

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ СПОРУД РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічної роботи
«Тепловий і повітряний режими головного корпусу ТЕС
під час використання багатозональної системи вентиляції»
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності G 19 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітня програма «Теплогазопостачання і вентиляція»
та спеціальності G4 «Теплоенергетика»
освітня програма «Теплоенергетика»

Київ 2025

УДК 697.9
С40

Укладачі: В. П. Корбут, д-р. техн. наук, професор;
В. О. Мілейковський, д-р техн. наук, професор
С. Г. Рибачов канд. техн. наук, доцент

Рецензент Сенчук М. П. канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск К. М. Предун, д-р екон. наук, професор

*Затверджено на засіданні кафедри теплогазопостачання і
вентиляції, протокол № 17 від 07 травня 2025 року.*

В авторській редакції.

Системи формування мікроклімату споруд різного призначення
С40 [Електронний ресурс]: методичні вказівки до виконання розрахунково-
графічної роботи «Тепловий і повітряний режими головного корпусу
ТЕС під час використання багатозональної системи вентиляції» /
уклад.: В. П. Корбут, В. О. Мілейковський, С. Г. Рибачов. – Київ:
КНУБА, 2025. – 25 с.

Містить зміст і завдання розрахунково-графічної роботи
«Тепловий і повітряний режими головного корпусу ТЕС під час
використання багатозональної системи вентиляції» та приклад її
виконання

Призначено для здобувачів другого (магістерського) рівня
вищої освіти спеціальності G 19 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітня програма «Теплогазопостачання і вентиляція» та спеціальності
G4 «Теплоенергетика» освітня програма «Теплоенергетика».

© КНУБА 2025

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Системи формування мікроклімату споруд різного призначення» відноситься до нормативних професійно-орієнтованих.

Мета курсу вивчення методів підтримання нормативних параметрів повітряного середовища у будівлях і спорудах різного призначення. Вивчення теоретичних положень дисципліни передбачається на лекціях, а практичних навичок – на практичних заняттях і при самостійній роботі студентів.

Програмними результатами вивчення навчальної дисципліни є:

РН01. Проектувати будівлі і споруди, технології та системи теплогазопостачання та вентиляції, в тому числі з використанням програмних систем комп'ютерного проектування, з метою забезпечення їх надійності та довговічності, прийняття раціональних проектних та технічних рішень, техніко-економічного обґрунтування, враховуючи особливості об'єкта будівництва, визначення оптимального режиму його функціонування та впровадження заходів з ресурсо- та енергозбереження.

РН02. Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем в галузі будівництва та цивільної інженерії для розв'язування складних задач професійної діяльності.

РН08. Відслідковувати найновіші досягнення систем і технологій теплогазопостачання та вентиляції для створення інновацій.

РН09. Підбирати сучасні матеріали, технології і методи виконання процесу будівельного виробництва, враховуючи архітектурно-планувальну, конструктивну частину проекту та базу будівельної організації.

Розрахунково-графічна робота «Тепловий і повітряний режими головного корпусу ТЕС при використанні багатозональної системи вентиляції» передбачає такі розділи:

1. Основні положення створення енергоефективної багатозональної системи організації повітрообміну в головних корпусах ТЕС.

2. Метод розрахунку зональної системи вентиляції головного корпусів ТЕС.

3. Приклад розрахунку повітряного і теплового режиму в головних корпусах ТЕС.

Вихідні дані наведено в табл. 1. В усіх завданнях барометричний тиск приймати 1013 гПа.

1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ БАГАТОЗОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРООБМІНУ В ГОЛОВНИХ КОРПУСАХ ТЕС

Сучасні теплові електростанції (ТЕС) - великі енергетичні об'єкти зі складними технологічними процесами і обслуговуванням. Як конденсаційні електростанції (КЕС) , так і теплофікаційні (ТЕЦ) в основному експлуатуються блочного типу з енергетичними блоками для КЕС: 100, 200, 300, 500, 800 МВт, а ТЕЦ: 50, 100, 150, 200, 250 МВт.

Головні корпуси ТЕС - це багатопрогонні будівлі з такими основними відділеннями: машинне (турбінне), деаераторне, котельне (рис. 1).

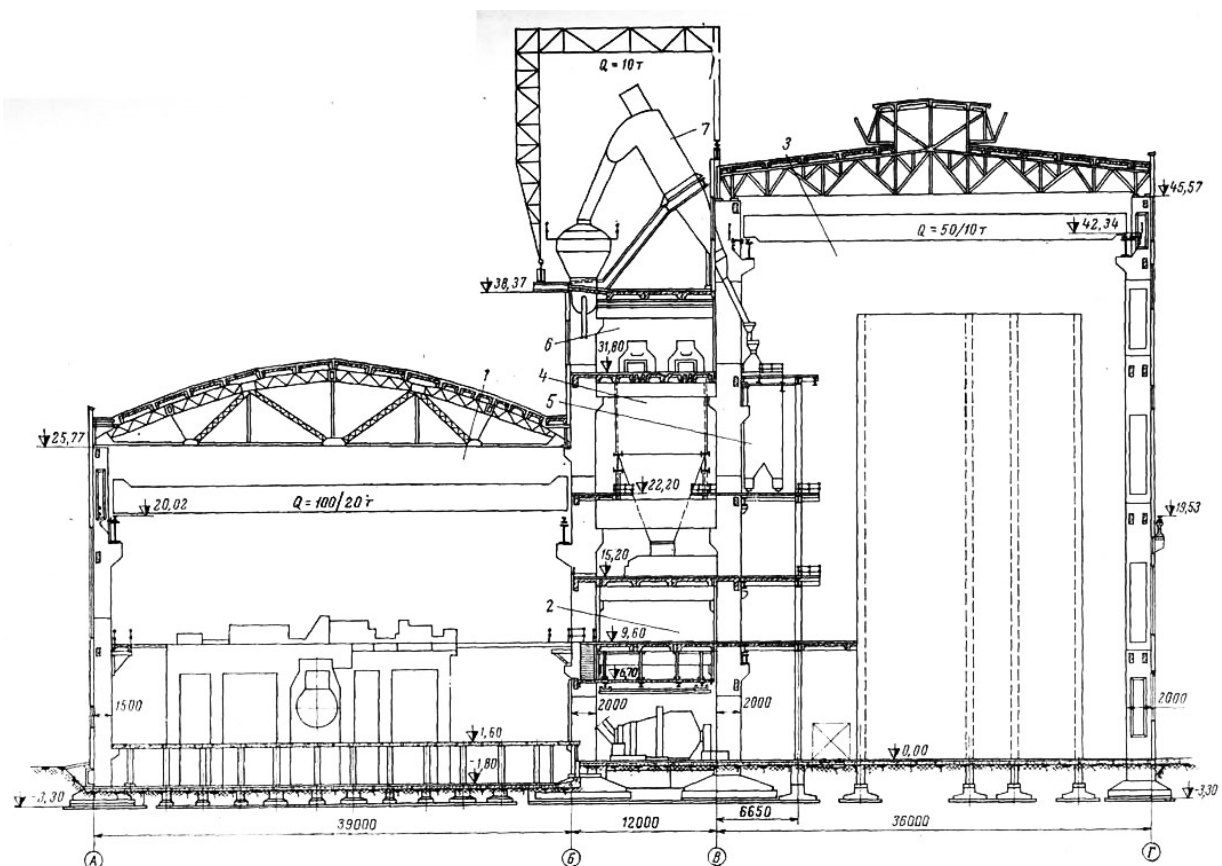
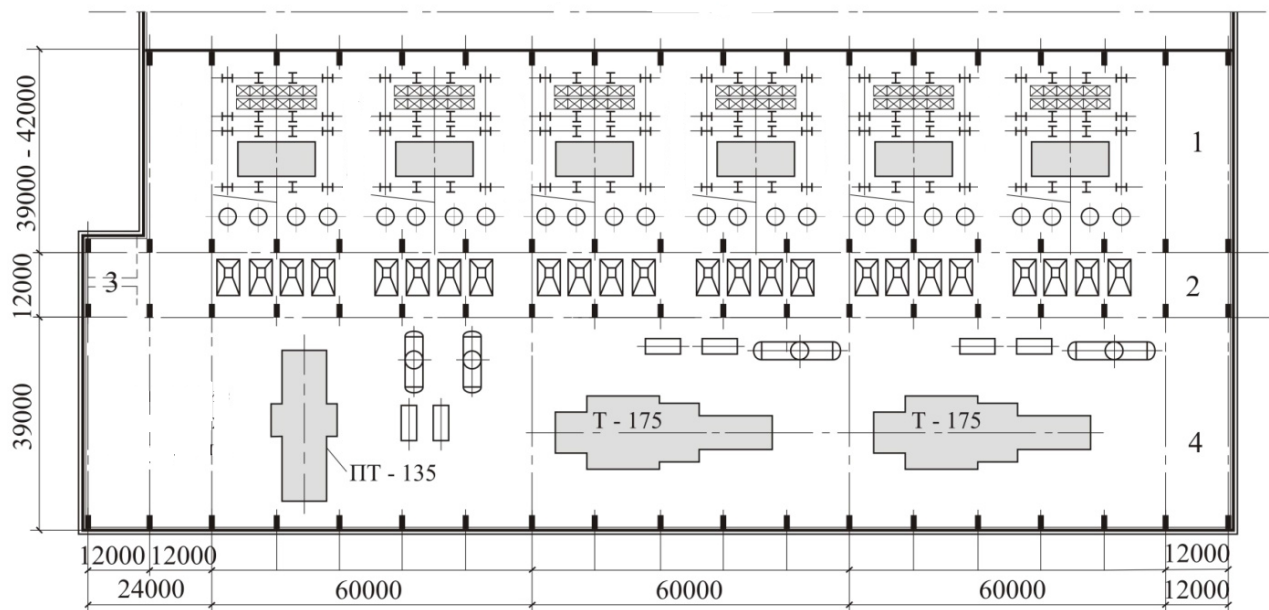


