

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з дисципліни
“Теплопостачання та вентиляція”
для студентів напряму підготовки
6.060101 – “Будівництво”
денної та заочної форм навчання
(приклади завдань для СРС і контрольних робіт)

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Вінницький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з дисципліни
“Теплопостачання та вентиляція”
для студентів напряму підготовки
6.060101 – “Будівництво”
денної та заочної форм навчання
(приклади завдань для СРС і контрольних робіт)

Вінниця
ВНТУ
2015

Рекомендовано до друку Методичною радою Вінницького національного технічного університету Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України (протокол № ____ від " ____ " _____ 2013р.)

Рецензенти:

А. С. Моргун, доктор технічних наук професор

В. В. Джеджула, кандидат технічних наук доцент

Методичні вказівки з дисципліни “Теплопостачання та вентиляція” для студентів напряму підготовки 6.060101 – “Будівництво” денної та заочної форм навчання (прикладі завдань для СРС і контрольних робіт) / Уклад. І. А. Пономарчук, О. П. Колісник, Т. Ю. Вовк, - Вінниця: ВНТУ, 2013. – 45 с.

Дані методичні вказівки розроблені відповідно до вимог, викладених в навчальній програмі з дисципліни “Теплопостачання та вентиляція” для студентів напряму підготовки 6.060101 – “Будівництво”. Основна мета розроблених завдань – допомогти студентам набути практичних навичок застосування теоретичних знань для вирішення конкретних технічних задач: теплотехнічного розрахунку, кількості тепловтрат через захисні конструкції, регулювання системи теплопостачання, кратності повітрообміну приміщень, підбору основного обладнання тощо.

Методичні вказівки містять також рекомендації щодо виконання завдань СРС та контрольних робіт.

Зміст

1. Теплотехнічний розрахунок огорожуючих конструкцій	4
2. Розрахунок тепловтрат через будівельні конструкції	8
3. Техніко-економічні розрахунки теплових мереж та установок, які використовують тепло	10
4. Дослідження режимів регулювання централізованого теплопостачання	15
5. Розрахунок тепло надходжень через світлові прорізи	22
6. Розрахунок тепло надходжень через перекриття.....	25
7. Розрахунок необхідної кількості повітря для зонтів	27
8. Розрахунок бортових відсмоків	29
9. Розрахунок необхідної витрати повітря для вентиляційних решіток.....	34
10. Аеродинамічний розрахунок систем вентиляції	38
11. Акустичний розрахунок систем вентиляції.....	0
Література.....	2

1. Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій

Кінцевою метою теплотехнічного розрахунку є визначення коефіцієнта теплопередачі окремих огорожувальних конструкцій будинку (зовнішні стіни, стеля верхнього поверху, перекриття над підвалом, вікна).

Необхідний термічний опір окремої огорожувальної конструкції R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, вибирається залежно від температурної зони в якій розташоване місто. Виходячи із R_0 підбирають конструкцію (товщину шарів матеріалів) кожної огорожувальної конструкції окремо. Кожна огорожувальна конструкція, як правило, повинна складатися з несучого шару (або шарів) матеріалу і шару (або шарів) утеплювача. Несучий шар матеріалу для стін – цегла (різної якості, з різними коефіцієнтами теплопровідності), а для перекриття – залізобетонні плити, теж різної теплотехнічної якості.

Термічний опір підібраної огорожувальної конструкції R^ϕ повинен бути не менше від R_0 , тобто $R^\phi \geq R_0$. Для цього необхідно розрахувати товщину шарів матеріалу, з яких складається огорожувальна конструкція. Товщина несучого шару огорожувальної конструкції підраховується або приймається з умов несучої здатності, а потім підраховується його термічний опір:

$$R = \delta / \lambda, \quad (1.1)$$

де δ – товщина шару, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{°C}$;

Повний фактичний термічний опір огорожувальної конструкції (стіни) визначається з виразу:

$$R^\phi = 1/\alpha_в + \delta_ц/\lambda_ц + \delta_у/\lambda_у + \delta_шт/\lambda_шт + 1/\alpha_з, \quad (1.2)$$

де $1/\alpha_в$ – термічний опір теплосприйняття внутрішньої поверхні стіни, $R_в$;

$\alpha_в$ – коефіцієнт теплосприйняття внутрішньої поверхні стіни, $\alpha_в = 8,7$;

$\delta_ц/\lambda_ц$ – термічний опір шару цегли, $R_ц$;

$\delta_у/\lambda_у$ – термічний опір шару утеплювача, $R_у$;

$\delta_у$ – товщина шару утеплювача;

$\lambda_у$ – коефіцієнт теплопровідності утеплювача;

$1/\alpha_з$ – термічний опір тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни, $R_з$, $\alpha_з = 23$;

$\delta_шт/\lambda_шт$ – термічний опір штукатурки;

$\delta_шт$ – товщина штукатурки;

$\lambda_шт$ – коефіцієнт теплопровідності штукатурки;

$$R^\phi = R_шт + R_в + R_ц + R_у + R_з + R_шт. \quad (1.3)$$

Щоб визначити товщину шару утеплювача, треба визначити який термічний опір повинен мати цей шар

$$R_у = R_0 - (R_в + R_ц + R_з + R_шт), \quad (1.4)$$

$$\text{тоді } \delta_y = R_y \cdot \lambda_y. \quad (1.5)$$

Всі значення показників, за якими визначається термічний опір огорожувальної конструкції, відомі (крім δ_y): α_v , α_z , λ_c , $\lambda_{ш}$, λ_y , приймають з ДБН 2.6 – 31.2006 "Теплова ізоляція будівель", δ_c та $\delta_{ш}$ беруться з конструктивних міркувань.

λ_c – коефіцієнт теплопровідності – кількість тепла яка проходить через одиницю часу на глибину 1 м. при різниці температур 1 °С, Вт/м °С.

α_v – коефіцієнт (тепловіддачі) теплосприйняття – кількість тепла яка сприймається або віддається одиницею площі за одиницю часу при різниці температур 1 °С, Вт/м² °С.

1. Отримати географічний пункт будівництва (таблиця 1.1).
2. Вихідні дані для проектування зовнішньої стіни (таблиця 1.2).
3. Визначитись з конструктивними шарами та їх розмірами для зовнішньої стіни. Накреслити схему стіни.
4. Задатись товщиною кожного шару стіни, виходячи з конструктивних міркувань.
5. Визначити коефіцієнт теплопровідності кожного конструктивного шару (таблиця 1.4).
6. Визначити необхідний термічний опір зовнішньої стіни згідно температурної зони географічного пункту будівництва (таблиця 1.3).
7. Розрахувати термічний опір кожного конструктивного шару, формула 1.1.
8. Розрахувати фактичний термічний опір зовнішньої стіни, без врахування термічного опору утеплювача, формула 1.2.
9. Визначити термічний опір утеплювача, формула 1.3.
10. Підібрати матеріал утеплювача та визначити його коефіцієнт теплопровідності (таблиця 1.4).
11. Визначити товщину шару утеплювача, формула 1.5.
12. Розрахувати повний фактичний термічний опір зовнішньої стіни та порівняти його з нормованим значенням для даної температурної зони.
13. Висновок.

Таблиця 1.1 – Географічний пункт будівництва

Географічний пункт	Середня температура зовнішнього повітря, °С			Тривалість періоду з середньодобовою температурою повітря ≤ 8 °С, діб	Середня швидкість вітру за січень, м/с	Температурна зона
	найбільш холодної п'ятиденки	найбільш холодної доби	за опалювальний період			
1 Бердянськ	-19	-22	0	187	5,0	II
2 Вінниця	-21	-26	-1,1	189	5,2	I
3 Джанкой	-17	-21	1,5	160	6,3	III

Географічний пункт	Середня температура зовнішнього повітря, °С			Тривалість періоду з середньодобовою температурою повітря ≤ 8 °С, діб	Середня швидкість вітру за січень, м/с	Температурна зона
	найбільш холодної п'ятиденки	найбільш холодної доби	за опалювальний період			
4 Дніпропетровськ	-23	-26	-1	175	5,7	II
5 Донецьк	-23	-27	-1,8	183	6,2	I
6 Євпаторія	-16	-20	2,4	149	7,1	IV
7 Житомир	-22	-25	-0,8	192	5,4	I
8 Запоріжжя	-22	-25	-0,4	174	7,1	II
9 Івано-Франківськ	-20	-24	-0,1	184	5,8	II
10 Ізмаїл	-14	-17	1,0	165	7,0	III
11 Керч	-15	-19	2,9	144	9,0	IV
12 Київ	-22	-26	-1,1	187	4,2	I
13 Кіровоград	-22	-26	-1	185	5,7	I
14 Конотоп	-24	-28	-2,1	195	4,3	I
15 Луганськ	-25	-29	-1,6	180	5,2	I
16 Луцьк	-20	-24	-0,2	187	6,3	II
17 Львів	-19	-23	-0,2	191	5,1	II
18 Маріуполь	-23	-27	-1,4	168	8,0	II
19 Миколаїв	-20	-23	0,4	165	10,0	III
20 Одеса	-18	-21	1	165	11,0	III
21 Полтава	-23	-27	-1,9	187	6,2	I
22 Рівне	-21	-25	-0,5	191	5,1	I
23 Севастополь	-11	-14	3,6	140	9,0	IV
24 Сімферополь	-16	-20	1,9	158	8,0	III
25 Суми	-24	-28	-2,5	195	5,9	I
26 Тернопіль	-21	-24	-0,5	190	5,1	I
27 Ужгород	-18	-22	1,6	162	4,3	III
28 Умань	-22	-26	-1	188	5,7	I
29 Феодосія	-15	-19	2,9	144	6,0	IV
30 Харків	-23	-28	-2,1	189	6,1	I
31 Херсон	-19	-23	0,6	167	8,0	III
32 Хмельницький	-21	-25	-0,6	191	5,7	I
33 Черкаси	-22	-26	-1	189	6,0	I
34 Чернівці	-20	-20	-0,2	179	5,4	II
35 Чернігів	-23	-27	-1,7	191	3,8	I
36 Ялта	-6	-8	5,2	126	8,7	IV

Таблиця 1.2 – Вихідні дані при проектуванні зовнішньої стіни

№ варіанту	1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28	2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26, 29	3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27, 30
Конструкція зовнішніх стін	Цегляна кладка		
	глиняна звичайна на цементно - піщаному розчині	глиняна звичайна на цементно - шлаковому розчині	силікатна на цементно – піщаному розчині
	з внутрішньою штукатуркою		

Таблиця 1.3 – Повний фактичний термічний опір огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Wt$

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення R_0 , для температурної зони			
		I	II	III	IV
1	Зовнішні стіни	2,8	2,5	2,2	2,0
2а*	Покриття й перекриття неопалюваних горищ	4,95	4,5	3,9	3,3
2б		3,3	3,0	2,6	2,2
3	Перекриття над проїздами та холодними підвалами, що межують із холодним повітрям	3,5	3,3	3,0	2,5
4	Перекриття над неопалюваними підвалами, що розташовані вище рівня землі	2,8	2,6	2,2	2,0
5а*	Перекриття над неопалюваними підвалами, що розташовані нижче рівня землі*	3,75	3,45	3,0	2,7
5б		2,5	2,3	2,0	1,8
6а	Вікна, балконні двері, вітрини, вітражі, світлопрозорі фасади	0,6	0,56	0,5	0,45
6б		0,5	0,5	0,5	0,45
7	Вхідні двері в багатоквартирні житлові будинки та в громадські будинки	0,44	0,41	0,39	0,32
8	Вхідні двері в малоповерхові будинки та в квартири, що розташовані на перших поверхах багатоповерхових будинків	0,6	0,56	0,54	0,45
9	Вхідні двері в квартири, що розташовані вище першого поверху	0,25	0,25	0,25	0,25
* Для будинків садибного типу і будинків до 4 поверхів включно					

Контрольні питання

1. Коефіцієнт теплопровідності. Визначення. Одиниці вимірювання.
2. Коефіцієнт тепловіддачі (теплосприйняття). Визначення. Одиниці вимірювання.

