

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування

Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури  
Кафедра теплогазопостачання, вентиляції та санітарної техніки

**03-02-459М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять, курсової та самостійної робіт з  
навчальної дисципліни «Кондиціонування повітря з курсовою  
роботою» для здобувачів вищої освіти першого  
(бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою  
«Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності 192  
«Будівництво та цивільна інженерія» (блок  
«Теплогазопостачання та вентиляція») усіх форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною радою  
з якості ННІБА  
Протокол № 5 від 11.02.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних занять, курсової та самостійної робіт з навчальної дисципліни «Кондиціювання повітря з курсовою роботою» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (блок «Теплогазопостачання та вентиляція») усіх форм навчання. [Електронне видання] / Давидчук В. І., Проценко С. Б. – Рівне : НУВГП, 2025. – 38 с.

Укладачі: Давидчук В. І., к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції та санітарної техніки; Проценко С. Б., к.т.н., доцент кафедри теплогазопостачання, вентиляції та санітарної техніки.

Відповідальний за випуск: Кізеєв М. Д., к.т.н., доцент, завідувач кафедри теплогазопостачання, вентиляції та санітарної техніки.

Керівник групи забезпечення спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»:

Караван В. В., к.т.н., доцент

Попередні версії МВ – 03-02-374, 03-02-375

© В. І. Давидчук,  
С. Б.Проценко, 2025  
© НУВГП, 2025

## Приклади задач і їх розв'язки.

**Приклад 1.** В кухні об'ємом  $20\text{ м}^3$  встановили герметичне вікно. Внутрішнє повітря має температуру  $20^\circ\text{C}$  та відносну вологість  $60\%$ . Господиня поставила на вогонь чайник з водою і через деякий час з нього википіло  $0.1$  л води. Температура внутрішнього повітря при цьому зросла на один градус. Визначити кінцевий вміст вологи в повітрі та скільки вологи конденсувалось на поверхні вікон.

**Розв'язок.** При початковому вологовмісті  $8.5\text{ г/кг}$  (див. рис.1) кінцевий вологовміст дорівнюватиме:

$$D_k = d_1 + M / V \rho = 8.5 + 100 / 20 * 1.2 = 12.7 \text{ (г/кг)}.$$

**Відповідь:** Кінцевий вологовміст становитиме  $12.7$  г/кг, конденсації вологи на вікнах не буде.

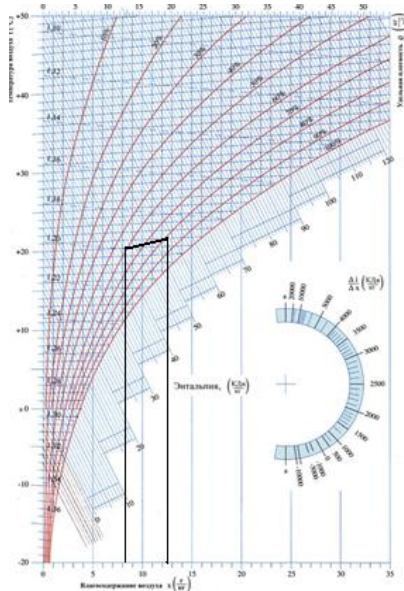


Рис.1. Графічне розв'язання прикладу 1.

**Приклад 2.** Визначити температуру точки роси та параметри суміші 3000 кг/год повітря з температурою 25°C та відносною вологістю 50% і 4000 кг/год повітря з температурою 10°C та відносною вологістю 70%.

**Розв'язок.** Точка суміші матиме наступні параметри ( див.рис.5) : вологовміст – 7 г/кг, температура – 15°C, відносна вологість 61%, ентальпія – 35 кДж/кг, температура точки роси 9°C, температура мокрого термометра-12.2°C.

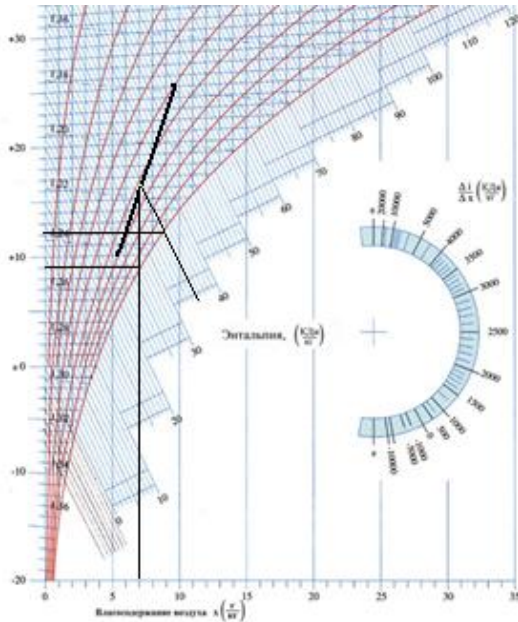


Рис.2. Розв'язок прикладу 2.

**Приклад 3.** 6000 кг/год повітря з температурою -20°C змішуються з 3000 кг/год рециркуляційного повітря температурою 22°C та відносною вологістю 70%. Визначити параметри суміші та кількість конденсату який випаде у камері змішування.

**Розв'язок.** Оскільки лінія, яка з'єднує дві точки заданих станів повітря проходить під лінією  $\phi=100\%$ , тому точка суміші буде знаходитись на лінії  $\phi=100\%$ , яку знаходимо, провівши перпендикуляр від розрахункової точки. В цьому випадку параметри суміші будуть мати такі значення: вологовміст – 2.2 г/кг, відносна вологість 100%, ентальпія – 1 кДж/кг, температура, температура точки роси, температура мокрого термометра -  $-5.6^{\circ}\text{C}$ .

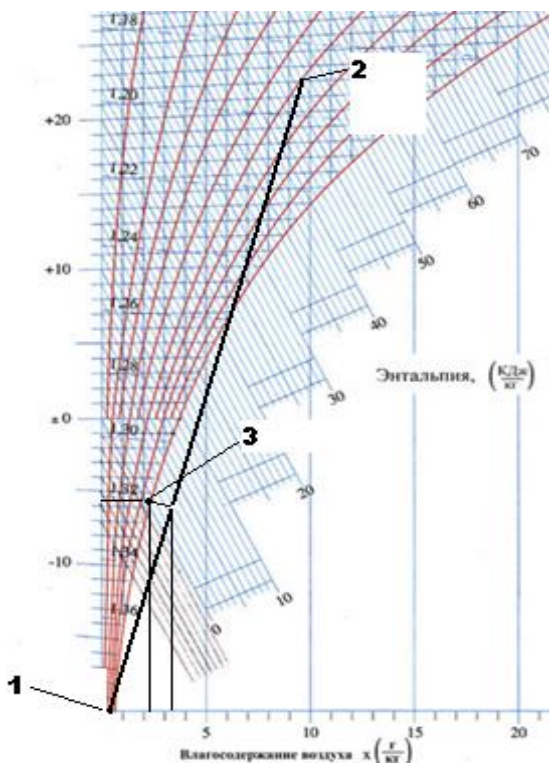


Рис. 3. Розв'язок прикладу 3.

**Приклад 4.** В кухні об'ємом  $20 \text{ м}^3$  встановили герметичне вікно. Внутрішнє повітря має температуру  $20^{\circ}\text{C}$  та відносну вологість 60%. Господиня поставила на вогонь чайник з водою і

через деякий час з нього википіло 0.5 л води. Температура внутрішнього повітря при цьому зросла на один градус. Визначити кінцевий вміст вологи в повітрі та скільки вологи конденсувалось на поверхні вікон.

**Розв'язок.** При початковому вологовмісті 8.3 г/кг (див. рис.7) Кінцевий вологовміст дорівнюватиме:

$$D_k = d_1 + M / V \rho = 8.5 + 500 / 20 * 1.2 = 29.3 \text{ (г/ кг)}.$$

При такому вологовмісті кінцева точка процесу знаходилась би за лінією  $\phi=100\%$ , тому кінцевий вологовміст становитиме 12 г/кг ( до стану з 100% відносною вологістю). Надлишок вологи 17.3 г/кг, або  $17,3*20*12 = 415$  г конденсується на холодних поверхнях.