Рис. 1. Головний корпус пилувугільної ТЕС (блок 200 МВт):
1 – машинне відділення; 2 – бункерно-даераторне відділення;
3 – котельне відділення (див. також с. 5)



Закінчення. Рис. 1

Висота машинного відділення 25 - 35 м, а котельного 45 - 110 м залежно від потужності енергоблоків.

В якості палива на сучасних ТЕС використовуються вугілля, торф, газ, мазут.

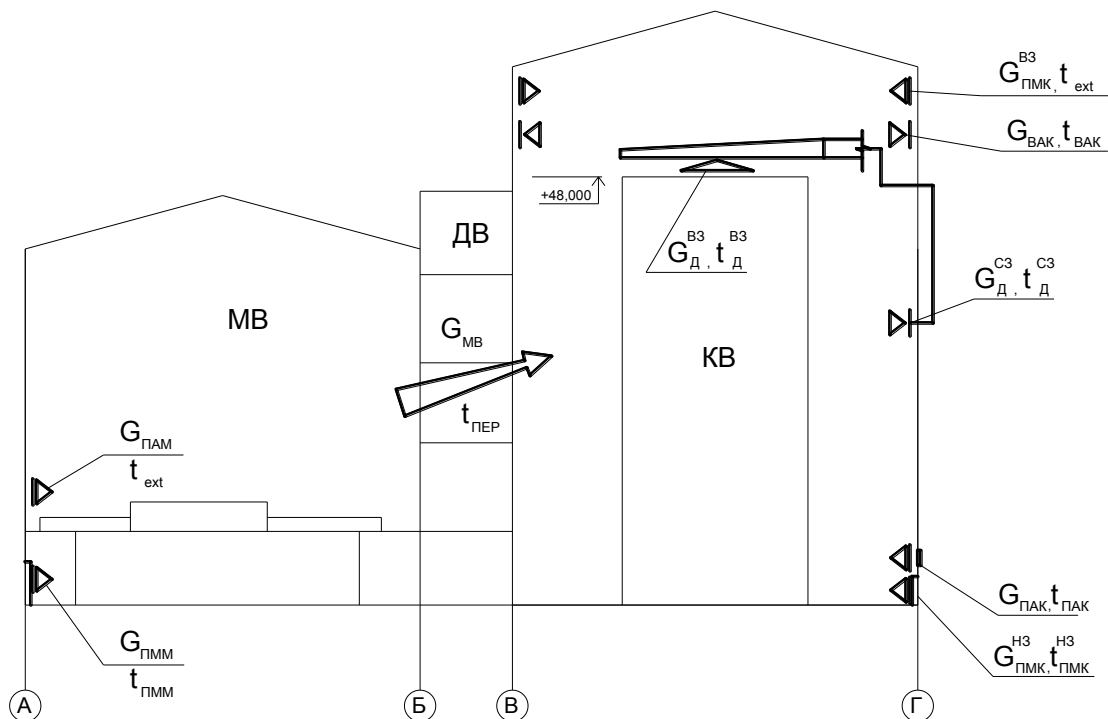
Основне обладнання – котлоагрегат, турбіна, генератор, блочний трансформатор. Допоміжне обладнання котельного відділення: димовідсмоктувальні агрегати (1-2 на агрегат), дуттьові вентилятори (1-2 на агрегат), регенеративні повітропідігрівачі (2-4 на котел), маслостанція.

Головне і допоміжне обладнання є джерелом конвективної і променевої теплоти, а також водяної пари, пилу, та газів.

Теплові умови на різних рівнях в котельному відділенні визначаються умовами розвитку конвективних потоків, які утворені біля вертикальних тепловіддавальних поверхонь котлів та іншого обладнання розміщеного по висоті. Традиційні методи організації повітрообміну як для «гарячих» цехів передбачають єдину циркуляційну схему аерації з подачею в нижню зону і видаленням з верхньої зони. Такі рішення призводять до значного температурного розшарування по висоті, а це значить переохолодження нижньої зони в холодний період і перегрів верхньої зони з низьким коефіцієнтом використання тепловтрат обладнання.

Для досягнення позитивного ефекту як санітарно-гігієнічного, так і в частині енергоефективності, необхідно застосовувати зональну систему організації повітрообміну з подачею та видаленням повітря на різних рівнях

- додатково до механічної припливно-витяжної вентиляції в залежності від повітряно-теплогового балансу додається аераційний приплив і видалення повітря через витяжні аераційні пристрої (витяжні світлоаераційні панелі, які розміщені під перекриттям або аераційні ліхтарі).



Для збільшення температури дуттьового повітря і зменшення запиленості та загазованості передбачають відсмоктування повітря для дуття в котли повітропроводами рівномірного всмоктування, які розміщені біля вертикальних поверхонь котлів в середній і верхніх зонах. Тим самим максимально локалізуються забруднені теплові потоки безпосередньо в місцях їх утворення та збільшується температура дуттьового повітря і знижується температура повітря верхньої зони, та що видаляється назовні.

2. МЕТОД РОЗРАХУНКУ ЗОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ГОЛОВНИХ КОРПУСІВ ТЕС

Метод передбачає диференційоване врахування теплових навантажень з виділенням зон, в яких спостерігається ідентичний режим руху конвективних потоків у нагрітих та охолоджених вертикальних поверхнях котельного відділення (КВ), а також розподілення тисків при спільній роботі механічних і природних систем вентиляції.

При розрахунку заданими величинами є теплонадходження від визначених вертикальних еквівалентних поверхонь по зонам (рис. 3, 4) і параметри повітря систем механічної вентиляції ($G_{\text{ПММ}}$, $G_{\text{ПМК}}^{\text{НЗ}}$, $G_{\text{ПМК}}^{\text{ВЗ}}$, t_{ext} , $G_{\text{д}}^{\text{СЗ}}$, $t_{\text{д}}^{\text{СЗ}}$, $G_{\text{д}}^{\text{ВЗ}}$, $t_{\text{д}}^{\text{ВЗ}}$).

Визначають витрати повітря:

- в конвективних потоках по зонам;
- уточнені значення припливних систем механічної вентиляції;
- аераційного повітрообміну.

Розраховують перепади тисків в системах природної вентиляції (аерації) з врахуванням тиску, що утворюється механічними системами вентиляції, а також площі припливних і витяжних аераційних пристроїв.

Для розрахунку основних характеристик конвективних потоків, що визначають повітряний і тепловий режим в котельному відділенні, умовно обмежуються горизонтальними і вертикальними поверхнями зони з різними тепловиділяючим обладнанням. Такі поверхні називаються еквівалентними ($F_{\text{еп}}$) і є вихідними даними для розрахунків конвективних потоків. Температура еквівалентних поверхонь ($t_{\text{еп}}$) приймається з припущення, що теплонадходження від цих поверхонь дорівнює кількості конвективно-променевої теплоти від обладнання у виділеному об'ємі.

