : D_{роу2} + G_{роу2 1} = D_{тф} + D_d + G_{роу2 2} .$$

$$\text{Оскільки } G_{роу1 1} = g_1 \cdot D_{роу1} , \quad G_{роу2 1} = g_2 \cdot D_{роу2} ,$$

$$G_{роу1 2} = 0,2 \cdot G_{роу1 1} , \quad G_{роу2 2} = 0,2 \cdot G_{роу2 1} ;$$

$$\text{а також } D_0 = D_{сп1} + D_{роу1} + D_{роу2} ,$$

$$\text{одержимо } D_0 = D_{сп1} + D_{сп2} / (1 + 0,8 \cdot g_1) + (D_{тф} + D_d) / (1 + 0,8 \cdot g_2).$$

З урахуванням числових значень паровидатність котлів, кг/с

$$D_0 = 34,33 + 22 / (1 + 0,8 \cdot 0,1076) + (20,02 + D_d) / (1 + 0,8 \cdot 0,163) = 72,3 + 0,885 \cdot D_d .$$

$$\text{Звідки } G_{роу1 1} = g_1 \cdot D_{роу1} = 0,1076 \cdot 22 / (1 + 0,8 \cdot 0,1076) = 2,18 \text{ кг/с ;}$$

$$G_{роу1 2} = 0,2 \cdot G_{роу1 1} = 0,2 \cdot 2,18 = 0,436 \text{ кг/с ;}$$

$$G_{\text{роу2 1}} = g_2 \cdot D_{\text{роу2}} = 0,163 \cdot (20,02 + D_{\text{д}}) / (1 + 0,8 \cdot 0,163) = 2,89 + 0,144 \cdot D_{\text{д}} \text{ кг/с};$$

$$G_{\text{роу2 2}} = 0,2 \cdot G_{\text{роу2 1}} = 0,2 \cdot (2,89 + 0,144 \cdot D_{\text{д}}) = 0,578 + 0,0288 \cdot D_{\text{д}} \text{ кг/с}.$$

Витрата живильної води, кг/с

$$G_{\text{жв}} = D_0 + \alpha_{\text{вп}} \cdot D_0 + p \cdot D_0 = D_0 \cdot (1 + 0,03 + 0,02) = 75,92 + 0,929 \cdot D_{\text{д}}.$$

Матеріальний баланс деаератора, кг/с

$$D_{\text{д}} + G_{\text{к2}}^{\text{сп1}} + G_{\text{к2}}^{\text{сп2}} + G_{\text{к2}}^{\text{тф}} + G_{\text{дв}} + G_{\text{роу1 2}} + G_{\text{роу2 2}} = G_{\text{жв}} + G_{\text{роу1 1}} + G_{\text{роу2 1}} + G_{\text{пм}},$$

або $D_{\text{д}} + 4,12 + 15,4 + 19,02 + G_{\text{дв}} + 0,436 + (0,578 + 0,0288 \cdot D_{\text{д}}) =$
 $= (75,92 + 0,929 \cdot D_{\text{д}}) + 2,18 + (2,89 + 0,144 \cdot D_{\text{д}}) + 8,33,$

звідки $G_{\text{дв}} = 49,766 + 0,0442 \cdot D_{\text{д}} \text{ кг/с}.$

Тепловий баланс деаератора, кВт

$$D_{\text{д}} \cdot h_{\text{д}} + G_{\text{к2}}^{\text{сп1}} \cdot h'_{\text{к2}}^{\text{сп1}} + G_{\text{к2}}^{\text{сп2}} \cdot h'_{\text{к2}}^{\text{сп2}} + G_{\text{к2}}^{\text{тф}} \cdot h'_{\text{к2}}^{\text{тф}} + G_{\text{дв}} \cdot h'_{\text{дв}} +$$

$$+ G_{\text{роу1 2}} \cdot h'_{\text{роу1 2}} + G_{\text{роу2 2}} \cdot h'_{\text{роу2 2}} = (G_{\text{жв}} + G_{\text{роу1 2}} + G_{\text{роу2 2}} + G_{\text{пм}}) \cdot h'_{\text{жв}},$$

або $D_{\text{д}} \cdot 2749 + 4,12 \cdot 419 + 15,4 \cdot 300 + 19,02 \cdot 356,2 +$
 $+ (49,766 + 0,0442 \cdot D_{\text{д}}) \cdot 84 + 0,436 \cdot 758,9 + (0,578 + 0,0288 \cdot D_{\text{д}}) \cdot 558,5 =$
 $= (75,92 + 0,929 \cdot D_{\text{д}} + 2,18 + 2,89 + 0,144 \cdot D_{\text{д}} + 8,33) \cdot 435,8.$

Звідки $D_{\text{д}} = 9,11 \text{ кг/с}.$

Витрати теплоносіїв, кг/с

$$D_0 = 72,3 + 0,885 \cdot D_{\text{д}} = 72,3 + 0,885 \cdot 9,11 = 80,36 \text{ кг/с}.$$

$$G_{\text{роу2 1}} = 2,89 + 0,144 \cdot D_{\text{д}} = 4,20 \text{ кг/с}.$$

$$G_{\text{роу2 2}} = 0,2 \cdot G_{\text{роу2 1}} = 0,2 \cdot 4,2 = 0,84 \text{ кг/с}.$$

$$G_{\text{жв}} = 75,92 + 0,929 \cdot D_{\text{д}} = 84,38 \text{ кг/с}.$$

$$G_{\text{дв}} = 49,766 + 0,0442 \cdot D_{\text{д}} = 50,17 \text{ кг/с}.$$

Теплова потужність котельні, МВт

$$Q_{\text{к}} = D_0 \cdot (1 + \alpha_{\text{вп}}) \cdot (h_0 - h'_{\text{жв}}) + D_0 \cdot p \cdot (h'_{\text{кв}} - h'_{\text{жв}}) \cdot 10^{-3} =$$

$$= 80,36 \cdot (1 + 0,03) \cdot (3055 - 435,8) + 80,36 \cdot 0,02 \cdot (926,2 - 435,8) \cdot 10^{-3} = 217,6.$$

Витрати умовного і робочого палива в котельні

$$B_{\text{у}} = Q_{\text{к}} / (Q_{\text{н}}^{\text{п}} \cdot \eta) = 217,6 / (29,330 \cdot 0,88) = 8,43 \text{ кг/с}.$$

$$B_{\text{р}} = Q_{\text{к}} / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta) = 217,6 / (22 \cdot 0,88) = 11,238 \text{ кг/с}.$$

ККД котельні

$$\eta_{\text{кот}} = (Q_{\text{сп1}} + Q_{\text{сп2}} + Q_{\text{тф}}) / (B_{\text{у}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}) =$$

$$= (100 + 53,609 + 46,556) / (8,43 \cdot 29,33) = 0,8095.$$

Еквівалентна витрата умовного палива на власні електричні потреби котельні, кг/с

$$B_{\text{у}}^{\text{е}} = N_{\text{вп}} / (\eta_{\text{ес}} \cdot \eta_{\text{ем}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}) = 2,2 / (0,345 \cdot 0,9 \cdot 29,330) = 0,242.$$

ККД нетто котельні

$$\eta_{\text{кот}}^{\text{н}} = (Q_{\text{сп1}} + Q_{\text{сп2}} + Q_{\text{тф}}) / [(B_{\text{у}} + B_{\text{у}}^{\text{е}}) \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}}] =$$

$$= (100 + 53,609 + 46,556) / [(8,43 + 0,242) \cdot 29,33] = 0,786.$$

Приклад 4.3. Система опалення потужністю 20 МВт та система гарячого водопостачання ГВП потужністю 10 МВт підключені до водогрійної котельні, що працює на природному газі з теплою згорання $Q_H^c = 33,7 \text{ МДж/м}^3$. Система тепlopостачання замкнута. В схемі котельні (рис. 4.3) встановлений вакуумний деаератор. Підігрівники сирової та хімічно очищеної води заживлені послідовно. Температура сирової води $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Втрати мережної води 2 %. Температурний графік роботи теплової мережі котельні $120/70 \text{ }^\circ\text{C}$. Охолодження води в прямому та зворотному трубопроводах тепломережі складають по $5 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначити показники роботи водогрійної котельні, якщо ККД котлів 0,92, ККД теплообмінників 0,98.

