

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

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ВЕНТИЛЯЦІЯ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія
галузі знань 19 – Архітектура та будівництво,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Вентиляція» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія галузі знань 19 – Архітектура та будівництво, освітня програма «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Ю. О. Бурда, Ю. І. Чайка. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 42 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. Ю. О. Бурда,
канд. техн. наук, доц. Ю. І. Чайка

Рецензент

Р. Б. Ткаченко, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою теплогазопостачання і вентиляції, протокол № 5 від 12.12.2024

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Подано вимоги до оформлення, засоби та послідовність виконання завдань, список рекомендованих джерел, наведено приклади оформлення робіт.

ЗМІСТ

1 АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ РУХУ ТА ОБМІНУ ПОВІТРЯ В ЗАМКНЕНИХ ПРИМІЩЕННЯХ	5
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 1	6
2 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В РІЗНИХ ТИПАХ ПРИМІЩЕНЬ ТА ОЦІНКА ЇХНЬОГО ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ.....	6
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 2	8
3 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ БУДІВЛІ ТА ЙОГО ВЗАЄМОДІЯ З ВЕНТИЛЯЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ	8
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 3	9
4 ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИРОДНОЇ ТА МЕХАНІЧНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ В УМОВАХ РІЗНИХ ТИПІВ ПРИМІЩЕНЬ.....	10
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 4	12
5 АНАЛІЗ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ПОТОКІВ У ПОВІТРОПРОВОДАХ.....	12
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 5	14
6 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ ТА МЕТОДИ ЇЇ РЕГУЛЮВАННЯ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ.....	14
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 6	16
7 РОЗРАХУНОК ПОВІТРОПРОДУКТИВНОСТІ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	16
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 7	19
8 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВНУТРІШНІХ ТА ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОВІТРООБМІНУ В ПРИМІЩЕННЯХ.....	19
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 8	22
9 ВИЗНАЧЕННЯ КРАТНОСТІ ПОВІТРООБМІНУ ДЛЯ ЖИТЛОВИХ ТА ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ	22
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 9	24
10 АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ НА РОБОТУ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МОЖЛИВІ СПОСОБИ ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ	24
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 10	26
11 МОДЕЛЮВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ПОТОКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	26
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 11	28
12 ПРОЄКТУВАННЯ БАЗОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ПРИМІЩЕННЯ.....	28

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 12	30
13 ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ПРИМІЩЕНЬ	31
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 13	33
14 АНАЛІЗ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВІТРОВОДІВ ТА ПРОПОЗИЦІЇ З ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ	33
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 14	35
15 РОЗРОБКА ІНТЕГРОВАНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БУДІВЛІ.....	36
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 15	38
16 ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ІСНУЮЧИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМАХ.....	38
ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 16	40
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	41

1 АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ РУХУ ТА ОБМІНУ ПОВІТРЯ В ЗАМКНЕНИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Мета заняття: ознайомлення із механізмами руху та обміну повітря в замкнених приміщеннях, а також із вивченням факторів, які впливають на ці процеси. Студенти мають зрозуміти, як різні типи вентиляційних систем впливають на повітрообмін, забезпечуючи комфортні умови в приміщеннях.

Теоретичні положення. Процеси руху та обміну повітря в приміщеннях ґрунтуються на фізичних принципах, зокрема законах газів, а також на аеродинамічних процесах. Вони містять конвекцію, дифузію та турбулентність, що визначають, як повітря переміщується в обмежених просторах. Важливим фактором є швидкість руху повітря та його змішування в приміщенні, оскільки це впливає на рівень викидів CO₂, наявність забруднюючих речовин та рівень температури і вологості. Для забезпечення ефективного повітрообміну необхідно враховувати конфігурацію приміщення, розміри вікон, дверей, а також розміщення джерел тепла та викидів.

Основними механізмами руху повітря в замкнених приміщеннях є природна та механічна вентиляція. Природна вентиляція забезпечується за рахунок різниці температури і тиску зовнішнього та внутрішнього повітря, що сприяє руху повітря через відкриті отвори. Механічна вентиляція використовує вентилятори та інше обладнання для забезпечення руху повітря, що дає змогу контролювати його обсяг і швидкість.

Основна частина. Аналіз механізмів руху повітря в замкнених приміщеннях вимагає врахування декількох основних факторів, таких як температура, вологість, наявність джерел забруднення, тип вентиляційної системи та конфігурація простору. Повітря в приміщенні може рухатися за допомогою природних сил (градієнти температури та тиску) або за допомогою механічних пристроїв (вентиляторів, кондиціонерів).

Важливим аспектом є те, що ефективний обмін повітря не тільки покращує якість повітря, але і забезпечує комфорт людей у приміщенні. Низька швидкість повітряного потоку може призвести до застою повітря, що збільшує ймовірність

накопичення забруднюючих речовин і може негативно впливати на здоров'я, у той час як надмірна швидкість може створити дискомфорт, спричинити холодні або гарячі потоки повітря [1].