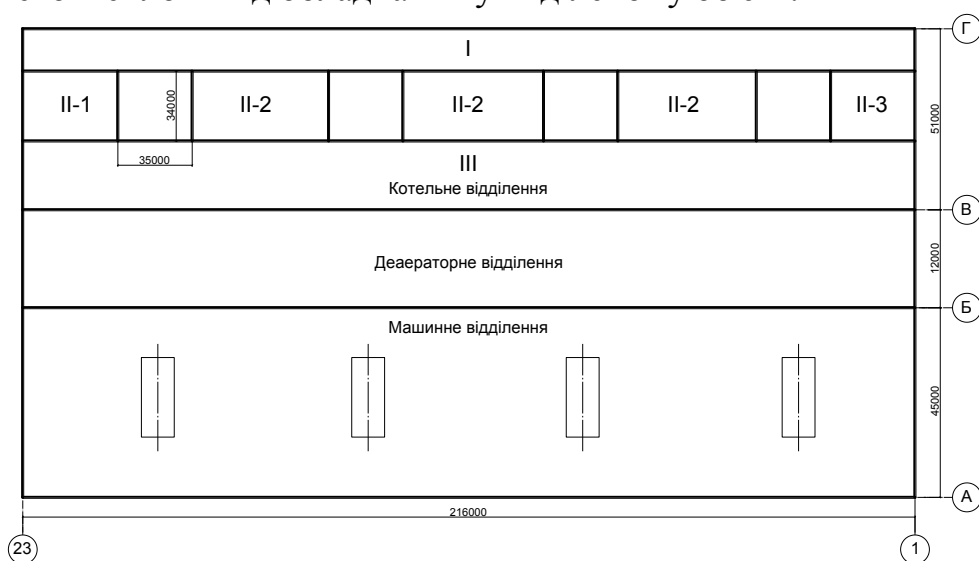


Рис. 3. Розрахункова схема розподілу теплонадходжень в котельне відділення

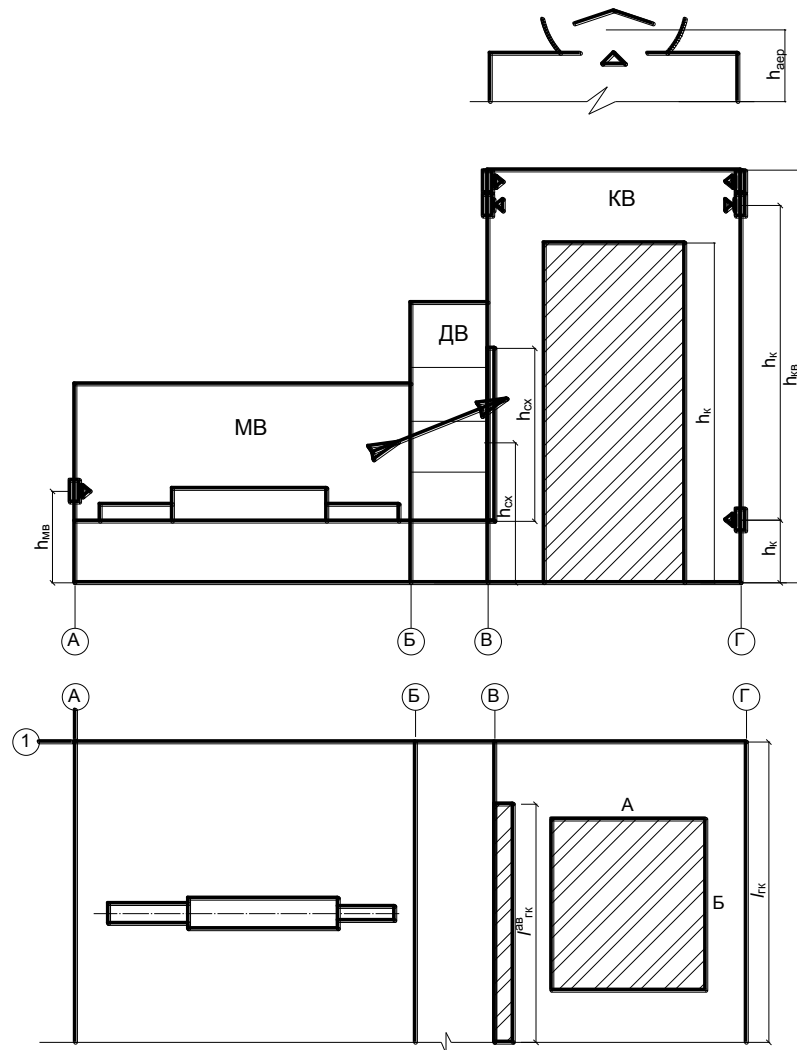


Рис. 4. Схема розміщення еквівалентних поверхонь KB:
1 – розріз; 2 – план

Конвективні потоки, що утворюються біля вертикальних поверхонь зовнішніх огорожень залежать від температурних умов на внутрішніх поверхнях. Тому визначають також умовну температуру внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожень. Приймається спрощена модель при якій променева теплота від вертикальних нагрітих поверхонь, які повернуті до огорожень, повністю трансформується в теплоту вторинних конвективних потоків за відрахуванням втрат теплоти через огорожі.

Розрахунки повітряних режимів виконуються згідно з індивідуальними завданнями по вихідних даних табл. 1.

Таблиця 1

**Вихідні дані до розрахунку повітряних режимів
головного корпусу ТЕС**

Розрахункові дані	Значення									
	Передостання цифра номера залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розрахункова температура зовнішнього повітря										
$t_{ext}, ^\circ\text{C}$	22	22,5	23	23,5	24	24,5	24	23,5	23	22,5
Кількість енергоблоків										
n	5	6	4	5	5	6	3	4	2	3
Відділення	Тепловиділення на один енергоблок, МВт									
Машинне (МВ)	2,7	2,85	3	3,15	3,25	3,35	4,7	4,8	6,5	6,4
Деаераторне (ДВ)	1,5	1,45	1,72	1,8	1,87	1,95	2,7	2,75	3,75	3,8
Котельне (КВ)	6,2	6,3	6,78	6,8	7,36	7,5	10,75	10,85	14,75	14,9
Кількість повітря механічних систем вентиляції (на 1 блок), кг/год										
МВ, $G_{ПММ} \cdot 10^6$	0,06	0,012	0,125	0,14	0,15	0,16	0,35	0,35	0,6	0,7
КВ нижня зона $G_{ПМК}^{н.з.} \cdot 10^6$	0,05	0,062	0,05	0,1	0,12	0,15	0,34	0,4	0,6	0,85
КВ верхня зона $G_{ПМК}^{в.з.} \cdot 10^6$	0,13	0,12	0,18	0,17	0,22	0,2	0,42	0,48	0,7	0,6
На дуття в котли, з верхньої зони $G_D^{в.з.} \cdot 10^6$	0,31	0,36	0,58	0,65	0,91	0,96	1,4	1,55	2,4	2,2
На дуття в котли, з середньої зони $G_D^{с.з.} \cdot 10^6$	0,17	0,2	0,32	0,3	0,49	0,44	0,75	0,68	1,3	1,5

Розрахункові дані	Значення									
	Остання цифра номера залікової книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Габарити котлів, м										
A	28	28	32	32	36	36	36	36	30	30
Б	30	30	34	34	38	38	45	45	60	60
$h_{\text{котла}}$	42	42	48	48	50	50	52	52	86	88
Площі, м²										
$F_{\text{ПАК}}$	252	300	360	420	680	720	400	460	480	620
прорізів між ДВ і КВ, $F_{\text{ПЕР}}$	3000	3400	3200	4200	4400	5300	2900	3800	2200	3300
Геометричні розміри, м										
$h_{\text{ПАМ}}$	10	10	12	12	12,5	12,5	13,5	13,5	14	14
$h_{\text{КВ}}$	50	52	54	56	58	60	70	72	105	110
$h_{\text{ПАК}}$	3	4	4	5	7	8	10	11	12	12
$h_{\text{ВАК}}$	52	49	52	56	55	54	70	68	100	105
$h_{\text{ен}}^{\text{ДВ}}$	20	22	22	24	24	25	32	33	38	40
$\ell_{\text{ГК}}$	280	340	270	320	370	440	270	340	260	360
$l_{\text{ен}}^{\text{ДВ}}$	230	270	220	260	290	340	200	260	190	270
АБ	38	38	45	45	45	45	51	51	39	39
БВ	12	12	12	12	12	12	12	12	15	15
ВГ	36	36	39	39	42	42	42	42	40	40
Коефіцієнти витрат										
$\mu_{\text{ПАМ}}$	0,33	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,38	0,38
$\mu_{\text{ПЕР}}$	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49
$\mu_{\text{ПАК}}$	0,5	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41
$\mu_{\text{ВАК}}$	0,4	0,41	0,39	0,58	0,42	0,4	0,58	0,38	0,39	0,41

3. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОБОТИ. ТЕПЛОВИЙ І ПОВІТРЯНИЙ РЕЖИМИ ГОЛОВНОГО КОРПУСУ ТЕС ПРИ ВИКОРИСТАННІ БАГАТОЗОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Вихідні дані:

Розрахункова температура зовнішнього повітря $t_{\text{ext}} = 24,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Кількість енергоблоків – $n=4$.

Тепловиділення на один енергоблок:

в машинному відділенні (МВ) – $Q_{\text{МВ}} = 3,0 \text{ МВт}$;

в котельному відділенні (КВ) – $Q_{\text{КВ}} = 6,78 \text{ МВт}$;

в деаераторному відділенні (ДВ) – $Q_{\text{ДВ}} = 1,72 \text{ МВт}$.

