

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
З ДИСЦИПЛІНИ**

# **ВЕНТИЛЯЦІЯ ТА КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ**

*(для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом  
підготовки 6.060101 "Будівництво" спеціальності  
"Міське будівництво і господарство"  
спеціалізації "Технічне обслуговування,  
ремонт і реконструкція будівель")*

**ХАРКІВ – ХНУМГ – 2013**

Методичні вказівки до проведення самостійної роботи та практичних занять з дисципліни "Вентиляція та кондиціювання повітря" (для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом 6.060101 "Будівництво" спеціальності "Міське будівництво і господарство" спеціалізації "Технічне обслуговування, ремонт і реконструкція будівель") / Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; Уклад.: Д. О. Шушляков – Х.: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. – 20 с.

Укладач: к.т.н., доц. Д. О. Шушляков

Рецензент: доц. О.О. Алексахін

Затверджено на засіданні кафедри теплохолодопостачання,  
протокол № 9 від 23.06.2011 р.

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
1. Методичні вказівки до самостійної роботи.....	4
1.1 Роль навчальної дисципліни у підготовці фахівців.....	4
1.2 Змістові модулі (ЗМ), джерела та контрольні завдання.....	5
1.3 Засоби контролю.....	7
1.4 Критерії оцінки знань.....	8
2. Методичні вказівки до практичних занять.....	9
2.1 Загальна частина.....	9
2.2 Практичне заняття № 1.....	9
2.3 Практичне заняття № 2.....	10
2.4 Практичне заняття № 3.....	11
2.5 Практичне заняття № 4.....	13
2.6 Практичне заняття № 5.....	13
2.7 Практичне заняття № 6.....	15
Список джерел.....	18
Додатки.....	19

## ВСТУП

Навчальне видання для вивчення дисципліни Методичні вказівки до самостійної роботи та практичних занять з дисципліни "Вентиляція та кондиціювання повітря" для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.060101 "Будівництво" спеціальності "Міське будівництво і господарство" спеціалізації "Технічне обслуговування, ремонт і реконструкція будівель" містить дві частини, в яких наведено методичні вказівки до самостійної роботи студентів та методичні вказівки до практичних занять.

Перша частина включає методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни "Вентиляція та кондиціювання повітря", друга частина містить методичні вказівки до практичних занять з дисципліни "Вентиляція та кондиціювання повітря".

## 1. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

### 1.1 РОЛЬ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ У ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ

Самостійна робота студентів полягає у формуванні професійних умінь та навичок для прийняття самостійних рішень під час виконання роботи, виховує потребу у систематичному поновленні своїх знань та творчому їх застосуванню у практичній діяльності. З цією метою рекомендовано вивчення дисципліни "Вентиляція та кондиціювання повітря".

#### Мета та завдання вивчення дисципліни

Одержати та вдосконалити знання щодо термодинаміки вологого повітря, аеродинаміки повітряних потоків, нормативної бази розрахунків теплових і повітряних балансів приміщень, методів розрахунку вентиляційного обладнання та технологічних блоків кондиціонерів, особливостей конструкції елементів обладнання і вентиляційних систем у цілому, засобів безпечної експлуатації систем вентиляції та кондиціювання повітря, засобів збереження енергії за експлуатації систем.

#### Предмет вивчення дисципліни

Основні вимоги до метеорологічних параметрів повітря у будівлях різного призначення (комфортні або припустимі умови), питання обробки повітря у припливних камерах систем вентиляції та кондиціонерів, питання вибору устаткування для обробки повітря, отримання навичок для прийняття самостійних інженерних рішень (від розробника).

#### Місце дисципліни у структурно-логічній схемі підготовки фахівця

Перелік дисциплін, на яких безпосередньо базується вивчення дисципліни	Перелік дисциплін, вивчення яких безпосередньо ґрунтується на цій дисципліні
Загальна фізика	Опалення
Вища математика	Інженерне обладнання будівель
Теплотехніка	Технологія ремонту інженерних систем
Технічна механіка рідин та газів	Технічна експлуатація інженерних систем
	Автоматизація інженерних систем

## 1.2 ЗМІСТОВІ МОДУЛІ (ЗМ)

ЗМ 1.1 Властивості вологого повітря. Процеси обробки повітря  
(назва змістового модуля)

(1,5/54)  
(кількість кредитів/годин)

Навчальні елементи

- 1 Терміни та визначення. Санітарно-гігієнічні основи вентиляції. Властивості вологого повітря.
- 2 Побудова та знаходження основних параметрів вологого повітря за допомогою I-d діаграми.
- 3 Елементарні процеси зміни тепловологісного стану повітря в I-d діаграмі.
- 4 Процеси нагріву і охолодження повітря за постійного вологовмісту. Процеси охолодження повітря за зміни вологовмісту. Процеси нагріву та зволоження повітря, що відбуваються одночасно. Зволоження повітря парою.
- 5 Кутовий коефіцієнт і масштаб процесів зміни стану вологого повітря. Зміна стану повітря за змішування різних його обсягів та станів. Визначення необхідного повітрообміну для обслуговування приміщень.
- 6 Розрахункові параметри зовнішнього повітря. Класи СКП. Нормовані метеорологічні параметри внутрішнього повітря. Надходження теплоти і вологи в приміщення.
- 7 Побудова процесу асиміляції теплоти і вологи в I-d діаграмі. Визначення повітрообміну.
- 8 Процес оброблення повітря в холодний період.