**Відповідь:** Кінцевий вологовміст становитиме 12 г/кг, 415 г вологи конденсується на вікнах.

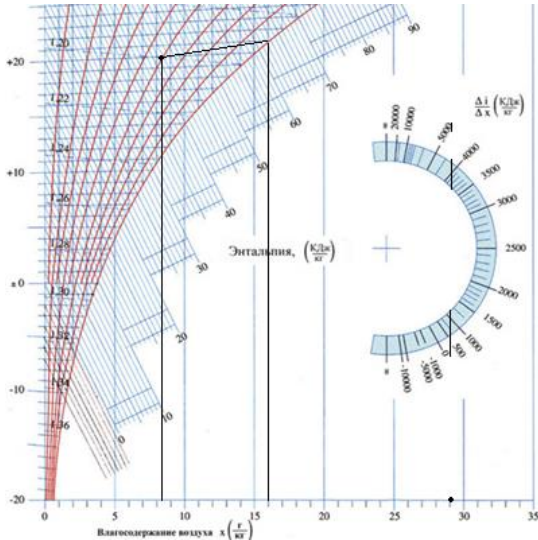


Рис.4. Розв'язок прикладу 4.

**Приклад 5.** Центральний кондиціонер в прямоточному режимі обробляє 5000 кг/год повітря з початковою температурою  $-10^{\circ}\text{C}$  та відносною вологістю 70% до кінцевого стану з температурою  $20^{\circ}\text{C}$  та відносною вологістю 60%. Визначити теплову потужність калорифера першого підігріву.

**Розв'язок.** Будуємо прямоточний режим роботи центрального кондиціонера. Для цього з точки кінцевого стану (4) опускаємо вертикальну лінію то перетину з лінією відносної вологості 99% (точка3). Після чого знаходимо точку2 на перетині вертикальної лінії з точки початкового стану 1 та лінії ентальпії з точки 3. Таким чином в результаті побудови маємо наступні процеси – 1-2- нагрівання в калорифері першого підігріву, 2-3 – ізоентальпійне зволоження в камері зрошення, 3-4- нагрівання в калорифері другого підігріву.

Теплова потужність калорифера першого підігріву визначиться за наступним виразом:

$$Q = 0.28 * G * (t_2 - t_1) = 0.28 * 5000 * (24 - (-10)) = 47600 \text{ (Вт)}.$$

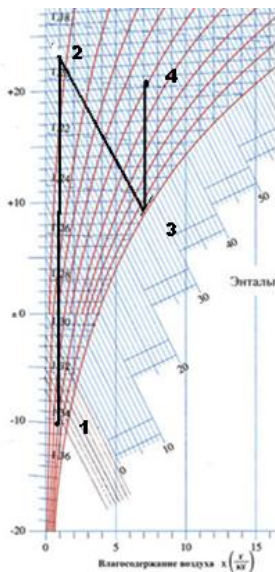


Рис.5. Розв'язок прикладу 5

**Приклад 6.** Центральний кондиціонер в прямоточному режимі обробляє 5000 кг/год повітря з початковою температурою  $-10^{\circ}\text{C}$  та відносною вологістю 70% до кінцевого стану з температурою  $20^{\circ}\text{C}$  та відносною вологістю 60%. Визначити на скільки зменшиться потрібна теплова потужність калорифера першого підігріву, якщо перевести кондиціонер в роботу з першою рециркуляцією і до 3000 кг/год свіжого повітря підмішати 2000кг/год внутрішнього.

**Розв'язок.** За аналогією з попереднім прикладом будемо прямоточний режим роботи центрального кондиціонера (1-2-3-4) Побудова режиму роботи з першою рециркуляцією здійснюється наступним чином. Повітря стану 4 змішується з зовні-нім повітрям в заданій пропорції ( лінія 1-4, точка суміші 5). Суміш підігрівається в калорифері першого підігріву (лінія 5-6). Зменшення теплової потужності калорифера відбувається за рахунок зменшення різниці температур (лінії 1-2 та 5-6). Економія становитиме

$$Q = 0.28 * G * ((t_2 - t_1) - (t_6 - t_5)) = 0.28 * 5000 * (40 - 19) = 29400 \text{ (Вт)}$$

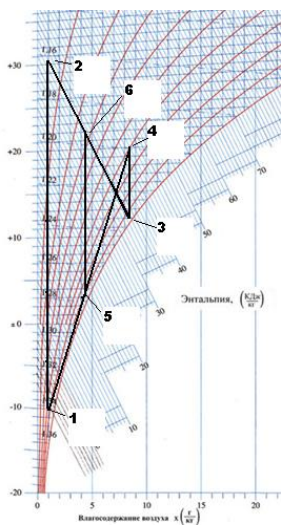


Рис.6. Розв'язок прикладу 6



**Приклад 7.** Визначити кількість води, яка потрібна для обробки 5000 кг/год повітря в центральному кондиціонері, який працює в прямоточному режимі. Температура зовнішнього повітря 0°C, відносна вологість 60%, температура припливного повітря 18°C, відносна вологість – 65%.

**Розв'язок.** За аналогією з попередніми прикладами будемо прямоточний режим роботи центрального кондиціонера. Кількість води, потрібна для процесу зволоження, визначається за виразом:

$$M = G * (d2-d1) = 5000 * (8 - 2) = 30000 \text{ (г/год)}$$

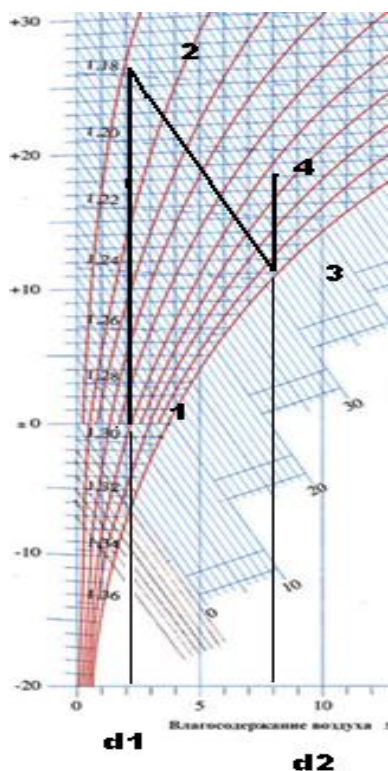


Рис. 11. Розв'язок прикладу 7.

**Приклад 8.** Визначити наскільки зменшиться потрібна теплова потужність центрального кондиціонера продуктивністю 12000 м<sup>3</sup>/год , якщо при температурі зовнішнього повітря -18°C та відносній вологості 70% , температурі припливного повітря 18°C та відносній вологості 65% , температурі повітря, яке видаляється 19°C та відносній його вологості 70% кондиціонер перевели з прямооточного режиму в режим з першою та другою рециркуляціями з витратою свіжого повітря 4000 м<sup>3</sup>/год та витратами рециркуляційного повітря по 4000 м<sup>3</sup>/год.

**Розв'язок.** Будуємо прямооточний режим роботи кондиціонера (1-2-3-4-5). Оскільки перша та друга рециркуляції передбачають змішування рівних об'ємів повітря, то точки суміші будуть лежати посередині відрізків 1-5 та 7-5. Процес змішування другої рециркуляції потрібно будувати так, щоб точка суміші знаходилась на лінії 3- 4. Лінію 5-7 проводять таким чином, щоб відрізки 5-9 та 7-9 були рівними. Після знаходження таким чином розташування точки 7 від неї проводять по лінії ентальпій пряму до перетину з прямою 6-8. Побудова процесів закінчена, економія досягається як на першому підігріві – лінії 1-2 та 6-8 (різниця 24°C), так і на другому – лінії 3-4 та 9-4 (різниця 3°C). Економія тепла :

$$Q = 0.28 * G * t = 0.28 * 12000 * 27 = 87480 \text{ (Вт)}$$

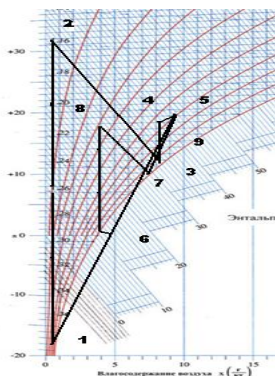


Рис.12. Розв'язок прикладу 8.