Особливу увагу потрібно приділяти аеродинаміці повітряних потоків, що допомагає оптимізувати рух повітря в межах приміщення, сприяючи рівномірному розподілу температури і вологості. Моделювання таких потоків дозволяє визначити найбільш ефективні маршрути повітря в приміщеннях різного призначення.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 1

Теоретичні питання

1. Які основні механізми руху повітря в замкнених приміщеннях?
2. Як температура і тиск впливають на обмін повітря в приміщенні?
3. У чому різниця між природною і механічною вентиляцією?
4. Як конфігурація приміщення впливає на ефективність вентиляції?
5. Яким чином аеродинамічні характеристики повітропроводів впливають на рух повітря в приміщенні?

2 ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ В РІЗНИХ ТИПАХ ПРИМІЩЕНЬ ТА ОЦІНКА ЇХНЬОГО ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Мета заняття: ознайомлення з параметрами мікроклімату в приміщеннях, їх характеристиками та впливом на комфорт і здоров'я людини. Студенти повинні зрозуміти, які фактори визначають оптимальний мікроклімат для різних типів приміщень і як забезпечити відповідні умови для здоров'я людей, що перебувають у них.

Теоретичні положення. Мікроклімат приміщення визначається комбінацією кількох факторів, основними з яких є температура, вологість, швидкість руху повітря, рівень освітленості, а також концентрація шкідливих

речовин у повітрі. Ці параметри значною мірою впливають на самопочуття та здоров'я людей, а також на їх здатність до продуктивної діяльності.

Температура повітря є основним параметром мікроклімату, що визначає рівень теплового комфорту в приміщенні. Занадто висока або низька температура може призвести до різних порушень у роботі організму, таких як перегрів або переохолодження. Вологість також має важливе значення: високий рівень вологості може сприяти розвитку плісняви, а низька вологість призводить до сухості слизових оболонок і шкіри.

Швидкість руху повітря важлива для забезпечення комфортного мікроклімату. Вона повинна бути оптимальною: занадто сильний потік повітря може призвести до дискомфорту та навіть до захворювань, таких як застудні або респіраторні інфекції. Крім того, важливими параметрами є рівень освітленості та концентрація в приміщенні шкідливих газів, таких як вуглекислий газ, що також впливає на фізичний і психологічний стан людей.

Основна частина. У різних типах приміщень – від житлових до виробничих – оптимальні параметри мікроклімату можуть змінюватися. Для житлових приміщень важливими є комфортна температура (зазвичай від 18 °C до 22 °C) і вологість (40–60 %). У виробничих приміщеннях необхідно враховувати специфічні умови, наприклад, підвищену вологість або наявність шкідливих речовин у повітрі.

Оцінка впливу мікроклімату на здоров'я людини проводиться через аналіз його здатності сприяти розвитку або запобіганню певних захворювань. Неправильний мікроклімат може призвести до респіраторних захворювань, алергій, а також негативно впливати на загальний фізичний та психічний стан. Для забезпечення здорового мікроклімату важливо здійснювати регулярний контроль за параметрами повітря в приміщеннях і здійснювати коригування вентиляційних систем [2].

Також для оцінки мікроклімату використовуються спеціальні вимірювальні прилади, такі як термометри, гігрометри та анемометри, які дозволяють вимірювати температуру, вологість та швидкість руху повітря в реальному часі.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 2

Теоретичні питання

1. Які основні параметри визначають мікроклімат приміщення?
2. Як температура повітря впливає на комфорт і здоров'я людини?
3. Який вплив на здоров'я має висока вологість в приміщенні?
4. Чому важливо контролювати швидкість руху повітря в приміщенні?
5. Які методи використовуються для вимірювання параметрів мікроклімату?

3 РОЗРАХУНОК ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ БУДІВЛІ ТА ЙОГО ВЗАЄМОДІЯ З ВЕНТИЛЯЦІЙНОЮ СИСТЕМОЮ

Мета заняття: ознайомлення студентів із принципами розрахунку теплового балансу будівлі та його взаємодії із вентиляційною системою. Студенти повинні зрозуміти, як ефективно організувати тепловий баланс в будівлі та як вентиляція може впливати на нього, забезпечуючи енергоефективність та комфорт у приміщеннях.

Теоретичні положення. Тепловий баланс будівлі є важливою частиною її енергетичної ефективності. Він визначає співвідношення між тепловими втратами та тепловими надходженнями, що забезпечують підтримку комфортних температурних умов у приміщенні. Основні джерела теплових надходжень містять теплоту, що надходить через огорожувальні конструкції від сонячного випромінювання, теплоту, яку генерують внутрішні джерела (освітлення, техніка, люди), а також теплоту, що надходить через вентиляційні системи.

З іншого боку, основними шляхами теплових втрат є теплопередача через стіни, вікна, дах і підлогу, а також через вентиляційні системи. Вентиляція сприяє як тепловим втратам, так і тепловим надходженням, оскільки повітря, що постійно обмінюється між внутрішнім простором і зовнішнім середовищем, може бути як холодним, так і теплим.

Задача розрахунку теплового балансу полягає в аналізі всіх джерел теплових витрат і надходжень, щоб досягти бажаного температурного режиму в приміщенні за мінімальних енергетичних витрат. Важливою частиною теплового балансу також є вивчення характеристик вентиляційної системи: обсяг повітря, що постійно надходить і виводиться, його температура та вологість.

Основна частина. Розрахунок теплового балансу будівлі починається з визначення кількості тепла, що надходить у приміщення. Ці надходження можуть бути як пасивними, через теплоту, яку поглинають стіни, вікна та інші огорожувальні конструкції від сонячного випромінювання, так і активними, через внутрішні джерела тепла. Сюди належить теплота, яка виділяється людьми, освітленням, побутовою технікою і теплота, яка виділяється іншими елементами, що використовуються у приміщенні.