ЗМ 2.1 Вентиляція. Улаштування, устаткування.  
(назва змістового модуля)

(2/72)  
(кількість кредитів/годин)

Навчальні елементи

- 1 Вентиляція. Класифікація систем вентиляції. Аерація за джерел теплоти. Аерація під дією вітрового тиску. Природна витяжна канална вентиляція.
- 2 Механічна вентиляція. Вентилятори. Радіальні вентилятори. Класифікація радіальних вентиляторів. Тиск, який створює вентилятор. Аеродинамічна характеристика радіальних вентиляторів. Закони подібності вентиляторів. Підбір вентиляторів
- 3 Аксіальні вентилятори. Робота вентилятора в мережі
- 4 Повітрянагрівачі. Класифікація повітрянагрівачів. Схеми об'язки повітрянагрівачів по теплоносію й повітря. Розрахунок повітрянагрівачів
- 5 Фільтри повітряні. Параметри повітряних фільтрів. Конструкція повітряних фільтрів

ЗМ 3.1 Кондиціонування. Улаштування, устаткування  
(назва змістового модуля)

(2/72)  
(кількість кредитів/годин)

Навчальні елементи

- 1 Кондиціонери. Центральні кондиціонери. Загальні вимоги до центральних СКВ. Функціональні можливості устаткування за різної комплектації технологічними блоками. Схеми кондиціонерів. СКП з першою і другою рециркуляціями. Центральні кондиціонери з доводниками. СКП випарувального охолодження повітря.
- 2 Кондиціонери спліт-систем. Загальна характеристика. Конструкція та місце встановлення внутрішніх блоків.
- 3 Шафові кондиціонери. Покрівельні кондиціонери.
- 4 Камери зрошення. Конструкція та принцип роботи. Основні параметри камери зрошення та її розрахунок.

## ЛЕКЦІЙНИЙ КУРС

Зміст
<b>ЗМ 1.1 Властивості вологого повітря і процеси обробки</b>
Терміни та визначення. Санітарно-гігієнічні основи вентиляції. Властивості вологого повітря. Побудова та знаходження основних параметрів вологого повітря за допомогою I-d діаграми Елементарні процеси зміни тепловологісного стану повітря в I-d діаграмі. Процеси нагріву і охолодження повітря за постійного вологовмісті. Процеси охолодження повітря за зміни вологовмісту. Процеси нагріву та зволоження повітря, що відбуваються одночасно. Зволоження повітря парою. Кутовий коефіцієнт і кутовий масштаб процесів зміни стану вологого повітря. Зміна стану повітря за змішування різних його обсягів та станів. Визначення необхідного повітрообміну для обслуговування приміщень. Розрахункові параметри зовнішнього повітря. Класи СКП. Нормовані метеорологічні параметри внутрішнього повітря. Надходження теплоти та вологи в приміщення Побудова процесу асиміляції теплоти та вологи в I-d діаграмі Визначення повітрообміну. Процес оброблення повітря в холодний період
<b>ЗМ 1.2 Вентиляція. Улаштування, устаткування</b>
Вентиляція. Класифікація систем вентиляції. Аерація за джерел теплоти. Аерація під дією вітрового тиску Природна витяжна канална вентиляція. Механічна вентиляція. Вентилятори. Радіальні вентилятори. Класифікація радіальних вентиляторів. Тиск, який створює вентилятор. Аеродинамічна характеристика радіальних вентиляторів. Закони подібності вентиляторів. Підбір вентиляторів. Аксиальні вентилятори. Робота вентилятора у мережі. Повітронагрівачі. Класифікація повітронагрівачів. Схеми об'язки повітронагрівачів по теплоносію та повітрю. Розрахунок повітронагрівачів. Фільтри повітряні. Параметри повітряних фільтрів. Конструкція повітряних фільтрів
<b>ЗМ 1.3 Кондиціювання. Улаштування, устаткування</b>
Кондиціонери. Центральні кондиціонери. Загальні вимоги до центральних СКВ. Функціональні можливості устаткування за різної комплектації технологічними блоками. Схеми кондиціонерів. СКП з першою та другою рециркуляціями. Центральні кондиціонери з доводниками. СКП випарувального охолодження повітря. Кондиціонери спліт-систем. Загальна характеристика. Конструкція і місце встановлення внутрішніх блоків. Шафові кондиціонери. Покрівельні кондиціонери. Камери зрошення. Конструкція та принцип роботи. Основні параметри камери зрошення та їхній розрахунок

## ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Зміст
<b>ЗМ 1.1 Властивості вологого повітря і процеси обробки</b>
Побудова процесу асиміляції теплоти і вологи в I-d діаграмі. Розрахунок повітрообміну за допомогою I-d діаграми. Процес обробки повітря у холодний період
<b>ЗМ 1.2 Вентиляція. Улаштування, устаткування</b>
Підбір вентиляційних пристроїв і вентилятора. Аеродинамічний розрахунок систем вентиляції.
<b>ЗМ 1.3 Кондиціювання. Улаштування, устаткування</b>
Розрахунок повітрообміну

## ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ (ДЕННЕ НАВЧАННЯ)

Тематика
1. Знаходження відносної вологості повітря
2. Вимірювання тиску потоку повітря
3. Визначення характеристики вентиляційної мережі
4. Визначення характеристики радіального вентилятора
5. Регулювання вентиляційних систем щодо заданих витрат повітря

## КУРСОВИЙ ПРОЕКТ ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Курсовий проект виконується за індивідуальними завданнями і складається з наступних питань:

- розрахунок теплових надходжень у приміщення;
- розрахунок повітрообміну у приміщенні;
- розрахунок і підбір устаткування для кондиціювання повітря.