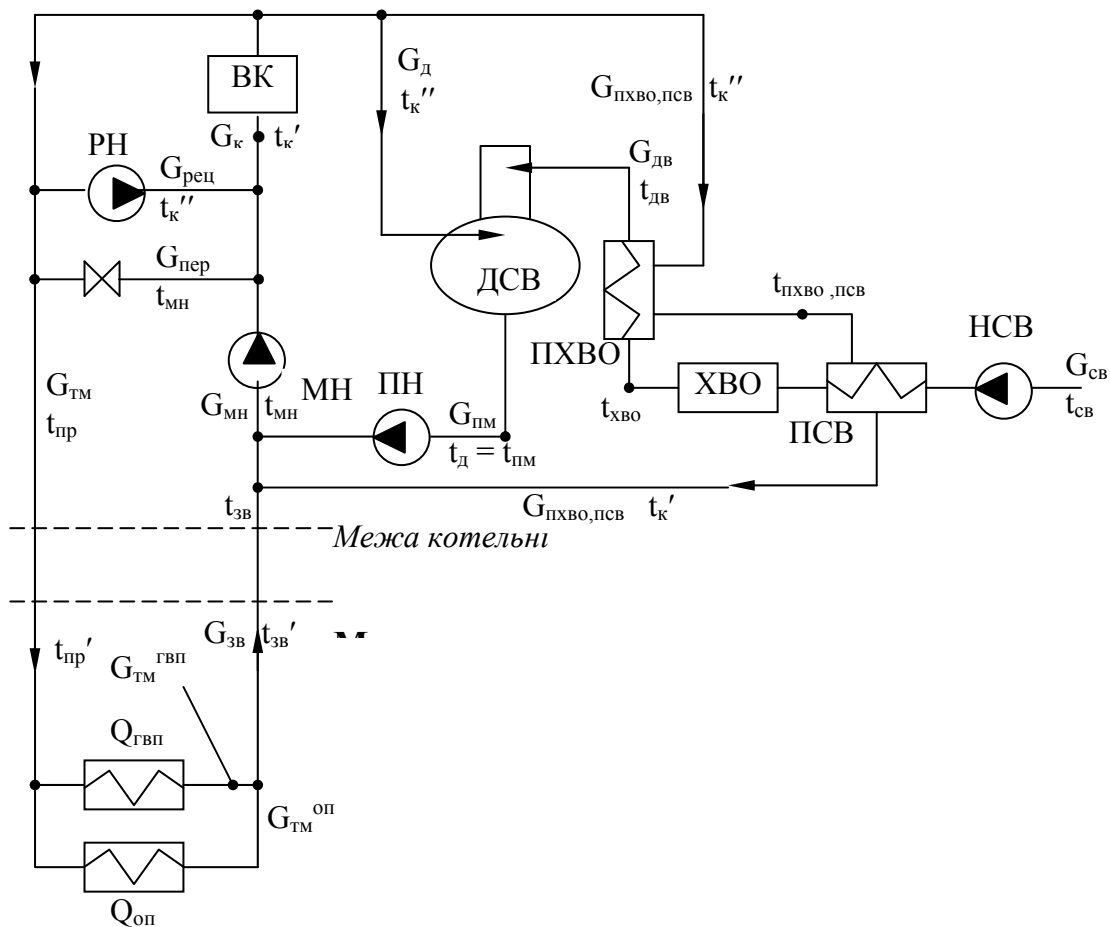


Рисунок 4.3 – Теплова схема водогрійної котельні до прикладу 4.3

Розв'язування

Вода з котла по подавальному трубопроводу надходить в тепломережу і далі до теплового пункту споживача. Там паралельно встановлені підігрівники опалення та ГВП. Графік температур в подавальному і зворотному трубопроводі в котельні $t_{пр} / t_{зв}$, а теплового пункті $t_{пр}' / t_{зв}'$. Втрати мережної води покриваються додатковою водою, яка спочатку підігрівається в підігрівнику сирової води ПСВ від температури $t_{св}$ до $t_{хво}$, проходить хімічнодоочистку ХВО, а потім остаточно догрівається в підігрівнику ПХВО до

температури $t_{дв}$ і надходить в деаератор. З деаератора підготовлена вода підживлювальним насосом ПН з температурою t_d спрямовується в зворотний трубопровід. Деаератор та підігрівники ПСВ та ПХВО гріються водою із котла з температурою t_k'' . Причому останні заживлені послідовно спочатку грійна вода охолоджується в ПХВО до температури $t_{пхво,псв}$, а потім – в ПСВ до температури t_k' . Після змішування в зворотному трубопроводі мережної води після теплового пункту з температурою $t_{зв}$, підживлювальної води з деаератора з температурою t_d та грійної води після ПСВ і ПХВО з температурою t_k'' мережна вода надходить в мережний насос з температурою $t_{мн}$. По лінії перепускання частина мережної води з температурою $t_{мн}$ переходить із зворотного в подавальний трубопровід для зниження там температури від t_k'' до $t_{пр}$. По лінії рециркуляції за допомогою насоса РН частина мережної води з температурою t_k'' переходить з подавального в зворотний трубопровід для підігрівання води, що надходить в котел від температури $t_{мн}$ до t_k' .

Температури потоків теплоносіїв, °С

Температура води після котла $t_k'' = 150$, температура води в подавальному трубопроводі котельні $t_{пр} = 120$, температура води в зворотному трубопроводі котельні $t_{зв} = 70$, температура води на вході в котел (паливо – природний газ) $t_k' = 70$, температура підживлювальної води з деаератора $t_d = 70$, температура додаткової води на вході в деаератор (вакуумний) $t_{дв} = 68$, температура води для підживлення теплової мережі $t_{пм} = t_d = 70$.

Температура води в прямому трубопроводі теплової мережі в тепловому пункті, °С

$$t_{пр}' = t_{пр} - 5 = 120 - 5 = 115 .$$

Температура води в зворотному трубопроводі в тепловому пункті, °С

$$t_{зв}' = t_{зв} + 5 = 70 + 5 = 75 .$$

Витрата мережної води через підігрівник ГВП, кг/с

$$G_{ТМ}^{ГВП} = Q_{ГВП} / [c_v \cdot (t_{пр}' - t_{зв}') \cdot \eta_{то}] = \\ = 10 \cdot 10^3 / [4,19 \cdot (115 - 75) \cdot 0,98] = 60,88 .$$

Витрата мережної води через підігрівник опалення, кг/с

$$G_{ТМ}^{оп} = Q_{оп} / [c_v \cdot (t_{пр}' - t_{зв}') \cdot \eta_{то}] = \\ = 20 \cdot 10^3 / [4,19 \cdot (115 - 75) \cdot 0,98] = 121,76 .$$

Витрата мережної води, кг/с

$$G_{ТМ} = G_{ТМ}^{оп} + G_{ТМ}^{ГВП} = 60,88 + 121,76 = 182,64 .$$

Витрата додаткової води, кг/с

$$G_{дв} = G_{ТМ} \cdot \alpha_{втр} = 182,64 \cdot 0,02 = 3,653 \text{ кг/с.}$$

Витрата води з котла на живлення деаератора, кг/с

$$G_{д} = G_{дв} \cdot (t_{д} - t_{дв}) / (t_{к}'' - t_{д}) = 3,653 \cdot (70 - 68) / (150 - 70) = 0,0913.$$

Витрата підживлювальної води, кг/с

$$G_{пм} = G_{д} + G_{дв} = 3,653 + 0,0913 = 3,744 .$$

Витрата сирі води, кг/с

$$G_{св} = G_{дв} \cdot 1,2 = 3,653 \cdot 1,2 = 4,38 .$$

Потужність підігрівника після хімводоочистки ПХВО, кВт

$$Q_{пхво} = G_{дв} \cdot c_{в} \cdot (t_{дв} - t_{хво}) = 3,653 \cdot 4,19 \cdot (68 - 20) = 734,7 .$$

Потужність підігрівника сирі води ПСВ, кВт

$$Q_{псв} = G_{св} \cdot c_{в} \cdot (t_{хво} - t_{св}) = 4,38 \cdot 4,19 \cdot (20 - 5) = 275,3 .$$

Витрата грійної води через послідовно підключені підігрівники ПХВО та ПСВ, кг/с

$$\begin{aligned} G_{пхво,псв} &= (Q_{пхво} + Q_{псв}) / [c_{в} \cdot (t_{к}'' - t_{к}') \cdot \eta_{то}] = \\ &= (734,7 + 275,3) / [4,19 \cdot (150 - 70) \cdot 0,98] = 3,02 . \end{aligned}$$

Температура грійної води після підігрівника ПХВО, °С

$$t_{пхво,псв} = t_{к}'' - Q_{пхво} \cdot \eta_{то} / (c_{в} \cdot G_{пхво,псв}) = 150 - 734,7 \cdot 0,98 / (4,19 \cdot 3,02) = 93,09.$$

Витрата мережної води перед мережним насосом МН, кг/с

$$\begin{aligned} G_{мн} &= G_{ТМ} \cdot (1 - \alpha_{втр}) + G_{пм} + G_{пхво,псв} = \\ &= 182,64 \cdot (1 - 0,02) + 3,744 + 3,02 = 185,75. \end{aligned}$$

Температура води перед мережним насосом

$$\begin{aligned} t_{мн} &= [G_{ТМ} \cdot (1 - \alpha_{втр}) \cdot t_{зв} + G_{пм} \cdot t_{пм} + G_{пхво,псв} \cdot t_{к}'] / G_{мн} = \\ &= [182,64 \cdot (1 - 0,02) \cdot 70 + 3,744 \cdot 70 + 3,02 \cdot 70] / 185,75 = 70 . \end{aligned}$$

Визначаємо витрату води в лінії перепустки, кг/с

$$G_{пер} = G_{ТМ} \cdot (t_{к}'' - t_{пр}) / (t_{к}'' - t_{мн}) = 182,64 \cdot (150 - 120) / (150 - 70) = 68,5.$$

Витрата води в лінії рециркуляції, кг/с

$$\begin{aligned} G_{реци} &= (G_{мн} - G_{пер}) \cdot (t_{к}' - t_{мн}) / (t_{к}'' - t_{к}') = \\ &= (185,75 - 68,5) \cdot (70 - 70) / (150 - 70) = 0 . \end{aligned}$$

Якщо $G_{\text{реци}} \leq 0$, то рециркуляції мережної води непотрібно і $t_k' = t_{\text{мн}}$. В нашому випадку $t_k' = t_{\text{мн}} = 70$ °С.