Теплові втрати визначаються за допомогою коефіцієнтів теплопередачі та площ поверхонь, що контактують з навколишнім середовищем. Стіни, дахи, вікна і підлоги, які мають різні температури на зовнішній та внутрішній поверхнях, є основними шляхами теплових втрат.

Зокрема вентиляція може сприяти тепловим втратам через виведення теплого повітря з приміщення і заміну його холодним зовнішнім повітрям. Водночас вентиляційні системи можуть допомогти в збереженні тепла, якщо використовуються рекуператори тепла або системи з енергозбереження, які використовують тепло витяжного повітря для підігріву припливного [3].

Одним з методів оптимізації теплового балансу є застосування автоматичних систем керування вентиляцією, що дозволяють підтримувати оптимальну температуру та вологість у приміщеннях, скорочуючи енергетичні витрати на обігрів і охолодження.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 3

Теоретичні питання

1. Що входить до складу теплового балансу будівлі?
2. Як вентиляція впливає на теплові втрати та надходження в будівлю?

3. Які джерела теплових надходжень в будівлю можуть бути враховані під час розрахунку теплового балансу?

4. Як правильно розраховувати теплові втрати через огорожувальні конструкції?

5. Які методи оптимізації теплового балансу будівлі можуть бути застосовані для скорочення енергетичних витрат?

4 ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИРОДНОЇ ТА МЕХАНІЧНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ В УМОВАХ РІЗНИХ ТИПІВ ПРИМІЩЕНЬ

Мета заняття: аналіз і порівняння ефективності природної та механічної вентиляції в різних типах приміщень. Студенти повинні ознайомитися з основними принципами роботи цих систем, їх перевагами та недоліками, а також вивчити фактори, що впливають на їх ефективність у різних умовах.

Теоретичні положення. Природна вентиляція є одним із найстаріших способів організації повітрообміну в приміщеннях. Вона ґрунтується на різниці температури і тиску між внутрішнім і зовнішнім середовищем, що забезпечує природний рух повітря. Основними елементами природної вентиляції є вікна, вентиляційні канали та інші елементи, що дозволяють повітрю вільно переміщатися через будівлю. Ефективність природної вентиляції залежить від багатьох факторів, таких як температура повітря, висота будівлі, напрямок і швидкість вітру, а також архітектурні особливості приміщень.

Механічна вентиляція, на відміну від природної, використовує спеціальне обладнання для примусового руху повітря через приміщення. Це можуть бути вентилятори, кондиціонери, рекуператори тепла та інші пристрої, що дозволяють контролювати потоки повітря, його температуру, вологість та чистоту. Механічна вентиляція забезпечує більшу стабільність і контроль за параметрами повітря, що особливо важливо в умовах приміщень, де природна вентиляція може бути малоефективною (наприклад, у герметичних або великих будівлях).

Основна частина. Ефективність природної вентиляції залежить від різниці температур і тиску між внутрішнім і зовнішнім середовищем. Вона здебільшого

працює ефективно в помірних кліматичних умовах і в приміщеннях з великою кількістю вікон або отворів, що дозволяють забезпечити необхідний повітрообмін. Природна вентиляція також має значні переваги в енергетичному плані, оскільки не потребує значних витрат електричної енергії на роботу вентиляторів чи кондиціонерів. Однак вона має і низку обмежень, зокрема недостатню ефективність у зимовий період, коли температурна різниця між внутрішнім і зовнішнім середовищем є недостатньою для забезпечення необхідного повітрообміну, або в умовах високої вологості.

Механічна вентиляція має високу ефективність за будь-яких умов, оскільки вона не залежить від зовнішніх факторів, таких як температура чи вітер. Вона дозволяє точніше регулювати параметри повітря (температуру, вологість, швидкість потоку), що робить її зручнішою для використання в спеціалізованих приміщеннях (наприклад, у лабораторіях, лікарнях або промислових об'єктах). Однак механічна вентиляція потребує значних енерговитрат для роботи обладнання та може бути більш складною у встановленні й обслуговуванні. Крім того, вона може бути менш ефективною, якщо система не налаштована правильно або якщо не використовуються сучасні технології для збереження енергії (наприклад, рекуперація тепла) [4].

Під час порівняння природної та механічної вентиляції важливо враховувати тип приміщення, вимоги до мікроклімату та енергоефективності. Природна вентиляція зазвичай ефективна в невеликих або середніх приміщеннях, де є природна циркуляція повітря. Механічна вентиляція необхідна в умовах, де природна вентиляція є недостатньою або неможливою, а також у великих і герметичних будівлях, де потрібен точний контроль за параметрами повітря.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 4

Теоретичні питання

1. Які основні фактори впливають на ефективність природної вентиляції?
2. У яких типах приміщень природна вентиляція є найбільш ефективною?
3. Які переваги має механічна вентиляція порівняно з природною?
4. Як механічна вентиляція може впливати на енергетичні витрати в будівлі?
5. Які параметри повітря можна контролювати за допомогою механічної вентиляції?