### САМОСТІЙНА НАВЧАЛЬНА РОБОТА СТУДЕНТА

Зміст
<b>ЗМ 1.1 Властивості вологого повітря і процеси обробки</b>
Терміни та визначення. Санітарно-гігієнічні основи вентиляції. Властивості вологого повітря. Побудова та знаходження основних параметрів вологого повітря за допомогою I-d діаграми Елементарні процеси зміни тепловологісного стану повітря в I-d діаграмі. Процеси нагріву і охолодження повітря за постійного вологовмісті. Процеси охолодження повітря за зміни вологовмісту. Процеси нагріву та зволоження повітря, що відбуваються одночасно. Зволоження повітря парою. Кутовий коефіцієнт і кутовий масштаб процесів зміни стану вологого повітря. Зміна стану повітря за змішування різних його обсягів та станів. Визначення необхідного повітрообміну для обслуговування приміщень. Розрахункові параметри зовнішнього повітря. Класи СКП. Нормовані метеорологічні параметри внутрішнього повітря. Надходження теплоти та вологи в приміщення Побудова процесу асиміляції теплоти та вологи в I-d діаграмі Визначення повітрообміну. Процес оброблення повітря в холодний період
<b>ЗМ 1.2 Вентиляція. Улаштування, устаткування</b>
Вентиляція. Класифікація систем вентиляції. Аерація за джерел теплоти. Аерація під дією вітрового тиску Природна витяжна канална вентиляція. Механічна вентиляція. Вентилятори. Радіальні вентилятори. Класифікація радіальних вентиляторів. Тиск, який створює вентилятор. Аеродинамічна характеристика радіальних вентиляторів. Закони подібності вентиляторів. Підбір вентиляторів. Аксіальні вентилятори. Робота вентилятора у мережі. Повітронагрівачі. Класифікація повітронагрівачів. Схеми обв'язки повітронагрівачів по теплоносію та повітрю. Розрахунок повітронагрівачів. Фільтри повітряні. Параметри повітряних фільтрів. Конструкція повітряних фільтрів
<b>ЗМ 1.3 Кондиціювання. Улаштування, устаткування</b>
Кондиціонери. Центральні кондиціонери. Загальні вимоги до центральних СКВ. Функціональні можливості устаткування за різної комплектації технологічними блоками. Схеми кондиціонерів. СКП з першою та другою рециркуляціями. Центральні кондиціонери з доводниками. СКП випарувального охолодження повітря. Кондиціонери спліт-систем. Загальна характеристика. Конструкція і місце встановлення внутрішніх блоків. Шафові кондиціонери. Покрівельні кондиціонери. Камери зрошення. Конструкція та принцип роботи. Основні параметри камери зрошення та їхній розрахунок

### 1.3 ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ

Види та засоби контролю (тестування, контрольні роботи, індивідуальні завдання тощо)	Розподіл балів, %
<b>Модуль 1. Поточний контроль зі змістових модулів</b>	
ЗМ 1.1 Тестування. Тестування здійснюється після закінчення вивчення змістового модуля	20
ЗМ 2.1 Тестування. Тестування здійснюється після закінчення вивчення змістового модуля	20
ЗМ 3.1 Тестування. Тестування здійснюється після закінчення вивчення змістового модуля	20
<b>Підсумковий контроль з Модулю 1.</b>	
<b>Екзамен.</b> Екзамен здійснюється після тестувань ЗМ 1.1, 1.2, 1.3 та приймання курсового проекту	40
<b>Всього за Модулем 1</b>	<b>100%</b>

## 1.4 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ

**«Відмінно»** – за національною шкалою; **«А»** (90-100% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Творчий підхід до засвоюваного матеріалу, повнота і правильність виконання завдання

2. Вміння застосовувати різні принципи та методи у конкретних ситуаціях

3. Глибокий аналіз фактів, спроможність прогнозування результатів.

4. Чітке, послідовне викладення матеріалу.