**Приклад 9.** Визначити температуру суміші 1000 кг/год повітря з температурою 30°C і відносною вологістю 70% та 2000 кг/год повітря з температурою 5°C та відносною вологістю 60% після її осушення в статичному адсорбері протягом години до вологовмісту 3г/кг. Встановити, яку кількість силікагелю потрібно для такого осушення.

Розв'язок. За описаною вище методикою знаходимо точку суміші 3. Оскільки процес осушення силікагелем - адіабатного нагрівання, то точку кінцевого стану суміші після осушення знаходимо на перетині адиабати, проведеної з точки 3 до лінії вологовмісту 3г/кг. Температура становитиме 27.5°C. Кількість води, яка видалиться з повітря дорівнює:

$$M = G * (d2-d1) = 3000 * 5.3 = 15900 \text{ (г/год)}.$$

Силікагель набирає води 10% від своєї маси, тому для такого осушення потрібно 159 кг силікагелю.

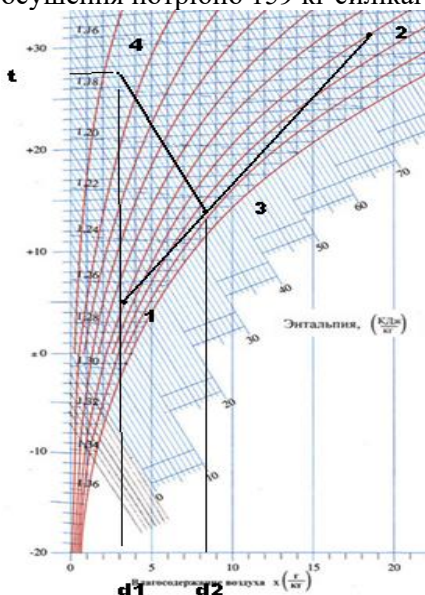


Рис.9. Розв'язок прикладу 9.

**Приклад 10.** Центральний кондиціонер працює в прямоточному режимі з продуктивністю 3500 м<sup>3</sup>/год, забезпечуючи температуру внутрішнього повітря 20°C та його відносну вологість 60%. Визначити, на скільки зменшиться використання теплової енергії в калорифері першого підігріву, якщо температура зовнішнього повітря зросла з -20°C до -5°C при сталій відносній вологості.

**Розв'язок.** Будуємо прямоточний режим роботи центрального кондиціонера (1-2-3-4). Знаходимо точку 5, від неї проводимо вертикальну лінію до перетину з прямою 2-3і знаходимо точку 6. Зменшення теплової потужності калорифера першого підігріву становитиме:

$$Q = 0.28 * G * ((t_2 - t_1) - (t_6 - t_5)) = 0.28 * 3500 * (53 - 37) = 15680 \text{ (Вт)}$$

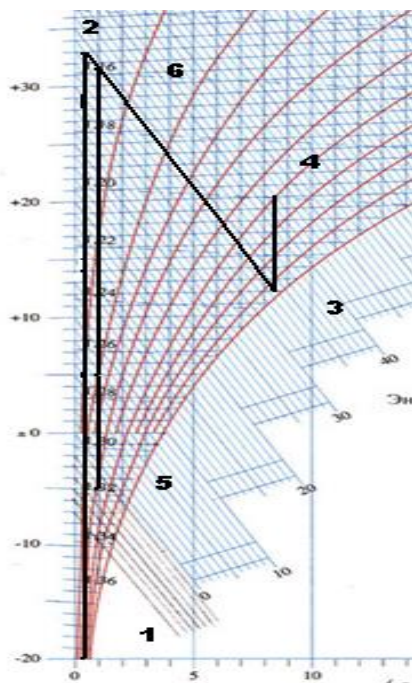


Рис.10. Розв'язок прикладу 10.

## 2. ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота (КР) виконується для закріплення студентами теоретичних знань та для набуття практичних навичок в проектуванні систем кондиціонування повітря і складається з пояснювальної записки та графічної частини на листах формату А4, А3 або А1. У роботі студенти розробляють три варіанти використання кліматичної техніки для офісних приміщень або глядацької зали. В першому варіанті студенти розробляють систему кондиціонування з використанням центрального кондиціонера, в другому – використання чиллерів та фанкойлів, в третьому – використання автономних кондиціонерів в поєднанні з системою припливної вентиляції.

Пояснювальна записка роботи складається з наступних розділів:

- вихідні дані;
- розрахунок надходжень тепла;
- розрахунок потрібних обмінів повітря;
- вибір системи кондиціонування повітря;
- система підтримання мікроклімату з використанням центрального кондиціонера (підбір елементів центрального кондиціонера, визначення технологічних параметрів, аеродинамічний розрахунок системи вентиляції);
- система підтримання мікроклімату з використанням чиллера та фанкойлів;
- система підтримання мікроклімату з використанням автономних кондиціонерів;
- техніко – економічне порівняння систем кондиціонування;
- список використаної літератури.

Графічна частина (див. додатки) може складатись з планів поверхів зі схемами розміщення центрального кондиціонера, чиллера та фанкойлів, автономних кондиціонерів, повітропроводів; розрізу центрального кондиціонера; аксонометричних схем повітропроводів.

Вихідними даними до виконання КР є:

- параметри внутрішнього та зовнішнього повітря;
- кількість працівників або глядачів у залі;
- кількість офісної техніки в кожному кабінеті;
- конструктивні особливості будівлі.

## 2.1. РОЗРАХУНОК НАДХОДЖЕНЬ ТЕПЛА

У курсовій роботі розрахунок надходжень тепла виконується за спрощеною експрес-методикою [1], яку в сучасних умовах застосовують для вибору нескладного кліматичного обладнання – віконних кондиціонерів, кондиціонерів спліт - систем і т.п. При цьому враховують надходження тепла:

- з вулиці в приміщення за рахунок різниці температур,
- від працівників офісу або від людей глядацької зали;
- від офісної техніки або від освітлення.

Надходження тепла з вулиці, що надходить через вікна приміщень, визначають за наступним виразом:

$$Q_1 = F \cdot q_e \cdot n, \text{ Вт} \quad (1)$$

де:  $F$  – площа вікна,  $\text{м}^2$ ;

$q_e$  – питома теплове навантаження,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ,

$n$  – кількість вікон.

Надходження тепла від людей  $Q_2$  приймають 100 Вт від однієї людини:

$$Q_2 = N \cdot q, \quad (2)$$

де:  $N$  – кількість людей у приміщенні.

Надходження тепла від офісної техніки  $Q_3$  приймають 300 Вт на один комп'ютер повної комплектації та один копіювальний апарат, а від освітлення глядацької зали враховують потужність підсвіток та прожекторів.

Загальні надходження тепла збільшують на 20% на невраховані надходження тепла:

$$Q = 1,2 \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3), \text{ Вт} \quad (3)$$

Розрахунок виконують в табличній формі (табл.1).

**Приклад розрахунку 1 (офісні приміщення).** Визначити кількість тепла, яке надходить в проектні кабінети через вікна з дерев'яною рамою. В кабінетах працює по 4, 5 та 6 співробітників, кожен з них має комп'ютер повної комплектації та встановлено один копіювальний апарат.