Кількість повітря механічних систем вентиляції (на 1 блок):

в машинному відділенні (МВ) – $G_{\text{ПММ}} = 0,528 \cdot 10^6 \text{ кг/год}$;

в котельному відділенні (КВ) нижня зона – $G_{\text{ПМК}}^{\text{Н.З.}} = 0,36 \cdot 10^6 \text{ кг/год}$;

в котельному відділенні (КВ) верхня зона – $G_{\text{ПМК}}^{\text{В.З.}} = 0,63 \cdot 10^6 \text{ кг/год}$;

на дуття в котли – $G_{\text{Д}} = 3,24 \cdot 10^6 \text{ кг/год}$ з них:

- із середньої зони $G_{\text{Д}}^{\text{С.З.}} = 1,24 \cdot 10^6 \text{ кг/год}$;

- з верхньої зони – $G_{\text{Д}}^{\text{В.З.}} = 2,0 \cdot 10^6 \text{ кг/год}$.

Габарити котлів:

$A = 34 \text{ м}$; $B = 35 \text{ м}$; $h_{\text{котла}} = 48 \text{ м}$.

Площі:

$F_{\text{ПАК}} = 320 \text{ м}^2$; прорізів між ДВ і КВ, $F_{\text{ПЕР}} = 3456 \text{ м}^2$.

Геометричні розміри:

$h_{\text{ПАМ}} = 12 \text{ м}$; $h_{\text{КВ}} = 71 \text{ м}$; $h_{\text{ПАК}} = 3 \text{ м}$; $h_{\text{ВАК}} = 68,6 \text{ м}$; $h_{\text{ен}}^{\text{ДВ}} = 46 \text{ м}$;
 $\ell_{\text{ГК}} = 216 \text{ м}$; $\ell_{\text{ен}}^{\text{ДВ}} = 72 \text{ м}$; $AB = 45 \text{ м}$; $BB = 12 \text{ м}$; $ВГ = 51 \text{ м}$.

Коефіцієнти витрат:

$\mu_{\text{ПАМ}} = 0,35$; $\mu_{\text{ПЕР}} = 0,4$; $\mu_{\text{ПАК}} = 0,5$; $\mu_{\text{ВАК}} = 0,4$.

Розрахункова схема організації повітрообміну надається (рис. 2).

3.1. Визначаємо кількість повітря, що перетікає з МВ на площадки КВ і ДВ.

$$G_{\text{МВ}} = 3,6 Q_{\text{МВ}} / c_p \cdot K_L ((t_{\text{wz}} - t_{\text{in}})) \quad (1)$$

$$G_{\text{МВ}} = 3,6 \cdot 3000000 \cdot 4 / 1,005 \cdot 3,2 \cdot (28 - 25,1) = 4609780 \text{ кг/год}.$$

K_L – коефіцієнт повітрообміну, $K_L = 2,2 \dots 3,2$;

прийmemo $K_L = 3,2$.

$t_{in} = t_{ext} + (0,5 \dots 1)$, °C. $T_{in} = 24,1 + 1 = 25,1$ °C.

Уточнюємо витрату вентиляційного повітря за умови, що температура перетікаючого повітря з МВ в КВ $t_{pp} = t_l = 30$ °C.

$$G_{MB} = 3,6 Q_{MB} / c_p \cdot (t_l - t_{in}) \quad (2)$$

$$G_{MB} = 3,6 \cdot 3000000 \cdot 4 / 1,005 \cdot (30 - 25,1) = 8772460 \text{ кг/год.}$$

Приймаємо більше значення $G_{MB} = 8772460$ кг/год.

3.2. Визначаємо можливу кількість повітря, що подається припливними системами механічної вентиляції в МВ $G_{ПММ}$ і витрату повітря, що поступає природним шляхом:

$$G_{ПММ} = 528000 \text{ кг/год.}$$

$$G_{Пам} = G_{MB} - G_{ПММ} \quad (3)$$

$$G_{Пам} = 8772460 - 528000 = 8244460 \text{ кг/год.}$$

3. Визначаємо температуру повітря в КВ: припливного – t_{in} , в нижній зоні – t_{wz}^{H3} , видаляемого – t_l , середню – t_c^{KB} .

$t_{in}^{KB} = t_{ext} + (1 \dots 2) = 24,1 + 1 = 25,1$ °C (за рахунок обладнання ззовні будівлі);

$$t_{wz}^{H3} = t_{in}^{KB} + (3 \dots 5) = 25,1 + 4 = 29,1 \text{ °C};$$

$$t_l = t_{wz}^{H3} + (12 \dots 26) = 29,1 + 14 = 43,1 \text{ °C};$$

$$t_c^{KB} = 0,5 (t_{wz}^{H3} + t_l) = t_{ext} + (10 \dots 15) = 24,1 + 13 = 37,1 \text{ °C.}$$

4. Виконуємо розподіл тепловиділень в КВ відповідно розрахункової схеми (рис. 3).

5. Визначаємо еквівалентні тепловіддаючі поверхні і еквівалентні температури цих поверхонь (рис. 4).

$Q_{об}$ – тепловиділення обладнання, яке умовно обмежене еквівалентними поверхнями, Вт.

Знайдемо площу еквівалентних поверхонь:

$$F_{\text{еп}} = n \cdot (2 \cdot (A+B) \cdot h_{\text{котла}}) = 4 \cdot (2 \cdot (34 + 35) \cdot 48) = 26496 \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{об}} / F_{\text{еп}} = Q_{\text{кв}} / F_{\text{еп}} = 4 \cdot 6780000 / 26496 = 1023 \text{ Вт/м}^2;$$

$$\Delta t_{\text{еп}}^{\text{кв}} = 72 \text{ }^{\circ}\text{C}; t_{\text{еп}}^{\text{кв}} = t_{\text{wz}}^{\text{нз}} + \Delta t_{\text{еп}}^{\text{кв}} = 29,1 + 72 = 101,1 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Визначаємо $\Delta t_{\text{еп}}$ за графіком (рис. 5)

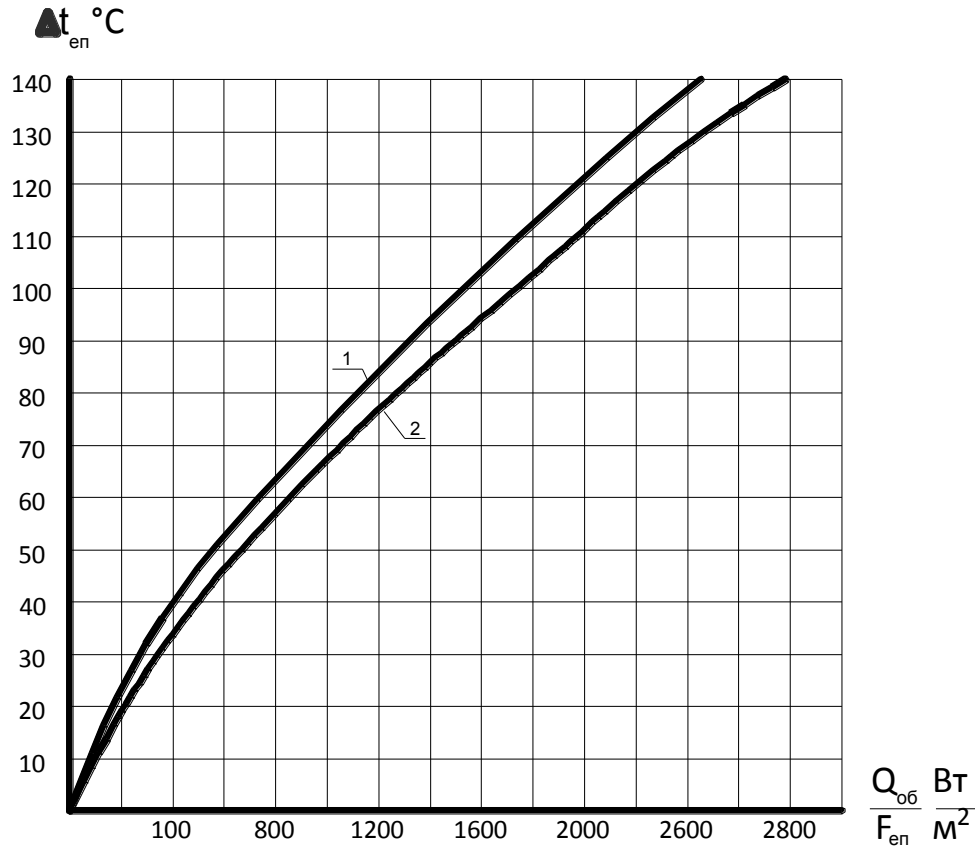


Рис. 5 Надлишкові температури еквівалентних поверхонь:
1 – вертикальна поверхня; 2 – горизонтальна поверхня

6. Обладнання деаераторного відділення замінюють еквівалентною поверхнею, яка обернена в бік КВ.

$$F_{\text{еп}}^{\text{дв}} = h_{\text{еп}}^{\text{дв}} \cdot l_{\text{еп}}^{\text{дв}} = 46 \cdot 72 = 3312 \text{ м}^2.$$

$$Q_{\text{об}} / F_{\text{еп}}^{\text{дв}} = Q_{\text{дв}} / F_{\text{еп}}^{\text{дв}} = 4 \cdot 1720000 / 3312 = 2077 \text{ Вт/м}^2;$$

за графіком

$$\Delta t_{\text{еп}}^{\text{дв}} = 120 \text{ }^{\circ}\text{C}; t_{\text{еп}}^{\text{дв}} = t_{\text{wz}}^{\text{нз}} + \Delta t_{\text{еп}}^{\text{дв}} = 29,1 + 120 = 149,1 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

7. Котельне відділення поділяють на зони, в яких конвективні

потоки утворюються в паралельних вертикальних нагрітих поверхнях (див. рис 3, 4).