5. Вміння пов'язати теорію з практикою

**«Добре»** – за національною шкалою; **«В»** (82-89% набраних балів), **«С»** (74-81% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Мають місце деякі непринципові помилки несуттєвого характеру у викладенні матеріалу за наявності достатніх знань з теми

2. Переважання логічного підходу, але не творчого у відповідях на питання

3. Подання не завжди правильне прогнозування подій

4. Вміння пов'язати теорію з практикою

**«Задовільно»** – за національною шкалою; **«D»** (64-73% набраних балів), **«Е»** (60-63% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Репродуктивний підхід до засвоєння та викладення матеріалу

2. Недостатня повнота викладення матеріалу з обов'язковим виконанням (з несуттєвими помилками) практичних завдань

3. Неглибокі знання основного матеріалу, наявність великої кількості неточностей у викладенні матеріалу

4. Нечітке викладення матеріалу, порушення логічної послідовності у викладенні

5. Утруднення у практичному втіленні прийнятих рішень

**«Незадовільно, з можливістю повторного оцінювання»** – за національною шкалою; **«FX»** (35-59% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Відсутність знань з більшої частини матеріалу, погане засвоєння принципових положень курсу

2. Наявність грубих, принципових помилок під час практичного виконання отриманих завдань

**«Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням»** – за національною шкалою; **«F»** (0-34% набраних балів) – за шкалою ECTS – виставляється за наступних умов:

1. Невиконання або виконання зі значними помилками у тих завданнях, які пов'язані з розв'язанням практичних завдань

2. Неграмотне та неправильне викладення матеріалу





справедливі співвідношення:

$$\sum Q_{\pi} = (I_B - I_{\pi}) \cdot m_B, \quad (2)$$

$$\sum W = (d_B - d_{\pi}) \cdot m_B, \quad (3)$$

де  $I_B$ ;  $I_{\pi}$  – ентальпія повітря відповідно точок "В" і "П", кДж/кг;  $m_B$  – кількість припливного повітря, кг;  $d_B$ ;  $d_{\pi}$  – вологовміст повітря точок "В" і "П", г/(кг сухого повітря).

Із формули (2) випливає, що за постійних значень  $Q_{\pi}$  та  $I_B$  необхідна кількість припливного повітря " $m_B$ " буде тим меншою, чим нижча величина  $I_{\pi}$ . Менша кількість припливного повітря вигідна, оскільки одночасно зменшуються капітальні й експлуатаційні витрати на СКП. Кількість припливного повітря буде мінімальною, якщо взяти параметри припливного повітря в точці перетину " $\varepsilon_{\pi}$ " з кривою відносної вологості  $\varphi=100\%$ . Коли надходження вологи у приміщення відносно великі, промінь " $\varepsilon_{\pi}$ " не перетинається з  $\varphi=100\%$ . Для зменшення коливань температури у робочій зоні рекомендується визначитися з "робочою різницею температур"  $\Delta t_p$ , яку залежно від висоти приміщення слід приймати у межах 2-4 °С (для громадських та житлових будівель). Висота приміщень при цьому повинна знаходитися у межах 4-6 м.

## 2.3 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

### Розрахунок повітрообміну для систем кондиціонування

Графоаналітичний розрахунок процесу оброблення повітря для теплого періоду року виконують у наведених нижче складі й порядку операцій.

- нанесення точок "Н" і "В" в I-d діаграмі (рис 1);
- обчислення кутового коефіцієнта процесу для теплого періоду, його побудова в I-d діаграмі;
- вибір розрахункової різниці температур,  $\Delta t_p$ ;
- визначення в I-d діаграмі положення точки "П", що характеризує параметри припливного повітря.

Точка "П" знаходиться на перетині променя процесу " $\varepsilon_{\pi}$ " з ізотермою  $t_{\pi}$ .

$$t_{\pi} = t_B - \Delta t_p \quad (4)$$

- потрібна кількість припливного повітря визначається за формулою:

$$m_{\pi} = \frac{3,6 \cdot Q_{\pi}}{I_B - I_{\pi}}, \quad (5)$$

де  $Q_{\pi}$  – сумарні теплові надходження, Вт.

- із т. "П" проводиться лінія  $d_{\pi} = \text{const}$  до перетину з кривою відносної вологості  $\varphi=95\%$ . Знайдена таким чином точка "К" з'єднується з точкою "Н", що характеризує в I-d діаграмі параметри зовнішнього повітря теплого періоду року.

Відрізок "НК" відображає у діаграмі процес охолодження й осушення повітря у повітроохолоджувачі будь-якого типу (поверхневого або контактному); відрізок "КП" – процес нагріву повітря у повітронагрівачі другого підігріву (теплообмінник, що живиться гарячою водою, або електричний повітронагрівач).

Таким чином, розв'язане основне завдання розрахунку – визначено

повітрообмін приміщення і параметри припливного повітря, за яких у розрахунковому режимі теплого періоду забезпечується підтримання заданих параметрів внутрішнього повітря.

Крім цього, визначені потужності технологічних блоків, що обробляють припливне повітря у теплий період (повітроохолоджувач, повітронагрівач другого підігріву, вентилятор).

## 2.4 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3

### Процес обробки повітря у холодний період

У холодний період причинами зміни температури та відносної вологості внутрішнього повітря громадських та адміністративно-побутових будівель є:

- надходження теплоти і вологи від людей;
- надходження теплоти від чергового або звичайного опалення;
- витрачання теплоти через конструкції, що огорожують приміщення.

Завданням СКП (або СВ) у цьому випадку є подача припливного повітря таких параметрів, за яких забезпечується баланс теплоти й вологи у приміщенні, що обслуговується.