Таблиця 1

Розрахунок надходжень тепла в офісні приміщення

№ п/р	Площа вікон, м <sup>2</sup>	Кіл-ть працюючих	Кіл-ть комп'ютерів	Q <sub>1</sub> , Вт	Q <sub>2</sub> , Вт	Q <sub>3</sub> , Вт	Q, Вт
1	3	4	4 + 1	440	400	1500	2810
2	3	4	4	440	400	1200	2450
3	3	5	5	440	500	1500	2810
4	3	5	5	440	500	1500	2930
5	3x2	6	6	870	600	1800	3930
		24					<b>14930</b>

**Приклад розрахунку 2 (глядацька зала).** Визначити кількість тепла для глядацької зали на 620 місць. У глядацькій залі розташовані 4 вікна з дерев'яною рамою площею 3 м<sup>2</sup>. Для штучного освітлення передбачені софіти та прожектори загальною потужністю 3 кВт.

Надходження тепла з вулиці, що надходить через вікна з дерев'яною рамою до глядацької зали ( $q_e = 145 \text{ Вт/ м}^2$ ) складають:

$$Q_1 = F \cdot q_e \cdot n = 3 \cdot 145 \cdot 4 = 1740 \text{ Вт}$$

Надходження тепла від людей становлять:

$$Q_2 = N \cdot q = 620 \cdot 100 = 62\,000 \text{ Вт}$$

Надходження тепла від штучного освітлення залежить від потужності приладів і складає 1 кВт.

Тоді загальні надходження тепла становлять

$$Q = 1,2 \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) = 1,2 \cdot (1740 + 62000 + 3000) = 80\,090 \text{ Вт.}$$

## 2.2. РОЗРАХУНОК ПОТРІБНИХ ОБМІНІВ ПОВІТРЯ

Обмін повітря в приміщенні за санітарними нормами  $L_n$  приймають для офісних приміщень 60 м<sup>3</sup>/год на одну людину, а для глядацьких зал – 20 м<sup>3</sup>/год на одну людину. Кількість повітря, яке видаляється з туалетів, становить 100 м<sup>3</sup>/год на один унітаз. Витрату повітря визначають за виразом:

$$L = N \cdot L_n, \text{ м}^3/\text{год} \quad (4)$$

де:  $N$  – кількість людей у приміщенні.

Припливне повітря подається в суміжний коридор. В курсовій роботі студенти визначають кількість свіжого повітря, яке потрібно подати в офіс або глядацьку залу і виконують проектування системи розподільчих повітропроводів з пристроями для розподілу повітря, системи механічної витяжної вентиляції, яка видалятиме повітря з кабінетів та системи витяжної вентиляції туалетів. Методика проектування наведена в методичних вказівках до виконання курсового проекту з вентиляції. Всі повітропроводи розташовують під підвісною стелею.

**Приклад розрахунку 3 (офісні приміщення).** Для прикладу 2 розрахувати потрібну кількість повітря з врахуванням того, що крім проектувальників в будівлі працюють ще три особи керівного складу. В туалетах



встановлено 3 унітази. Загальна витрата припливного повітря становитиме:

$$L_n = 60 \cdot 27 + 3 \cdot 100 = 1920 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Витрата повітря витяжної механічної системи вентиляції становитиме:

$$L_v = 60 \cdot 27 = 1620 \text{ м}^3/\text{год.}$$

В проектних кабінетах витрата повітря становитиме:

№1, 2 – 240м<sup>3</sup>/год, № 3, 4 – 300 м<sup>3</sup>/год № 5 – 360 м<sup>3</sup>/год.

**Приклад розрахунку 4 (глядацька зала).** Для прикладу 2 розрахувати потрібну кількість повітря. Загальна витрата повітря становитиме:

$$L = 620 \cdot 20 = 12\,400 \text{ м}^3/\text{год.}$$

### 2.3. ВИБІР СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ

Вибір системи кондиціонування повинен здійснюватися на підставі техніко - економічного порівняльного аналізу кількох можливих варіантів. Для цього належить всебічно розглянути та оцінити будівлю з огляду на вимоги, які до неї ставляться, головними з яких є:

*Санітарні вимоги* – потрібно підтримувати лише температуру чи температуру та вологість; подавати в приміщення свіже повітря чи можливе використання рециркуляції; видаляти повітря місцевими пристроями чи з допомогою природних витяжних пристроїв.

*Архітектурно-будівельні вимоги* – можливість розташування центрального кондиціонера чи дахового, можливість установки зовнішніх та внутрішніх блоків спліт систем, можливість прокласти в приміщеннях повітропроводи та інші комунікації .

*Противожежні вимоги* – до якої категорії відносяться приміщення та чи потрібні спеціальні проектні рішення (встановлення затримуючих вогонь клапанів, окрема установка блоків обладнання тощо).

*Експлуатаційні вимоги* – чи можливе управління з одного центрального пункту або потрібне автономне управління, чи потрібні окремі режими роботи певних груп обладнання на окремі приміщення.

*Надійність системи* – наскільки високою має бути надійність роботи систем.

*Економічність* – потрібно розробити кілька варіантів з оптимізацією цін.

В роботі студенти обґрунтовують варіанти влаштування систем з врахуванням наведених вимог.

В курсовій роботі студенти розробляють три варіанти влаштування систем із застосуванням припливно-витяжної механічної системи вентиляції, яка забезпечуватиме потрібний обмін повітря за санітарними нормами:

- використання центрального кондиціонера, який працює в прямоточному режимі з рекуперацією тепла;
- обробка повітря з допомогою чиллерів і фанкойлів;
- застосування автономних кондиціонерів спліт та мульті - спліт систем.

Після закінчення проектних робіт студент здійснює остаточний вибір системи на підставі техніко-економічного розрахунку.

## 2.4. СИСТЕМА ПІДТРИМАННЯ МІКРОКЛІМАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦІОНЕРА

Використання центрального кондиціонера при забезпеченні необхідних параметрів мікроклімату офісних приміщень дає можливість якісно підтримувати температуру та вологісний режим приміщень з подачею свіжого повітря. При цьому потрібно влаштовувати механічну витяжну систему вентиляції.

Підбір поперечних розмірів кондиціонера та його вентиляторної секції здійснюється відповідно до

розрахункової витрати припливного повітря за номограмами, наведеними на рис.1 для типоряду сучасних кондиціонерів фірми WOLF та розмірів елементів, наведених в табл. 2. Якщо студент має каталоги інших фірм – виробників центральних кондиціонерів, то може використати їх у роботі.

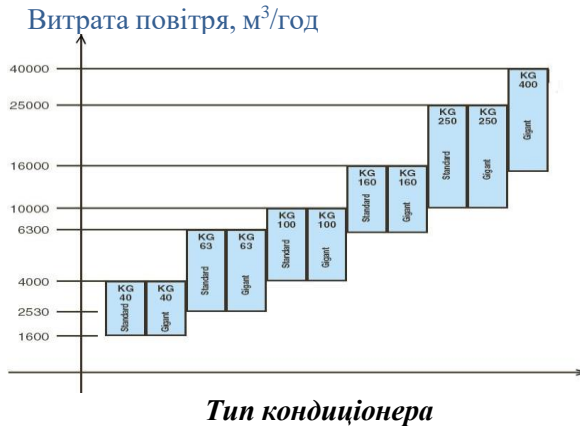














Рис.11. Номограма для підбору типу кондиціонера фірми „Wolf”

Таблиця 2

Габаритні розміри складових частин кондиціонера  
„Wolf” KG Gigant [5]

KG Gigant		40	63	100	160	250	400
Вентиляторний відсік		710	880	1040	1290	1640	1940
		710	880	1040	1290	1640	1940
		710	880	1040	1290	1640	1940
Відсік нагрівача		380	380	380	380	380	580
		710	880	1040	1290	1640	1940
		710	880	1040	1290	1640	1940
Відсік охолоджувача		580	580	580	580	580	580
		710	880	1040	1290	1640	1940
		710	880	1040	1290	1640	1940
Камера зрошення		1000	1000	1000	1000	1000	1400
		710	880	1040	1290	1640	1940
		710	880	1040	1540	1890	2240