5 АНАЛІЗ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ПОТОКІВ У ПОВІТРОПРОВОДАХ

Мета заняття: вивчення аеродинамічних характеристик вентиляційних потоків у повітроводах, а також розуміння принципів їхнього аналізу для забезпечення ефективності роботи вентиляційних систем. Студенти повинні здобути навички аналізу руху повітря через повітроводи та оцінки аеродинамічних параметрів, що впливають на ефективність вентиляції.

Теоретичні положення. Аеродинаміка вентиляційних потоків є важливою частиною проектування та оптимізації вентиляційних систем. Вона вивчає поведінку повітря в каналах системи, враховуючи такі фактори, як швидкість потоку, тиск, турбулентність і втрати енергії. Аеродинамічні характеристики повітроводів, зокрема їхні розміри, форма, поверхнева обробка та матеріали, можуть істотно впливати на ефективність вентиляції.

Основними факторами, що визначають рух повітря в повітроводах, є різниця тиску між входом і виходом вентиляційної системи, а також характеристики самого повітря (густина, в'язкість). Для аналізу аеродинаміки повітряних потоків використовуються різні методи, зокрема методи обчислення

втрат тиску, визначення швидкості потоку, а також моделювання турбулентних і ламінарних режимів.

Важливе значення для ефективності вентиляційної системи мають втрати тиску, що виникають через тертя повітря об стінки повітроводів, а також зміни напрямку потоку та перешкоди в каналах (фітинги, вентиляційні решітки тощо). Оцінка цих втрат дозволяє правильно вибрати потужність вентиляторів та інші компоненти системи для забезпечення необхідного повітрообміну.

Основна частина. Аеродинамічний аналіз повітроводів починається з визначення основних параметрів потоку, таких як швидкість повітря і його напрямок. Одним з ключових параметрів є витрати повітря (об'єм повітря, який проходить через повітровод за одиницю часу), що визначає необхідний діаметр повітроводу для досягнення бажаного рівня вентиляції [5].

Втрати тиску в повітроводах можуть бути викликані як постійними, так і змінними опорами. Постійні опори виникають через тертя повітря об стінки, а змінні – через різноманітні перешкоди, що змінюють напрямок потоку. Для розрахунку втрат тиску часто використовуються таблиці або спеціалізовані програми, які дозволяють врахувати всі ці фактори. Втрати тиску можуть бути мінімізовані за рахунок оптимального вибору діаметрів повітроводів і правильного проектування їхнього маршруту.

Додатково важливими є питання вибору матеріалів для виготовлення повітроводів, адже шкарубка поверхня може спричиняти додаткові втрати енергії через збільшення тертя. У сучасних системах вентиляції також застосовують різноманітні пристрої, що дозволяють зменшити аеродинамічні втрати, наприклад, рекуператори та різні типи фільтрів.

Моделювання аеродинаміки вентиляційних потоків можна зробити за допомогою числових методів, що містять використання комп'ютерних програм для моделювання потоків у тривимірних системах. Ці програми дозволяють враховувати всі фактори, що впливають на аеродинамічні характеристики, і дають змогу оптимізувати розміри та конфігурацію повітроводів для досягнення максимального ефекту із мінімальними енергетичними витратами.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 5

Теоретичні питання

1. Які основні фактори визначають рух повітря в повітроводах вентиляційної системи?
2. Яким чином втрати тиску в повітроводах впливають на ефективність вентиляції?
3. Які методи використовуються для обчислення аеродинамічних характеристик вентиляційних потоків?
4. Як форму і матеріали повітроводів можна оптимізувати для зменшення аеродинамічних втрат?
5. Які переваги надає використання комп'ютерних моделей для аналізу аеродинамічних характеристик вентиляційних систем?

6 ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ ТА МЕТОДИ ЇЇ РЕГУЛЮВАННЯ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Мета заняття: вивчення впливу рівня вологості повітря на мікроклімат приміщень і здоров'я людини, а також знайомство з методами регулювання вологості в системах вентиляції. Студенти повинні засвоїти основні принципи визначення рівня вологості в приміщеннях, способи її вимірювання та методи контролю і регулювання вологості для створення комфортного та здорового середовища в будівлях.

Теоретичні положення. Вологість повітря є одним з основних параметрів мікроклімату, що безпосередньо впливає на комфорт і здоров'я людини. Вона визначається як кількість водяної пари в повітрі, і зазвичай виражається у відсотках відносної вологості. Відносна вологість є відношенням поточної кількості водяної пари до максимально можливої кількості за цієї температури.

Низька вологість може викликати сухість шкіри, подразнення дихальних шляхів і слизових оболонок, а також сприяти розвитку респіраторних захворювань. Висока вологість, зі свого боку, може призвести до розвитку

грибків, цвілі та бактерій, що також негативно впливає на здоров'я людини і може спричиняти погіршення якості повітря в приміщеннях.

Для регулювання вологості у вентиляційних системах використовуються різні методи. Одним із них є осушення повітря за допомогою спеціальних осушувачів або кондиціонерів, які виводять зайву вологу. Іншим методом є зволоження повітря, яке здійснюється через встановлення зволожувачів або за допомогою парогенераторів [6].

Для вимірювання вологості використовуються різноманітні пристрої, зокрема гігрометри, які можуть бути механічними або електронними. Останні дозволяють точно виміряти вологість в реальному часі, що є важливим для автоматизованого регулювання клімату в будівлях.