Розрахунок та побудову процесу виконують у такий послідовності:

- наносять в I-d діаграмі точки "Н" і "В" для холодного періоду року (рис. 2);
- визначають величини тепловологонадходжень у приміщення та тепловитрати. Одночасно надходження теплоти від чергового опалення і витрати теплоти через огороження будівлі (приміщення) розраховують за загальноприйнятими методиками, а надходження теплоти й вологи від людей визначають аналогічно тепловому періоду з корекцією на нове значення  $t_B$ ;

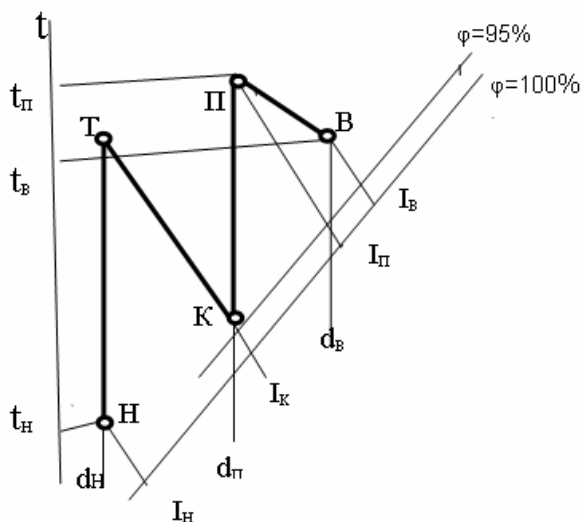


Рис. 2 – I-d діаграма обробки повітря у холодний період року за компенсації тепловитрат та асиміляції надлишків вологи

- обчислюють кутовий коефіцієнт  $\varepsilon_3$ , що характеризує зміну параметрів припливного повітря за асиміляції надлишків теплоти (або компенсації її витрат) приміщення та надходжень вологи від людей:

$$\varepsilon_3 = \frac{3,6 \cdot \sum Q_{\text{п}}}{\sum W}, \quad (6)$$

де

$$Q_n = Q_n^1 + Q_{q.o.} - Q_{ТП}, \quad (7)$$

$Q_n^1; Q_{q.o.}; Q_{ТП}$  – надходження повної теплоти від людей, освітлення, устаткування ( $Q_n^1$ ), від чергового опалення ( $Q_{q.o.}$ ), витрати теплоти огороженням будівлі або приміщення ( $Q_{ТП}$ ), Вт;

$W$  – кількість водяної пари, яка надходить від людей, що знаходяться у приміщенні.

До того ж можливі випадки:  $Q_n \geq 0$ ,  $Q_n < 0$ .

Кількість вологи, що надходить до приміщення:  $W \geq 0$ .

Тому можливі кутові коефіцієнти процесів:  $\varepsilon_3 \geq 0$ ,  $\varepsilon_3 < 0$ .

Відповідно визначенню  $\varepsilon_3$  розташується в I-d діаграмі відрізок "ПВ".

- через точку "В" проводять промінь процесу, що відбувається в приміщенні, з кутовим коефіцієнтом  $\varepsilon_3$ ;

- визначають розрахунковий вологовміст припливного повітря  $d_n$ :

$$d_n = d_b - \frac{W \cdot 10^3}{m_b}; \quad (8)$$

- знаходять точку перетину  $d_n$  і  $\varepsilon_3$ , що визначає в I-d діаграмі параметри припливного повітря (точка "П", рис. 2);

- знаходять точку перетину лінії  $d_n$  з кривою  $\phi=95\%$  – точку "К".

- через точку "К" проводять ізоентальпу, а через "Н" – лінію  $d_n$  до перетину з ізоентальпою  $I_k$ . Точка перетину позначається "Т";

- порядок оброблення повітря в технологічних блоках у холодний період року наступний:

"НТ" – підігрів зовнішнього повітря у повітронагрівачі 1-го підігріву;

"ТК" – зволоження і охолодження повітря (адіабатний процес) у зволожувачі;

"КП" – підігрів повітря у повітронагрівачі 2-го підігріву;

"ПВ" – промінь процесу компенсації тепловитрат і асиміляція вологонаходжень у приміщення.

Наведені розрахунки і побудови на їх основі в I-d діаграмі дозволяють визначити початкові та кінцеві параметри кожного з елементарних процесів, послідовність яких формує комплексний процес оброблення повітря у холодний період року.

Особливістю розрахунку для холодного періоду є те, що до переліку заданих параметрів процесу не включена кількість припливного повітря. Вона дорівнює визначеному показнику для теплого періоду.

Маючи кількість повітря, а також його початкові та кінцеві параметри, можна визначити конструктивні особливості, тепловий та гідравлічний режими роботи технологічних блоків. Відповідні методики розрахунків наведені у літературі [1-4].

## 2.5 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4

### Підбір вентиляційних пристроїв і вентилятора

Підбір вентиляторів роблять за їхніми характеристиками, наведеними у довідниках [1-3]. Продуктивність вентилятора, м<sup>3</sup>/год, (відкладено по осі абсцис) приймають за розрахунковою витратою повітря для системи:

$$L_{\text{вент}} = k_{\text{подс}} \cdot Z_{\text{сист}} \quad (9)$$

де  $k_{\text{подс}}$  – коефіцієнт, що враховує підсмоктування або витікання повітря із системи: для металевих, пластмасових та азбестоцементних повітропроводів за  $l_{\text{маг}} < 50$  м  $k_{\text{подс}} = 1,1$ , за  $l_{\text{маг}} = 50$  м  $k_{\text{подс}} = 1,15$ ; за наявності повітропроводів з інших матеріалів за  $l_{\text{маг}} = 50$  м  $k_{\text{подс}} = 1,15$ .