3. Термічний опір конструктивного шару огорожувальної конструкції.
4. Повний фактичний термічний опір огорожувальної конструкції.
5. Від чого залежить величина термічного опору огорожувальної конструкції
6. Як визначити товщину конструктивного шару огорожувальної конструкції.

2. Розрахунок тепловтрат через будівельні конструкції

Система опалення повинна компенсувати всі тепловтрати будинку – через огорожувальні конструкції та на нагрівання зовнішнього холодного повітря, яке проникає в приміщення через різні нещільності в огорожувальних конструкціях (інфільтрація).

Втрати тепла через огорожувальну конструкцію визначають тільки при різниці температур по різні сторони огороження більше 5 °С.

Загальні тепловтрати Q_z складаються з головних Q_z та додаткових Q_d :

Головні тепловтрати Q_z , Вт, визначають за формулою:

$$Q_z = 1/R_0^{\phi} \cdot F \cdot (t_b - t_3) \cdot n, \quad (2.1)$$

де F – теплопередавальна поверхня огорожувальної конструкції, м²;

R_0^{ϕ} – повний фактичний термічний опір огорожувальної конструкції, м²·°С/Вт (таблиця 1.3);

t_b – розрахункова температура внутрішнього повітря, °С, (таблиця 1.1);

t_3 – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С, приймається середня температура найбільш холодної п'ятиденки;

n – коефіцієнт, що враховує додатковий захист огорожувальної конструкції від зовнішніх температур (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Коефіцієнт “n”, що враховує додатковий захист огорожувальної конструкції від зовнішніх температур

Огорожувальні конструкції	Коефіцієнт n
Зовнішні стіни, перекриття горищні (якщо покрівля зроблена зі штучних матеріалів) та над проїздами	1
Перекриття над холодними підвалами, що сполучаються із зовнішнім повітрям; перекриття горищні (якщо покрівля зроблена із рулонних матеріалів)	0,9
Перекриття над неопалювальними підвалами зі світловими прорізами у стінах	0,75
Перекриття над неопалювальними підвалами без світлових прорізів у стінах, розташованих вище рівня землі	0,6
Перекриття над неопалювальними підвалами, розташованими нижче рівня землі	0,4

Додаткові тепловтрати

1. Додаток на орієнтацію по сторонах світу для приміщень в будинках будь-якого призначення для огорожувальних конструкцій, спрямованих на: північ, схід, північний схід, північний захід - 10%, на південний схід, захід - 5%.

2. Додаток на обдування вітром для приміщень в будинках будь-якого призначення, збудованих на місцевостях з швидкістю вітру до 5м/с: для захищених від вітру - 5%, для незахищених від вітру (на підвищеннях, біля річок, озер, на березі моря, на відкритій місцевості) - 10%.

3. Додатки на наявність в приміщеннях двох і більше зовнішніх стін – 5%

4. На проникнення холодного повітря в будинках будь-якого призначення для зовнішніх дверей при відкриванні на короткий час:

- потрійні двері з двома тамбурами між ними - 60%,
- подвійні двері з тамбуром між ними - 80%,
- одинарні двері - 95%.

Примітки: Додатки на вітер треба приймати з коефіцієнтом 2 при середній швидкості вітру 5-10 м/с, з коефіцієнтом 3 - при середній швидкості вітру більше 10 м/с. Розрахунок тепловтрат виконують з точністю до 5 Вт по окремих приміщеннях.

Приміщення нумерують на планах починаючи з першого поверху - №101, 102, 103, і т. д. Другий поверх - №201, 202, 203, тощо. Сходові клітки позначаються літерами – А, Б, В, тощо. Сходові клітки визначаються як одне приміщення.

Одержаними розрахунковими даними заповнюються відповідні графи розрахункової відомості, форма якої приведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок тепловтрат

Номер приміщення	Найменування приміщення $t_b, ^\circ\text{C}$	Найменування огорожувального конструкції	Розмір огорожувальної конструкції, м	Орієнтація по сторонах світу	Площа огорожувальної конструкції	Коефіцієнт теплопередачі $K, \text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	Різниця температур $t_b - t_3, ^\circ\text{C}$	Поправочний коефіцієнт, n	Головні тепловтрати огорожувальної конструкції, Вт	Додаткові тепловтрати огорожувальної конструкції, %	Загальний множник додаткових тепловтрат	Загальні втрати на огорожувальні конструкції, Вт	Загальні втрати приміщення $Q_3, \text{Вт}$
------------------	---	--	--------------------------------------	------------------------------	----------------------------------	---	--	-----------------------------	--	---	---	--	---

Умовне позначення огорожувальних конструкцій в таблиці 4: ЗС – зовнішня стіна; ВС – внутрішня стіна; В – вікно з одинарним склінням; ВД – вікно з подвійним склінням; ВТ – вікно з трійним склінням; СТ – стеля; ПД – підлога; Д – двері; ДД – подвійні двері.

Орієнтація: ПН – північ; ПД – південь; З – захід; С – схід; ПНЗ – північний захід; ПНС – північний схід; ПДЗ – південний захід; ПДС – південний схід.

Контрольні питання

1. Призначення системи опалення.
2. Загальні тепловтрати приміщення.
3. Головні тепловтрати приміщення.
4. Додаткові тепловтрати приміщення.
5. Алгоритм розрахунку тепловтрат через будівельні конструкції.

3. Техніко-економічні розрахунки теплових мереж та установок, які використовують тепло

При розрахунках систем теплогазопостачання розділяють два види теплового навантаження – це розрахункове теплове навантаження та теплове навантаження, яке відрізняється від розрахункового. При регулюванні систем та теплових мереж в практиці їх експлуатації виникає необхідність в порівнянні цих навантажень.

Розрахунок потреби теплоти й витрат води мережі на опалення й вентиляцію будинків. Розрахункову потребу теплоти на опалення $Q_{o.p.}$ й вентиляцію будинків $Q_{в.р.}$ визначають із співвідношень, Вт

$$Q_{o.p.} = \alpha \cdot X_0 \cdot V \cdot \langle t_{вн} - t_3 \rangle \quad (3.1)$$

$$Q_{в.р.} = X_в \cdot V \cdot \langle t_{вн} - t_3' \rangle; \quad (3.2)$$

де α – поправочний коефіцієнт для житлових і громадських будинків;

X_0 – питома тепла характеристика будинку в приміщеннях, що приймаються до опалення, (приймають за таблицею 3.1), Вт/м³ °С;

$X_в$ – питома тепла характеристика будинку в приміщеннях, що приймаються до вентиляції, (приймають за таблицею 3.1), Вт/м³ °С;

V – зовнішній об'єм будинку, м³;

$t_{вн}$ – температура повітря в приміщенні, яке опалюється, °С (приймають за таблицею 6);

t_3 – температура зовнішнього повітря для опалення (для даного району), °С (приймають за таблицею 3.2);

t_3' – температура зовнішнього повітря для вентиляції(для даного району), °С (приймають за таблицею 3.2).

Поправочний коефіцієнт визначений інтерполяцією:

t_5	-10	-15	-20	-25
α	1,45	1,2	1,17	1,08

Величини X_0 , X_6 та t_{en} залежать від площі будинку та його об'єму.

Загальне навантаження для теплостачання будинків, Вт

$$Q_{заг} = Q_{o.p.} + Q_{в.p.} \quad (3.3)$$

Для складання річного плану споживання теплоти житлово-комунальним господарством розраховують планове місячне споживання теплоти на опалення, Вт·год

$$Q_n^{mic} = \alpha \cdot X_0 \cdot V \cdot \langle t_{en} - t_3^{mic} \rangle \cdot T^{mic}, \quad (3.4)$$

де t_3^{mic} – середньомісячні температури зовнішнього повітря для даного району, °С (дані отримати у викладача);

T^{mic} – число годин в кожному місяці року, який планується.

Фактичне споживання теплоти на опалення ведуть за таблицею 3.3, де замість t_3^{mic} підставляють $t_3^{mic\phi}$.

Місцевою метеостанцією середні величини температур встановлені за результатами спостережень ряду років і є достовірними даними для виконання розрахунків.

Для порівняння планових показників з фактичними даними споживання теплоти визначають фактичне її споживання, Вт·год

$$Q_\phi^{mic} = \alpha \cdot X_0 \cdot V \cdot \langle t_{en} - t_3^{mic\phi} \rangle \cdot T^{mic}, \quad (3.5)$$

де $t_3^{mic\phi}$ - температура зовнішнього повітря за місяць по фактичному заміру місцевої метеостанції, °С (дані отримати у викладача). Після проведення всіх розрахунків будують графік залежності планових та фактичних показників від місяців року, та показують площі перевищення та економії.

Таблиця 3.1 – Питомі теплові характеристики для опалення та вентиляції будинків і температура внутрішнього повітря приміщень, що опалюються

№ варіанту	Будівля	Зовнішній об'єм будинку V, тис.м ³	Питомі теплові характеристики будинків Вт/м ² °С		Температура повітря в приміщенні, °С, t _{вн}
			для опалення	для вентиляції х _в	
1	Житлові будинки	До 3	1,76	-	18
2		5	1,59	-	18
3		10	1,47	-	18
4		20	1,3	-	18
5		30	1,17	-	18
6		Більше 30	1,9	-	18
7	Готелі, гуртожитки	До 3	1,76	-	18
8		5	1,59	-	18
9		10	1,42	-	18
10		20	1,3	-	18
11		Більше 20	1,26	-	18
12	Адміністративні будинки, установи, контори	До 5	1,80	0,38	18
13		10	1,59	0,34	18
14		15	1,47	0,29	18
15		Більше 15	1,34	0,67	18
16	Вищі навчальні заклади і технікуми	До 10	1,47	-	16
17		15	1,38	0,42	16
18		20	1,23	0,34	16
19		Більше 20	1,21	0,34	16
20	Лікарні	До 5	1,68	1,21	20
21		10	1,50	1,14	20
22		15	1,34	1,08	20
23		Більше 15	1,23	1,04	20
24	Фабрики-кухні, столові, ресторани	До 5	1,47	2,93	16
25		10	1,38	2,72	16
26		Більше 10	1,26	2,51	16
27	Лабораторії	До 5	1,55	4,19	16
28		10	1,47	3,77	16
29		Більше 10	1,38	3,77	16
30	Склади хімікатів, фарб й т.п.	До 1	3,56	-	10
31		1-2	3,14	-	10
32		2-5	2,72	2,51	10
33	Механічні цехи, слюсарні майстерні	5...10	2,10	1,26	15
34		10...50	1,88	1,04	15
35		50...100	1,59	0,63	15