8. Підраховуємо для КВ і ДВ умовну температуру внутрішніх поверхонь вертикальних огорож.

Визначення умовних температур внутрішніх поверхонь ґрунтується на спрощеній моделі природного повітрообміну, де приймається, що променева теплота від вертикальних нагрітих поверхонь $Q_{\text{пр}}$, які повернуті до огорож або одна до одної повністю трансформується в теплоту вторинних конвективних потоків за відрахуванням витрат теплоти через огорожі Q_o .

Попередньо визначають $\Theta = f(T_n, T_c)$ за графіком (рис. 6):

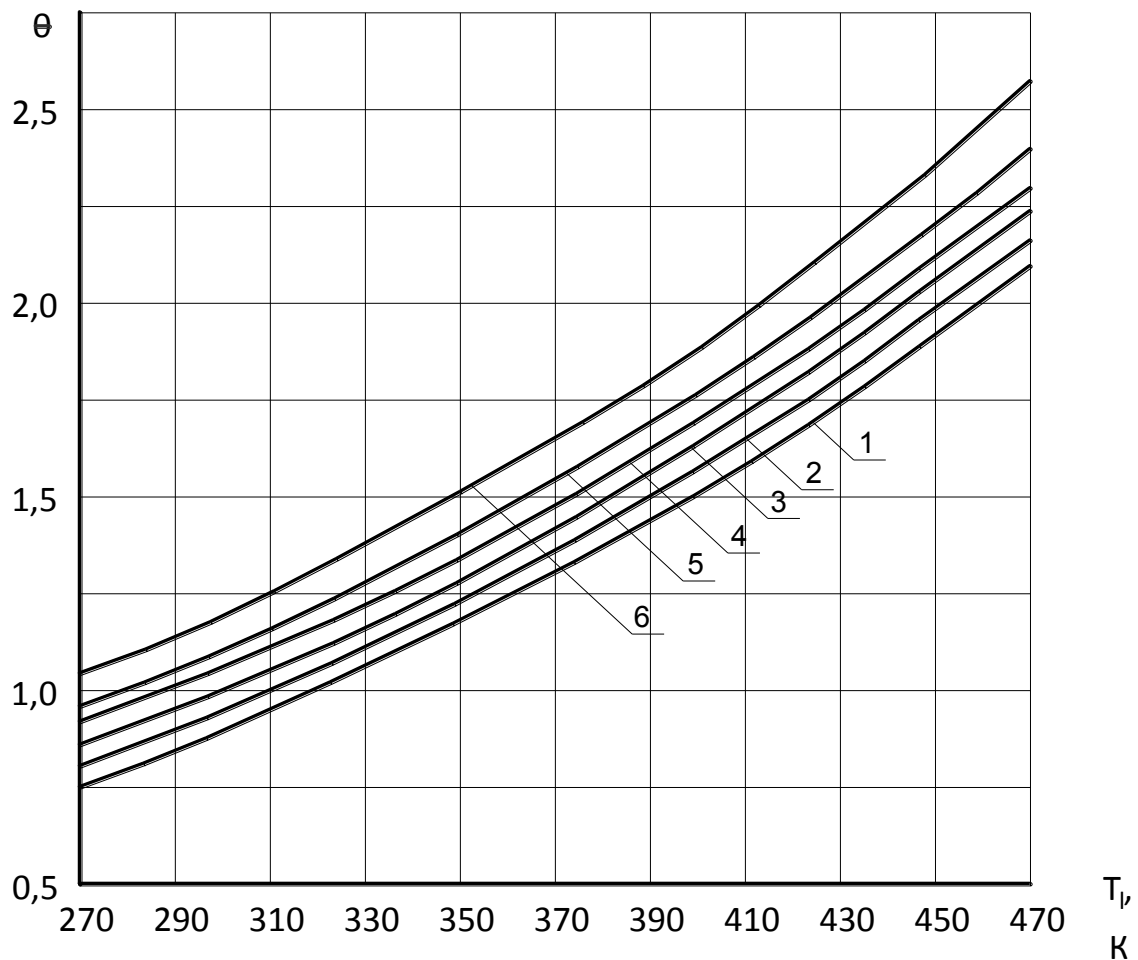


Рис. 6. Залежність $\Theta = f(T_n, T_c)$
1 - $T_{\text{КВс}} = 273$ К; 2 - $T_{\text{КВс}} = 283$ К; 3 - $T_{\text{КВс}} = 293$ К;
4 - $T_{\text{КВс}} = 303$ К; 5 - $T_{\text{КВс}} = 313$ К; 6 - $T_{\text{КВс}} = 323$ К

При $T_{\Pi} = t_{\text{KB}_{\text{еп}}} + 273 = 101,1 + 273 = 374,1 \text{ K}$ і

$T_c = t_{\text{KB}_c} + 273 = 37,1 + 273 = 310,1 \text{ K}$, $\Theta = 1,7$.

$$\Delta t_{\text{oy}} = [2,84 \cdot \Theta \cdot F_{\Pi}/F_o \cdot (t_{\text{KB}_{\text{еп}}} - t_{\text{KB}_c}) - 0,607 \cdot K_0 (t_{\text{KB}_c} - t_{\text{ext}})]^{3/4}, \quad (4)$$

де F_{Π} і F_o – площа нагрітих поверхонь і огорож, м^2 ;

K_0 – коефіцієнт теплопередачі огорож, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{K}$; $K_0 = 1,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$.

Вздовж осі Г:

$$\Delta t_{\text{oy}}^{\Gamma} = [2,84 \cdot 1,7 \cdot 4 \cdot 35 \cdot 48 \cdot (101,1 - 37,1) / (216 \cdot 71) - 0,607 \cdot 1,6 \cdot (37,1 - 24,1)]^{3/4} = 36,7 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Вздовж осі 1:

$$\Delta t_{\text{oy}}^1 = [2,84 \cdot 1,7 \cdot 1 \cdot 34 \cdot 48 \cdot (101,1 - 37,1) / (54 \cdot 71) - 0,607 \cdot 1,6 \cdot (37,1 - 24,1)]^{3/4} = 36 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

9. Визначаємо для кожної зони масову витрату повітря, $\text{кг}/\text{год}$, і надлишкову температуру видалюемого повітря, $^{\circ}\text{C}$ (рис. 3, 4).

$$G_{\text{к}}^{\Pi} = 45,36 \cdot \Delta t_{\Pi 1}^{1/3} \cdot l_1 \cdot h_{\Pi} \cdot P; \quad (5)$$

$$\Delta t_{\text{m}}^{\Pi} = (1/8P) \cdot \Delta t_{\Pi 1} [1 + (\Delta t_{\Pi 2} / \Delta t_{\Pi 1})^{4/3} \cdot (l_2 / l_1)]; \quad (6)$$

де $\Delta t_{\Pi 1}$ та $\Delta t_{\Pi 2}$ – надлишкова температура більш і менш нагрітих вертикальних поверхонь, які обернуті одна до одної;

$\Delta t_{\text{m}} = \Delta t_{\text{m}} - t_{\text{wz}}^{\text{H3}}$ – надлишкова середньозважена температура на потрібному рівні в окремій зоні, $^{\circ}\text{C}$;

l_1, l_2 – ширина вертикальних нагрітих поверхонь, повернутих одна до одної з більшою і меншою температурою, м ;

h_{Π} – висота вертикальних нагрітих поверхонь, м .