Відсік перемішування		540	710	870	950	1130	1495
		710	880	1040	1290	1640	1940
		710	880	1040	1290	1640	1940
Відсік перемішування та фільтрування		710	880	1040	1290	1640	2075
		710	880	1040	1290	1640	1940
		710	880	1040	1290	1640	1940
Відсік фільтрування		380	380	380	380	380	-
		710	880	1040	1290	1640	-
		710	880	1040	1290	1640	-
Відсік кишенькових фільтрів		710	880	1040	950	1130	1040
		710	880	1040	1290	1640	1040
		710	880	1040	1290	1640	1040
Глушник шуму		880	880	950	950	950	1040
		710	880	1040	1290	1640	1940

		710	880	1040	1290	1640	1940
KGX		710	880	1040	1290	1640	-
		710	880	1040	1290	1640	-
		710	880	1040	1290	1640	-
KGXD		1170	1470	1640	2040	2540	-
		710	880	1040	1290	1640	-
		1420	1760	2080	2580	3280	-
Ротаційний Теплообмін ник RTW		710	880	1040	1290	1640	1940
		1040	1290	1640	1940	2280	2700
		1420	1760	2080	2580	3280	3880

Основні елементи кондиціонера підбираються за параметрами, що визначаються з допомогою i-d діаграми, фрагмент якої наведено на рис.12. Потрібна потужність калориферів за теплом визначається за виразом:

$$Q = c \cdot G \cdot \Delta t / 3,6 = c \cdot L \cdot \rho \cdot \Delta t / 3,6 \quad (5)$$

де:  $G$  – витрата повітря, кг/год;  $c$  – питома теплоємність повітря, Дж/кг ( $c=1$  Дж/кг);  $\Delta t$  – різниця температур повітря, °С, яке нагрівається: для калорифера першого підігріву –  $t_2 - t_1$ , без використання утилізатора тепла,  $t_2 - t_8$  – з використанням утилізатора тепла; для калорифера другого підігріву –  $t_4 - t_3$  (рис.3);  $L$  – необхідний обмін повітря, м<sup>3</sup>/год;  $\rho$  – густина повітря, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho=1,2$  кг/м<sup>3</sup> для температури 20°С).

□

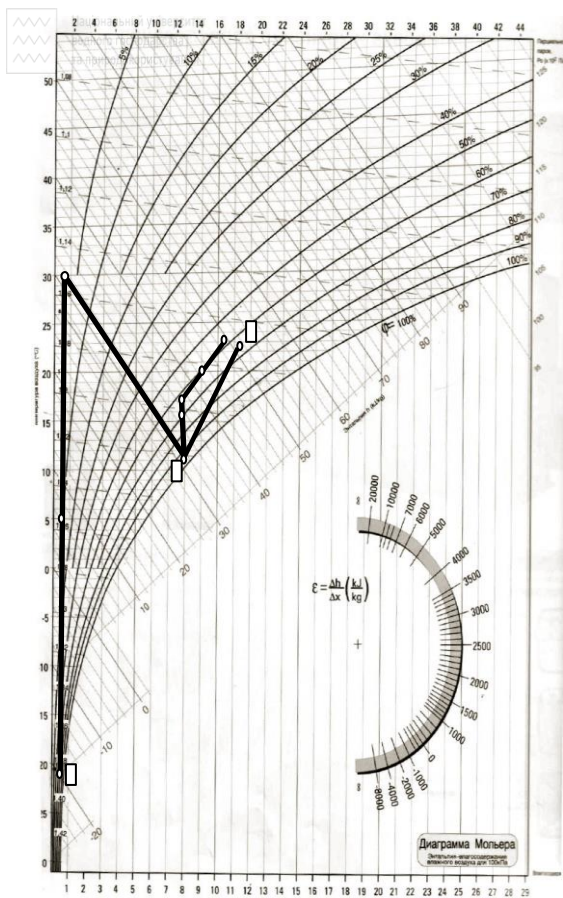


Рис. 12.Схема роботи прямого центрального кондиціонера

Потрібна для зволоження повітря кількість води визначається як різниця вологовмісту зовнішнього і внутрішнього повітря  $\Delta d$ , значення яких студент визначає

за діаграмою, побудованою відповідно до заданих умов (рис.3):

$$W=L \cdot \rho \cdot \Delta d, \quad (6)$$

З каталогів вибирають потрібні секції кондиціонера, орієнтуючись на визначені параметри.

Після підбору всіх технологічних секцій здійснюють компоновання кондиціонера, використовуючи при цьому як основні, так і допоміжні секції. Приклад компоновання наведено на рис.13.

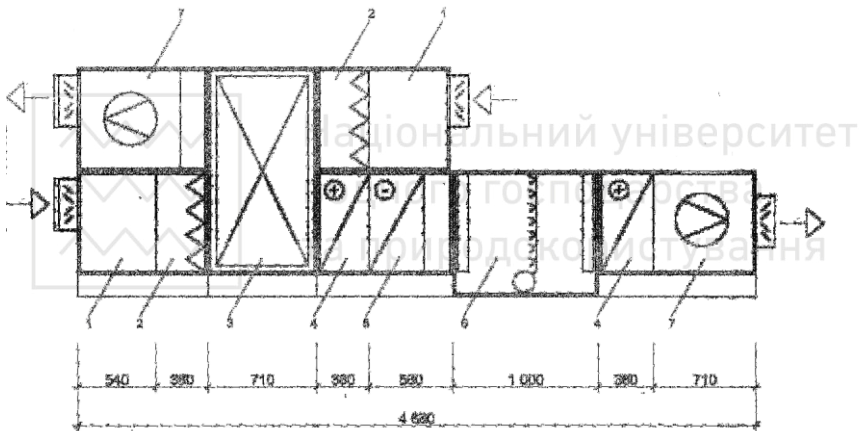


Рис.1 3. Приклад компоновання центрального кондиціонера фірми

„WOLF”: 1 – відсік перемішування; 2 – відсік фільтрування; 3 – ротаційний теплообмінник; 4 – відсік нагрівача; 5 – відсік охолоджувача; 6 – камера зрошення; 7 – вентиляторний відсік.

Після підбору центрального кондиціонера виконується трасування повітропроводів для подачі підготовленого повітря в офісні приміщення і видалення його за межі приміщень та виконується аеродинамічний розрахунок вентиляційної системи в такому ж порядку, як і в курсовій

роботі з вентиляції ]. При організації повітрообміну в туалетах, припливне повітря подається в суміжний коридор, а в самих туалетах влаштовують лише витяжну природну або механічну каналну вентиляцію.

При проектуванні центрального кондиціонера слід передбачати наявність в його складі секції утилізації тепла витяжного повітря. Виходячи з цього, трасування витяжних трубопроводів виконувати таким чином, щоб видалення повітря здійснювалось через приміщення, в якому розташовується кондиціонер.

Таке трасування припливних та витяжних повітропроводів доцільне ще й тому, що в інших варіантах кондиціонування повітря офісних приміщень для подачі свіжого повітря слід використовувати припливно – витяжну вентиляційну установку (наприклад „GOLD” фірми Systemair ), яку встановлюють в тому ж приміщенні, що і центральний кондиціонер в першому варіанті.

Таким чином, в пояснювальній записці до цього розділу повинні бути наступні розрахунки, виконані в табличній формі:

- характеристики обладнання центрального кондиціонера та його підбір;
- аеродинамічний розрахунок припливної мережі;
- аеродинамічний розрахунок витяжної мережі.