Таблиця 3.2 – Температура зовнішнього повітря й тривалість сезону опалення

№ варіанту	Місто	Температура зовнішнього Повітря для опалення, $t_3, ^\circ\text{C}$	Середньорічна температура Зовнішнього повітря, $t_3^{сер}, ^\circ\text{C}$	Тривалість сезону опалення, Т, діб	Температура зовнішнього повітря для вентиляції, $t_3', ^\circ\text{C}$
1	Вінниця	-21	-0,6	186	-10
2	Дніпропетровськ	-22	-1,7	176	-9
3	Донецьк	-22	-1,5	176	-10
4	Дрогобич	-16	-0,5	184	-8
5	Євпаторія	-15	+1,2	154	-4
6	Житомир	-21	-0,8	189	-9
7	Запоріжжя	-21	-0,8	176	-9
8	Ізмаїл	-13	+1,5	147	-5
9	Кривий Ріг	-21	-0,9	173	-9
10	Київ	-21	-1,2	191	-10
11	Львів	-16	+0,2	185	-7
12	Луганськ	-21	-0,8	180	-9
13	Мелітополь	-19	0	169	-7
14	Миколаїв	-18	+0,5	165	-7
15	Одеса	-15	+1,1	160	-7
16	Полтава	-23	-0,6	186	-11
17	Рівне	-20	-0,6	186	-11
18	Севастополь	-9	+1,1	132	-4
19	Сімферополь	-15	-1,2	161	-7
20	Суми	-23	-2,5	194	-12
21	Харків	-23	-2,5	190	-11
22	Херсон	-18	+0,5	165	-7
23	Черкаси	-22	-1,1	186	-10
24	Чернігів	-22	-1,7	193	-10
25	Ялта	-8	+5,0	127	-3

Таблиця 3.3 – Розрахунки річного плану споживання теплоти на 20__ рік по житлово-комунальному господарству

Показники розрахунку	Позначення	Одиниці вимірювання	Місяці року												Рік	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Середньомісячна температура зовнішнього повітря за даними метеостанцій	t_z^{micM}	$^{\circ}\text{C}$														
Фактична температура зовнішнього повітря	$t_z^{mic\phi}$	$^{\circ}\text{C}$														
Кількість годин в місяці, який планується	T^{mic}	години														
Кількість теплоти планова	Q_n^{mic}	Вт·год														
Кількість теплоти фактична	Q_{ϕ}^{mic}	Вт·год														

Після складання таблиці 3.3 заповнюється таблиця 3.4.

Таблиця 3.4 – Підсумки споживання теплоти на опалення будинку на 20__ рік по житлово-комунальному господарству

Показники, Дж	Місяці року												Рік	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1. Планові														
2. Фактичні														
3. Економія (%)														
Перевищення (%)														

Контрольні питання

1. Види теплового навантаження.
2. Розрахункова потреба теплоти на опалення.
3. Питома тепла характеристика будинку.
4. Планове місячне споживання теплоти на опалення.

4. Дослідження режимів регулювання централізованого теплопостачання

- при низьких температурах зовнішнього повітря;
- при високих температурах зовнішнього повітря.

Налагодження водяних теплових мереж здійснюють з метою забезпечення нормального теплоспоживання. В результаті налагодження створюються необхідні умови для роботи системи опалення. Налагодженню підлягають всі ланки теплопостачання: тепла мережа, теплові пункти, системи теплоспоживання. Налагоджувальні роботи виконують в три етапи:

- 1) діагностують та випробовують систему теплопостачання з розробленням заходів, які забезпечують ефективність її роботи;
- 2) реалізують розроблені заходи;
- 3) виконують регулювання системи.

В результаті діагностування виявляються фактичні експлуатаційні режими, визначається тип та стан обладнання, характер теплового навантаження, необхідність та об'єм випробувань теплових мереж.

В процесі налагоджувальних робіт випробовують пропускну здатність теплової мережі і комунікацій джерел тепла, визначають фактичну характеристику насосів мережі та випробовують калориферні установки. При необхідності, теплову мережу випробовують на теплові втрати, міцність і компенсувальну здатність при максимальних температурах води мережі.

До регулювання систем теплопостачання приступають тільки тоді, коли перевіркою встановлено виконання всіх розроблених заходів з налагодження. В процесі регулювання перевіряють прогрівання установок при розроблених теплових і гідравлічних режимах джерела тепла, а також відповідність практичних витрат теплоносія розрахунковим, налагодження регуляторів та інші.

Теплове навантаження теплообмінного апарата, Вт:

$$Q = W_I (\tau_1 - \tau_2) = W_A (t_1 - t_2) = kF \Delta t = \varepsilon W_I \nabla, \quad (4.1)$$

де $W_I = \tilde{n}_I G_I$, $W_A = \tilde{n}_A G_A$ - еквіваленти витрат первинного W_{PI} і вторинного W_B теплоносіїв Дж/(с·°C), Вт/°C.

c_{PI} , c_B - теплоємність відповідних теплоносіїв, Дж/(кг·°C);

G_{PI} , G_B - масова витрата теплоносіїв, кг/с;

τ_1, τ_2 - температури первинного теплоносія на вході в теплообмінний апарат і на виході з нього, °C;

t_1, t_2 - температури вторинного теплоносія на вході в теплообмінний апарат і на виході з нього, °C;

k - коефіцієнт теплопередачі, Вт/м² °C;

F - площа прогріву, м²;

Δt - температурний напір в теплообмінному апараті, °C;

ε - безрозмірне питоме теплове навантаження;

W_M – менший еквівалент втрат теплоносія, Дж/(с·°C);

$\nabla = \tau_1 - t_2$ – максимальна різниця температур теплоносіїв, °C.

Відносне теплове навантаження:

$$\bar{Q} = \frac{Q}{Q'}, \quad (4.2)$$

де Q' – максимальне теплове навантаження, Вт.

Відносне теплове навантаження системи опалення:

$$\bar{Q} = \frac{Q}{Q_0'} = \frac{W_0(\tau_{01} - \tau_{02})}{W_0'(\tau_{01}' - \tau_{02}')} = \frac{t_{\dot{a}} - t_f}{t_{\dot{a}.\dot{d}} - t_{f.i.}}, \quad (4.3)$$

де Q, Q_0' – поточне і розрахункове навантаження опалювального устаткування, Вт;

W_0, W_0' – поточне і розрахункове значення еквівалентів втрат мережної води на опалення, Вт/°C;

τ_{01}, τ_{01}' – поточні і розрахункові значення температури мережної води в подавальному трубопроводі, °C;

τ_{02}, τ_{02}' – поточні і розрахункові значення температури мережної води в зворотному трубопроводі, °C;

$t_{\dot{e}}, t_{\dot{e}.p.}$ – поточні і розрахункові значення температури повітря в приміщенні, яке опалюється, °C;

$t_n, t_{n.o.}$ – температури зовнішнього повітря (поточна і розрахункова) для проектування опалення, °C.

Температури води при якісному регулюванні навантаження повітряних систем опалення, °C:

$$\tau_{01} = t_{\dot{a}.\dot{d}} + (\tau_{01}' - t_{\dot{a}.\dot{d}}) \cdot \bar{Q}_0, \quad (4.4)$$

$$\tau_{02} = t_{\dot{a}.\dot{d}} + (\tau_{02}' - t_{\dot{a}.\dot{d}}) \cdot \bar{Q}_0 \quad (4.5)$$

Температури води при будь-якому режимі регулювання навантаження водяних систем опалення та залежної схеми їх приєднання, °C:

$$\tau_{01} = t_{\dot{e}.p.} + \Delta t_0' \cdot \bar{Q}_0^{0.8} (\delta\tau_0 - 0,5\theta') \frac{\bar{Q}_0}{G_0}, \quad (4.6)$$

$$\tau_{02} = t_{\dot{e}.p.} + \Delta t_0' \cdot \bar{Q}_0^{0.8} - 0,5\theta' \frac{\bar{Q}_0}{G_0}, \quad (4.7)$$

$$\tau_{03} = t_{\text{в.р.}} + \Delta t_0' \cdot \bar{Q}_0^{-0.8} + 0,5\theta' \frac{\bar{Q}_0}{G_0}, \quad (4.8)$$

де $\theta' = \tau_{03}' - \tau_{02}'$ – перепад температур води в системі опалення в розрахунковому режимі, $^{\circ}\text{C}$;

$\bar{G}_0 = G_0 / G_0'$ – співвідношення поточних і розрахункових втрат води в мережі опалення.

Відносну втрату або відносний еквівалент втрат води в мережі зручно описувати емпіричним рівнянням Е. Я. Соколова

$$\bar{G}_0 = \bar{W}_0 = \bar{Q}^m. \quad (4.9)$$

При якісному режимі регулювання системи опалення $m = 1$ та $\bar{G}_0 = 1$.

При якісно-кількісному режимі регулювання $m = 0,33$ та $\bar{G}_0 = \bar{Q}_0^{0,33}$.

Відносна втрата води мережі при кількісному регулюванні системи опалення ($\tau_{01}' = \tau_{01}' = \text{const}$) визначається залежністю

$$\bar{G}_0 = \frac{G_0}{G_0'} = \bar{W}_0 = \frac{\bar{Q}_0}{1 + \frac{\Delta t_0'}{\delta \tau_0' - 0,5\theta'} (1 - \bar{Q}_0^n)}. \quad (4.10)$$

При водяній системі опалення $n = 0,8$, а при повітряній системі опалення $n = 1$.

ЗАВДАННЯ I При розрахунковій температурі зовнішнього повітря для опалення $t_{\text{н.о.}} = -21$ $^{\circ}\text{C}$ температура води в подавальному трубопроводі мережі опалення $\tau_{01}' = 150$ $^{\circ}\text{C}$ та в зворотному $\tau_{02}' = 70$ $^{\circ}\text{C}$. Розрахункова внутрішня температура приміщення, яке опалюється, $t_{\text{в.р.}} = 18$ $^{\circ}\text{C}$. Визначити температуру води в подавальному і зворотному трубопроводах теплової мережі при $t_{\text{н}} = -10$ $^{\circ}\text{C}$. Мережа працює за графіком центрального якісного регулювання систем опалення. Коефіцієнт теплопередачі нагрівальних приладів можна вважати незалежним від температури води.

Розв'язання

Відносне теплове навантаження при температурі $t_{\text{н}} = -10$ $^{\circ}\text{C}$:

$$\bar{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q_0'} = \frac{(t_{\text{в.р.}} - t_{\text{н}})}{(t_{\text{в.р.}} - t_{\text{н.о.}})} = \frac{18 + 10}{18 + 21} = 0,72.$$

Температура води в подавальному трубопроводі при $t_{\text{н}} = -10$ $^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{01} = t_{\text{а.д.}} + (\tau_{01}' - t_{\text{а.д.}}) \cdot \bar{Q}_0 = 18 + (150 - 18) \cdot 0,72 = 113,04$$
 $^{\circ}\text{C}$.

Температура води в зворотному трубопроводі при $t_{\text{н}} = -10$ $^{\circ}\text{C}$:

$$\tau_{02} = t_{\text{а.д.}} + (\tau_{02}' - t_{\text{а.д.}}) \cdot \bar{Q}_0 = 18 + (70 - 18) \cdot 0,72 = 55,44$$
 $^{\circ}\text{C}$.

ЗАВДАННЯ II Розрахувати завдання I для випадку, коли до теплової мережі під'єднані системи опалення, в яких коефіцієнт теплопередачі нагрівальних приладів

змінюється за зміною температури води. На опалювальних вводах встановлені елеватори, які працюють з коефіцієнтом змішування $U = 2,2$.

Розв'язання

Розрахункова температура води в подавальному трубопроводі системи опалення:

$$\tau'_{03} = \frac{\tau'_{01} + u\tau'_{02}}{1 + u} = \frac{150 + 2,2 \cdot 70}{1 + 2,2} = 95 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Розрахункові температурні перепади в системі опалення і мережі, температурне навантаження в нагрівальних приладах системи опалення:

$$\theta' = \tau'_{03} - \tau'_{02} = 95 - 70 = 25 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\delta\tau_0 = \tau'_{01} - \tau'_{02} = 150 - 70 = 80 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\Delta t'_0 = 0,5(\tau'_{03} + \tau'_{02}) - t_{a.\delta.} = 0,5(95 + 70) - 18 = 64,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Відносне теплове навантаження при температурі $t_{\text{н}} = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$ прийнято з завдання I $\bar{Q}_0 = 0,72$.