Регулювання вологості є важливим етапом в проєктуванні вентиляційних систем. Воно дозволяє забезпечити здоровий і комфортний клімат в приміщеннях, що є необхідним як для житлових, так і для виробничих приміщень, де особливі вимоги до вологості можуть бути пов'язані з технічними чи санітарними нормами.

Основна частина. Для ефективного регулювання вологості в системах вентиляції необхідно враховувати такі фактори, як тип приміщення, його розмір, кількість людей, температура повітря та рівень вологості, що надходить із зовнішнього середовища. У житлових приміщеннях оптимальний рівень вологості складає близько 40–60 %, що дозволяє підтримувати комфортні умови для проживання.

У вентиляційних системах для зменшення вологості застосовуються осушувачі, які виводять вологу з повітря шляхом конденсації. Ці пристрої використовують холодоагенти для охолодження повітря, що дозволяє зменшити кількість водяної пари, а згодом – збільшити відносну вологість до нормального рівня.

зі свого боку, для підвищення вологості в приміщеннях застосовуються зволожувачі, які розпилюють воду в повітря. Вони можуть бути механічними або ультразвуковими залежно від потреб системи вентиляції.

Особливу увагу потрібно приділяти автоматизації процесу регулювання вологості, що дозволяє в реальному часі змінювати параметри вентиляційної системи залежно від зміни умов у приміщенні. Для цього використовуються спеціальні сенсори вологості, які інтегровані в систему вентиляції та дозволяють здійснювати точне регулювання за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення.

Сучасні системи вентиляції можуть бути оснащені зволожувачами та осушувачами, що автоматично підтримують рівень вологості в межах заданих значень, забезпечуючи оптимальні умови для мешканців будівлі та підвищуючи енергоефективність завдяки точному контролю параметрів середовища.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 6

Теоретичні питання

1. Яким чином рівень вологості повітря впливає на здоров'я людини?
2. Які основні методи використовуються для регулювання вологості в системах вентиляції?
3. Як осушувачі працюють у вентиляційних системах для зменшення рівня вологості?
4. Які типи пристроїв використовуються для вимірювання вологості, і в чому полягають їхні основні відмінності?
5. Як автоматизація процесу регулювання вологості впливає на ефективність вентиляційних систем?

7 РОЗРАХУНОК ПОВІТРОПРОДУКТИВНОСТІ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ

Мета заняття: вивчення методів розрахунку повітропродуктивності для різних типів вентиляційних систем. Студенти повинні освоїти принципи визначення необхідного об'єму повітря, що має бути забезпечений для ефективної вентиляції в різних типах приміщень, враховуючи специфіку їхнього використання та вимоги до мікроклімату.

Теоретичні положення. Повітропродуктивність вентиляційної системи – це кількість повітря, що повинна подаватися або відводитися через систему вентиляції для забезпечення нормальних умов мікроклімату. Вона залежить від кількості людей у приміщенні, його об'єму, рівня забруднення повітря, а також від типу приміщення.

Для різних типів приміщень, таких як житлові, офісні, виробничі чи санітарні, розрахунок повітропродуктивності буде мати різні параметри. Основними факторами, які впливають на розрахунок, є:

- 1) кількість людей в приміщенні – основний фактор, який визначає потребу в свіжому повітрі для підтримки здорового мікроклімату;
- 2) обсяг приміщення. Чим більший обсяг, тим більше повітря потрібно для забезпечення його якісного обміну [7];
- 3) тип приміщення. Наприклад, в офісних приміщеннях потрібен певний обсяг повітря для комфортної роботи, в той час як для виробничих приміщень, де є викиди забруднювачів, потрібно забезпечити більший обмін повітря;
- 4) норми і стандарти. Для кожного типу приміщення є визначені нормативи, які регламентують мінімальні значення повітропродуктивності, що гарантують комфорт і безпеку.

Для житлових приміщень встановлені норми, які вимагають певної кількості повітря на одну людину для забезпечення нормальних умов для дихання. Наприклад, для кухні може бути вимога на 60 м³/год на одну людину, а для спальної кімнати – 30 м³/год.

У виробничих приміщеннях важливою є не тільки повітропродуктивність, але й очищення повітря від забруднювачів. Тут також враховується наявність вихлопних газів, пилу та інших шкідливих речовин. У таких приміщеннях повітропродуктивність часто визначається за допомогою нормативів, встановлених для різних виробничих процесів.

Розрахунок повітропродуктивності здійснюється за допомогою таких основних підходів:

1) об'ємний розрахунок. Визначення необхідного об'єму повітря на одиницю часу для певного об'єму приміщення;

2) лінійний розрахунок. Для кожного типу приміщення визначається необхідна кількість повітря залежно від площі приміщення та кількості людей.

Всі ці методи ґрунтуються на нормах та стандартних значеннях, що дозволяють точно визначити необхідну кількість повітря для кожного конкретного випадку.

Основна частина. Розрахунок повітропродуктивності є важливим етапом під час проєктування вентиляційних систем, оскільки від нього залежить ефективність забезпечення нормального мікроклімату в будівлі. Для цього необхідно врахувати кілька аспектів. Насамперед треба визначити необхідну кількість свіжого повітря, що має бути подано в приміщення. У випадку житлових приміщень розрахунок може бути проведений на основі норми повітропродуктивності на одну людину. Наприклад, для спальної кімнати або вітальні, за стандартами, повинно бути подано від 25 м³/год до 40 м³/год на одну людину.