Зона І

$$l_1 = 4 \cdot 35 = 140 \text{ м}; l_2 = 216 \text{ м}; h_{\Pi} = 48 \text{ м};$$

$$\Delta t_{\Pi 1} = \Delta t_{\text{KB}_{\text{еп}}} = 72 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{\Pi 2} = \Delta t_{\text{oy}}^{\Gamma} = 36,7 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{\Pi 2} / \Delta t_{\Pi 1} = 36,9 / 72 = 0,512.$$

Коефіцієнт P враховує взаємодію конвективних потоків або їх

розвиток в стиснених умовах; за графіком $P = 1,8$ (рис. 7)

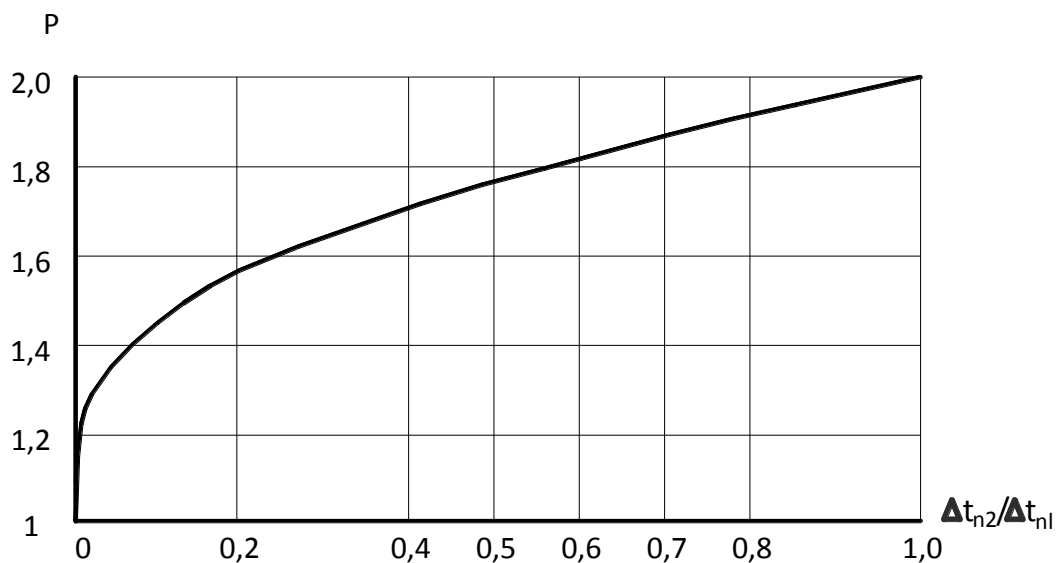


Рис. 7. Коефіцієнт $P=f(\Delta t_{n2}/\Delta t_{n1})$

$$G_{\text{кп}}^{\text{I}} = 45,36 \cdot 72^{1/3} \cdot 140 \cdot 48 \cdot 1,8 = 2280000 \text{ кг/год.}$$

$$\Delta t_{\text{м}}^{\text{I}} = (1/8 \cdot 1,8) \cdot 72 [1 + (36,9/72)^{4/3} \cdot 216/140] = 8,2 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Зона II-1

$$l_1 = 34 \text{ м; } l_2 = 54 \text{ м; } h_{\text{п}} = 48 \text{ м.}$$

$$\Delta t_{\text{п1}} = \Delta t_{\text{кв}}^{\text{кв}} = 72 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{п2}} = \Delta t_{\text{ой}}^{\text{I}} = 36 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{п2}} / \Delta t_{\text{п1}} = 36 / 72 = 0,5.$$

$$P = 1,8.$$

$$G_{\text{к}}^{\text{II-1}} = 45,36 \cdot 72^{1/3} \cdot 34 \cdot 48 \cdot 1,78 = 554000 \text{ кг/год.}$$

$$\Delta t_{\text{м}}^{\text{II-1}} = (1/8 \cdot 1,78) \cdot 72 [1 + (36/72)^{4/3} \cdot 54/34] = 8,8 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Зона II-2

$$l_1 = l_2 = 34 \text{ м; } h_{\text{п}} = 48 \text{ м.}$$

$$\Delta t_{\text{п1}} = \Delta t_{\text{п2}} = 72 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t_{\text{п2}} / \Delta t_{\text{п1}} = 72 / 72 = 1,0.$$

$$P = 2.$$

$$G_{\text{к}}^{\text{II-2}} = 45,36 \cdot 72^{1/3} \cdot 48 \cdot 34 \cdot 2 = 616000 \text{ кг/год.}$$

$$\Delta t_m^{II} = (1/8 \cdot 2) \cdot 72 [1 + (72/72)^{4/3} \cdot 34/34] = 9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Зона III

$$l_1 = 216 \text{ м; } l_2 = 140 \text{ м; } h_n = 12 \text{ м;}$$

$$\Delta t_{n1} = 120 \text{ } ^\circ\text{C;}$$

$$\Delta t_{n2} = 72 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

$$\Delta t_{n2} / \Delta t_{n1} = 72 / 120 = 0,6.$$

$$P = 1,83$$

$$G_{\text{к}}^{III} = 45,36 \cdot 120^{1/3} \cdot 216 \cdot 12 \cdot 1,83 = 1061000 \text{ кг/год.}$$

$$\Delta t_m^{III} = (1/8 \cdot 1,83) \cdot 120 [1 + (72/120)^{4/3} \cdot 140/216] = 10,4 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

10. Визначаємо масову витрату повітря в конвективних потоках в КВ, кг/год,

$$G_{\text{к}} = G_{\text{к}}^I + 2 \cdot G_{\text{к}}^{II-1} + (n-1) \cdot G_{\text{к}}^{II-2} + G_{\text{к}}^{III}. \quad (7)$$

$$G_{\text{к}} = (2,28 + 2 \cdot 0,554 + (4-1) \cdot 0,616 + 1,061) \cdot 10^6 = 6,297 \cdot 10^6 \text{ кг/год.}$$

11. Визначаємо надлишкову температуру видаляемого повітря, $^\circ\text{C}$

$$\Delta t_b = \Delta t_l = \frac{\Delta t_m^I \cdot G_{\text{к}}^I + \Delta t_m^{II} \cdot G_{\text{к}}^{II} + \dots + \Delta t_m^{III} \cdot G_{\text{к}}^{III}}{G_{\text{к}}} \quad (8)$$

$$\Delta t_l = (8,2 \cdot 2,28 + 2 \cdot 0,554 \cdot 8,8 + 3 \cdot 9 \cdot 0,616 + 1,061 \cdot 10,4) \cdot 10^6 / 6,297 \cdot 10^6 = 9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Уточнена температура видаляемого повітря з КВ

$$t_l = \Delta t_l + t_{\text{H}^3_{\text{wz}}} = 9 + 29,1 = 38,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

12. Підраховуємо величину потрібного повітрообміну в головному корпусі, кг/год

$$G_{\text{гк}} = \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_{\text{об}}}{c_p (t_l - t_{\text{in}})} \quad (9)$$

$\Sigma Q_{\text{об}} = \Sigma Q_{\text{h}}$ – сумарні явні теплонадлишки в головному корпусі, Вт/год

$$G_{\text{гк}} = \frac{3,6 \cdot 4 \cdot (6780000 + 3000000 + 1720000)}{1,005 \cdot (38,1 - 25,1)} = 12670000 \text{ кг/год}$$

Далі слідує уточнюючий розрахунок для зональної подачі та видалення повітря на різних рівнях.

13. Приймаємо можливу кількість припливного повітря, яке подається в котельне відділення системами механічної вентиляції:

- у верхню зону $G_{\text{пмк}}^{\text{вз}} = 630000$ кг/год;
- у нижню зону $G_{\text{пмк}}^{\text{нз}} = 360000$ кг/год.

14. Визначаємо витрату припливного повітря, що подається природним шляхом через аераційні прорізи з умов повітряного балансу головного корпусу

$$G_{\text{пак}} = G_{\text{вак}} + G_{\text{д}} - G_{\text{пмк}}^{\text{нз}} - G_{\text{пмк}}^{\text{вз}} - G_{\text{мв}} \quad (10)$$

$$G_{\text{д}} = 3240000 \text{ кг/год}; G_{\text{д}}^{\text{вз}} = 2000000 \text{ кг/год}; G_{\text{д}}^{\text{сз}} = 1240000 \text{ кг/год}.$$

$$G_{\text{вак}} = G_{\text{гк}} - G_{\text{д}} = 12670000 - 3240000 = 9430000 \text{ кг/год}$$

$$G_{\text{пак}} = 9430000 + 3240000 - 990000 - 8770000 = 2910000 \text{ кг/год}$$

15. Складаємо повітряний і тепловий баланс для верхньої зони КВ (рис. 8)

$$G_{\text{в}} + G_{\text{пмк}}^{\text{вз}} = G_{\text{д}}^{\text{вз}} + G_{\text{вак}} \quad (11)$$

$$Q_{\text{надх}} = Q_{\text{вид}} \quad (12)$$

$$c_p G_{\text{в}} t_{\text{в}} + c_p G_{\text{пмк}}^{\text{вз}} t_{\text{ext}} = c_p G_{\text{д}}^{\text{вз}} t_{\text{д}}^{\text{вз}} + c_p G_{\text{вак}} t_{\text{вак}} \quad (13)$$