Температури води в подавальному і зворотному трубопроводах при $t_{\text{н}} = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$:

температура води в подавальному трубопроводі

$$\begin{aligned} \tau_{01} &= t_{a.\delta.} + \Delta t'_0 \cdot \bar{Q}_0^{0,8} (\delta\tau_0 - 0,5\theta') \bar{Q}_0 = \\ &= 18 + 64,5 \cdot 0,72^{0,8} + (80 - 0,5 \cdot 25) \cdot 0,72 = 131,2 \text{ } ^\circ\text{C}, \end{aligned}$$

температура води в зворотному трубопроводі

$$\begin{aligned} \tau_{02} &= t_{a.\delta.} + \Delta t'_0 \cdot \bar{Q}_0^{0,8} - 0,5\theta' \bar{Q}_0 = \\ &= 18 + 64,5 \cdot 0,72^{0,8} - 0,5 \cdot 25 \cdot 0,72 = 91,6 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Висновок. Отже, при температурі $t_{\text{н}} = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$ температура води в подавальному трубопроводі мережі при водяних системах опалення повинна бути на $(91,6 - 55,4) = 36,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ вища, ніж в завданні 1.

ЗАВДАННЯ III Побудувати графік температур води в подавальному і зворотному трубопроводах теплової мережі, а також в подавальному трубопроводі водяних систем опалення при центральному якісному режимі регулювання ($\bar{G}_0 = 1$). При розрахунковій температурі зовнішнього повітря $t_{\text{н.о.}} = -21 \text{ } ^\circ\text{C}$ температура води в подавальному трубопроводі мережі $\tau'_{01} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$, в подавальному трубопроводі опалювальної системи $\tau'_{03} = 95 \text{ } ^\circ\text{C}$ і в зворотному трубопроводі мережі $\tau'_{02} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ при $t_{\text{в}} = t_{\text{в.р.}} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Розв'язання

Перепад температур води в опалювальній системі в розрахунковому режимі:

$$\theta' = \tau'_{03} - \tau'_{02} = 95 - 70 = 25 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\delta\tau_0 = \tau'_{01} - \tau'_{02} = 150 - 70 = 80 \text{ } ^\circ\text{C},$$

$$\Delta t'_0 = 0,5(\tau'_{03} + \tau'_{02}) - t_{a.\delta.} = 0,5(95 + 70) - 18 = 64,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Записуємо рівняння для визначення температури води в подавальному трубопроводі мережі

$$\begin{aligned}\tau_{01} &= t_{a.д.} + \Delta t_0' \cdot \bar{Q}_0^{-0.8} (\delta\tau_0 - 0,5\theta') \bar{Q}_0 = \\ &= 18 + 64,5 \cdot \bar{Q}_0^{-0.8} + (80 - 0,5 \cdot 25) \cdot \bar{Q}_0^{-0.8} = \\ &= 18 + 64,5 \bar{Q}_0^{-0.8} + 67,5 \bar{Q}_0.\end{aligned}$$

Записуємо рівняння для визначення температури води в подавальному трубопроводі опалювальної системи

$$\begin{aligned}\tau_{01} &= t_{a.д.} + \Delta t_0' \cdot \bar{Q}_0^{-0.8} + 0,5\theta' \bar{Q}_0 = \\ &= 18 + 64,5 \bar{Q}_0^{-0.8} + 0,5 \cdot 25 \bar{Q}_0 = \\ &= 18 + 64,5 \bar{Q}_0^{-0.8} + 12,5 \bar{Q}_0.\end{aligned}$$

Записуємо рівняння для визначення температури води в зворотному трубопроводі

$$\begin{aligned}\tau_{02} &= t_{a.д.} + \Delta t_0' \cdot \bar{Q}_0^{-0.8} - 0,5\theta' \bar{Q}_0 = \\ &= 18 + 64,5 \cdot \bar{Q}_0^{-0.8} - 12,5 \cdot \bar{Q}_0.\end{aligned}$$

Приймаючи значення \bar{Q}_0 в діапазоні (0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0), визначаємо за формулами (1.6, 1.7, 1.8) температури $\tau_{01}, \tau_{02}, \tau_{03}$, а також визначаємо температуру зовнішнього повітря, яка відповідає прийнятим значенням \bar{Q}_0 (за формулою 1.3)

$$\begin{aligned}\bar{Q}_0 &= \frac{Q_0}{Q_0'} = \frac{t_{a.д.} - t_i}{t_{a.д.} - t_{i.i.}}. \\ t_i &= t_{a.д.} - (t_{a.д.} - t_{i.i.}) \cdot \bar{Q}_0 = \\ &= 18 - (18 + 21) \cdot \bar{Q}_0 = 18 - 39\bar{Q}_0.\end{aligned}$$

Результати обчислень наведено в таблиці 4.1 і за обчисленими даними будуємо графік температур води в подавальному і зворотному трубопроводах.

Таблиця 4.1 – Залежність температури в подавальному і зворотному трубопроводах системи опалення від температури зовнішнього повітря

\bar{Q}_0	$t_n, ^\circ\text{C}$	$\tau_{02}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{03}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{01}, ^\circ\text{C}$
0	18	18	18	18
0,2	10,2	25,9	29,9	38,3
0,4	2,4	37,5	44	66
0,6	-5,4	48,5	63,5	95
0,8	-13,2	60	80	124
1,0	-21	70	95	150

Графік температур води в подавальному і зворотному трубопроводах наведено на рисунку. 4.1.

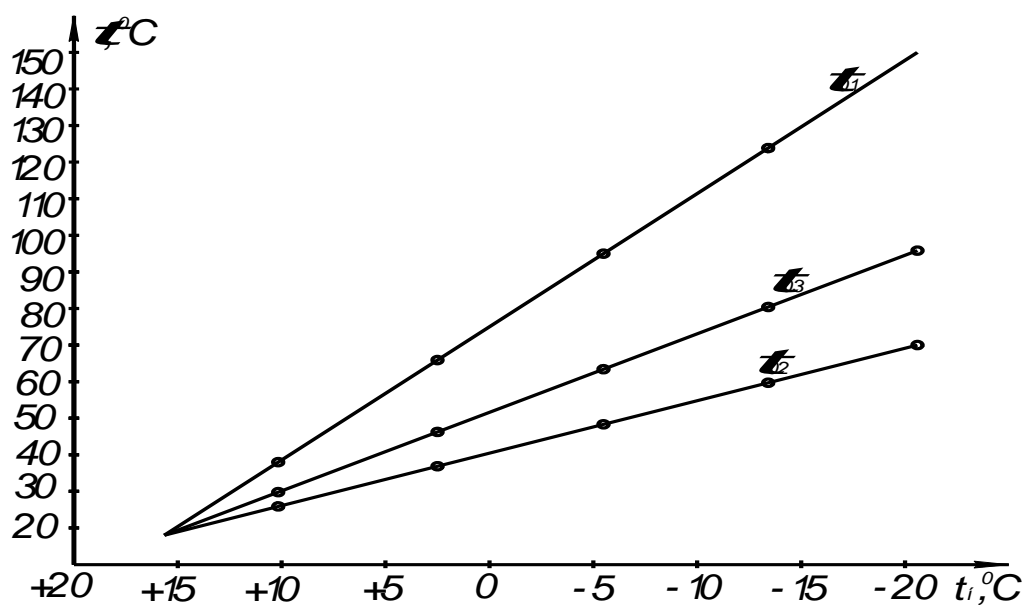


Рисунок 4.1 – Графік температур води в подавальному і зворотному трубопроводах

Вихідні дані

№ варіанта	Температури, °C						Коефіцієнт змішування елеватора U
	розрахунок зовнішнього повітря для системи опалення $t_{н0}$	води в подавальному трубопроводі мережі опалення t_{01}	води в зворотному трубопроводі системи опалення t_{02}	води в подавальному трубопроводі системи опалення t_{03}	поточна зовнішня повітря $t_{н}$	розрахункова всередині приміщення $t_{ар}$	
1	-10	130	68	90	-8	16	1,9
2	-11	135	69	91	-7	17	1,95
3	-12	140	70	92	-9	18	2
4	-13	145	71	93	-11	19	2,05
5	-14	150	72	94	-7	20	2,1
6	-15	130	73	95	-12	21	2,15
7	-16	135	74	90	-10	16	2,2
8	-17	140	75	91	-15	17	1,9
9	-18	145	68	92	-8	18	1,95
10	-19	150	69	93	-12	19	2
11	-20	130	70	94	-13	20	2,05
12	-21	135	71	95	-17	21	2,1
13	-22	140	72	90	-15	16	2,15

№ варіанта	Температури, °С						Коефіцієнт змішування елеватора U
	розрахункова зовнішня повітря для системи опалення $t_{н0}$	води в подавальному трубопроводі мережі опалення t_{01}	води в зворотному трубопроводі системи опалення t_{02}	води в подавальному трубопроводі системи опалення t_{03}	поточна зовнішня повітря $t_{н}$	розрахункова всередині приміщення $t_{ар}$	
14	-23	145	73	91	-8	17	2,2
15	-24	150	74	92	-7	18	1,9
16	-25	130	75	93	-9	19	1,95
17	-26	135	68	94	-11	20	2
18	-27	140	69	95	-7	21	2,05
19	-28	145	70	90	-12	16	2,1
20	-29	150	71	91	-10	17	2,15
21	-30	130	72	92	-15	18	2,2
22	-18	135	73	93	-11	19	1,9
23	-19	140	74	94	-7	20	1,95
24	-20	145	75	95	-12	21	2
25	-21	150	68	90	-10	16	1,9
26	-22	130	69	91	-15	17	1,95
27	-23	135	70	92	-8	18	2
28	-24	140	71	93	-12	19	2,05
29	-25	145	72	94	-13	20	2,1
30	-26	150	73	95	-17	21	2,15

Контрольні питання

1. Три етапи налагодження систем теплопостачання.
2. Теплове навантаження теплообмінного апарата.
3. Відносне теплове навантаження системи опалення.
4. Температури води при якісному регулюванні навантаження системи опалення.
5. Температури води при якісному регулюванні навантаження системи опалення.
6. Відносна втрата води в мережі.

5. Розрахунок тепло надходжень через світлові проїзи

Теплонадходження через заповнення світлових проїм.