Довжину повітропроводів визначають за довжиною магістральних ділянок, прокладених поза приміщенням, що обслуговують.

Тиск, створюваний вентилятором:

$$P_{\text{вент}} = 1,1 \Delta p_{\text{п}}, \quad (10)$$

де 1,1 - коефіцієнт, що враховує 10% запасу тиску на невраховані втрати;  $\Delta p_{\text{п}}$  - загальні втрати тиску (повного) у системі (втрати в мережі й вентиляційному устаткуванні).

Робочий режим вентиляторів рекомендується обирати таким чином, щоб коефіцієнт корисної дії відрізнявся не більше, ніж на 10% від максимального.

Потужність, спожита на валу електродвигуна, визначається за формулою

$$N_{\text{э}} = \frac{L_{\text{вент}} \cdot P_{\text{вент ф}}}{(3600 \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{п}})}, \quad (11)$$

де  $P_{\text{вент ф}}$  - фактичний тиск, що розвивається вентилятором (за характеристикою прийнятого вентилятора);  $\eta_{\text{в}}$  і  $\eta_{\text{п}}$  – ККД відповідно вентилятора й передачі.

ККД передачі дорівнює 1 – за безпосереднього приєднання колеса вентилятора до вісі електродвигуна й 0,95 – за клиноремінної передачі.

Настановна потужність електродвигуна з урахуванням необхідного запасу приймається за формулою:

$$N_{\text{уст}} = k N_{\text{э}}, \quad (12)$$

де  $k$  - коефіцієнт запасу, прийнятий за довідником [1].

## 2.6 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 5

### Розрахунок систем вентиляції

За переміщення повітря у системах вентиляції відбувається втрата енергії, що зазвичай виражається у перепадах тисків повітря на окремих ділянках системи й у системі в цілому. Аеродинамічний розрахунок проводиться з метою визначення розмірів поперечного перерізу повітропроводів у мережі. Одночасно у системах із гравітаційним примусом руху передбачуваний тиск задано, у системах з механічним спонуканням руху втрати тиску визначають вибір вентилятора. В останньому випадку добір розмірів поперечного перерізу повітропроводів, як правило, проводять за гранично припустимими швидкостями повітря.

Втрати тиску  $\Delta p$ , Па, на ділянці повітропроводів довжиною  $l$  визначають за формулою Дарсі-Вейсбаха [5]:

$$\Delta p = R \cdot \ell + Z, \quad (13)$$

де  $R$  – питома втрата тиску на 1 м сталевих повітропроводів, Па/м;

$Z$  – втрата тиску у місцевих опорах, Па,

$\ell$  – довжина повітропроводу, м.

Втрату тиску у місцевих опорах  $Z$ , (Па) розраховують за формулою:

$Z = \xi \frac{V^2 \cdot \gamma}{2g}$ , де  $\xi$  – коефіцієнт, який характеризує місцевий опір, значення

приймається за довідниками [1, 2],  $V$  – швидкість потоку рідини після місцевого опору, м/с,  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>,  $\gamma$  – питома вага

повітря, Н/м<sup>3</sup>, а питому втрату тиску розраховують за формулою  $R = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{V^2 \cdot \gamma}{2g}$ , де

$\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя, який розраховують залежно від шорсткості повітропроводів [1, 5].

Аеродинамічний розрахунок вентиляційної системи складається з двох етапів: розрахунку ділянок основного напрямку – магістралі й пов'язування всіх інших ділянок системи. Розрахунок ведеться у такій послідовності.

1. Визначають навантаження окремих розрахункових ділянок. Для цього систему розбивають на окремі ділянки. Розрахункова ділянка характеризується постійною за довжиною витратою повітря та постійним діаметром. Межами між окремими ділянками служать трійники або будь-які відгалуження.

Розрахункові витрати на ділянках визначають складанням витрат на окремих відгалуженнях, починаючи з периферійних ділянок. Значення витрати й довжину кожної ділянки вказують на аксонометричній схемі системи, яку розраховують.

2. Вибирають основний (магістральний) напрямок, для чого виявляють найбільш протяжний ланцюжок послідовно розташованих розрахункових ділянок. За рівної довжини магістралей за розрахункову обирають найбільш навантажену. Для витяжної системи із гравітаційним примусом руху повітря за магістральний напрямок приймають найбільш протяжний ланцюжок ділянок від жалюзійних ґрат верхнього поверху.

3. Нумерацію ділянок магістралі переважно починають із ділянки з меншою витратою. Витрату, довжину й результати наступних розрахунків заносять у таблицю аеродинамічного розрахунку, яку подано у табл. 1.

4. Розміри перетину розрахункових ділянок магістралі визначають, орієнтуючись на вимоги БНіП [6]. Орієнтовну площу поперечного перерізу ( $F$ , м<sup>2</sup>) приймають за формулою:

$$F = \frac{L}{3600 \cdot v_{рек}}, \quad (14)$$

де  $L$  – розрахункова витрата повітря на ділянці (наприклад, витрата за кратністю), м<sup>3</sup>/год;  $v_{рек}$  – швидкість руху повітря, яку рекомендовано [6] підтримувати на ділянках вентиляційних систем (табл. Д.3).