Витрата мережної води в котлі, кг/с

$$G_k = G_{\text{мн}} - G_{\text{пер}} + G_{\text{реци}} = 185,75 - 68,5 + 0 = 117,25 .$$

Теплова потужність котельні, МВт

$$Q_k = G_k \cdot c_v \cdot (t_k'' - t_k') \cdot 10^{-3} = 117,25 \cdot 4,19 \cdot (150 - 70) \cdot 10^{-3} = 39,302 .$$

Витрата умовного та робочого палива в котлі, кг/с і м³/с

$$B_y = Q_k / (Q_{\text{н}^p} \cdot \eta) = 39,302 / (29,3 \cdot 0,92) = 1,456 .$$

$$B_p = Q_k / (Q_{\text{н}^c} \cdot \eta) = 39,302 / (33,7 \cdot 0,92) = 1,268 .$$

ККД котельні

$$\eta_{\text{кот}} = (Q_{\text{оп}} + Q_{\text{ГВП}}) / (B_y \cdot Q_{\text{н}^p}) = (20 + 10) / (1,456 \cdot 29,3) = 0,7025 .$$

Приклад 4.4. Водогрійна котельня, що працює на мазуті з наявною теплою згорання $Q_{\text{н}} = 40$ МДж/кг, обслуговує систему опалення потужністю 100 МВт та систему гарячого водопостачання потужністю 5 МВт. Система теплопостачання закрита. В схемі котельні встановлений атмосферний деаератор. Підігрівники сирі та хімоочищеної води заживлені паралельно. Температура сирі води 3 °С. Втрати мережної води 4%. Температурний графік теплової мережі в котельні 110/70 °С. Охолодження води в трубопроводах тепломережі складає по 5 °С. Визначити показники роботи водогрійної котельні, якщо ККД котла 0,92, ККД теплообмінників 0,98.

Розв'язування

Теплова схема котельні показана на рис. 4.4.

Вода з котла по подавальному трубопроводу надходить в тепломережу і далі до теплового пункту споживача. Там послідовно встановлені підігрівники ГВП та опалення. Графік температур в подавальному і зворотному трубопроводі котельні $t_{\text{пр}} / t_{\text{зв}}$, а теплового пункту $t_{\text{пр}}' / t_{\text{зв}}'$. Втрати мережної води покриваються додатковою водою, яка спочатку підігрівається в підігрівнику сирі води ПСВ, проходить хімоводоочистку ХВО, а потім нагрівається в охолоднику підживлювальної води ОПВ і остаточно догрівається в підігрівнику ПХВО до температури $t_{\text{дв}}$, після чого надходить в деаератор. Із деаератора підготовлена вода підживлювальним насосом ПН з температурою $t_{\text{д}}$ через охолодник підживлювальної води ОПВ надходить в зворотний трубопровід. Деаератор та підігрівники ПСВ та ПХВО гріються водою із котла з температурою t_k'' . Причому останні заживлені паралельно. Після змішування в зворотному трубопроводі мережної води після теплового пункту з температурою $t_{\text{зв}}$, підживлювальної води з деаератора з тем-

пературою $t_{\text{пм}}$ та грійної води після ПСВ і ПХВО з температурою $t_{\text{к}}''$ температура мережної води перед мережним насосом складає $t_{\text{мн}}$. По лінії перепускання частина мережної води з температурою $t_{\text{мн}}$ переходить із зворотного в подавальний трубопровід для пониження там температури від $t_{\text{к}}''$ до $t_{\text{пр}}$. За допомогою рециркуляційного насоса РН частина мережної води з температурою $t_{\text{к}}''$ переходить із подавального в зворотний трубопровід для підігрівання води, що надходить в котел, від температури $t_{\text{мн}}$ до $t_{\text{к}}'$.

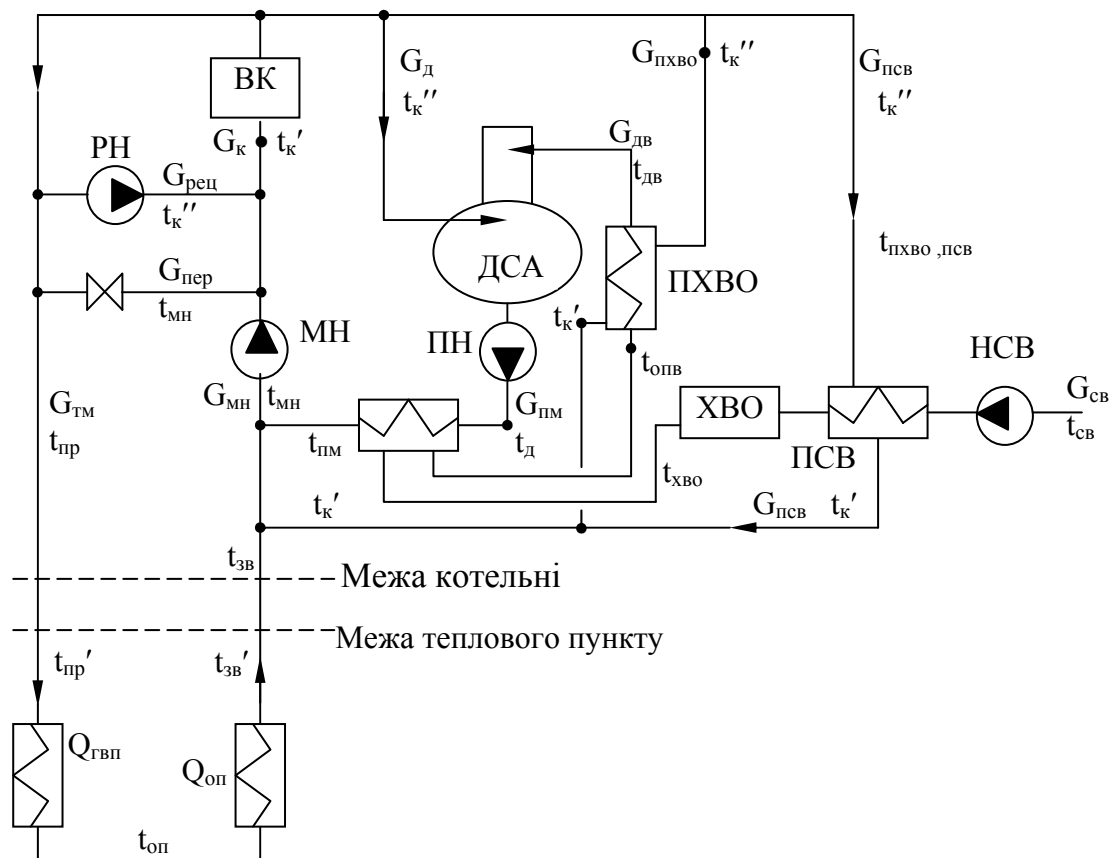


Рисунок 4.4 – Теплова схема водогрійної котельні до прикладу 4.4

Температури потоків води, °С :

після котла $t_{\text{к}}'' = 150$; в подавальному трубопроводі котельні $t_{\text{пр}} = 110$; в зворотному трубопроводі котельні $t_{\text{зв}} = 70$; на вході в котел (паливо – мазут) $t_{\text{к}}' = 90$; підживлювальна вода з деаератора $t_{\text{д}} = 104$; додаткова вода на вході в деаератор $t_{\text{дв}} = 90$; на підживлення теплової мережі $t_{\text{пм}} = t_{\text{к}}' = 90$.

Температура води в прямому трубопроводі теплової мережі в тепловому пункті, °С

$$t_{\text{пр}}' = t_{\text{пр}} - 5 = 110 - 5 = 105 .$$

Температура води в зворотному трубопроводі в тепловому пункті, °С

$$t_{\text{зв}}' = t_{\text{зв}} + 5 = 70 + 5 = 75 .$$

Витрата мережної води в тепловому пункті, кг/с

$$G_{TM} = (Q_{ГВП} + Q_{оп}) / [c_v \cdot (t_{пр}' - t_{зв}') \cdot \eta_{то}] = \\ = (5 + 100) \cdot 10^3 / [4,19 \cdot (105 - 75) \cdot 0,98] = 852,4 .$$

Температура мережної води перед підігрівником опалення, °С

$$t_{оп} = t_{пр}' - Q_{ГВП} \cdot \eta_{то} / (c_v \cdot G_{TM}) = 105 - 5 \cdot 10^3 \cdot 0,98 / (4,19 \cdot 852,4) = 103,6.$$

Витрата додаткової води, кг/с

$$G_{дв} = G_{TM} \cdot \alpha_{втр} = 852,4 \cdot 0,04 = 34,096 .$$

Витрата води з котла на живлення деаератора, кг/с

$$G_{д} = G_{дв} \cdot (t_{д} - t_{дв}) / (t_{к}'' - t_{д}) = 34,096 \cdot (104 - 90) / (150 - 104) = 10,38.$$

Витрата підживлювальної води, кг/с

$$G_{пм} = G_{д} + G_{дв} = 34,096 + 10,38 = 44,48.$$

Витрата сирі води, кг/с

$$G_{св} = G_{дв} \cdot 1,2 = 34,096 \cdot 1,2 = 40,92.$$

Потужність охолодника підживлювальної води ОПВ, кВт

$$Q_{опв} = G_{пм} \cdot c_v \cdot (t_{д} - t_{пм}) = 44,48 \cdot 4,19 \cdot (104 - 90) = 2609,2 .$$