де $G_{\text{в}}$ і $t_{\text{в}}$ – витрата, кг/год, і температура, °С, видаляемого повітря (конвективних потоків) на рівні верхньої грані котлоагрегатів

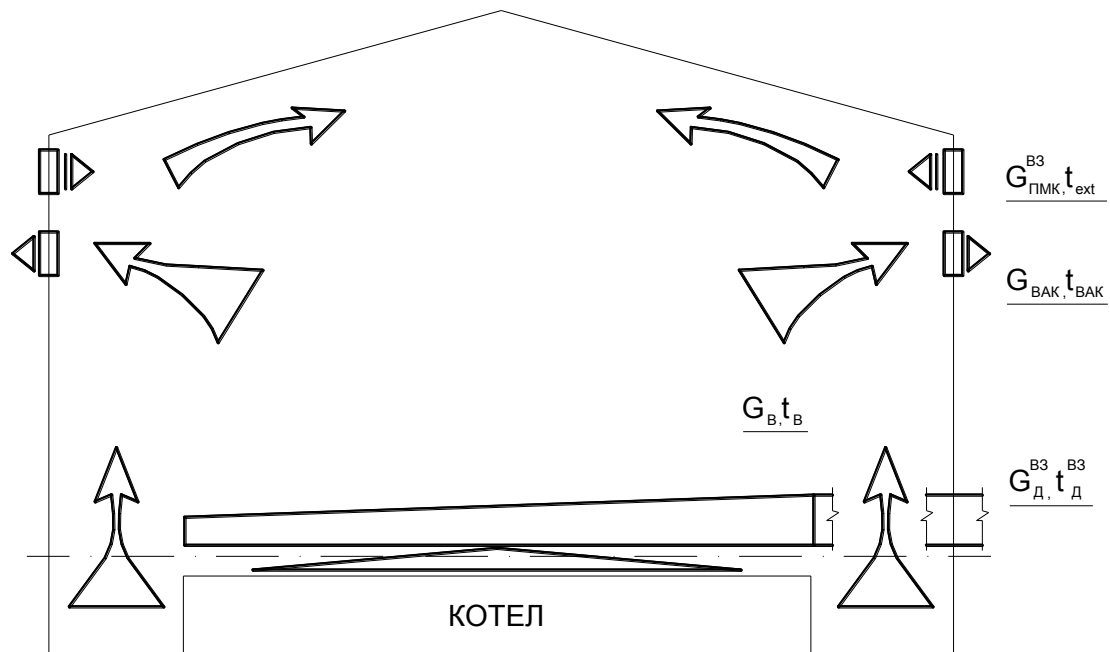


Рис. 8. Розподіл повітряних потоків в верхній зоні котельного відділення

$$G_B = G_{MB} + G_{пак} + G_{ПМК}^{H3} - G_{Д}^{C3} \quad (14)$$

$$G_B = 8772000 + 2910000 + 360000 - 1240000 = 10800000 \text{ кг/год.}$$

Температура повітря t_B визначається з рівняння повітряно-теплового балансу нижньої і середньої зони КВ (до верхнього рівня котлоагрегатів).

$$\begin{aligned} 3,6 Q_{ДВ} + 3,6 Q_{КВ} + c_p G_{пер} t_{пер} + c_p G_{пак} t_{in}^{KB} + c_p G_{ПМК}^{H3} t_{in}^{KB} = \\ = c_p G_{Д}^{C3} t_{Д}^{C3} + c_p G_B t_B \end{aligned} \quad (15)$$

$$t_B = [3,6 \cdot (6880000 + 27120000) + 1,005 \cdot (8772000 \cdot 30 + 2910000 \cdot 24,1 + 360000 \cdot 24,1 - 1240000 \cdot 37,1)] / 1,005 \cdot 10800000 = 38,8 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

З умов теплового балансу верхньої зони КВ (формула 13) визначають температуру повітря, яке видається через аераційні панелі

$$\begin{aligned} t_{бак} = 1,005 \cdot (10800000 \cdot 38,8 + \\ + 630000 \cdot 24,1 - 2000000 \cdot 45) / 1,005 \cdot 9430000 = 36,5 \text{ } ^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

16. Середні температури повітря в КВ
- верхньої зони

$$t_{\text{с}}^{\text{B3}} = (t_{\text{в}} + t_{\text{вак}}) / 2 = (38,8 + 36,5) / 2 = 37,7 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

- котельного відділення

$$t_{\text{с}}^{\text{KB}} = (t_{\text{wz}}^{\text{H3}} + t_{\text{с}}^{\text{B3}}) / 2 = (29,1 + 37,7) / 2 = 33,4 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

17. Приймаємо площу припливних прорізів в KB (максимально можливу) $F_{\text{пак}} = 320 \text{ м}^2$.

18. Визначаємо надлишковий тиск на рівні підлоги

$$\Delta P = 1/(2 \cdot \rho_{\text{in}}^{\text{KB}}) \cdot (G_{\text{пак}} / 3600 \mu F_{\text{пак}})^2 + g h_{\text{пак}} (\rho_{\text{in}}^{\text{KB}} - \rho_l), \quad (16)$$

де $\rho_{\text{in}}^{\text{KB}}$, ρ_l – густина зовнішнього припливного і видаляемого повітря, кг/м^3 , для даних умов верхньої зони приймається $\rho_l = \rho_{\text{с}}^{\text{B3}}$;

$\mu_{\text{пак}}$ – коефіцієнт витрати повітря припливних прорізів в KB;

$h_{\text{пак}}$ – висота розміщення центру припливних прорізів над рівнем пола в KB, м.

$$\rho_{\text{in}}^{\text{KB}} = 353/(273 + t_{\text{ext}}) = 353/(273 + 25,1) = 1,188 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_l = 353/(273 + t_{\text{с}}^{\text{B3}}) = 353/(273 + 37,7) = 1,136 \text{ кг/м}^3$$

$$\Delta P = (1/2 \cdot 1,19) \cdot [2910000/(3600 \cdot 0,5 \cdot 320)]^2 + 9,81 \cdot 3 (1,188 - 1,136) = 12,3 \text{ Па}$$

19. Визначаємо площу витяжних прорізів:

$$F_{\text{вак}} = \frac{G_{\text{вак}}}{3600 \mu_{\text{вак}} \sqrt{2 \rho_l (g h_{\text{вак}} (\rho_{\text{in}}^{\text{KB}} - \rho_l) - \Delta P)}}, \text{ м}^2 \quad (17)$$

де $\mu_{\text{вак}}$ – коефіцієнт витрати повітря витяжних прорізів;

$h_{\text{вак}}$ – висота розміщення центру витяжних прорізів над рівнем підлоги, м.

Розглядаємо варіант видалення повітря через витяжні аераційні панелі з V-образними вертикальними стулками (площа панелі 14 м^2).

$$\mu_{\text{вак}} = 0,4;$$

$$h_{\text{вак}} = 68,6 \text{ м};$$

$$F_{\text{бак}} = \frac{9430000}{3600 \cdot 0,4 [2 \cdot 1,136 \cdot (9,81 \cdot 68,6 (1,188 - 1,136) - 12,3)]^{1/2}} = 874,3 \text{ м}^2$$

Необхідно встановити $n = 874,3 / 14 = 64$ шт (32 панелі в ряд по осі В та 32 панелі по осі Г).

20. Підраховуємо різницю тисків, Па, в двох відділеннях (МВ і КВ) на рівні центрів внутрішнього прорізу:

$$\Delta P_{\text{пер}} = \left(\frac{G_{\text{МВ}}}{3600(\mu F)_{\text{пер}}} \right)^2 \frac{1}{2\rho_{\text{пер}}}, \text{ Па} \quad (18)$$

де $\mu_{\text{пер}}$ – коефіцієнт витрати повітря внутрішнього прорізу між відділеннями, приймається $\mu_{\text{пер}} = 0,4$;

$F_{\text{пер}}$ – площа внутрішнього прорізу між ДВ і КВ, $F_{\text{пер}} = 3456 \text{ м}^2$.

$$\rho_{\text{пер}} = 353 / (273 + t_{\text{пер}}) = 353 / (273 + 30) = 1,165 \text{ кг/м}^3.$$

$$\Delta P_{\text{пер}} = \left(\frac{8772000}{3600 \cdot 0,4 \cdot 3456} \right)^2 \frac{1}{2 \cdot 1,165} = 1,3 \text{ Па}.$$

21. Визначаємо площу припливних прорізів в МВ

$$F_{\text{пам}} = \frac{G_{\text{пам}}}{3600 \mu_{\text{пам}} [2\rho_{\text{ext}}(\Delta P - \Delta P_{\text{пер}} + g h_{\text{пам}} (h_{\text{пер}} - h_{\text{ПАМ}}) (\rho_{\text{ext}} - \rho_{\text{пер}}))]^{1/2}}, \quad (19)$$

де $\mu_{\text{пам}}$ – коефіцієнт витрати повітря припливних прорізів в МВ;

$h_{\text{пам}}$ – висота розміщення центру припливних прорізів в МВ над рівнем підлоги, м.