5. Фактичну швидкість  $v_{фак}$ , м/с, визначають із урахуванням площі перетину прийнятого за стандартний повітропроводу:

$$v_{\text{фак}} = \frac{L}{3600 \cdot F_{\phi}} \quad (15)$$

За цією швидкістю обчислюють динамічний тиск на ділянці.

6. Визначають питому втрату тиску на тертя.

Для прямокутних повітропроводів з розмірами (a×b) розрахунок проводиться за еквівалентним за швидкістю діаметром

$$d_v = 2ab/(a+b) \quad (16)$$

За визначення значення R для прямокутного повітропроводу за таблицями необхідно розрахувати значення R за v й d<sub>v</sub>, не приймаючи до уваги фактичні витрати повітря.

7. Втрати тиску у місцевих опорах ділянок залежать від суми коефіцієнтів місцевого опору й динамічного тиску. За вибору коефіцієнтів місцевих опорів необхідно звертати увагу на те, до якої швидкості належить табличне значення коефіцієнта й за необхідності робити перерахування.

8. Загальні втрати тиску у системі рівні сумі втрат на магістралі та у вентиляційному обладнанні:

$$\Delta p = \sum (R\ell + Z)_{\text{маг}} + \Delta p_{\text{обор}} \quad (17)$$

де  $\Delta p_{\text{обор}}$  – витрати тиску на вентиляційному устаткуванні, приймається за відповідною літературою [1].

Для систем з механічним спонуканням руху повітря за значенням загальних втрат тиску у системі визначається необхідний тиск вентилятора. Результати розрахунку заносяться до табл. 1 [1].

9. Пов'язування інших ділянок (відгалужень) проводять, починаючи з найбільш протяжних відгалужень. Методика пов'язування відгалужень аналогічна розрахунку ділянок основного напрямку.

За ув'язування відгалуження відома втрата тиску у ньому дорівнює втратам тиску на магістралі від сумісної точки до входу або виходу повітря в атмосферу:

$$P_{\text{расп. отв.}} = \sum (R\ell + Z)_{\text{парал. уч.}} \quad (18)$$

Розміри перетинів відгалужень вважаються підібраними, якщо відносне непов'язування втрат у паралельних ділянках не перевищує 15% [1]:

$$\frac{\sum (R\ell + Z)_{\text{отв.}} - \Delta P_{\text{расп. отв.}}}{P_{\text{расп. отв.}}} \cdot 100\% \leq 15\% \quad (19)$$

## 2.7 ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 6

### Розрахунок повітрообміну

**Повітрообміном** називається заміна забрудненого повітря, яке знаходиться у приміщенні, чистим повітрям.

Повітрообмін може розраховуватись за шкідливостями або за кратністю [1, 6].

Якщо у повітрі присутні газові шкідливі складові, то необхідний повітрообмін розраховують за наступною формулою:

$$L_K = \frac{K}{K_{\text{доп}} - K_{\text{пр}}} \quad (20)$$

де K – масовий видаток газу, який надходить до приміщення, мг/год;

K<sub>доп</sub> – межова допустима концентрація газу, мг/м<sup>3</sup>;

K<sub>пр</sub> – концентрація газу у припливному повітрі, мг/м<sup>3</sup>.

Таблиця 1 – Аеродинамічний розрахунок систем вентиляції

№ ділянок	Витрата повітря $L$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	Довжина ділянки $l$ , м	Розміри повітропроводів			Швидкість повітря $v$ , м/с	Питомі втрати на тертя по довжині $R$ , Па	Втрати на тертя по довжині $Rl$ , Па	Сума коефіцієнтів місцевих опорів $\Sigma \zeta$	Динамічний тиск $p_{\text{д}}$ , Па	Втрати на місцевих опорах $Z$ , Па	Сумарні втрати тиску на ділянці $Rl+Z$ , Па	Сумарні втрати тиску на ділянці $\Sigma(Rl+Z)$ , Па	Примітки
			$a \times b$ , мм	Еквівалентний діаметр, $d_v$ , м	Площа поперечного перерізу, $F$ , $\text{м}^2$									
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
1-2														
2-3														

Примітки: 1 – Графи 1-3 заповнюють за даними схеми повітропроводів; 2 – Значення графі 4 визначають за орієнтовною швидкістю на ділянці та округляють до стандартних розмірів повітропроводів або каналів.



Якщо до приміщення надходить волога, потрібен розрахунок необхідного повітрообміну для видалення вологи:

$$L_w = \frac{C}{(d_{yd} - d_{np}) \cdot \rho}, \quad (21)$$

де  $C$  – маса водяної пари, яка виділяється у приміщенні, г/год;

$d_{yd}$  – вологовміст повітря, яке видаляється із приміщення, г/(кг сухого повітря);

$d_{np}$  – вологовміст повітря, яке надходить до приміщення, г/(кг сухого повітря);

$\rho$  – щільність припливного повітря, кг/м<sup>3</sup>.