**Приклад розрахунку 5.** Для офісних приміщень, підібрати центральний кондиціонер з врахуванням того, що в калорифері першого підігріву різниця температур в холодний період року становить для умов м. Рівне 53 °С (без утилізатора тепла при роботі кондиціонера в прямооточному режимі), різниця вологовмісту повітря до зволоження та після нього становить 8 г/кг, різниця температур для калорифера другого підігріву – 6°С (дані взяті з i-d діаграми). Виходячи з продуктивності за повітрям для обробки повітря офісу (приклад 3) можливо використати центральні кондиціонери KG 40 Standart та KG



40 Gigant фірми WOLF, CDC 21 фірми Wesper, Horizon 1 фірми Wesper

Оскільки конструкція більшості з перерахованих кондиціонерів не передбачає секцій утилізації тепла, то приймаємо до установки кондиціонер KG 40 Gigant фірми WOLF з роторним утилізатором тепла, поперечний переріз якого має розміри 710 x 710 мм. Довжина залежатиме від кількості встановлених секцій. Виходячи з потрібного режиму роботи кондиціонера до встановлення обираємо наступні технологічні секції: вентилятора припливного та витяжного повітря, кишенькових фільтрів витяжного та припливного, роторного теплообмінника, камери зрошення, глушника шуму, охолоджувача. Довжина секцій становить: вентилятора – 710 мм, нагрівача – 380 мм, охолоджувача – 580 мм, камери зрошення 1000 мм, кишенькових фільтрів – 380мм, роторного теплообмінника 710 мм (висота 1420 мм), камери перемішування – 540 мм.

При розташуванні припливної та витяжної частини вертикально одна над одною загальна довжина кондиціонера становитиме 4680 мм. Довжина верхньої частини становитиме 2590 мм.

З таблиці втрат тиску визначаємо загальні втрати тиску в ньому становитимуть близько 400 Па. Приймаємо вентилятор з загнутими назад лопатками, продуктивністю 2000 м<sup>3</sup>/год та тиском 1000 Па.

Потрібна потужність калорифера першого підігріву:

$$Q' = c \cdot L_n \cdot \rho \cdot (t_2 - t_1) / 3,6 = 1 \cdot 1920 \cdot 1,2 \cdot 53 / 3,6 = 33920 \text{ Вт.}$$

Кількість тепла витяжного повітря, яке використовується корисно при утилізації в роторному утилізаторі, становить 80%. Повітря, що видаляється з будівлі:

$$Q'' = c \cdot L_v \cdot \rho \cdot t_6 / 3,6 = 1 \cdot 1620 \cdot 1,2 \cdot 20 / 3,6 = 10800 \text{ Вт.}$$

Використовується корисно  $Q''' = 10800 \cdot 0,8 = 8640 \text{ Вт.}$

Таким чином, потужність калорифера першого підігріву становитиме:

$$Q^I = Q' - Q''' = 33920 - 8640 = 25280 \text{ Вт} = 25,3 \text{ кВт.}$$

Приймаємо теплообмінник гарячої води з параметрами теплоносія в системі опалення – 90/70°C типу 1 з потужністю **26,6** кВт .

Потужність калорифера другого підігріву становитиме:

$$Q'' = c \cdot L_n \cdot \rho \cdot (t_4 - t_3) / 3,6 = 1 \cdot 1920 \cdot 1,2 \cdot 6 / 3,6 = 3\,840 \text{ Вт.}$$

Приймаємо до установки електричний калорифер потужністю

4 кВт.

Потрібна витрата води на зволоження повітря у камері зрошення становитиме:

$$W = L_n \cdot \rho \cdot \Delta d = 1920 \cdot 1,2 \cdot 8 = 18\,432 \text{ г/год} = 18,5 \text{ л/год.}$$

Встановлюємо секцію зволоження з насосним блоком.

## 2.5. СИСТЕМА ПІДТРИМАННЯ МІКРОКЛІМАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЧИЛЛЕРА ТА ФАНКОЙЛІВ

Система підтримання мікроклімату з використанням чиллера та фанкойлів передбачає охолодження повітря в теплий період року та обігрів в холодний період за допомогою фанкойлів, які встановлюються в кожному приміщенні. На плоскому даху будівлі встановлюється холодильна машина – чиллер з гідромодулем, який забезпечує подачу холодоносія (води) до фанкойлів. Чиллер та внутрішні блоки з'єднані між собою трубами, які ізолюють для того, щоб запобігти конденсації вологи на стінках. Всі фанкойли обладнуються дренажними трубками, які об'єднують в один колектор, що відводить воду в систему каналізації. Комунікації прокладаються в зоні підшивної стелі коридору.

Підбір внутрішніх блоків здійснюють за каталогами (фанкойли типу Laser фірми YORK за табл. 3), орієнтуючись на надлишки тепла кожного приміщення, розраховані в другому розділі КП. Результати підбору заносяться в таблицю. На рис. 14 наведена схема

влаштування фанкойлів типу Laser фірми YORK, на рис.15  
– їх зовнішній вигляд.

Таблиця 3

Характеристики фанкойлів Laser фірми YORK

Тип	Потужність, КВт		Споживана потужність , Вт	Вартість, євро
	за холодом	Теплова		
110	0,79 – 1,16	1,0 – 1,56	28 – 46	354
112	1,0 – 1,64	1,35 – 2,16	29 – 48	376
114	1,6 – 2,2	2,0 – 3,05	33 – 57	376
216	2,24 – 3,36	2,75 – 4,11	49 – 81	390
218	2,50 – 3,58	3,35 – 4,95	51 – 86	450
220	3,39 – 5,14	4,10 – 6,48	66 – 107	494
222	4,24 – 5,63	5,25 – 7,19	74 – 126	530
224	4,99 – 6,97	6,06 – 8,71	101 – 147	609
226	5,61 – 7,41	6,86 – 9,33	115 – 162	646
228	6,18 – 9,50	7,43 – 11,80	135 – 211	685

Сумарна потужність за холодом всіх чилерів, встановлених в приміщенні, становитиме продуктивність холодильної машини – чиллера, зовнішній вигляд якого наведений на рис. 14, а основні технічні параметри – в таблицях 4, 5 .

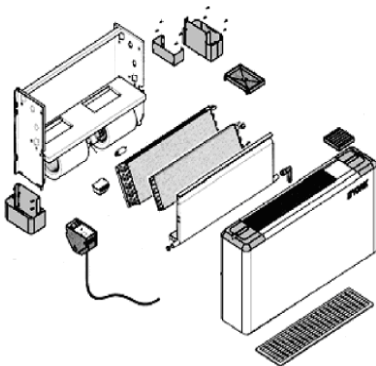


Рис.14 Влаштування фанкойла

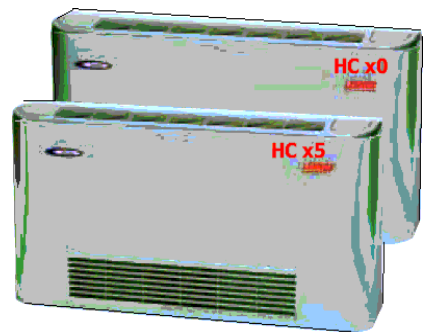


Рис.15. Зовнішній вигляд

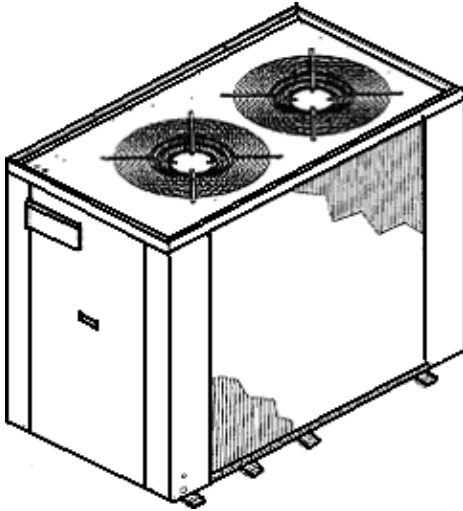


Рис.16  
Зовнішній  
вигляд  
чиллера  
фірми  
YORK

Таблиця 4  
Характеристики чиллерів фірми YORK

Характеристики	YCSA18 TP	YCSA 26 TP	YCSA 36 TP
Холодопродуктивність, кВт	17,2	25,7	35,7
Споживана потужність, кВт	7,04	9,21	13,94
Тип компресора	Scroll		
Номінальна витрата води, л/год	2958	4403	6140
Довжина, мм	1430	1510	1510
Ширина, мм	495	895	895
Висота, мм	1260	1340	1340
Вартість, євро	7490	8555	20248