У виробничих приміщеннях це може змінюватись залежно від виду діяльності. Якщо мова йде про приміщення, де є шкідливі фактори, такі як хімічні викиди або забруднення повітря, необхідно додатково враховувати потужність фільтрувальних систем та ефективність очищення повітря.

Під час проєктування механічних вентиляційних систем розрахунок повітропродуктивності враховує можливість автоматизованого регулювання потоку повітря залежно від змін у навколишньому середовищі або за рахунок контролю рівня забруднення.

Для проведення розрахунку необхідно використовувати відомі методики, що враховують витрати енергії на вентиляцію, ефективність системи та її здатність підтримувати необхідний рівень свіжого повітря. Важливо також враховувати зворотний вплив вентиляційної системи на енергетичний баланс

будівлі, адже надлишкове або недостатнє повітря може призвести до збільшення енергетичних витрат.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 7

Теоретичні питання

1. Які основні фактори впливають на визначення повітропродуктивності вентиляційної системи?
2. Як впливає тип приміщення на розрахунок повітропродуктивності?
3. Які методи використовуються для розрахунку повітропродуктивності вентиляційних систем?
4. Як повітропродуктивність вентиляційної системи пов'язана з ефективністю обміну повітря в будівлі?
5. Які нормативи і стандарти визначають мінімальні вимоги до повітропродуктивності в житлових та виробничих приміщеннях?

8 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВНУТРІШНІХ ТА ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПОВІТРООБМІНУ В ПРИМІЩЕННЯХ

Мета заняття: вивчення впливу внутрішніх і зовнішніх факторів на ефективність повітрообміну в приміщеннях. Студенти повинні оволодіти поняттям про те, як різні фактори, такі як температура, вологість, наявність забруднювачів, а також специфіка зовнішніх умов, впливають на ефективність вентиляційних систем.

Теоретичні положення. Повітрообмін у приміщеннях є важливим елементом для забезпечення належного мікроклімату. Основною метою вентиляційної системи є підтримка оптимальних умов для здоров'я та комфорту людей. Повітрообмін містить процеси подачі свіжого повітря та видалення забрудненого повітря з приміщення. Його ефективність залежить від багатьох факторів, як внутрішніх, так і зовнішніх.

До внутрішніх факторів, що впливають на повітрообмін, належать:

1) кількість людей у приміщенні. Чим більше людей, тим більше кисню вони споживають і тим більше вуглекислого газу виробляють, що вимагає належного повітрообміну для підтримки нормальних умов [8];

2) теплові джерела. Технічні пристрої, освітлення, обладнання або інші джерела тепла можуть підвищувати температуру повітря в приміщенні, що, зі свого боку, змінює його щільність і призводить до зміни руху повітря;

3) наявність забруднювачів у повітрі. Повітря може містити різні шкідливі речовини, такі як пари, пил, токсини або біологічні агенти. Наявність таких забруднювачів впливає на потребу в повітрообміні для їх видалення;

4) структура приміщення та його функціональне призначення. Різні типи приміщень мають різні вимоги до повітрообміну. Офісні приміщення, кухні або санітарні зони потребують різного підходу до вентиляції.

До зовнішніх факторів, що можуть впливати на ефективність повітрообміну, належать:

1) температура та вологість зовнішнього повітря: Висока або низька температура зовнішнього повітря може змінювати температуру та вологість у приміщенні, що позначається на ефективності вентиляції. Наприклад, в холодну пору року холодне зовнішнє повітря може призвести до зниження температури всередині приміщення, а в спекотну погоду навпаки – до перегріву приміщення;

2) вітер і швидкість повітря. Вітер може посилювати природний повітрообмін, що особливо актуально для природної вентиляції. Вітер створює різницю тиску між внутрішнім і зовнішнім повітрям, що сприяє руху повітря через вентиляційні канали;

3) барометричний тиск. Зміни атмосферного тиску також можуть впливати на рух повітря в приміщеннях, особливо в умовах природної вентиляції, де потоки повітря залежать від різниці тиску між внутрішнім і зовнішнім середовищем;

4) забруднення зовнішнього повітря. Забруднене зовнішнє повітря може негативно впливати на ефективність вентиляційних систем, оскільки для

очищення такого повітря можуть бути потрібні додаткові фільтрувальні або очисні системи.

Оцінка ефективності повітрообміну в приміщеннях передбачає врахування всіх цих факторів. Важливою частиною цього процесу є розрахунок параметрів вентиляційних систем з урахуванням змінних умов зовнішнього середовища та внутрішніх вимог. Для забезпечення нормальних умов мікроклімату, вентиляційна система повинна бути здатна адаптуватися до змін у навколишньому середовищі, а також підтримувати стабільний рівень повітрообміну в різних умовах.

Основна частина. Ефективність повітрообміну в приміщеннях залежить від багатьох факторів, які можуть змінюватися як на внутрішньому, так і на зовнішньому рівнях. Один з важливих факторів – це правильне проектування вентиляційних систем, яке враховує як постійні, так і змінні параметри навколишнього середовища. Для розрахунку ефективності вентиляції необхідно враховувати такі внутрішні фактори, як кількість людей, рівень забруднення повітря та наявність теплових джерел. Ці параметри визначають необхідну повітропродуктивність та розподіл повітряних потоків.