Температура додаткової води після ОПВ, °С

$$t_{опв} = t_{хво} + Q_{опв} \cdot \eta_{то} / (c_v \cdot G_{дв}) = 20 + 2609,2 \cdot 0,98 / (4,19 \cdot 34,096) = 37,90.$$

Потужність підігрівника ПХВО, кВт

$$Q_{пхво} = G_{дв} \cdot c_v \cdot (t_{дв} - t_{опв}) = 34,096 \cdot 4,19 \cdot (90 - 37,9) = 7443.$$

Потужність підігрівника ПСВ, кВт

$$Q_{псв} = G_{св} \cdot c_v \cdot (t_{хво} - t_{св}) = 40,92 \cdot 4,19 \cdot (20 - 3) = 2914,7.$$

Витрата грійної води через підігрівник ПСВ, кг/с

$$G_{псв} = Q_{псв} / [c_v \cdot (t_{к}'' - t_{к}') \cdot \eta_{то}] = 2914,7 / [4,19 \cdot (150 - 90) \cdot 0,98] = 11,83.$$

Витрата грійної води через підігрівник ПХВО, кг/с

$$G_{пхво} = Q_{пхво} / [c_v \cdot (t_{к}'' - t_{к}') \cdot \eta_{то}] = 7443 / [4,19 \cdot (150 - 90) \cdot 0,98] = 30,21.$$

Витрата мережної води перед мережним насосом МН, кг/с

$$G_{мн} = G_{TM} \cdot (1 - \alpha_{втр}) + G_{пм} + G_{пхво} + G_{псв} = \\ = 852,4 \cdot (1 - 0,04) + 44,48 + 30,21 + 11,83 = 904,8.$$

Температура води перед мережним насосом, °С

$$t_{мн} = (G_{TM} \cdot (1 - \alpha_{втр}) \cdot t_{зв} + G_{пм} \cdot t_{пм} + (G_{пхво} + G_{псв}) \cdot t_{к}') / G_{мн} = \\ = (852,4 \cdot (1 - 0,04) \cdot 70 + 44,48 \cdot 90 + (30,21 + 11,83) \cdot 90) / 904,8 = 71,9.$$

Витрата води в лінії перепустки, кг/с

$$G_{\text{пер}} = G_{\text{ТМ}} \cdot (t_{\text{к}}'' - t_{\text{пр}}) / (t_{\text{к}}'' - t_{\text{МН}}) = 852,4 \cdot (150 - 110) / (150 - 71,9) = 436,6.$$

Витрата води в лінії рециркуляції, кг/с

$$\begin{aligned} G_{\text{рец}} &= (G_{\text{МН}} - G_{\text{пер}}) \cdot (t_{\text{к}}' - t_{\text{МН}}) / (t_{\text{к}}'' - t_{\text{к}}') = \\ &= (904,8 - 436,6) \cdot (90 - 71,9) / (150 - 90) = 141,24. \end{aligned}$$

Витрата мережної води в котлі, кг/с

$$G_{\text{к}} = G_{\text{МН}} - G_{\text{пер}} + G_{\text{рец}} = 904,8 - 436,6 + 141,24 = 609,44.$$

Теплова потужність котельні, МВт

$$Q_{\text{к}} = G_{\text{к}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{к}}'' - t_{\text{к}}') \cdot 10^{-3} = 609,44 \cdot 4,19 \cdot (150 - 90) \cdot 10^{-3} = 153,213.$$

Витрата умовного та робочого палива в котлі, кг/с

$$B_{\text{у}} = Q_{\text{к}} / (Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}}) = 153,213 / (29,3 \cdot 0,92) = 5,678 \text{ кг/с.}$$

$$B_{\text{р}} = Q_{\text{к}} / (Q_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{к}}) = 153,213 / (40 \cdot 0,92) = 4,163 \text{ кг/с.}$$

ККД котельні

$$\eta_{\text{кот}} = (Q_{\text{оп}} + Q_{\text{ГВП}}) / (B_{\text{у}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}) = (100 + 5) / (5,678 \cdot 29,33) = 0,6304.$$

Приклад 4.5. Система опалення потужністю 120 МВт і система гарячого водопостачання потужністю 50 МВт забезпечуються теплотою від пароводогрійної котельні, що працює на природному газі з $Q_{\text{н}}^{\text{с}} = 33,7 \text{ МДж/м}^3$. Система теплопостачання замкнута. Крім того, котельня забезпечує промислового споживача потужністю 20 МВт насиченою парою тиском 10 бар. Конденсат від споживача надходить з температурою 90 °С в кількості 90 %, а в деаератор надходить з температурою 80 °С в кількості 85 %. Температура сирі води 8 °С. Втрати мережної води 2,5 %. Температурний графік теплової мережі на котельні 100/60 °С. Охолодження води в прямому та зворотному трубопроводах тепломережі по 5 °С. Визначити показники роботи котельні, якщо ККД котлів 0,92, ККД теплообмінників $\eta_{\text{то}} = 0,98$, частка власних потреб теплової енергії 0,02, частка безперервного продування 0,02.

Розв'язування

Система опалення та гарячого водопостачання підключені до водогрійної частини котельні. Температурний графік в прямому і зворотному трубопроводах котельні $t_{\text{пр}} / t_{\text{зв}}$, а теплового пункту $t_{\text{пр}}' / t_{\text{зв}}'$. Паровий споживач і деаератор підключені до парового котла. Втрати мережної води, пари

на власні потреби котельні та продування парогенератора покриваються додатковою водою, яка спочатку підігрівається в підігрівнику сирої води ПСВ, проходить хімоводоочистку ХВО, а потім нагрівається в охолоднику підживлювальної води ОПВ. Оскільки деаератор обігрівається паром, воду після ОПВ можна подавати прямо в деаератор. Із деаератора частина підготовленої води підживлювальним насосом ПН з температурою t_d через охолодник підживлювальної води ОПВ перекачується в зворотний трубопровід, а решта деаерованої води живильним насосом ЖН спрямовується в паровий котел. Підігрівник ПСВ гріється водою після котла з температурою t_k'' . Далі схема (рис. 4.5) побудована аналогічно з попередніми прикладами.

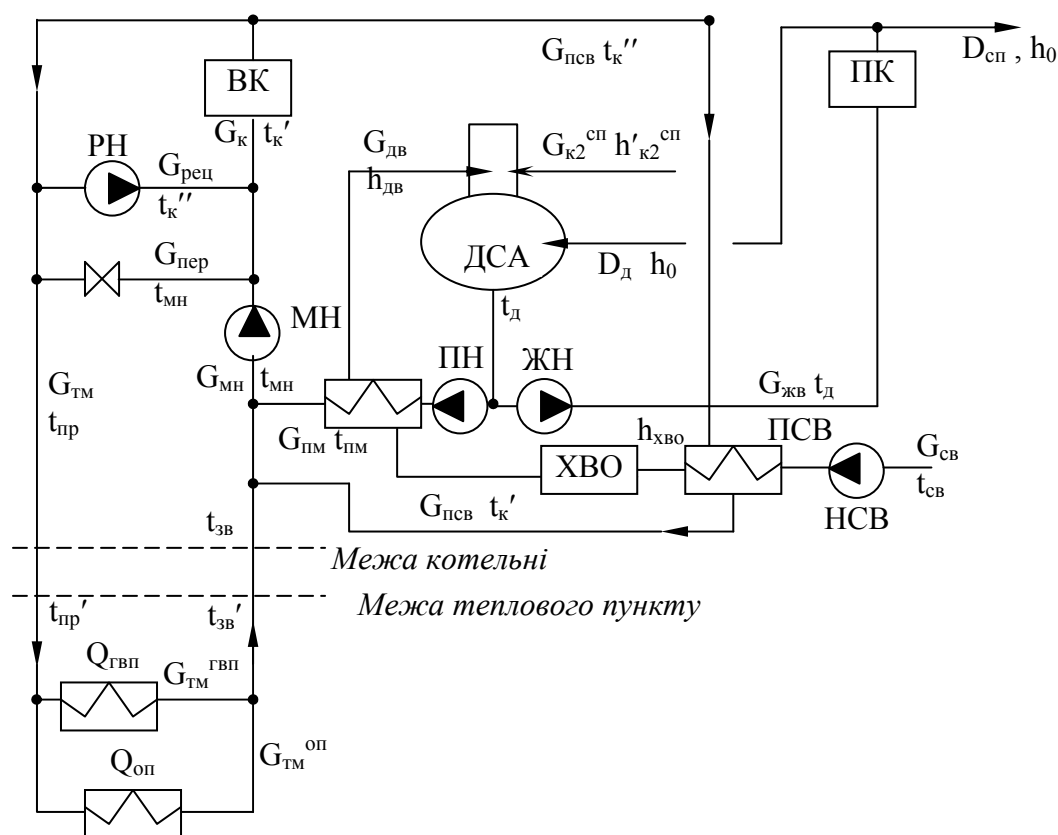


Рисунок 4.5 – Теплова схема пароводогрійної котельні до прикладу 4.5

Температури потоків води, $^{\circ}\text{C}$: із водогрійного котла $t_{\text{вк}}'' = 150$; в подавальному трубопроводі котельні $t_{\text{пр}} = 110$; в зворотному трубопроводі котельні $t_{\text{зв}} = 70$; на вході в котел (паливо – природний газ) $t_{\text{вк}}' = 70$; вода з деаератора $t_d = 104$; підживлювальна вода $t_{\text{пм}} = t_k' = 70$.