Кількість теплоти в Вт, яка надходить в приміщення за рахунок сонячної радіації, визначається за формулою:

$$Q = (q_1 F_{01} + q_2 F_{02}) \beta_{c.n} k_0 + \frac{t_3 - t_6}{R_0} \cdot F_0, \text{ [Вт]}. \quad (5.1)$$

де: F_{01} – площа світлової проїми, яка опромінюється прямою сонячною радіацією, м^2 ;

F_{02} – площа світлової проїми, яка не опромінюється прямою сонячною радіацією, м^2 ;

$\beta_{c.n} = 1$ – коефіцієнт теплопропускання сонцезахисних пристроїв;

$k_0 = 0,9$ – коефіцієнт, який залежить від типу застакнення;

$R_0 = 0,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі заповнень світлових проїм. Подвійне застакнення в дерев'яних спарених плетіннях;

t_3 та t_6 – розрахункова температура зовнішнього та внутрішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$;

$F_0 = F_{01} + F_{02}$ – площа світлової проїми, що визначається за її найменшими розмірами (в світлі), м^2 ;

q_1 , q_2 – відповідно кількість теплоти, яка надходить через одинарне застакнення світлових проїм в Вт/м при прямому та непрямому опроміненні сонячною радіацією:

- для вертикального застакнення:

$$q_1 = (q_{v.p.} + q_{v.n.}) k_1 k_2, \quad (5.2)$$

$$q_2 = q_{v.p.} k_1 k_2, \quad (5.3)$$

де $q_{v.n.}$ – надходження теплоти в Вт/м^2 через одинарне застакнення від прямої радіації;

$q_{v.p.}$ – надходження теплоти в Вт/м^2 через вертикальне застакнення від розсіяної сонячної радіації;

$k_1 = 0,6$ – коефіцієнт, який враховує затемнення проїм віконними рамами (незабруднена атмосфера);

$k_2 = 0,95$ – коефіцієнт, який враховує забрудненість скла;
для горизонтального застакнення світлових проїм:

$$q_1 = (q_{г.n} + q_{г.p}) k_1 k_2; \quad (5.4)$$

- для похилого застакнення світлових проїм з кутом між площиною похилого застакнення і горизонтальною площиною γ , град, при $\alpha_{г} < 90^{\circ}$:

$$q_1 = (q_{г.n} k_3 + q_{v.n} k_4 + q_{г.p}) k_1 k_2; \quad (5.5)$$

при $\alpha_r \geq 90^\circ$ і $\alpha_v > \gamma$:

$$q_1 = (q_{г.п}k_3 - q_{в.п}k_4 + q_{г.р}) k_1 k_2; \quad (5.6)$$

при $\alpha_r \geq 90^\circ$ і $\alpha_v \leq \gamma$ та для горизонтального засклення

$$q_2 = q_{г.р}k_1k_2. \quad (5.7)$$

$q_{г.п}$ і $q_{г.р}$ – надходження теплоти в Вт/м² відповідно від прямої та розсіяної сонячної радіації через одинарне горизонтальне засклення;

k_3 і k_4 – коефіцієнти, що враховують надходження тепла через похиле засклення світлових пройм.

Приклад розрахунку

Термічне відділення:

Орієнтація	$F_{01}, \text{м}^2$	$F_{02}, \text{м}^2$	$F_0, \text{м}^2$	K_0	$g_1, \text{Вт} / \text{м}^2$	$g_2, \text{Вт} / \text{м}^2$
Сх	18	2,7	20,7	0,9	62,13	41,04
Пн	27	4,05	31,05	0,9	33,63	33,63

$$Q^{ex} = (62,13 \cdot 18 + 41,04 \cdot 2,7) \cdot 0,9 \cdot 1 + \frac{25,1 - 25}{0,34} \cdot 20,7 = 1112 (\text{Вт}).$$

$$Q^{in} = (33,63 \cdot 27 + 33,63 \cdot 4,05) \cdot 0,9 \cdot 1 + \frac{25,1 - 25}{0,34} \cdot 31,05 = 949 (\text{Вт}).$$

$$Q_{заг} = 1112 + 949 = 2061 (\text{Вт}).$$

Гальванічне відділення:

Орієнтація	$F_{01}, \text{м}^2$	$F_{02}, \text{м}^2$	$F_0, \text{м}^2$	K_0	$g_1, \text{Вт} / \text{м}^2$	$g_2, \text{Вт} / \text{м}^2$
Зх	18	2,7	20,7	0,9	37,05	37,05
Сх	18	2,7	20,7	0,9	62,13	41,04
Пд	27	4,05	31,05	0,9	212,61	48,45

$$Q^{zx} = (37,05 \cdot 18 + 37,05 \cdot 2,7) \cdot 0,9 \cdot 1 + \frac{25,1 - 22}{0,34} \cdot 20,7 = 879 (\text{Вт}).$$

$$Q^{cx} = (62,13 \cdot 18 + 41,04 \cdot 2,7) \cdot 0,9 \cdot 1 + \frac{25,1 - 22}{0,34} \cdot 20,7 = 1295 (\text{Вт}).$$

$$Q^{no} = (212,61 \cdot 27 + 48,45 \cdot 4,05) \cdot 0,9 \cdot 1 + \frac{25,1 - 22}{0,34} \cdot 31,05 = 5626 (\text{Вт}).$$

$$Q_{заг} = 879 + 1295 + 5626 = 7800 (\text{Вт}).$$

Станочне відділення:

Орієнтація	F_{01}, M^2	F_{02}, M^2	F_0, M^2	K_0	$g_1, Bm/M^2$	$g_2, Bm/M^2$
Пд	36	5,4	41,4	0,9	212,61	48,45
Пн	36	5,4	41,4	0,9	33,63	33,63
Зх	18	2,7	20,7	0,9	37,05	37,05

$$Q^{no} = (212,61 \cdot 36 + 48,45 \cdot 5,4) \cdot 0,9 \cdot 1 + \frac{25,1 - 22}{0,34} \cdot 41,4 = 7502 (Bm).$$

$$Q^{nn} = (33,63 \cdot 36 + 33,63 \cdot 5,4) \cdot 0,9 \cdot 1 + \frac{25,1 - 22}{0,34} \cdot 41,4 = 1631 (Bm).$$

$$Q^{zx} = (37,05 \cdot 18 + 37,05 \cdot 2,7) \cdot 0,9 \cdot 1 + \frac{25,1 - 22}{0,34} \cdot 20,7 = 879 (Bm).$$

$$Q_{заг} = 7502 + 1631 + 879 = 10012 (Bm).$$

Варіанти завдань

Варіант	F_{01}, M^2	F_{02}, M^2	Географічна широта	Варіант	F_{01}, M^2	F_{02}, M^2	Географічна широта
1	5	2	28	11	15	5	68
2	6	2,3	32	12	16	5,3	72
3	7	2,6	36	13	17	5,6	76
4	8	2,9	40	14	18	5,9	80
5	9	3,2	44	15	19	6,2	84
6	10	3,5	48	16	20	6,5	88
7	11	3,8	52	17	21	6,8	92
8	12	4,1	56	18	22	7,1	96
9	13	4,4	60	19	23	7,4	100
10	14	4,7	64	20	24	7,7	104

Контрольні питання

1. Як визначають кількість теплоти, яка надходить через одинарне застелення світлових проїм при прямому та непрямому опроміненні сонячною радіацією?
2. Які основні коефіцієнти ми враховуємо при знаходженні теплонадходжень та на що вони впливають?
3. Який алгоритм знаходження теплонадходжень крізь світлові прорізи?

6. Розрахунок тепло надходжень через перекриття

Кількість теплоти, яка надходить в приміщення через стелю за рахунок сонячної радіації визначається таким чином:

$$Q_{\text{нок}} = \left[\frac{1}{R_0} (t_z + R_z \rho I_{\text{сеп}} - t_e) + \beta \cdot k \frac{A_{\text{тв}}}{R_e} \right] \cdot F, \quad (6.1)$$

де R_0 - опір теплопередачі покриття будівлі:

$$R_0 = R_H + R_K + R_B = 0,057 + 2,1 + 0,115 = 2,272 \text{ (м}^2 \text{ К/Вт)}. \quad (6.2)$$

де R_B - опір теплосприйняття між внутрішнім повітрям та поверхнею перекриття;

Значення R_B для перекриття з гладкою поверхнею - 0,115 м² К/Вт.

R_H - термічний опір між зовнішнім повітрям та поверхнею перекриття.

Значення R_H для зимових умов згідно таблиці 3, для літніх:

$$R_H = \frac{0,172}{1 + 2\sqrt{V}} = \frac{0,172}{1 + 2\sqrt{1}} = 0,057 \text{ (м}^2 \cdot \text{К / Вт)}, \quad (6.3)$$

V – швидкість вітру за додатком 8 [1].

Якщо $V < 1$ м/с, в формулу підставляємо значення $V = 1$ м/с.

R_K – термічний опір огорожуючої конструкції відповідає нормативному,

$$R_K = 1,1 \text{ м}^2 \text{ К/Вт.}$$

$\rho = 0,65$ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації;

$I_{\text{ср}}$ – середньодобова сумарна сонячна радіація, Вт/м², для 52°, $I_{\text{ср}} = 329$ Вт/м²; коефіцієнт $k = 1$.

$\beta = 1$ – коефіцієнт для визначення величин теплового потоку, що гармонічно змінюються, в різні години доби;

$A_{\text{тв}}$ – амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні огорожень, °C:

$$A_{\text{тв}} = \frac{1}{\nu} [0,5 \cdot A_{\text{тн}} + R_H \cdot \rho (I_{\text{max}} - I_{\text{ср}})] \quad [^\circ\text{C}], \quad (6.4)$$

де $A_{\text{тн}}$ – максимальна амплітуда коливань температури зовнішнього повітря;

I_{max} та $I_{\text{ср}}$ – відповідно максимальне та середнє значення сумарного сонячного випромінювання;

ν – затухання амплітуди коливань температури зовнішнього повітря.

$$\nu = \frac{R_0}{R_e}, \quad (6.5)$$

Приклад виконання

$$A_{\tau\theta} = \frac{1}{2,272} [0,5 \cdot 11,6 + 0,057 \cdot 0,65(851 - 329)] = 1,27(^{\circ}C).$$

$$0,115$$

Термічне відділення:

$$Q_{\text{нок}} = \left[\frac{1}{2,272} (25,1 + 0,043 \cdot 0,65 \cdot 329 - 25) + 1 \cdot 1 \cdot \frac{1,27}{0,115} \right] \cdot 216 = 3270(\text{Вт}).$$

Гальванічне відділення:

$$Q_{\text{нок}} = \left[\frac{1}{2,272} (25,1 + 0,043 \cdot 0,65 \cdot 329 - 22) + 1 \cdot 1 \cdot \frac{1,27}{0,115} \right] \cdot 216 = 3554(\text{Вт}).$$

Станочне відділення:

$$Q_{\text{нок}} = \left[\frac{1}{2,272} (25,1 + 0,043 \cdot 0,65 \cdot 329 - 22) + 1 \cdot 1 \cdot \frac{1,27}{0,115} \right] \cdot 288 = 4739(\text{Вт}).$$

Варіанти завдань

Варіант	ρ	$R_0,$ м ² К/Вт	Географічна широта	Варіант	ρ	$R_0,$ м ² К/Вт	Географічна широта
1	0,5	2,1	28	11	0,3	3,1	68
2	0,65	2,2	32	12	0,8	3,2	72
3	0,9	2,3	36	13	0,45	3,3	76
4	0,7	2,4	40	14	0,6	3,4	80
5	0,6	2,5	44	15	0,9	3,5	84
6	0,65	2,6	48	16	0,45	3,6	88
7	0,7	2,7	52	17	0,8	3,7	92
8	0,6	2,8	56	18	0,6	3,8	96
9	0,45	2,9	60	19	0,65	3,9	100
10	0,7	3	64	20	0,7	4	104

Контрольні питання

1. Яка основна мета розрахунку?
2. Алгоритм розрахунку теплонадходжень через перекриття.
3. Для чого нам потрібна амплітуда коливань температури зовнішнього повітря?

7. Розрахунок необхідної кількості повітря для зонтів

Теплонадходження з горизонтальної поверхні печі:

$$Q_{\Gamma} = 1,3 \cdot n \cdot F_{\Gamma} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{вн}})^{4/3}; \quad (7.1)$$

Теплонадходження з вертикальної поверхні:

$$Q_{\text{В}} = n \cdot F_{\text{В}} \cdot (t_{\text{п}} - t_{\text{вн}})^{4/3}; \quad (7.2)$$

Визначення розмірів приймального отвору зонта:

$$d_{\text{екв}} = 1,13 \sqrt{a \cdot \epsilon} \text{ (м) - еквівалентний діаметр.}$$

$a/v \leq 2$, тоді [1]:

$$\Delta = 2,14 (v_{\epsilon} / v_{\ell})^2 \cdot \ell^2 / d; \quad (7.3)$$

де v_{ℓ} - осьова швидкість на рівні всмоктування;

$$v_{\ell} = 0,068 \cdot (Q \cdot \ell / d^2)^{1/3}, \text{ (м/с)}, \quad (7.4)$$

v_{ϵ} - швидкість руху повітря в приміщенні.