Зовнішні фактори, зокрема температура повітря, вітер та тиск, впливають на характеристики повітропотоків і на ефективність роботи вентиляційної системи. У природній вентиляції, наприклад, залежність між швидкістю вітру і ефективністю обміну повітря є особливо важливою, оскільки вітер створює різницю тиску між внутрішнім і зовнішнім повітрям. Ця різниця тиску є основним рушієм повітря через вентиляційні канали.

Крім того, зміни в зовнішньому середовищі можуть потребувати коригування роботи механічних вентиляційних систем, особливо у випадку використання рекуператорів або інших енергоефективних систем. Залежно від сезонних коливань температури, вологості або забруднення, можна налаштовувати інтенсивність роботи вентиляції для підтримки оптимального мікроклімату.

Розрахунок ефективності повітрообміну вимагає врахування цих змінних, а також використання сучасних методів моделювання повітряних потоків та

спеціалізованого програмного забезпечення для проєктування і моніторингу вентиляційних систем. Для оптимізації вентиляції та забезпечення здорового клімату в приміщеннях необхідно проводити регулярний моніторинг зовнішніх і внутрішніх умов, що дозволяє адаптувати систему до змінних факторів і забезпечувати ефективне функціонування на довготривалій основі.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 8

Теоретичні питання

1. Які внутрішні фактори впливають на ефективність повітрообміну в приміщенні?
2. Як зовнішні умови, такі як вітер і температура, впливають на роботу вентиляційної системи?
3. Яким чином зміна забруднення зовнішнього повітря може впливати на ефективність повітрообміну?
4. Як природна вентиляція може адаптуватися до змін у навколишньому середовищі?
5. Які методи використовуються для розрахунку ефективності повітрообміну в приміщеннях?

9 ВИЗНАЧЕННЯ КРАТНОСТІ ПОВІТРООБМІНУ ДЛЯ ЖИТЛОВИХ ТА ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

Мета заняття: вивчення методів визначення кратності повітрообміну для житлових і виробничих приміщень. Студенти повинні зрозуміти важливість цього показника для підтримки комфортних і здорових умов середовища. Під час заняття будуть розглянуті основні підходи до розрахунку кратності повітрообміну, а також їх відмінності залежно від функціонального призначення приміщень.

Теоретичні положення. Кратність повітрообміну є показником того, скільки разів за одиницю часу весь об'єм повітря в приміщенні повністю замінюється на свіже повітря. Цей показник є важливим для забезпечення

необхідних умов для нормального перебування людей в приміщенні та для забезпечення здоров'я, комфорту і безпеки.

Для житлових приміщень, де основною вимогою є підтримка комфортного мікроклімату, кратність повітрообміну розраховується з огляду на необхідність забезпечити постійну подачу свіжого повітря та видалення вуглекислого газу, запахів і надлишкової вологості. У виробничих приміщеннях, крім підтримки комфортних умов, важливо враховувати специфіку виробничих процесів. Тут кратність повітрообміну повинна забезпечувати достатнє видалення забруднюючих речовин, пилу, парів або токсичних газів, що можуть виникати під час виробничих процесів.

Основна частина. Розрахунок кратності повітрообміну є важливою частиною проєктування вентиляційних систем. Для житлових приміщень зазвичай використовуються спрощені методи, де основними параметрами є кількість людей у приміщенні та його площа. У таких приміщеннях, як спальні, кухні або санітарно-побутові зони, потрібно забезпечити достатній потік свіжого повітря для запобігання накопиченню вуглекислого газу та забезпечення здорового клімату. Витрати повітря в житлових приміщеннях часто базуються на нормах, що визначають кількість повітря на одну людину.

У виробничих приміщеннях розрахунок кратності повітрообміну складніший через наявність специфічних вимог. Необхідно враховувати не лише кількість людей, а й наявність забруднювачів, що виділяються під час технологічних процесів. Наприклад, у приміщеннях, де відбуваються процеси з виділенням пилу, токсичних газів або пари, кратність повітрообміну може досягати значень більше 10-ти разів на годину для забезпечення безпеки та здоров'я працівників.

Нормативні документи містять вимоги до мінімальної кількості повітрообміну для різних типів приміщень. У розрахунках також враховуються характеристики вентиляційних систем, типи повітропроводів і механічних вентиляторів. Важливим є також контроль за ефективністю системи вентиляції,

щоб забезпечити відповідність необхідним вимогам щодо кратності обміну повітря і оптимального мікроклімату.

Розрахунок кратності повітрообміну здійснюється за допомогою сучасних методів моделювання повітряних потоків і використання програмного забезпечення для аналізу та оптимізації вентиляційних систем. Це дозволяє створювати більш ефективні та економічно обґрунтовані проєкти вентиляції.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 9

Теоретичні питання

1. Що таке кратність повітрообміну і чому вона важлива для вентиляційних систем?
2. Які основні параметри впливають на визначення кратності повітрообміну в житлових приміщеннях?
3. Чим відрізняється розрахунок кратності повітрообміну для житлових та виробничих приміщень?
4. Як внутрішні фактори, такі як кількість людей, можуть впливати на розрахунок повітрообміну в приміщенні?
5. Які методи використовуються для розрахунку кратності повітрообміну і як вони застосовуються в проєктуванні вентиляційних систем?