Користуючись таблицями [3], визначаємо ентальпії потоків пари, конденсату і води, кДж/кг

$$h_0 = 2776; h'_{\text{к1}}{}^{\text{сп}} = 377,1; h'_{\text{к2}}{}^{\text{сп}} = 335,2; h'_{\text{кв}} = 758,7; h'_{\text{жв}} = 436.$$

Температура води в подавальному трубопроводі теплової мережі в тепловому пункті, °С

$$t_{\text{пр}}' = t_{\text{пр}} - 5 = 100 - 5 = 95.$$

Температура води в зворотному трубопроводі в тепловому пункті, °С

$$t_{\text{зв}}' = t_{\text{зв}} + 5 = 60 + 5 = 65.$$

Витрата мережної води в підігрівнику ГВП, кг/с

$$\begin{aligned} G_{\text{ТМ}}^{\text{ГВП}} &= Q_{\text{ГВП}} / [c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{пр}}' - t_{\text{зв}}') \cdot \eta_{\text{ТО}}] = \\ &= 50 \cdot 10^3 / [4,19 \cdot (95 - 65) \cdot 0,98] = 405,9. \end{aligned}$$

Витрата мережної води в підігрівнику опалення, кг/с

$$\begin{aligned} G_{\text{ТМ}}^{\text{оп}} &= Q_{\text{оп}} / [c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{пр}}' - t_{\text{зв}}') \cdot \eta_{\text{ТО}}] = \\ &= 120 \cdot 10^3 / [4,19 \cdot (95 - 65) \cdot 0,98] = 974,1. \end{aligned}$$

Витрата мережної води, кг/с

$$G_{\text{ТМ}} = G_{\text{ТМ}}^{\text{оп}} + G_{\text{ТМ}}^{\text{ГВП}} = 405,9 + 974,1 = 1380.$$

Витрата води на підживлення тепломережі, кг/с

$$G_{\text{ПМ}} = G_{\text{ТМ}} \cdot \alpha_{\text{втр}} = 1380 \cdot 0,025 = 34,5.$$

Потужність охолодника підживлювальної води ОПВ, кВт

$$Q_{\text{опв}} = G_{\text{ПМ}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{д}} - t_{\text{ПМ}}) = 34,5 \cdot 4,19 \cdot (104 - 70) = 4915.$$

Витрата пари на промисловий споживач, кг/с

$$\begin{aligned} D_{\text{сп}} &= Q_{\text{сп}} / [(h_0 - h_{\text{к1}}^{\text{сп}}) + (1 - \alpha_{\text{к}}^{\text{сп}}) \cdot (h_{\text{к1}}^{\text{сп}} - h_{\text{хв}})] = \\ &= 20 \cdot 10^3 / [(2776 - 377,1) + (1 - 0,9) \cdot (377,1 - 21)] = 8,216. \end{aligned}$$

Паровидатність котельні, кг/с

$$D_0 = D_{\text{д}} + D_{\text{сп}} = D_{\text{д}} + 8,216.$$

Витрата живильної води, кг/с

$$G_{\text{жв}} = D_0 \cdot (1 + q_{\text{вп}} + p) = (D_{\text{д}} + 8,216) \cdot (1 + 0,02 + 0,02) = 1,04 \cdot D_{\text{д}} + 8,544.$$

Витрата конденсату на вході в деаератор, кг/с

$$G_{\text{к2}}^{\text{сп}} = \beta_{\text{к}}^{\text{сп}} \cdot D_{\text{сп}} = 0,85 \cdot 8,216 = 6,984.$$

Витрата додаткової води з матеріального балансу атмосферного деаератора, кг/с

$$\begin{aligned} G_{\text{жв}} + G_{\text{ПМ}} &= D_{\text{д}} + G_{\text{дв}} + G_{\text{к2}}^{\text{сп}}, \\ \text{звідки } G_{\text{дв}} &= G_{\text{жв}} + G_{\text{ПМ}} - D_{\text{д}} - G_{\text{к2}}^{\text{сп}} = \\ &= (1,04 \cdot D_{\text{д}} + 8,544) + 34,5 - D_{\text{д}} - 6,984 = 0,04 \cdot D_{\text{д}} + 36,06. \end{aligned}$$

Ентальпія додаткової води після ОПВ, кДж/кг

$$h'_{\text{дв}} = h'_{\text{хво}} + Q_{\text{опв}} \cdot \eta_{\text{ТО}} / (c_{\text{в}} \cdot G_{\text{дв}}) = 84 + 4915 \cdot 0,98 / (4,19 \cdot G_{\text{дв}}) = 84 + 1149,6 / G_{\text{дв}}.$$

Тепловий баланс деаератора, кВт

$$\begin{aligned} (G_{\text{жв}} + G_{\text{ПМ}}) \cdot h'_{\text{д}} &= D_{\text{д}} \cdot h_0 + G_{\text{дв}} \cdot h'_{\text{дв}} + G_{\text{к2}}^{\text{сп}} \cdot h'_{\text{к2}}^{\text{сп}}, \\ \text{або } (1,04 \cdot D_{\text{д}} + 8,544 + 34,5) \cdot 104 \cdot 4,19 &= D_{\text{д}} \cdot 2776 + \\ &+ G_{\text{дв}} \cdot (84 + 1149,6 / G_{\text{дв}}) + 6,984 \cdot 335,2. \end{aligned}$$

Звідки $D_{\text{д}} = 5,27$ кг/с .

Витрати теплоносіїв, кг/с

$$D_0 = D_d + 8,216 = 5,27 + 8,216 = 13,486,$$

$$G_{жв} = 1,04 \cdot D_d + 8,544 = 1,04 \cdot 5,27 + 8,544 = 14,025,$$

$$G_{дв} = 0,04 \cdot D_d + 36,06 = 0,04 \cdot 5,27 + 36,06 = 36,27.$$

Ентальпія додаткової води, кДж/кг

$$h'_{дв} = 84 + 1149,6 / G_{дв} = 84 + 1149,6 / 36,27 = 115,7.$$

Витрата сирої води, кг/с

$$G_{св} = G_{дв} \cdot 1,2 = 36,27 \cdot 1,2 = 43,524.$$

Потужність підігрівника ПСВ, кВт

$$Q_{псв} = G_{псв} \cdot c_v \cdot (t_{хво} - t_{св}) = 43,524 \cdot 4,19 \cdot (20 - 8) = 2188,4.$$

Витрата грійної води через підігрівник ПСВ, кг/с

$$G_{псв} = Q_{псв} / [c_v \cdot (t_k'' - t_k') \cdot \eta_{то}] = 2188,4 / [4,19 \cdot (150 - 70) \cdot 0,98] = 6,7.$$

Витрата мережної води перед мережним насосом МН, кг/с

$$\begin{aligned} G_{мн} &= G_{тм} \cdot (1 - \alpha_{втр}) + G_{пм} + G_{псв} = \\ &= 1380 \cdot (1 - 0,025) + 34,5 + 6,7 = 1386,7. \end{aligned}$$

Температура води перед мережним насосом, °С

$$\begin{aligned} t_{мн} &= [G_{тм} \cdot (1 - \alpha_{втр}) \cdot t_{зв} + G_{пм} \cdot t_{пм} + G_{псв} \cdot t_k'] / G_{мн} = \\ &= [1380 \cdot (1 - 0,025) \cdot 60 + 34,5 \cdot 70 + 6,7 \cdot 70] / 1386,7 = 60,3. \end{aligned}$$

Витрата води в лінії перепустки, кг/с

$$G_{пер} = G_{тм} \cdot (t_k'' - t_{пр}) / (t_k'' - t_{мн}) = 1380 \cdot (150 - 100) / (150 - 60,3) = 769,2.$$

Витрата води в лінії рециркуляції, кг/с

$$\begin{aligned} G_{рец} &= (G_{мн} - G_{пер}) \cdot (t_k' - t_{мн}) / (t_k'' - t_k') = \\ &= (1386,7 - 769,2) \cdot (70 - 60,3) / (150 - 70) = 74,87. \end{aligned}$$

Витрата мережної води в котлі, кг/с

$$G_k = G_{мн} - G_{пер} + G_{рец} = 1386,7 - 769,2 + 74,87 = 692,37.$$

Теплова потужність водогрійної частини котельні, МВт

$$Q_{вк} = G_k \cdot c_v \cdot (t_k'' - t_k') \cdot 10^{-3} = 692,37 \cdot 4,19 \cdot (150 - 70) \cdot 10^{-3} = 232,082.$$

Теплова потужність парової частини котельні, МВт

$$\begin{aligned} Q_{пк} &= [D_0 \cdot (1 + \alpha_{вп}) \cdot (h_0 - h_{жв}) + D_0 \cdot p \cdot (h_{кв} - h_{жв})] \cdot 10^{-3} = [13,486 \cdot (1 + \\ &+ 0,02) \cdot (2776 - 436) + 13,486 \cdot 0,02 \cdot (758,7 - 436)] \cdot 10^{-3} = 32,278. \end{aligned}$$

Витрати умовного та робочого палива на парові та водогрійні котли, кг/с і м³/с

$$V_{у вк} = Q_{вк} / (Q_{н у}^p \cdot \eta_k) = 232,082 / (29,3 \cdot 0,92) = 8,6 \text{ кг/с},$$

$$V_{у пк} = Q_{пк} / (Q_{н у}^p \cdot \eta_k) = 32,278 / (29,3 \cdot 0,92) = 1,196 \text{ кг/с},$$

$$V_{р вк} = Q_{вк} / (Q_{н с}^c \cdot \eta_k) = 232,082 / (33,7 \cdot 0,92) = 7,486 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$V_{р пк} = Q_{пк} / (Q_{н с}^c \cdot \eta_k) = 32,278 / (33,7 \cdot 0,92) = 1,041 \text{ м}^3/\text{с}.$$

ККД котельні

$$\eta_{\text{кот}} = (Q_{\text{оп}} + Q_{\text{гвп}} + Q_{\text{сп}}) / ((V_{\text{у вк}} + V_{\text{у пк}}) \cdot Q_{\text{н у}}^{\text{п}}) = \\ = (120 + 50 + 20) / ((8,6 + 1,196) \cdot 29,3) = 0,6613.$$

Приклад 4.6. Підібрати котельне, насосне, теплообмінне обладнання та деаератор до теплової схеми з прикладу 4.3. Визначити діаметр мережного трубопроводу та ККД нетто котельні.