Характеристики	EUWA 030CZ6Y	EUWA 035CZ6 Y	EUWA 040CZ6Y	EUWA 045CZ6 Y	EUWA 050CZ6 Y
Холодопродуктивність, кВт	62,5	78,2	102,0	121,8	128,9
Споживана потужність, кВт	24,6	28,1	39,2	44,2	49,6
Довжина, мм	2800	3200	3200	3200	3400
Ширина, мм	1100	1100	1100	1100	2300
Висота, мм	1897	1897	2074	2074	1897
Вага, кг	945	1076	1251	1375	1733
Вартість, євро	25860	28715	32456	36788	39234

**Приклад розрахунку 6.** Для офісних приміщень, надходження тепла в які наведено в табл. 6, підібрати систему обробки повітря з чиллерами – фанкойлами. Виходячи з кількості надлишкового тепла для кожного приміщення, підбираємо фанкойли типу Laser фірми YORK. На загальну продуктивність за холодом підбираємо холодильну машину – чиллер. Результати заносимо в табл.7

Таблиця 6

Підбір фанкойлів для офісних приміщень

№ пр	Надлишки тепла Q, Вт	Вибраний фанкойл	Потужність за холодом, Вт	Електрична потужність,Вт
1	5300	YLV-224	6,3	147
2	4950	YLV-222	4,92	148
3	6180	YLV-224	6,3	147
4	6180	YLV-224	6,3	147
5	7980	YLV-228	9,5	211
			34,22	800

Для забезпечення роботи фанкойлів підбираємо чиллер YCSA 36 TP холодопродуктивністю 35,7 кВт з гідромодулем. Потужність компресора 13,94 кВт, номінальна витрата води 5140 л/год, установка з двома

вентиляторами потужністю 660 Вт кожен, з насосом потужністю 700 Вт, максимальною загальною електричною потужністю установки 16,1 кВт.

Свіже повітря в офісні приміщення надходить через систему припливної вентиляції, обладнану припливно - витяжною установкою GOLD-21, загальний вигляд якої наведено на рис. 17, а номограма для її підбору – на рис.1 8.

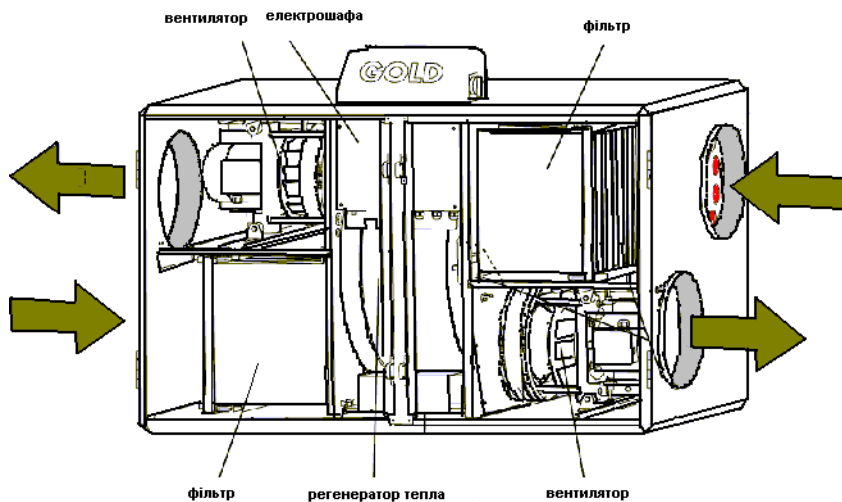


Рис. 17. Загальний вигляд і влаштування установки GOLD

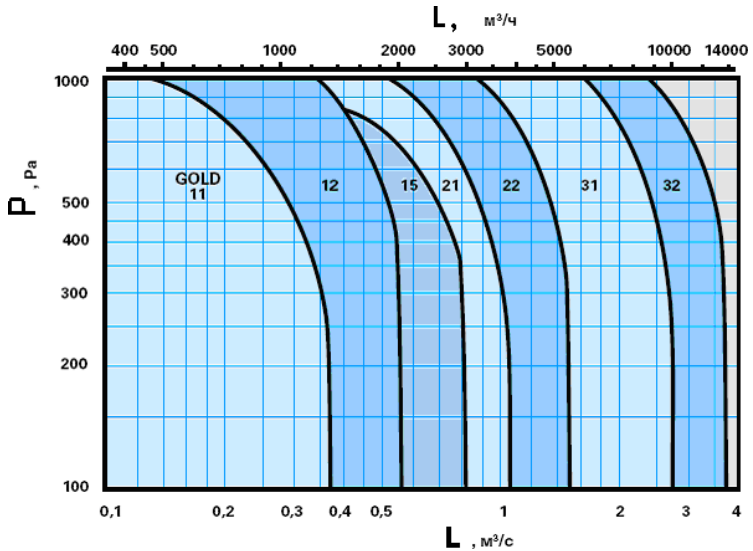


Рис. 18. Номограма для підбору установки GOLD

## 2.6. СИСТЕМА ПІДТРИМАННЯ МІКРОКЛІМАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ АВТОНОМНИХ КОНДИЦІОНЕРІВ

При цьому варіанті в теплий період року охолодження внутрішнього повітря в приміщеннях здійснюється автономними кондиціонерами, які можуть працювати в перехідний та холодний періоди як теплові насоси. Свіже повітря при цьому подається в приміщення через систему повітропроводів та розподільчих пристроїв з допомогою припливно - витяжної установки „Gold” або будь-якої іншої.

Для обробки внутрішнього повітря в режимі рециркуляції для офісних приміщень потрібно використовувати кондиціонери спліт систем з різними модифікаціями внутрішніх та зовнішніх блоків (рис. 9, 10). Вибір здійснюється за каталогами фірм - виробників з врахуванням продуктивності охолодження.

Одним із можливих варіантів є використання системи SUPER MULTI PLUS фірми „DAIKIN”, яка працює на фреоні R410-A і дає можливість приєднувати до одного зовнішнього блока до 9 внутрішніх, які можуть бути різних типів та конфігурацій. Підбір такої системи здійснюється за каталогом фірми [6].

Найбільш сучасними є системи VRII, VRV-WII та VRV III зі змінним об'ємом холодоагенту [6]. Користуючись каталогом підбирають потрібні внутрішні та зовнішні блоки.

**Приклад розрахунку 7.** Для офісних приміщень, надходження тепла до яких наведено в табл.7, підібрати автономні кондиціонери. Результати підбору зводимо в табл. 7. Обираємо кондиціонери спліт систем фірми „Panasonic”.

Таблиця 7

Підбір автономних кондиціонерів для офісних приміщень

№	Надлишки тепла Q, Вт	Вибраний фанкойл	Потужність за холодом, Вт	Електрична потужність,Вт
1	5300	CS-A18CTP5	5300	1900
2	4950	CS-A18CTP5	5300	1900
3	6180	CS-A24CTP5	6400	2800
4	6180	CS-A24CTP5	6400	2800
5	7980	CS-A34BB4P	10000	4800



## 2.7.ТЕХНІКО - ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ КОНДИЦІОНУВАННЯ

Порівняння варіантів студенти здійснюють за двома показниками – вартістю основного обладнання та величиною річних експлуатаційних витрат.

При порівнянні варіантів не враховується вартість обладнання, яке входить до всіх трьох порівнюваних варіантів – повітропроводи, глушники, розподільчі та всмоктувальні пристрої. Таким чином, у першому варіанті визначається вартість центрального кондиціонера, в другому – сумарна вартість чиллера, фанкойлів та припливно-витяжної установки GOLD, в третьому - сумарна вартість автономних кондиціонерів та припливно-витяжної установки GOLD. Вартість центральних кондиціонерів фірми WOLF наведена в табл. 8, вартість установок GOLD – в табл.9, вартість чиллерів та фанкойлів фірми YORK – в табл.9.