Якщо середній рівень $F_{\text{пам}}$ розміщений вище ніж середній рівень $F_{\text{пер}}$, то приймають $h_{\text{пам}}$ зі знаком "мінус", якщо $F_{\text{пам}}$ нижче $F_{\text{пер}}$, то $h_{\text{пам}}$ приймають зі знаком "плюс".

$$F_{\text{пам}} = \frac{8244000}{3600 \cdot 0,35 \sqrt{2 \cdot 1,188 (12,3 - 1,3 + 9,81 \cdot 12 (1,188 - 1,165))}} = 1146 \text{ м}^2.$$

22. Визначаємо перепади тисків в припливних і витяжних прорізах

$$\Delta P_{\text{пам}} = \Delta P - \Delta P_{\text{пер}} + g h_{\text{пам}} (\rho_{\text{ext}} - \rho_{\text{пер}}), \quad (20)$$

$$\Delta P_{\text{пам}} = 12,3 - 1,3 + 9,81 \cdot 12 (1,188 - 1,165) = 8,29 \text{ Па}.$$

$$\Delta P_{\text{пак}} = \Delta P - g h_{\text{пак}} (\rho_{\text{in}}^{\text{KB}} - \rho_{\text{вак}}), \quad (21)$$

$$\Delta P_{\text{пак}} = 12,3 - 9,81 \cdot 3 (1,188 - 1,135) = 10,7 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{\text{вак}} = g h_{\text{вак}} (\rho_{\text{in}}^{\text{KB}} - \rho_{\text{вак}}) - \Delta P, \quad (22)$$

$$\Delta P_{\text{вак}} = 9,81 \cdot 68,6 (1,188 - 1,136) - 12,3 = 22,7 \text{ Па.}$$

24. Визначаємо додатковий внутрішній тиск, що утворюється системами механічної вентиляції. Для цього складають рівняння повітряного балансу в розгорнутому вигляді

$$G_{\text{пмм}} + 3600 (\mu F)_{\text{пам}} [2 \rho_{\text{ext}} (\Delta P_{\text{пам}} \pm \Delta P_{\text{м}})]^{1/2} + G_{\text{пмк}}^{\text{н.з.}} + G_{\text{пмк}}^{\text{в.з.}} + \\ + 3600 (\mu F)_{\text{пак}} [2 \rho_{\text{in}}^{\text{KB}} (\Delta P_{\text{пак}} \pm \Delta P_{\text{м}})]^{1/2} - G_{\text{д}}^{\text{с.з.}} - G_{\text{д}}^{\text{в.з.}} - \\ - 3600 (\mu F)_{\text{вак}} [2 \rho_{\text{l}} (\Delta P_{\text{вак}} \pm \Delta P_{\text{м}})]^{1/2} = 0. \quad (23)$$

Якщо витрата припливного повітря механічних систем вентиляції $G_{\text{м.пр}}$ більше витрати витяжних систем $G_{\text{м.в.}}$, то приймають $\Delta P_{\text{м}}$ зі знаком "мінус" у перших двох підкореневих виразах, в третьому – зі знаком "плюс". Якщо $G_{\text{м.пр}} < G_{\text{м.в.}}$, то знаки перед $\Delta P_{\text{м}}$ приймаються навпаки.

$$528000 + 3600 \cdot 0,35 \cdot 1146 [2 \cdot 1,188 (8,29 + \Delta P_{\text{м}})]^{1/2} + 360000 + 630000 + \\ + 3600 \cdot 0,5 \cdot 3204 [2 \cdot 1,188 (10,7 + \Delta P_{\text{м}})]^{1/2} - 3240000 - \\ - 3600 \cdot 0,5 \cdot 874 [2 \cdot 1,135 (22,7 + \Delta P_{\text{м}})]^{1/2} = 0.$$

Розв'язуючи рівняння шляхом підбору, визначаємо $\Delta P_{\text{м}} = 4,9 \text{ Па}$.
Визначаємо витрати повітря з урахуванням $\Delta p_{\text{м}}$.

$$G_{\text{пам}} = 3600 \cdot 0,35 \cdot 1146 [2 \cdot 1,188 (8,29 + 4,95)]^{1/2} = 8099000 \text{ кг/год.}$$

$$G_{\text{пак}} = 3600 \cdot 0,5 \cdot 3204 [2 \cdot 1,188 (10,7 + 4,95)]^{1/2} = 3512000 \text{ кг/год.}$$

$$G_{\text{вак}} = 3600 \cdot 0,4 \cdot 874 [2 \cdot 1,135 (23,4 - 4,95)]^{1/2} = 9786000 \text{ кг/год.}$$

Нев'язка:

$$\varepsilon = 100 (G_{\text{пмм}} + G_{\text{пам}} + G_{\text{пмк}}^{\text{н.з.}} + G_{\text{пмк}}^{\text{в.з.}} + G_{\text{пак}} - G_{\text{вак}} - G_{\text{пмк}}^{\text{в.з.}} - G_{\text{пмк}}^{\text{с.з.}}) / G_{\text{вак}} \quad (24)$$

$$\varepsilon = 100 (528000 + 8099000 + 360000 + 630000 + \\ + 3512000 - 3240000 - 9786000) / 9430000 = 1,05 \% < 5 \%.$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ–Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – Чинні від 2011-11-01. – Київ: “Укрархбудінформ”, 2011. – 127 с.
2. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Чинні від 2014-01-01. – Київ: “Укрархбудінформ”, 2013. – V, 149 с.
3. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Чинні від 1999-12-01. – Київ: Міністерство охорони здоров'я України, 1999. – 12 с.
4. ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція та енергоефективність будівель". – Чинні від 2022-01-31. – Київ: “ДП НДІБК”, 2022. – 30 с.
5. Корбут В. П. Енергозберігаючі технології створення повітряно-теплових режимів теплових електростанцій : дис. д-ра техн. наук: 05.23.03 / В. П. Корбут. – К., 2003. – 379 с.
6. Корбут В.П. Природна турбулентна конвекція між вертикальними тепловіддавальними поверхнями: навч. посібн. / В. П. Корбут. – К. : Наукова думка, 1996. – 280 с.
7. Мілейковський В. О. Системи повітророзподілення при зональній вентиляції турбінних відділень АЕС : дис. канд. техн. наук: 05.23.03 / В.О. Мілейковський. – К., 2007. – 175 арк.
8. Строй А.Ф., Колодяжный В.В. Расчет и проектирование систем вентиляции и кондиционирования воздуха: учебн. пособие. – К.: ООО «Вент-сервис», 2014. –344с.
9. Борисенко А.В. Основи теплової енергетики: конспект лекцій / А. В. Борисенко, В. А. Пешко. –Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 149 с.
10. Конспект лекцій з дисципліни «Теплові електричні станції»для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 144 «Теплоенергетика» /Глущенко О.Л., Соколовська І.Є. - Кам'янське, ДДТУ, 2017. – 108 с.
10. Мошковський В.Є. Сучасний стан умов праці працівників теплових електростанцій. //Український журнал з проблем медицини праці. –№ 1 (50). – К.,2017. – С. 24-29.

11. Гузик Д.В., Федяй Б.М. Сучасні системи вентиляції: Конспект лекцій. – Полтава: ПолтНТУ, 2017. – 312 с.
12. Сніжко С.І., Шевченко О.Г. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. – Київ : КНУ, 2011. –298 с.
13. Аналіз стану котельного господарства України з метою модернізації, продовження ресурсу чи заміни котлів малої і середньої потужності. /І.Я. Сігал, Е.П. Домбровська, А.В. Смухіна та ін. //Екотехнології та ресурсозбереження. – 2003. – №6. – С.76–79.

Навчально-методичне видання

СИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ СПОРУД РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Методичні вказівки
до виконання розрахунково-графічної роботи
«Тепловий і повітряний режими головного корпусу ТЕС
під час використання багатозональної системи вентиляції»
для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності G 19 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітня програма «Теплогазопостачання і вентиляція»
та спеціальності G4 «Теплоенергетика»
освітня програма «Теплоенергетика»

Укладачі: **КОРБУТ** Вадим Павлович,
МІЛЕЙКОВСЬКИЙ Віктор Олександрович,
РИБАЧОВ Сергій Григорович

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 1,39. Обл.-вид. арк. 1,5
Електронний документ. Вид № 103/V-25

Виконавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури
Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.