Розв'язання

Теплова потужність котельні 39,3 МВт, тому для встановлення приймаємо 3 котли КВ-ГМ 20 (додаток А [1]), тепловою потужністю по 23,3 МВт (два робочих і один резервний). Кожен котел комплектується вентилятором ВД-15,5 та димососом Д-15,5, електричними потужностями 98 кВт та 135 кВт, відповідно.

Розрахункова подача мережного насоса, м³/год

$$Q_{\text{мн}} = k_{\text{зап}} \cdot G_{\text{мн}} \cdot 3600 / \rho_{\text{мв}} = 1,1 \cdot 185,75 \cdot 3600 / 977,8 = 752.$$

За такою подачею і рекомендованим у [1] напором 0,3...1 МПа вибираємо 3 насоси Д500-36 (два робочих і один резервний) електричною потужністю по 110 кВт (додаток Б [1]).

Розрахункова подача підживлювального насоса, м³/год

$$Q_{\text{пн}} = k_{\text{зап}} \cdot G_{\text{пн}} \cdot 3600 / \rho_{\text{д}} = 1,1 \cdot 2 \cdot 3,653 \cdot 3600 / 977,8 = 29,6.$$

За такою подачею і рекомендованим у [1] напором від 0,2 МПа вибираємо 2 насоси ЗК-45-30 (один робочий і один резервний) електричною потужністю по 7,5 кВт (додаток Б [1]).

В розрахунковому режимі рециркуляція не використовується, тому немає можливості підібрати відповідний насос.

Розрахункова подача насоса сирій води, м³/год

$$Q_{\text{нсв}} = k_{\text{зап}} \cdot G_{\text{св}} \cdot 3600 / \rho_{\text{св}} = 1,1 \cdot 4,38 \cdot 3600 / 995 = 17,4.$$

За такою подачею вибираємо 2 насоси 2КМ-20-30 (один робочий і один резервний) електричною потужністю по 4 кВт (додаток Б [1]).

Теплова потужність підігрівника сирій води 275,3 кВт. Коефіцієнт теплопередачі в розрахунках водоводяних підігрівників приймаємо 1 кВт/(м²·К). Температурний напір для протитечійної схеми, °С

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_{\text{г}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\text{г}} / \Delta t_{\text{м}})} = \frac{(93,1 - 20) - (70 - 5)}{\ln((93,1 - 20) / (70 - 5))} = 69.$$

Тоді площа поверхні нагріву підігрівника, м²

$$F = Q / (k \cdot \Delta t) = 275,3 / (1 \cdot 69) = 3,99.$$

За додатком Г [1] обираємо теплообмінник ПВ-2-06.

Аналогічно для підігрівника хімоочищеної води ПХВО потужністю 734,7 кВт температурний напір складе 77,5 °С, а площа поверхні нагріву 9,48 м². За додатком Г [1] вибираємо теплообмінник ПВ-3-09.

В схемі встановлено вакуумний деаератор з витратою деаерованої води 3,744 кг/с або 13,5 т/год. За даними додатка В [1] вибираємо деаератор ДВ-15. Потужність насоса для створення вакууму, кВт

$$N_{\text{нд}} = \frac{Q_{\text{нд}} \cdot \Delta P_{\text{нд}}}{\eta_{\text{нд}}} = \frac{10 \cdot 1000 \cdot 280}{3600 \cdot 995 \cdot 0,8} = 0,98.$$

За витратою мережної води 185,75 кг/с та орієнтовною швидкістю води 1 м/с розрахунковий діаметр трубопроводу складе, м

$$d_{\text{м}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{мн}}}{\rho_{\text{мн}} \cdot \pi \cdot w}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 185,75}{977,8 \cdot 3,14 \cdot 1}} = 0,492.$$

Підбираємо стандартний сталевий трубопровід за ГОСТ 10704-91 ду500 діаметром 530×8 мм (додаток В).

Загальна електрична потужність власних потреб котельні з врахуванням витрат на освітлення та інше (5%) складає, кВт

$$N_{\Sigma} = (2 \cdot 98 + 2 \cdot 135 + 2 \cdot 110 + 7,5 + 4 + 0,98) \cdot 1,05 = 733.$$

ККД нетто котельні

$$\begin{aligned} \eta_{\text{кот}}^{\text{н}} &= (Q_{\text{оп}} + Q_{\text{ГВП}}) / [(B_{\text{у}} \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} + N_{\Sigma} / (\eta_{\text{ес}} \cdot \eta_{\text{ем}})] = \\ &= (10 + 20) / [1,456 \cdot 29,3 + 0,733 / (0,35 \cdot 0,87)] = 0,66. \end{aligned}$$

5 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

При підготовці відповідей на контрольні питання можна скористатись теоретичним матеріалом, наведеним в [1, 4 – 10].

1. Графіки теплоспоживання реальних об'єктів.
2. Різновиди теплових схем котелень.
3. Поясніть, що розуміють під «принциповою тепловою схемою».
4. Поясніть, що розуміють під «розгорнутою тепловою схемою».
5. Поясніть, що розуміють під «монтажною тепловою схемою».
6. Побудова розгорнутої схеми котельні
7. Поясніть методи розрахунку показників теплової мережі, заживленої від парової котельні.
8. Проаналізуйте тепломасообмінні процеси в РОУ.
9. Поясніть порядок розрахунку РОУ.
10. Проаналізуйте тепломасообмінні процеси в розширнику безперервної дії.
11. Поясніть вибір тиску в розширнику безперервного продування.
12. Проаналізуйте як впливає частка повернення конденсату на витрату пари при сталій потужності споживача.
13. Яким чином може бути обґрунтоване від'ємне значення витрати пари на деаератор котельні?
14. Поясніть порядок розрахунку теплової схеми опалювальної котельні.
15. Обґрунтуйте вибір схеми підключення споживачів до системи теплопостачання.
16. Проаналізуйте відмінність систем підготовки додаткової води в схемах водогрійних котелень з вакуумними та атмосферними деаераторами.
17. Поясніть необхідність встановлення ліній перепустки та рециркуляції в схемі котельні.
18. Проаналізуйте схему підготовки додаткової води.
19. Обґрунтуйте вибір температури мережної води на вході в котел в залежності від виду палива.
20. Проаналізуйте вплив втрат мережної води на показники котельні.
21. Проаналізуйте вплив температури сирі води на показники котельні.
22. Поясніть умови доцільності пароводогрійних котелень.
23. Проаналізуйте основні вимоги до компонування обладнання котелень.
24. Проаналізуйте переваги і недоліки напіввідкритих (за компонуванням) котелень.
25. Поясніть методи підбору кількості та продуктивності котлоагрегатів.
26. Поясніть методи вибору насосів в тепловій схемі котельні.
27. Поясніть особливості вибору рециркуляційних насосів.

28. Поясніть методи вибору тягодуттєвого обладнання котельні.
29. Поясніть методи вибору теплообмінників в схемі котельні
30. Поясніть методи вибору деаераторів в тепловій схемі котельні.
31. Поясніть метод визначення собівартості теплоти.
32. Поясніть метод визначення терміну окупності капіталовкладень у котельню.
33. Оцініть необхідність використання підігрівників хімоочищеної води в тепловій схемі водогрійної котельні.
34. Поясніть методи підбору кількості та продуктивності котлоагрегатів.
35. Проаналізуйте тепломасообмінні процеси в РОУ.
36. Розрахунки димової труби.
37. Проаналізуйте вплив втрат мережної води на показники котельні.
38. Поясніть метод визначення собівартості теплоти.
39. Методи зниження шкідливих викидів в атмосферу.
40. Техніко-економічні показники котелень і ТЕЦ.
41. Методи підвищення ефективності котелень.

6 ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Правило вибору тиску в розширнику безперервного продування (РБП):

а) тиск в РБП менший, ніж тиск в деаераторі; б) тиск в РБП більший, ніж тиск у барабані; в) тиск в РБП не менший, ніж тиск в деаераторі; г) тиск в РБП дорівнює тиску в барабані.

2. Яка теплова схема котельні містить все встановлене устаткування, а також усі трубопроводи, які з'єднують обладнання, із запірною та регулювальною арматурою?

а) принципова; б) повна; в) розгорнута; г) монтажна.

3. Поясніть метод визначення діаметра трубопроводу:

а) за тиском теплоносія; б) за об'ємною витратою та швидкістю теплоносія; в) за густиною теплоносія; г) за в'язкістю теплоносія;

4. За видом робочого палива котельні поділяють на ті, що працюють на:

а) основному паливі; б) резервному паливі; в) розпалювальному паливі; г) рідкому паливі.