Витрата повітря для відсмоктування від джерела:

$$L_0 = 945 \cdot d^2 \cdot v_{\ell}, \text{ (м}^3\text{/год)}. \quad (7.5)$$

Приклад виконання

$F_{\Gamma} = 2 \cdot 4 = 8 \text{ (м}^2\text{)}$ – площа горизонтальної поверхні печі;

$t_{\text{вн}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ – внутрішня температура повітря;

$n = 1,61$ (при $t_{\text{п}} = 70^{\circ}\text{C}$).

$$Q_{\Gamma} = 1,3 \cdot 1,61 \cdot 8 \cdot (70 - 25)^{4/3} = 2680 \text{ (Вт)}.$$

$F_{\text{В}} = 2 \cdot 1,5 \cdot 2 + 4 \cdot 2 \cdot 1,5 = 18 \text{ (м}^2\text{)}$ – площа вертикальної поверхні печі;

$n = 1,61$ (при $t_{\text{п}} = 70^{\circ}\text{C}$).

$$Q_{\text{В}} = 1,61 \cdot 18 \cdot (70 - 25)^{4/3} = 4638 \text{ (Вт)}.$$

В термічному відділенні за завданням знаходиться 3 печі розміром 2x4 м і висотою 1,5 м, температура зовнішніх поверхнею печей – 70°C

Тепловиділення від однієї печі, Вт:

$$Q_{\text{печ}} = Q_{\text{В}} + Q_{\Gamma} = 2680 + 4638 = 7318 \text{ (Вт)}.$$

Визначення розмірів приймального отвору зонта:

$$d_{\text{екв}} = 1,13 \sqrt{4 \cdot 2} = 3,2 \text{ (м) - еквівалентний діаметр.}$$

$a/v \leq 2$, тоді [1]:

$$v_{\ell} = 0,068 \cdot (7318 \cdot 0,8 / 3,2^2)^{1/3} = 0,83 \text{ (м/с)},$$

v_e - швидкість руху повітря в приміщенні, $v_e = 0,5 \text{ м/с}$.

$$\Delta = 2,14(0,5/0,83)^2 \cdot 0,8^2 / 3,2 = 0,16 \text{ (м)}.$$

Тоді розміри зонта:

$$A = a + 2\Delta = 4 + 2 \cdot 0,16 = 4,32 \text{ (м)}. \quad (7.6)$$

$$B = b + 2\Delta = 2 + 2 \cdot 0,16 = 2,32 \text{ (м)}. \quad (7.7)$$

Витрата повітря для відсмоктування від джерела:

$$L_0 = 945 \cdot 3,2^2 \cdot 0,83 = 8032 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

Коефіцієнт, що враховує вплив руху повітря в приміщенні:

$$k_e = \left(1 + 2\Delta/d\right)^2 = \left(1 + 2 \cdot 0,16/3,2\right)^2 = 1,21. \quad (7.8)$$

$$L_{\text{від}} = L_0 \cdot k_e = 8032 \cdot 1,21 = 9719 \text{ (м}^3\text{/год)}. \quad (7.9)$$

Варіанти завдань

Варіант	$F_{\Gamma}, \text{ м}^2$	$F_{\text{В}}, \text{ м}^2$	$t_{\text{п}}, \text{ }^\circ\text{C}$	Варіант	$F_{\Gamma}, \text{ м}^2$	$F_{\text{В}}, \text{ м}^2$	$t_{\text{п}}, \text{ }^\circ\text{C}$
1	2	1,5	30	11	3	2,5	50
2	2,1	1,6	32	12	3,1	2,6	52
3	2,2	1,7	34	13	3,2	2,7	54
4	2,3	1,8	36	14	3,3	2,8	56
5	2,4	1,9	38	15	3,4	2,9	58
6	2,5	2	40	16	3,5	3	60
7	2,6	2,1	42	17	3,6	3,1	62
8	2,7	2,2	44	18	3,7	3,2	64
9	2,8	2,3	46	19	3,8	3,3	66
10	2,9	2,4	48	20	3,9	3,4	68

Контрольні питання

1. Як знаходять розміри отвору приймального зонта?
2. Яка основна мета розрахунку зонта?
3. Формула знаходження витрати повітря для відсмоктування від джерела тепла?
4. Як знаходять тепло надходження від поверхонь печі?

8. Розрахунок бортових відсмоків

Формула визначення кількості повітря, що відсмоктується:

$$L_{\text{выд}} = 1400 \left(0,53 \cdot \epsilon_p \cdot \ell / (\epsilon_p + \ell) + h_p \right)^{\frac{1}{3}} + (1 + 0,16 \cdot \Delta t) \epsilon_p \cdot \ell \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_T; \quad (8.1)$$

ϵ_p - розрахункова ширина ванни, для неопрокинутих $\epsilon_p = \epsilon = 1$ м;

ℓ - довжина ванни, $\ell = 3$ м;

h_p - розрахункове заглиблення дзеркала глибини, $h_p = 0,45$ м;

Δt - різниця між температурою поверхні рідини і температурою повітря в приміщенні, $\Delta t = 0^\circ\text{C}$;

$K_1 = 1$ - для двобортового відсмокту;

K_2 - коефіцієнт, що враховує наявність повітряного перемішування рідини, $K_2 = 1,2$;

K_3 - коефіцієнт, що враховує накриття дзеркала рідини плаваючим тілом, $K_3 = 0,75$ - плаваючих тіл немає;

K_4 - коефіцієнт, що враховує покриття дзеркала рідини пінним шаром, $K_4 = 0,5$ - півки немає ;

K_T - коефіцієнт токсичності, $K_T = 1,6$.

Приклад виконання

Кількість повітря, що відсмоктується:

$$\begin{aligned} L_{\text{выд}} &= 1400 \left(0,53 \cdot 1 \cdot 3 / (1 + 3) + 0,45 \right)^{\frac{1}{3}} + (1 + 0,16 \cdot 0) \cdot 1 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,75 \cdot 0,5 \cdot 1,6 = \\ &= 1325 \quad (\text{м}^3 / \text{год}). \end{aligned}$$

Аеродинамічний розрахунок повітропроводів в гальванічному цеху наведений в таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Місцева система вентиляції гальванічного цеху (рисунок 8.1)

№ ділянки	L, м ³ /год	L, м	Доп. швид. V, м/с	Орієн- товна F, м ²	Розміри повітроводу, мм a:b		Прий- нята F", м ²	d _{екв.} мм	Факти- чні швид- кості V', м/с	Втрати тиску на тертя на ділянках, Па			Сума місц. опор.	P _д , Па	Z, Па	Втр. на діл. Па
										Re	λ	R, Па				
Розрахунок головної магістралі																
1	1154	2	5	0,064111	300	400	0,06	0,323	5,342593	11504,38	0,033887	3,593501	1,5	17,12598	25,68897	29,28247
2	2308	7	6	0,106852	300	500	0,1	0,4	6,411111	17096,3	0,031206	13,4679	2,5	24,66141	61,65352	75,12142
3	4616	8	8	0,160278	400	500	0,16	0,44	8,013889	23507,41	0,02949	20,66068	4	38,53345	154,1338	174,7945
4	1154	2	5	0,064111	300	400	0,06	0,323	5,342593	11504,38	0,033887	3,593501	1,5	17,12598	25,68897	29,28247
5	2308	7	6	0,106852	300	500	0,1	0,4	6,411111	17096,3	0,031206	13,4679	2,5	24,66141	61,65352	75,12142
6	1154	2	5	0,064111	300	400	0,06	0,323	5,342593	11504,38	0,033887	3,593501	1,5	17,12598	25,68897	29,28247
7	1154	2	5	0,064111	300	400	0,06	0,323	5,342593	11504,38	0,033887	3,593501	1,5	17,12598	25,68897	29,28247