Таблиця 8

Вартість кондиціонерів WOLF KG

Модель	Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	Вартість, євро
WOLF KG Snandart 40	1600 - 4000	3414
WOLF KG Gigant 40	1600 - 4000	4372
WOLF KG Gigant-W 40	1600 - 4000	5425
WOLF KG Snandart 63	2530 - 6300	4236
WOLF KG Gigant 63	2530 - 6300	5034
WOLF KG Gigant-W 63	2530 - 6300	6348
WOLF KG Snandart 100	4000 – 10000	5796
WOLF KG Gigant 100	4000 – 10000	6480
WOLF KG Gigant-W 100	4000 – 10000	8040

**Примітка.** Ціни вказані без урахування рекуперації тепла. За наявності секцій рекуператора та обробки витяжного повітря вартість збільшується в 1,4 рази.

Таблиця 9

## Вартість установок GOLD

Модель	Продуктивність, м <sup>3</sup> /Год	Габарити, мм	Вартість, євро
GOLD – 11	600 – 1150	1500 x 820 x 920	9600
GOLD – 12	1350 – 1900	1500 x 820 x 920	11100
GOLD – 15	1350 – 2700	1600 x 990 x 1085	12450
GOLD – 21	1950 – 3300	2080 x 1295 x 1295	13900
GOLD – 22	3300 – 4950	2080 x 1295 x 1295	14800
GOLD – 31	6200 – 9050	2300 x 1885 x 2353	20000
GOLD – 32	9300 – 12800	2300 x 1885 x 2353	21900

Річні експлуатаційні витрати, грн/рік, розраховують за наступним виразом:

$$C_p = C_e + A + 3П + C_m + C_x + C_{np} + I \quad (7)$$

де:  $C_e$  – вартість електроенергії;  
 $A$  – амортизаційні відрахування;  
 $3П$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу;  
 $C_m$  – вартість теплової енергії;  
 $C_x$  – вартість холоду;  
 $C_{np}$  – вартість поточного ремонту;  
 $I$  – інші витрати.

Вартість електроенергії належить розраховувати за одноставочним тарифом за фактично спожиту електричну енергію, кількість якої визначається за виразом:

$$C_e = C_{од} \cdot (\sum N_i T_i) \quad (8)$$

де:  $C_{од}$  – вартість 1 кВт·год, грн. (станом на 2025 рік – 4.32 грн за 1 кВт));

$N_i$  – потужність окремого виду обладнання, кВт;

$T_i$  – тривалість роботи обладнання протягом року, год.

Аналіз зміни температури в минулому році в м. Рівне показує, що в денний час протягом 100 днів температура перевищує 20°C.

Амортизаційні відрахування визначаються за виразом :

$$A = H \cdot K, \text{ грн./рік (9)}$$

де:  $H$  – норма амортизації, в КП прийняти  $H = 0,15 \text{ рік}^{-1}$ ;  
 $K$  – вартість основного обладнання, грн.

Заробітну плату обслуговуючого персоналу прийняти однакою у всіх варіантах і для порівняння варіантів не враховувати.

**Приклад розрахунку 8.** Здійснити техніко–економічне порівняння варіантів обробки повітря офісних приміщень, які наведені у попередніх прикладах. Розрахунок вартості обладнання наведено у табл. 10.

Таблиця 10

Вартість основного обладнання у пропонованих варіантах кондиціонування

Обладнання	Вартість одиниці, тис.грн	К-сть	Загальна вартість, тис.грн
1 варіант			
Центральний кондиціонер WOLF KG Gigant 63	32700	1	32700
Чиллер	48675	1	48675
Разом			<b>81375</b>
2 варіант			
Чиллер	131620	1	131620
Фонкойли		5	20730
Установка GOLD – 21	90350	1	90350
Разом			<b>242700</b>
3 варіант			
Установка GOLD – 21	90350	1	90350
Кондиціонери спліт систем		5	45200
Разом			<b>135550</b>

При середній нормі амортизації 15 % розмір амортизаційних відрахувань за варіантами становитиме:

$$A_1 = 12206 \text{ грн / рік};$$

$$A_2 = 36405 \text{ грн / рік};$$

$$A_3 = 20332 \text{ грн / рік}$$

Чисельність обслуговуючого персоналу в трьох варіантах є однаковою, тому в порівнянні варіантів не визначається.

Витрати на поточний ремонт приймаємо в розмірі 1% від вартості обладнання, що становитиме:

$$C_{1\text{пр}} = 8138 \text{ грн/ рік};$$

$$C_{2\text{пр}} = 24270 \text{ грн/ рік};$$

$$C_{3\text{пр}} = 13555 \text{ грн/ рік}.$$

Витрати на теплову енергію враховуються лише в першому варіанті, оскільки для калорифера першого підігріву використовується теплоносій – гаряча вода. При середній температурі за холодний період року 0°C для м. Рівного та тривалості роботи калорифера 1100 годин в рік кількість тепла складе:

$$Q = (L \cdot c \cdot \rho \cdot \Delta t / 3,6 - Q_{\text{ум}}) = (1920 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 20 / 3,6 - 8640) \cdot 1100 / 1000 = 457,6 \text{ кВт год} = 0,39 \text{ Гкал} -$$

При вартості 1 Гкал в м.Рівне 1205,3 грн. вартість теплової енергії становитиме 470 грн/рік. Розрахунок споживання та вартості електроенергії наведено в табл. 11

Таблиця 11

## Розрахунок вартості електроенергії

Вид обладнання	К-сть	Потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Витрати електроенергії	Вартість грн./рік
<b>1 варіант</b>					
Електрокалорифер	1	4	2000	8000	34560
Насос ФКЗ	1	0.6	2000	1200	5184
Вентилятор	2	6	2000	12000	51840
Двигун утилізат.	1	0.5	1100	550	2376
Чиллер	1	12	500	6000	25920
				<b>Всього</b>	<b>68040</b>
<b>2 варіант</b>					
Установка GOLD:					
вентилятор	2	6	2000	12000	51840
калорифер	1	15	1100	16500	71280
Чилер	1	16,1	500	8050	34780
Фанкойл	5	0,8	500	400	1728
				<b>Всього</b>	<b>159628</b>
<b>3 варіант</b>					
Установка GOLD:					
вентилятор	2	6	2000	12000	51840
калорифер	1	15	1100	16500	71280
автон.кондиціонер	5		500	7100	30672
				<b>Всього</b>	<b>153792</b>

Таким чином річні експлуатаційні витрати за варіантами становитимуть:

$$C_1 = 12206 + 8138 + 470 + 68040 = 88854 \text{ грн / рік}$$

$$C_2 = 36405 + 24270 + 159628 = 220303 \text{ грн / рік}$$

$$C_3 = 20332 + 13555 + 153792 = 187679 \text{ грн / рік}$$

Пряме співставлення показує, що найменші капітальні вкладення і річні експлуатаційні витрати для варіанту з використанням центрального кондиціонування.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013.
2. Росковшенко Ю. К. Центральні системи кондиціонування повітря : навч. посібник. Київ : ІВНВКП "Укреліотех", 2008. 216 с.
3. Кравченко В. С., Саблій Л. А., Давидчук В. І., Кравченко Н. В. Інженерне обладнання будинків : підручник. Рівне : НУВГП, 2005. 413 с.
4. Пономарчук І. А., Волошин О. Б. Вентиляція та кондиціонування повітря : навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2004. 121 с.
5. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й., Корженко Є. С. Основи кондиціонування повітря : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2008.

### Зміст

1. Приклади задач і їх розв'язки	3
2. Вказівки до виконання курсової роботи	13
2.1. Розрахунок надходжень тепла	14
2.2. Розрахунок потрібного обміну повітря	16
2.3. Вибір системи кондиціонування	17
2.4. Система підтримання мікроклімату з використанням центрального кондиціонера	18
2.5. Система підтримання мікроклімату з використанням чиллера та фанкойлів	26
2.6. Система підтримання мікроклімату з використанням автономних кондиціонерів	31
2.7. Техніко-економічне порівняння варіантів кондиціонування	33
Список літератури	38