5. В тепловій схемі котельні встановлюються такі насоси:

а) перекачувальні; б) першого підйому; в) рециркуляційні; г) шламові.

6. На якій тепловій схемі котельні зображені всі трубопроводи із зазначенням позначок розташування та їх нахилу, арматури, кріплень, розмірів і т. д., наводяться всі необхідні відомості про марку сталі чи матеріалу, з якого виготовлено той або інший вузол, способи його з'єднання із суміжними деталями, їх масу чи масу всього блока, складається специфікація всіх елементів, які входять в теплову схему котельні.

а) розгорнутій; б) детальній; в) повній; г) монтажній.

7. Кількість котлоагрегатів підбирається в залежності від...

а) погодних умов; б) швидкості теплоносія в трубопроводах; в) потужності споживача; г) нерівномірності навантаження котельні.

8. Для якої котельні все обладнання розташовується всередині будівлі?

а) закритої; б) парової; в) мазутної; г) водогрійної.

9. Всередині виробничих приміщень, де технологічні процеси не є вогнебезпечними, а також над і під ними допускається розміщення

а) прямоточних котлоагрегатів паропроодуктивністю до 4 т/год; б) газових котлів з природною циркуляцією потужністю до 10 МВт; в) водогрійних котлоагрегатів теплопродуктивністю не більше 5,8 МВт, що не мають барабанів; г) парових котлів з масою барабана до 2 т.

10. За компонованням обладнання котельні поділяють на:

а) водогрійні; б) мазутні; в) відкриті; г) парові.

11. Редукційно-охолоджувальна установка (РОУ) призначена для ...
а) підвищення тиску теплоносія; б) зниження тиску пари; в) випаровування теплоносія; г) зниження тиску і температури пари.
12. Кількість мережних насосів вибирається в залежності від ...
а) температури теплоносія; б) тиску теплоносія; в) нерівномірності теплових навантажень; г) їх електричної потужності.
13. В завданні на проектування теплові навантаження задаються для такого режиму роботи котельні:
а) опалювального; б) найбільш холодної доби; в) максимального; г) найбільш холодного тижня.
14. Економічність на етапі спорудження котельні забезпечується за рахунок...
а) уніфікації вузлів, елементів; б) використання оригінальних елементів; в) використання високоефективного котельного обладнання; г) зменшення теплової потужності котлів.
15. За способом розміщення на генплані котельні поділяють на:
а) відкриті; б) закриті; в) вбудовані; г) центральні.
16. Призначення розширника безперервного продування (РБП) - ...
а) збільшення об'єму котлової води; б) скидання продувальної води в дренаж; в) відділення пари вторинного скипання від продувальної води; г) відведення розширеної води з барабана котла.
17. Резервне паливо не використовується в котельнях ...
а) що спалюють тверде паливо; б) що спалюють до 10 млн м³ природного газу на рік; в) що спалюють більше 10 млн м³ природного газу на рік; г) що спалюють мазут.
18. Межа вогнестійкості стіни, що відокремлює котельню від виробничих приміщень допускається не менше
а) 1 год; б) 2 год; в) 4 год; г) 0,5 год.
19. На якій тепловій схемі котельні показують лише її головне устаткування (котлоагрегати, підігрівники, деаератори, насоси) і основні трубопроводи без арматури, найрізноманітніших допоміжних пристроїв та другорядних трубопроводів, а також без уточнення кількості і розташування обладнання.
а) спрощеній; б) розгорнутій; в) принциповій; г) монтажній.
20. Які види палив використовуються для котелень?
а) головне; б) підсвітлювальне; в) допоміжне; г) високоефективне.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ткаченко С. Й. Розрахунки теплових схем та основи проектування джерел теплопостачання / Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. – Вінниця : ВНТУ, 2005. – 140 с.
2. Ривкин С. Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара. /С. Л. Ривкин, А. А. Александров. – М. : Энергия, 1980. – 424 с.
3. Бузников Е. Ф. Производственные и отопительные котельные / Бузников Е. Ф., Роддатис К. Ф., Берзиньш Э. Я. 2-е изд., перераб. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 248 с.
4. Сазанов Б. В. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий / Б. В. Сазанов, В. П. Ситас. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 342 с.
5. Алабовський О. М. Проектування котелень промислових підприємств : курсове проектування з елементами САПР : навч. посібник / Алабовський О. М., Боженко М. Ф., Хоренженко Ю. В. – К. : Вища шк., 1992. – 207 с.
6. Либерман Н. Б. Справочник по проектированию котельных установок систем централизованного теплоснабжения (общие вопросы проектирования и основное оборудование). / Н. Б. Либерман, М. Т. Няньковская. – М. : Энергия, 1979. – 224 с.
7. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов ДНАОПО.00-1.08-94. – Х. : Форт, 2000. – 184 с.
8. Котельні: ДБН В.2.5 – 77:2014. – [Чинний від 2015-01-01]. – К. : Мінрегон України, 2014. – 48 с. – (Державні будівельні норми України).
9. Правила будови і безпечної експлуатації парових котлів з тиском пари не більше 0,07 МПа і водогрійних котлів і водопідігрівачів з температурою нагріву води не вище 115 °С. – К. , 1996. – 127 с.
10. Шилов Е. Й. Складання кошторисної документації за допомогою укрупнених показників: навч. посібник. / Шилов Е. Й., Гойко А. Ф., Измайлова Е. В. – К. : КНУБА, 2001. – 127 с.

Додаток А

Таблиця А.1 – Термодинамічні властивості води і водяної пари в стані насичення

Р, бар	t, °С	v', м ³ /кг	v'', м ³ /кг	ρ'', кг/м ³	h', кДж/кг	h'', кДж/кг	г, кДж/к г	s', кДж/ (кг·К)	s'', кДж/ (кг·К)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,10	45,84	0,001010	14,68	0,068	191,9	2584	2392	0,6492	8,149
0,20	60,08	0,001017	7,647	0,130	251,4	2609	2358	0,8321	7,907
0,30	69,12	0,001022	5,226	0,191	289,3	2625	2336	0,9441	7,769
0,4	75,88	0,001026	3,994	0,250	317,7	2636	2318	1,0261	7,67
0,5	81,35	0,001029	3,239	0,308	340,6	2645	2204	1,091	7,593
0,6	85,95	0,001033	2,732	0,366	360	2653	2293	1,1453	7,531
0,7	89,97	0,001035	2,364	0,423	376,8	2660	2283	1,1918	7,479
0,8	93,52	0,001038	2,087	0,479	391,8	2665	2273	1,233	7,434
0,9	96,72	0,001040	1,869	0,535	405,3	2670	2265	1,2696	7,394
1,00	99,64	0,001043	1,694	0,590	417,4	2675	2258	1,3026	7,36
1,2	104,81	0,0010472	1,429	0,6999	439,4	2683	2244	1,3606	7,298
1,4	109,33	0,001051	1,236	0,8088	458,5	2690	2232	1,4109	7,246
1,8	116,9	0,001057	0,9773	1,023	490,7	2702	2211	1,4943	7,163
2	120,2	0,001060	0,8854	1,129	504,8	2707	2202	1,5302	7,127
2,5	127,43	0,0010672	0,7185	1,392	535,4	2717	2182	1,6071	7,053
3	133,54	0,0010733	0,6057	1,651	561,4	2725	2164	1,672	6,992
3,5	138,88	0,0010786	0,5241	1,908	584,5	2732	2148	1,728	6,941
4	143,62	0,0010836	0,4624	2,163	604,7	2738	2133	1,777	6,897
4,5	147,92	0,0010883	0,4139	2,416	623,4	2744	2121	1,821	6,857
5	151,84	0,0010927	0,3747	2,669	640,1	2749	2109	1,86	6,822
6	158,84	0,0011007	0,3156	3,16	670,5	2757	2086	1,931	6,761
7	164,96	0,0011081	0,2728	3,666	697,2	2764	2067	1,992	6,709
8	170,42	0,0011149	0,2403	4,161	720,9	2769	2048	2,046	6,663
9	175,35	0,0011213	0,2149	4,654	742,8	2774	2031	2,094	6,623
10	179,88	0,0011273	0,1946	5,139	762,7	2778	2015	2,138	6,587
11	184,05	0,0011331	0,1775	5,634	781,1	2781	2000	2,179	6,554
12	187,95	0,0011385	0,1633	6,124	798,3	2785	1987	2,216	6,523
13	191,6	0,0011438	0,1512	6,614	814,5	2787	1973	2,251	6,495
14	195,04	0,001149	0,1408	7,103	830	2790	1960	2,284	6,469
15	198,28	0,0011539	0,1317	7,593	844,6	2792	1947	2,314	6,445
16	201,36	0,0011586	0,1238	8,08	858,3	2793	1935	2,344	6,422
17	204,3	0,0011632	0,1167	8,569	871,6	2795	1923	2,371	6,40
18	207,1	0,0011678	0,1104	9,058	884,4	2796	1912	2,397	6,379
19	209,78	0,0011722	0,1047	9,549	896,6	2798	1901	2,422	6,359
20	212,37	0,0011766	0,09958	10,041	908,5	2799	1891	2,447	6,340
21	214,84	0,0011809	0,09492	10,54	919,8	2800	1880	2,47	6,322
22	217,24	0,0011851	0,09068	11,03	930,9	2801	1870	2,492	6,305
23	219,5	0,0011892	0,8679	11,52	941,5	2801	1860	2,514	6,288
24	221,77	0,0011932	0,8324	12,01	951,8	2802	1850	2,534	6,272
25	223,93	0,0011972	0,07993	12,51	961,8	2802	1840	2,554	6,256
26	226,03	0,0012012	0,7688	13,01	971,7	2803	1831	2,573	6,242