Необхідний повітрообмін за надлишковою явною теплотою буде знаходитися за наступною формулою:

$$L_y = \frac{3,6 Q_{изб}}{c \cdot (t_{yd} - t_{np}) \cdot \rho} \quad (22)$$

де  $Q_{изб}$  – надлишкова теплота, Вт;

$\rho$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – теплоємність повітря, кДж/(кг·К);

$t_{yd}$  – температура повітря, що видаляється, °С;

$t_{np}$  – температура припливного повітря, °С.

Кратність повітрообміну – кількість об'ємів повітря (відповідно до об'ємів приміщення), які видаляються за годину з приміщення. Однократний повітрообмін: за одну годину з приміщення видаляється кількість повітря, яка відповідає одному об'єму приміщення:

$$n = L / V, \quad (23)$$

де  $n$  – кратність повітрообміну;  $L$  – об'єм повітря, який видаляється або подається, м<sup>3</sup>/год;  $V$  – об'єм приміщення, м<sup>3</sup>.

Також повітрообмін розраховують за необхідною кількістю повітря на людей, які присутні у приміщенні. Для цього за нормативною літературою [6] знаходять необхідну кількість повітря на одну людину і множать її на кількість людей у приміщенні:

$$L_n = v \cdot N, \quad (24)$$

де  $v$  – нормована кількість повітря на одну людину, м<sup>3</sup>/год, знаходиться у залежності від типу приміщення [6],  $N$  – кількість людей у приміщенні, чел.

Якщо у приміщенні багато факторів, які впливають на повітрообмін (теплота, газоподібні домішки шкідливих речовин, таке інше), треба розраховувати повітрообмін за всіма факторами, а потім приймати найбільшу величину витрати повітря [1, 6].

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Под общ. ред. И.Г. Старовойтова. - М.: Стройиздат. 1978.
2. Тихомиров К.В., Сергиенко Э.С. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. - М.: Стройиздат, 1991.
3. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. - М.: Стройиздат, 1982.
4. Шульга Н.А., Алексахин А.А., Юхно И.Ф. Теплоснабжение и вентиляция зданий. Учебное пособие. – Харьков; ХНАГХ, 2002. – 145 с.
5. Шушляков Д.О. Технічна механіка рідин і газів. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 78 с.
6. Отопление, вентиляция и кондиционирование: СНиП 2.04.05-91\*У. – К.: Будівельник, 1994. – 150 с.: ил.

## ДОДАТКИ

**Таблиця Д.1 – Зв'язок одиниць тиску в системі СІ з деякими іншими системами виміру**

Одиниці тиску	Па	бар	кгс/м <sup>2</sup>	кгс/см <sup>2</sup>	мм рт. ст.	мм вод. ст.
Па	1	10 <sup>-5</sup>	0,1	~10 <sup>-5</sup>	0,0075	~0,1
бар	10 <sup>5</sup>	1	~10 <sup>6</sup>	~1	~750	~10200
кгс/м <sup>2</sup>	~10	~10 <sup>-6</sup>	1	~10 <sup>-4</sup>	0,0735	~1
кгс/см <sup>2</sup>	~10 <sup>5</sup>	~1	10 <sup>4</sup>	1	~735	10 <sup>4</sup>
мм рт. ст.	133,3	1,33*10 <sup>-3</sup>	~13,6	1,36*10 <sup>-3</sup>	1	13,6
мм вод. ст.	~10	10 <sup>-4</sup>	~1	10 <sup>-4</sup>	0,0735	1

**Таблиця Д.2 – Значення кінематичної в'язкості  $\nu$  і питомої газової постійної  $R$  для повітря**

Газ	$\nu \cdot 10^4$ , м <sup>2</sup> /с за температури в °С				$R$ , Дж/(кг·К)
	0	20	50	100	
Повітря	0,133	0,151	0,178	0,232	287

**Таблиця Д.3– Швидкості руху повітря  $v_{рек}$ , які рекомендують, для орієнтовного підбору площі живого перетину**

Повітропроводи, канали й шахти	Значення $v_{рек}$ , м/с	
	за природної вентиляції	за механічної вентиляції
Повітроприймні жалюзі	0,5-1,0	2,0-4,0
Канали та припливні шахти	1,0-2,0	2,0-6,0
Горизонтальні збірні канали	1,0-1,5	5,0-8,0
Вертикальні канали	1,0-1,5	2,0-5,0
Припливні ґрати в стелі	0,5-1,0	0,5-1,0
Витяжні ґрати	0,5-1,0	1,0-2,0
Витяжні шахти	1,5-2,0	3,0-6,0

*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до проведення самостійної роботи та практичних занять  
з дисципліни

**"Вентиляція та кондиціювання повітря"**

(для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання  
за напрямом 6.060101 "Будівництво" спеціальності  
"Міське будівництво і господарство" спеціалізації  
"Технічне обслуговування, ремонт і реконструкція будівель")

Укладач **Шушляков** Дмитро Олександрович

Відповідальний за випуск *О. В. Бабловський*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання: *К. А. Алексанян*

План 2011, поз. 29 М

Підп. до друку 13.10.11

Друк на різнографі

Зам. №

Формат 60×84/16

Ум. друк. арк. 1,18

Тираж 50 прим.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №4064 від 12.05.2011