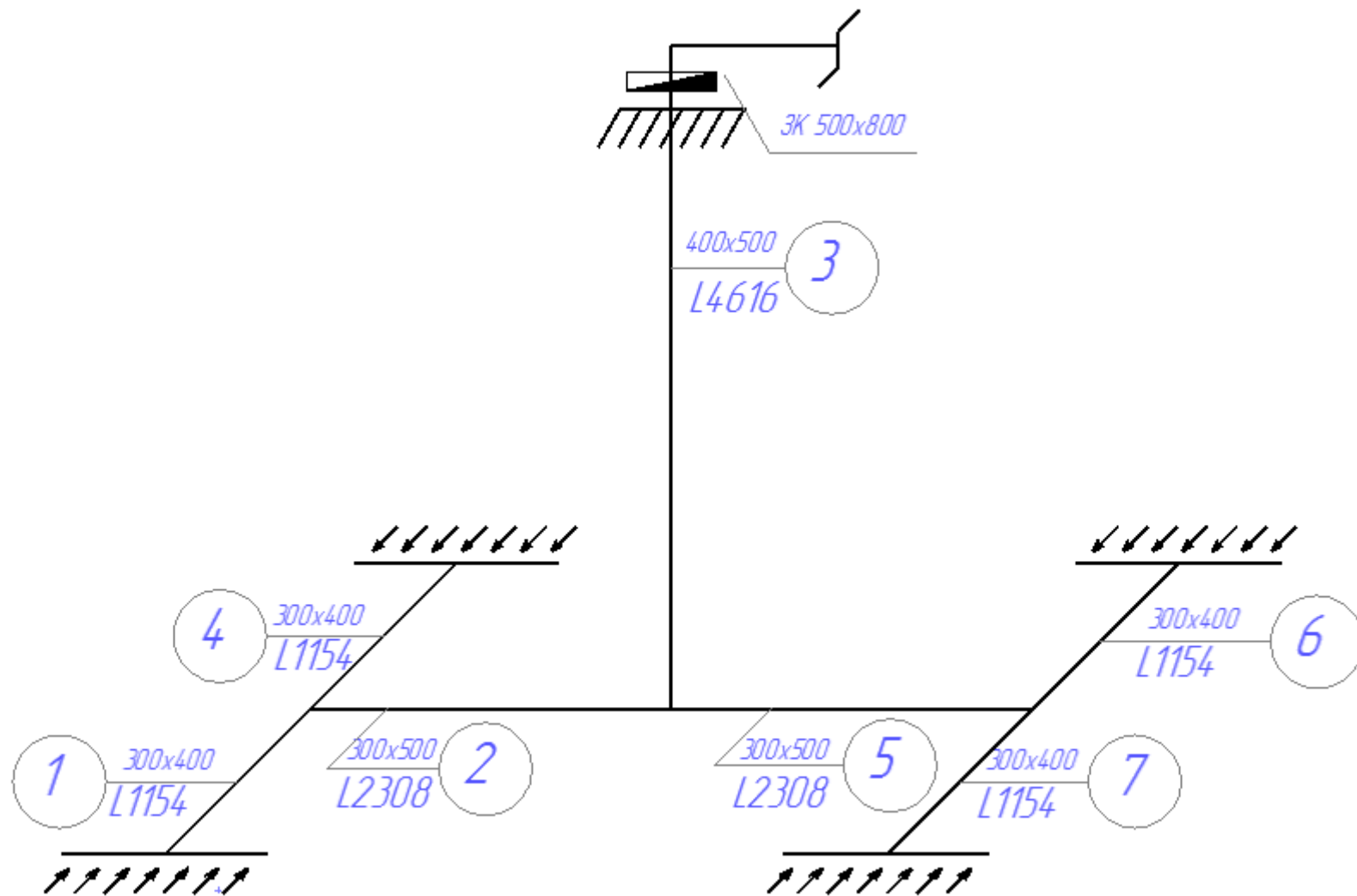


Рисунок 8.1 – Аксонометрична схема місцевої вентиляції гальванічного цеху

Варіанти завдань

№	Хімічний процес	b, м ²	l, м ²
1	Електрохімічна обробка металів в розчинах хромової кислоти з концентрацією $c=150$ г/л, при силі струму $I=1300$ А.	1	2
2	Електрохімічна обробка металів в розчинах хромової кислоти з концентрацією $c=200$ г/л, при силі струму $I=1200$ А.	1,1	2,1
3	Хімічна обробка металів в розчинах хромової кислоти при температурі процесу 45 °С.	1,2	2,2
4	Полірування алюмінію в розчинах лугу при температурі процесу 950 °С.	1,3	2,3
5	Промивання в гарячій воді.	1,4	2,4
6	Нанесення цинку в ціаністих розчинах.	1,5	2,5
7	Електрохімічна обробка алюмінію в розчині фтороводневої кислоти.	1,6	2,6
8	Електрохімічна обробка сталі в розчині фтороводневої кислоти.	1,7	2,7
9	Електрополірування міді в розчині фосфорної кислоти.	1,8	2,8
10	Оксидування міді в розчині лугу.	1,9	2,9
11	Зняття хрому в розчині лугу.	2	3
12	Нікелювання в хлористих розчинах при густині струму 4 А/дм ² .	2,1	3,1
13	Нанесення цинку в ціаністих розчинах.	2,2	3,2
14	Нанесення срібла в ціаністих розчинах.	2,3	3,3
15	Кадмування в ціаністих розчинах.	2,4	3,4
16	Електрохімічна обробка алюмінію в розчині фтороводневої кислоти.	2,5	3,5
17	Електрохімічна обробка сталі в розчині фтороводневої кислоти.	2,6	3,6
18	Електрополірування сталі в розчині фосфорної кислоти.	2,7	3,7
19	Електрополірування металів в розчині сірчаної кислоти.	2,8	3,8
20	Анодування металів в розчині сірчаної кислоти.	2,9	3,9

Контрольні питання

1. Яка основна мета розрахунку місцевих відсмоків?
2. Які коефіцієнти впливають на необхідну продуктивність системи?

3. Послідовність аеродинамічного розрахунку місцевої системи вентиляції.

9. Розрахунок необхідної витрати повітря для вентиляційних решіток

На приточних каналах загальнообмінної вентиляції встановлюємо решітки типу РР, які мають регульовані жалюзі для направлення повітря вгору або вниз при горизонтальному підведенні повітря до решітки, чи в сторони при підведенні повітря по вертикальним каналам.

Визначаємо кількість решіток:

$$n = \frac{L_{np}}{F_o \cdot V_0} \quad (9.1)$$

Робимо перевірку решіток на дальnobійність:

$$\text{Якщо, } \frac{X_n}{\sqrt{F_0}} \leq m; \quad (9.2)$$

а) якщо постійні робочі місця чи місця постійного перебування людей знаходиться в межах прямої дії струмини:

$$\text{то } v_x = v_{\text{норм}}; \quad (9.3)$$

$$t_x = t_{\text{норм}}; \quad (9.4)$$

б) якщо постійні робочі місця чи місця постійного перебування людей знаходиться поза прямої дії струмини:

$$\text{то } v_x = 2 \cdot v_{\text{норм}}; \quad (9.5)$$

$$t_{CP} = 2 \cdot t_{\text{норм}}; \quad (9.6)$$

$$\text{Якщо, } \frac{X_n}{\sqrt{F_0}} \geq m; \quad (9.7)$$

$$\text{то } v_x = \frac{m \cdot K_B \cdot \sqrt{F_0}}{X_n}, \quad (9.8)$$

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot K_B \cdot \sqrt{F_0}}{X_n}; \quad (9.9)$$

де X_n – відстань від місця виходу струмини до постійного робочого місця, м;

F_0 – площа одної решітки м²;

v_x – максимальна швидкість руху повітря в робочій зоні м/с;

$v_{норм}$ – нормована швидкість руху повітря в робочій зоні м/с, відповідно до СНиП II – 33 -75;

t_x – максимальна температура повітря в робочій зоні °С;

$t_{норм}$ – нормована температура повітря в робочій зоні °С, відповідно до СНиП II – 33 -75;

m, n – коефіцієнти затухання ненастилаючихся струмин;

K_B – поправочний коефіцієнт, що враховує взаємодію декількох однакових струмин.

Кількість повітря, що проходить через одну решітку:

$$L_{реш} = \frac{L_{np}}{n}, (м^3 / год).$$

Крок розташування решіток:

$$N = \frac{l}{n}, (м).$$

де l – довжина повітророзподільного каналу, м.

Приклад виконання

Гальванічне відділення:

$$L_{np} = 11854 [м^3 / год] = 3,3 [м^3 / с].$$

РР – 4: $a : b = 200 : 400$; $F_o = 0,064 [м^2]$; $V_o = 2-5 [м/с]$;

Розв'язання:

Визначаємо кількість решіток:

$$n = \frac{3,3}{0,064 \cdot 4} = 12,9 \approx 13 \text{ (шт.)}$$

Робимо перевірку решіток на дальnobійність :

$$\frac{3}{\sqrt{0,064}} \geq 4,5;$$

$$v_x = \frac{4,5 \cdot 1 \cdot \sqrt{0,064}}{3} = 0,38 \text{ (м/с)}.$$

Кількість повітря, що проходить через одну решітку:

$$L_{реш} = \frac{11854}{13} = 911,9 (м^3 / год).$$

Крок розташування решіток:

$$N = \frac{16}{13} = 1,23(м).$$

де l – довжина повітродозподільного каналу, м.

Термічне відділення:

$$L_{np} = 35410 \text{ [м}^3\text{/год]} = 9,84 \text{ [м}^3\text{/с]};$$

$$\text{ВСП} - 1; a : b = 500 : 500 \quad F_o = 0,25 \text{ [м}^2\text{]}; \quad V_o = 4-12 \text{ [м/с]};$$

Визначаємо кількість решіток:

$$n = \frac{L_{np}}{F_o \cdot V_o} = \frac{9,84}{0,25 \cdot 5} = 7,87 \approx 8 \text{ (шт.)}$$

Робимо перевірку решіток на дальнобійність :

$$\frac{1,5}{\sqrt{0,25}} \leq 6,3;$$

$$v_x = v_{норм.} = 0,3 \text{ м/с.}$$

Кількість повітря, що проходить через одну решітку:

$$L_{реш} = \frac{L_{np}}{n} = \frac{35410}{8} = 4426,3 \text{ (м}^3\text{/год)}.$$

Крок розташування решіток:

$$N = \frac{l}{n} = \frac{16}{8} = 2(м).$$

Станочне відділення:

$$L_{np} = 15517 \text{ [м}^3\text{/год]} = 4,31 \text{ [м}^3\text{/с]};$$

$$\text{РР} - 4; a : b = 200 : 400 \quad F_o = 0,064 \text{ [м}^2\text{]}; \quad V_o = 2-5 \text{ [м/с]};$$

Визначаю кількість решіток:

$$n = \frac{L_{np}}{F_o \cdot V_o} = \frac{4,31}{0,064 \cdot 4} = 16,8 = 17 \text{ (шт.)}$$

Робимо перевірку решіток на дальнобійність :

$$\frac{1}{\sqrt{0,064}} \leq 4,5;$$

$$v_x = v_{\text{норм.}} = 0,3 \text{ м/с.}$$

Кількість повітря, що проходить через одну решітку:

$$L_{\text{реш}} = \frac{L_{\text{нр}}}{n} = \frac{15517}{17} = 912,76 (\text{м}^3 / \text{год}).$$

Крок розташування решіток:

$$N = \frac{l}{n} = \frac{22}{17} = 1,29 (\text{м}).$$

Варіанти завдань

Вихідні дані для розрахунку термічного і гальванічного цеху беремо з попередніх практичних занять. Продуктивність системи для станочного цеху – в залежності від обладнання (номер станка за номером варіанту).

Контрольні питання

1. Яка основна мета розрахунку?
2. Як знаходять необхідну кількість решіток для системи вентиляції?
3. Умова перевірки решіток на дальnobійність.

10. Аеродинамічний розрахунок систем вентиляції

Розрахунок повітропроводів складається з 2-х етапів:

1. Розрахунок ділянок основного (магістрального) напрямку вентиляційної системи, який характеризується найбільшою довжиною та завантаженістю.

2. Ув'язка відгалужень вентиляційної системи.

Перший етап проводиться у такій послідовності:

1) розбивають систему на окремі ділянки і визначають витрати повітря на кожній ділянці. Значення витрат повітря та довжини кожної ділянки наносять на аксонометричну схему.

2) Визначаємо площу поперечного перерізу ділянок повітропроводу:

$$F_p = \frac{L_p}{V}, [\text{м}^2], \quad (10.1)$$

де L_p - розрахункова витрата повітря на ділянці, $[\text{м}^3/\text{с}]$,

V - рекомендована швидкість руху повітря на ділянках, $[\text{м}/\text{с}]$.

За отриманими значеннями F_p підбирають стандартні розміри повітропроводу.

3) Визначаємо фактичну швидкість руху повітря на ділянках:

$$V_i = \frac{L_p^i}{F_p^i} [\text{м}/\text{с}], \quad (10.2)$$

4) Визначаємо витрати тиску на тертя на ділянках.

5) Визначаємо втрати тиску на місцевих опорах:

$$P_{MO} = \sum \xi P_q [\text{Па}], \quad (10.3)$$

$\sum \xi$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів.

6) Визначаємо загальні втрати тиску на ділянках та у вентиляційній системі:

$$P_c = \sum_{i=1}^n P^i + \sum_{j=1}^m P_{об}^j [\text{Па}], \quad (10.4)$$

P_i - втрати тиску на ділянках:

$$P_i = P_{TPi} + P_{MOi} \text{ [Па] ,} \quad (10.5)$$

n - кількість ділянок;

$P_{об}$ - втрати тиску на обладнанні (фільтр, клапан...);

m – кількість обладнання.

7) За значенням тиску і продуктивності підбирають вентилятор та двигун.

Другий етап: ув'язка відгалужень.

Втрата тиску від точки розгалуження до кінця розгалуження повинна дорівнювати втратам тиску від цієї ж точки до кінця магістрального напрямку.

Підбирають площу поперечного перерізу відгалуження повітропроводу, а при необхідності встановлюють, діафрагму ($\sum \xi$ діафрагми приймають по таблиці 4.56 [1]).

Нев'язка не повинна перевищувати 15%:

$$\frac{P_{від} - P_{маг}}{P_{маг}} \cdot 100\% < 15\% . \quad (10.6)$$

Результати аеродинамічного розрахунку заносяться в зведену таблицю 9.1.

Варіанти завдань

Вихідні дані для розрахунку беремо з попереднього практичного заняття.

Контрольні питання

1. Яка основна мета аеродинамічного розрахунку?
2. Послідовність розрахунку?
3. За якою формулою знаходять втрати тиску на тертя?
4. Яким чином виконують ув'язку відгалужень?