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27	228,06	0,001205	0,07406	13,5	981,3	2803	1822	2,592	6,227
28	230,04	0,0012088	0,07141	14	990,4	2803	1813	2,611	6,213
29	231,96	0,0012126	0,06895	14,5	999,4	2803	1804	2,628	6,199
30	233,83	0,0012163	0,06665	15	1008,3	2804	1796	2,646	6,186
32	237,44	0,0012238	0,06246	16,01	1025,3	2803	1778	2,679	6,161
34	240,88	0,001231	0,05875	17,02	1041,9	2803	1761	2,71	6,137
36	244,16	0,001238	0,05543	18,04	1057,5	2802	1745	2,74	6,113
38	247,31	0,001245	0,05246	19,06	1072,7	2802	1729	2,769	6,091
40	250,33	0,001252	0,04977	20,09	1087,5	2801	1713	2,796	6,07
42	253,24	0,0012588	0,04732	21,13	1101,7	2800	1698	2,823	6,049
44	256,05	0,0012656	0,04508	22,18	1115,3	2798	1683	2,849	6,029
46	258,75	0,0012724	0,04305	23,23	1128,8	2797	1668	2,874	6,01
48	261,37	0,001279	0,04118	24,29	1141,8	2796	1654	2,898	5,991
50	263,91	0,0012857	0,03944	25,35	1154,4	2794	1640	2,921	5,973
55	269,94	0,0013021	0,03564	28,06	1184,9	2790	1604,6	2,976	5,93
60	275,56	0,0013185	0,03243	30,84	1213,9	2785	1570,8	3,027	5,89
65	280,83	0,0013347	0,02973	33,64	1241,3	2779	1537,5	3,076	5,851
70	285,8	0,001351	0,02737	36,54	1267,4	2772	1504,9	3,122	5,814
75	290,5	0,0013673	0,02532	39,49	1292,7	2766	1472,8	3,166	5,779
80	294,98	0,0013838	0,02352	42,52	1317	2758	1441,1	3,208	5,745
85	299,24	0,0014005	0,02192	45,62	1340,8	2751	1409,8	3,248	5,711
90	303,32	0,0014174	0,02048	48,83	1363,7	2743	1379,3	3,87	5,678
95	307,22	0,0014345	0,01919	52,11	1385,9	2734	1348,4	3,324	5,646
100	310,96	0,0014521	0,01803	55,46	1407,7	2725	1317	3,36	5,615
110	318,04	0,001489	0,01598	62,58	1450,2	2705	1255,4	3,43	5,553
120	324,63	0,001527	0,01426	70,13	1491,1	2685	1193,5	3,496	5,492
130	330,81	0,001567	0,01277	78,3	1531,5	2662	1130,8	3,561	5,432
140	336,63	0,001611	0,01149	87,03	1570,8	2638	1066,9	3,623	5,372
150	342,11	0,001658	0,01035	96,62	1610	2611	1001,1	3,684	5,31
160	347,32	0,00171	0,009318	107,3	1650	2582	932	3,746	5,247
170	352,26	0,001768	0,008382	119,3	1690	2548	858,3	3,807	5,177
180	356,96	0,001837	0,007504	133,2	1732	2510	778,2	3,871	5,107
190	361,44	0,001921	0,00668	149,7	1776	2466	690	3,938	5,027
200	365,71	0,00204	0,00585	170,9	1827	2410	583	4,015	4,928
210	369,79	0,00221	0,00498	200,7	1888	2336	448	4,108	4,803
220	373,7	0,00273	0,00367	272,5	2016	2168	152	4,303	4,591

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Питомі об'єми та ентальпії перегрітої пари для різних тисків

t, °C	1,2 МПа		1,4 МПа		1,6 МПа		1,8 МПа		2,0 МПа		2,4 МПа	
	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$
220	0,179	2865	0,152	2855	0,131	2844						
230	0,183	2889	0,156	2880	0,135	2870						
240	0,188	2912	0,16	2904	0,138	2895						
250	0,192	2935	0,164	2928	0,142	2919	0,125	2911	0,112	2903	0,091	2885
260	0,197	2958	0,167	2951	0,145	2943	0,128	2934	0,114	2928	0,093	2912
270	0,201	2980	0,171	2974	0,148	2967	0,131	2960	0,117	2953	0,096	2938
280	0,205	3002	0,15	2996	0,152	2990	0,134	2983	0,120	2977	0,098	2963
290	0,210	3024	0,79	3019	0,155	3013	0,137	3007	0,123	3001	0,101	2988
300	0,214	3046	0,182	3041	0,159	3035	0,140	3030	0,126	3024	0,103	3012
310							0,143	3052	0,128	3047	0,106	3036
320							0,146	3075	0,131	3070	0,108	3060
330							0,149	3097	0,133	3092	0,110	3083
340							0,152	3119	0,136	3115	0,112	3006
350							0,155	3141	0,137	3137	0,115	3129
360							0,157	3164	0,141	3160	0,117	3152
370							0,160	3186	0,144	3182	0,119	3174
380							0,163	3208	0,146	3204	0,121	3197
400							0,168	3251	0,151	3248	0,125	3242

Продовження таблиці Б.1

t, °C	3,0 МПа		3,2 МПа		3,4 МПа		4,0 МПа		4,2 МПа		4,4 МПа	
	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$	v , $\frac{m^3}{kg}$	h , $\frac{kJ}{kg}$
270	0,0751	2914	0,0697	2906	0,0650	2897						
280	0,0772	2929	0,0718	2934	0,067	2927						
290	0,0792	8642	0,0737	2962	0,069	2955						
300	0,0812	2994	0,0756	2986	0,0707	2982	0,0589	2962	0,0557	2955	0,0527	2946
310	0,0831	3019	0,0775	3014	0,0725	3008	0,0605	2990	0,0572	2983	0,0542	2977
320	0,0850	3044	0,0793	3093	0,0742	3033	0,0610	3016	0,0587	3010	0,0557	3005
330	0,0869	3068	0,0810	3063	0,0759	3058	0,0635	3042	0,0601	3037	0,0571	3032
340	0,0887	3092	0,0828	3087	0,0776	083	0,0650	3068	0,0616	3063	0,0585	3058
350	0,0905	3116	0,0845	3111	0,0792	3107	0,0665	3093	0,0630	3088	0,0597	3084
360	0,0923	3139	0,0862	3135	0,0808	3131	0,0679	3118	0,0644	3114	0,0612	3109
370	0,0941	3163	0,0879	3159	0,0824	3155	0,0693	3143	0,0657	3139	0,0625	3134
380	0,0959	3186	0,0896	3182	0,0840	3178	0,0707	3167	0,0671	3163	0,0638	3159
400	0,0993	3232	0,0929	3228	0,0871	3225	0,0734	3215	0,0699	3211	0,0663	3208
420	0,103	3277	0,0961	3274	0,0902	3271	0,0761	3261	0,0722	3258	0,0688	3255
440	0,106	3329	0,0993	3319	0,0932	3316	0,0787	3308	0,0748	3305	0,0712	3302
460							0,0813	3354	0,0733	3351	0,0736	3348
480							0,0839	3399	0,0797	3397	0,0760	3395
500							0,0864	3445	0,0821	3443	0,0783	3441

Додаток В

Таблиця В.1 – Сталеві труби для теплопроводів за ГОСТ 10704-91 та ГОСТ 3262-75

Умовний діаметр, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Маса 1м труби, кг	Умовний діаметр, мм	Зовнішній діаметр, мм	Товщина стінки, мм	Маса 1м труби, кг
15	21,3	2,5	1,16	300	325	8,0	62,5
20	26,8	2,5	1,5	350	377	9,0	81,5
25	32	2,5	1,76	400	426	9,0	91,6
32	38	2,5	2,15	400	426	6,0	62,0
40	45	2,5	2,6	450	480	7,0	80,5
50	57	3,0	4,0	500	530	8	103
65	76	3,0	5,4	600	630	9	137
80	89	3,5	7,3	700	720	10	174
100	108	4,0	10,2	800	820	10	200
125	133	4,0	12,7	900	920	11	246
150	159	4,5	17,2	1000	1020	12	298
175	194	5,0	23,2	1100	1120	12	326
200	219	6,0	31,5	1200	1220	14	415
250	273	7,0	46,7	1400	1420	14	482

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання самостійної роботи студентами
з дисципліни «Джерела теплопостачання промислових
підприємств» для студентів спеціальності «Теплоенергетика»

Редактор В. Дружиніна
Коректор З. Поліщук

Укладач Дмитро Вікторович Степанов

Оригінал-макет підготовлено Д. Степановим

Підписано до друку 31.07.2017 р.
Формат 29,7 × 42¼ . Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 2,31.
Наклад 40 (1-й запуск1-20) пр. Зам. № 2017-316.

Видавець та виготовлювач
Вінницький національний технічний університет,
інформаційний редакційно-видавничий центр.

ВНТУ, ГНК, к. 114.
Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, 21021.
Тел. (0432) 59-85-32, 59-81-59,
press.vntu.edu.ua,
E-mail: kivc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.