Приклад виконання

Таблиця 10.1 – Припливна система вентиляції (рисунок 10.1)

№ ділянки	L, м³/год	l, м	Доп. швид. V, м/с	Орієн- товна F, м²	Розміри повітроводу , мм a:b		Прий- нята F", м²	d _{екв.} , мм	Фактичні швидкості V, м/с	Втрати тиску на тертя на ділянках, Па			Сума місцевих опорів	P _д , Па	Z, Па	Втр. на діл. Па
										Re	λ	R, Па				
Розрахунок головної магістралі																
1	855	3,47	5	0,0475	200	500	0,05	0,28	4,75	8866,667	0,035817	6,00896	1,5	13,5375	20,3062	26,3152
2	1710	3,3	5	0,095	300	500	0,1	0,375	4,75	11875	0,033294	3,96636	1,5	13,5375	20,3062	24,2726
3	2565	0,5	6	0,11875	300	500	0,12	0,375	5,9375	14843,75	0,032095	0,90519	1,5	21,1523	31,7285	32,6337
4	4275	6,3	7	0,169643	400	500	0,17	0,44	6,985294	20490,2	0,03008	12,6090	2,5	29,2766	73,1915	85,8005
5	9405	3,2	9	0,290278	500	800	0,3	0,615	8,708333	35704,17	0,026813	6,34818	4	45,5010	182,004	188,352
6	855	3,47	5	0,0475	200	500	0,05	0,28	4,75	8866,667	0,035817	6,00896	1,5	13,5375	20,3062	26,3152
7	1710	3,47	5	0,095	300	500	0,1	0,375	4,75	11875	0,033294	4,17069	1,5	13,5375	20,3062	24,4769
8	855	2,79	5	0,0475	200	500	0,05	0,28	4,75	8866,667	0,035817	4,83141	1,5	13,5375	20,3062	25,1376
9	1710	2,79	5	0,095	300	500	0,1	0,375	4,75	11875	0,033294	3,35338	1,5	13,5375	20,3062	23,6596
10	2565	1,48	6	0,11875	300	500	0,12	0,375	5,9375	14843,75	0,032095	2,67936	1,5	21,1523	31,7285	34,4078
11	5310	6,3	7	0,210714	400	500	0,2	0,44	7,375	21633,33	0,029841	13,9436	2,5	32,6343	81,5859	95,5295
12	855	2,79	5	0,0475	200	500	0,05	0,28	4,75	8866,667	0,035817	4,83149	1,5	13,5375	20,3062	25,1376
13	1710	2,79	5	0,095	300	500	0,1	0,375	4,75	11875	0,033294	3,35338	1,5	13,5375	20,3062	23,6596
14	2565	1,32	6	0,11875	300	300	0,12	0,375	5,9375	14843,75	0,032095	2,38970	2,5	21,1523	52,8806	55,2705

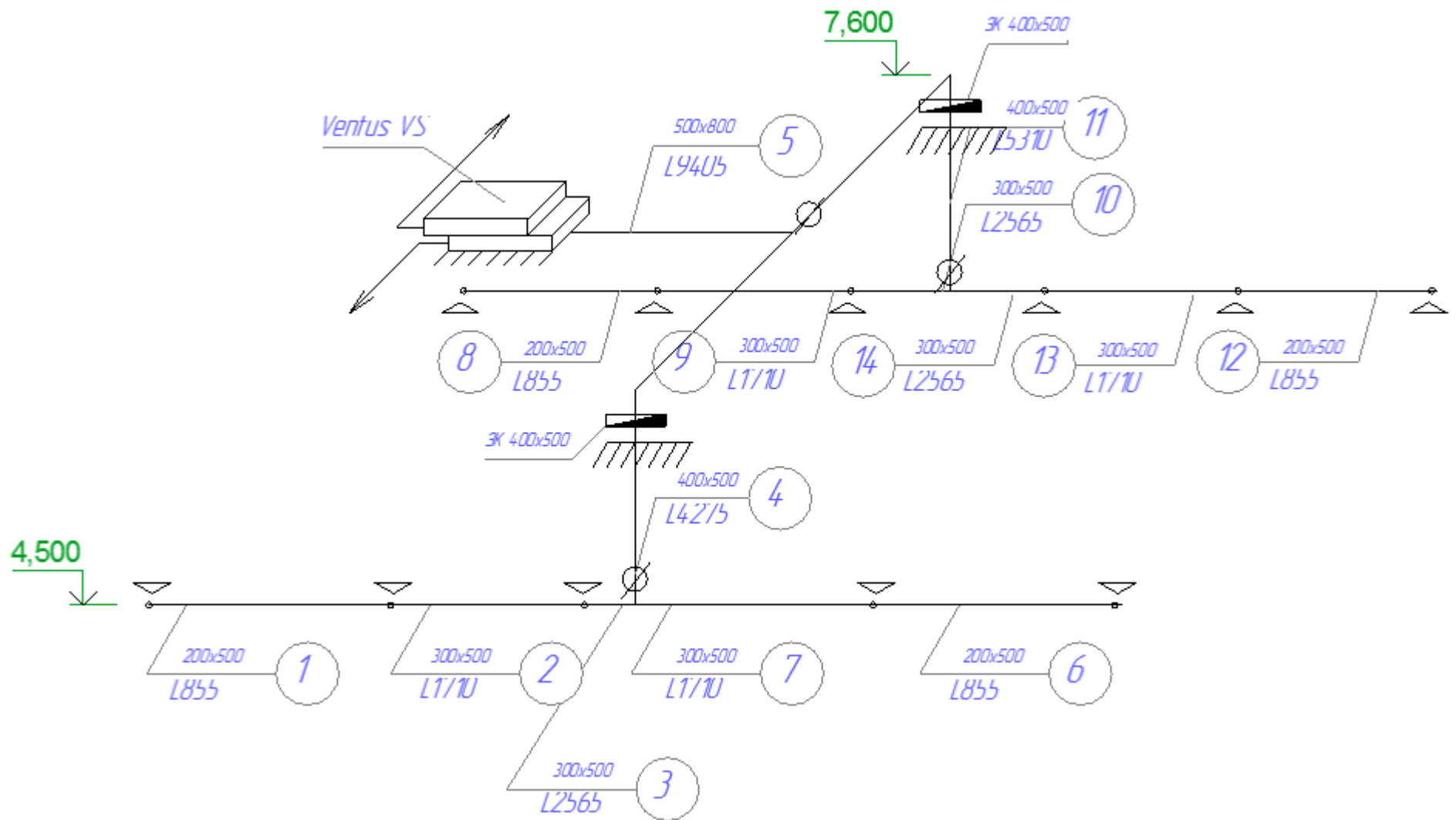


Рисунок 10.1 – Аксонометрична схема припливної системи вентиляції

11. Акустичний розрахунок систем вентиляції

Розрахуємо рівень шуму, що надходить до приміщення гальванічного відділення від вентилятора, який під'єднаний до системи бортових відсмоків. В наведенні характеристики допустимого шуму для систем вентиляції, для гальванічного відділення $A=80$ дБ. Для визначення загальних октавних рівнів звукової потужності вентилятора для сторони нагнітання розраховують

$$Lp_{обц} = \tilde{L} + 20 \lg H + 10 \lg Q + \delta [10^{-12} \text{ Вт}], \quad (11.1)$$

де \tilde{L} - критерій шумності, дБ;

H - повний тиск, що створює вентилятор, Па;

Q – об'ємна витрата вентилятора, м³/с;

δ - поправка на режим роботи вентилятора, дБ.

Октавний рівень звукової потужності шуму вентилятора, що випромінюється вихідним патрубком розраховується:

$$Lp_{окт} = Lp_{обц} - \Delta L_1 + \Delta L_2 [\text{дБ}], \quad (11.2)$$

де ΔL_1 - поправка що враховує розподілення звукової потужності вентилятора по октавним полосам, дБ і приймається в залежності від типа вентилятора і частоти обертання;

ΔL_2 - поправка, що враховує акустичний вплив приєднання повітровода до вентилятора, дБ.

Октавні рівні звукового тиску, що створюються в розрахунковій точці визначається:

$$L = Lp_{окт} + 10 \lg(\Phi / 4\pi r^2 + 4 / B_w) [\text{дБ}], \quad (11.3)$$

де Φ – фактор направленості випромінення джерела шуму;

r – відстань від геометричного центра шуму до робочої зони, м.

B_w – постійна приміщення,

$$B_w = S \cdot \tilde{a} / (1 - \tilde{a}).$$

де S – загальна площа стелі, пола, стін, м²;

\tilde{a} - середній коефіцієнт звукопоглинання всіх поверхонь.

Приклад виконання

Розрахуємо рівень шуму, що надходить до приміщення гальванічного відділення від вентилятора:

$$Lp_{\text{обц}} = 38 + 20 \lg 333 + 10 \lg(4885) + 2 = 127 \text{ (10}^{-12} \text{ Вт)},$$

Октавний рівень звукової потужності шуму вентилятора, що випромінюється вихідним патрубком:

$$Lp_{\text{окт}} = 127 - 9 + 0 = 116 \text{ (дБ)}.$$

Постійна приміщення:

$$B_{\text{ш}} = S \cdot \tilde{a} / (1 - \tilde{a}) = 216 \cdot 0,1 / (1 - 0,1) = 24,$$

Октавні рівні звукового тиску, що створюються в розрахунковій точці:

$$L = 116 + 10 \lg(20 / 4\pi 2,9^2 + 4 / 24) = 112 \text{ (дБ)}.$$

Даний рівень шуму перевищує нормативний тому необхідно прийняти заходи для пониження рівня шуму, що надходить від вентилятора.

Варіанти завдань

Варіант	H, Па	Q, м ³ /год	Варіант	H, Па	Q, м ³ /год
1	500	2000	11	1500	7000
2	600	2500	12	550	7500
3	700	3000	13	650	8000
4	800	3500	14	750	8500
5	900	4000	15	850	9000
6	1000	4500	16	950	9500
7	1100	5000	17	1050	10000
8	1200	5500	18	1150	10500
9	1300	6000	19	1250	11000
10	1400	6500	20	1350	11500

Контрольні питання

1. Яка мета акустичного розрахунку системи вентиляції?
2. Як визначають Октавний рівень звукової потужності шуму вентилятора?
3. Послідовність розрахунку.

Література

1. Беляев В.С., Хохлова Л.П. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий. Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высш. школа, 1991. – 255 с.: ил.
2. Ратушняк Г.С., Попова Г.С. Експлуатація систем теплопостачання та вентиляції. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 122 с.
3. Ратушняк Г.С., Попова Г.С. Енергозбереження та есплуатація систем теплопостачання та вентиляції. – Вінниця: ВНТУ, 2004. – 122 с.
4. СНИП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». – К.: Украинский научно-исследовательский и проектный институт по гражданскому строительству: 2001. – 44 с.
5. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Справочное пособие /Л.Д. Богуславський, В.И. Мевчек. Под ред. Л.Д. Богуславського. – М.: Стройиздат, 1990, - 624 с.
6. Эффективные системы отопления зданий /Под общей ред. В. Е. Минина. – М.: Стройиздат, 1988. – 216 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
з дисципліни
“Теплопостачання та вентиляція”
для студентів напряму підготовки
6.060101 – “Будівництво”
денної та заочної форм навчання
(прикладні завдання для СРС і контрольних робіт)

Редактор В. Дружиніна
Коректор З. Поліщук

Укладачі: Ігор Анатолійович Пономарчук
Олена Петрівна Колісник
Тетяна Юріїна Вовк

Оригінал-макет підготовлено О. Колісник

Підписано до друку
Формат 29,7×42¹/₄. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.
Наклад прим. Зам. №

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.