10 АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИТРАТ НА РОБОТУ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА МОЖЛИВІ СПОСОБИ ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ

Мета заняття: вивчення основних енергетичних витрат, що виникають під час роботи вентиляційних систем, та розгляд способів їх оптимізації. Студенти повинні усвідомити важливість ефективного використання енергії в процесах вентиляції для досягнення енергетичної ефективності будівель та скорочення експлуатаційних витрат.

Теоретичні положення. Енергетичні витрати вентиляційних систем є важливим фактором у загальній енергетичній ефективності будівлі. Вентиляція є необхідною для забезпечення комфортного мікроклімату в приміщеннях, але

водночас вона може становити значну частину енергетичних витрат. Основні енергетичні витрати пов'язані з роботою вентиляторів, які створюють рух повітря через повітропроводи.

Кількість енергії, що витрачається на вентиляцію, залежить від кількох факторів, таких як тип вентиляційної системи, кількість повітря, що потрібно перемістити, а також опір повітропроводів. Системи механічної вентиляції, які містять вентилятори для активного руху повітря, зазвичай потребують значних енергетичних витрат, особливо коли повітропроводи мають великий опір.

Основна частина. Аналіз енергетичних витрат на роботу вентиляційних систем показує, що значна частина енергії витрачається на рух повітря через вентиляційні канали. Одним із способів оптимізації енергетичних витрат є використання високоефективних вентиляторів, які можуть працювати з меншими енергетичними витратами за рахунок використання сучасних технологій, таких як безщіткові мотори або вентилятори з регульованими обертами. Вентилятори з регульованою потужністю здатні адаптуватися до змінних умов роботи, скорочуючи енергетичні витрати в непікові моменти.

Іншим важливим елементом є зменшення опору повітропроводів. Це досягається шляхом використання сучасних матеріалів, які мають менший опір повітрю, а також оптимізації конфігурації трубопроводів, що зменшує кількість вигинів та перешкод на шляху повітря. Чим менший опір, тим менша потужність потрібна для перекачування повітря через систему.

Також важливим етапом є використання систем рекуперації тепла, які дозволяють зберігати енергію, що втрачається під час виходу відпрацьованого повітря. За допомогою таких систем можна значно скоротити витрати на обігрів чи охолодження повітря, що надходить до будівлі, оптимізуючи загальну енергоефективність системи вентиляції.

Ще одним напрямком оптимізації є впровадження автоматичних систем управління, які регулюють потік повітря залежно від реальних потреб приміщення. Це дозволяє скорочувати енергетичні витрати в періоди, коли

вимоги до вентиляції мінімальні, наприклад, коли в приміщенні немає людей або коли температура та вологість перебувають у межах комфортних значень.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 10

Теоретичні питання

1. Які основні енергетичні витрати виникають під час роботи вентиляційних систем?
2. Як зменшення опору повітропроводів може вплинути на енергетичні витрати вентиляційної системи?
3. Чим відрізняються енергетичні витрати вентиляційних систем з регульованою потужністю від традиційних систем?
4. Які переваги має використання систем рекуперації тепла для зменшення енергетичних витрат вентиляційних систем?
5. Як автоматизовані системи управління можуть оптимізувати енергетичні витрати вентиляційних систем?

11 МОДЕЛЮВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ПОТОКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ

Мета заняття: ознайомлення студентів із сучасними методами моделювання повітряних потоків, що застосовуються для оптимізації роботи вентиляційних систем. Студенти повинні освоїти принципи використання програмного забезпечення для розрахунку та аналізу аеродинамічних характеристик вентиляційних систем і здобути практичні навички моделювання потоків повітря з метою покращення ефективності їх роботи.

Теоретичні положення. Моделювання повітряних потоків є важливою складовою проєктування вентиляційних систем, оскільки дозволяє передбачити поведінку повітря в реальних умовах до втілення системи в життя. Завдяки використанню програмного забезпечення для моделювання можна точно оцінити аеродинамічні характеристики системи, виявити потенційні проблеми в

проектуванні та розробити оптимальні рішення для скорочення енергетичних витрат та покращення функціональності системи.

Існує кілька типів програмного забезпечення, що дозволяють моделювати повітряні потоки. До найпоширеніших належать CFD (Computational Fluid Dynamics) програми, які застосовуються для аналізу та оптимізації аеродинаміки вентиляційних систем. Вони дозволяють візуалізувати потоки повітря, розраховувати опір, оцінювати ефективність роботи вентиляційних елементів та визначати можливі зони для покращення.

Моделювання потоків повітря в системах вентиляції здійснюється через вирішення рівнянь, що описують рух рідини або газу, з урахуванням різних фізичних характеристик повітря: швидкості, температури, вологості та густини. Під час моделювання враховуються і фактори, як опір трубопроводів, вигини, типи фільтрів та вентиляторів, а також взаємодія повітря з іншими елементами системи, що може впливати на його рух.

Основна частина. Першим етапом у процесі моделювання є створення цифрової моделі вентиляційної системи. Це передбачає визначення конфігурації приміщень, вибір матеріалів для трубопроводів і вентиляційних елементів, а також визначення всіх необхідних параметрів, таких як розміри, розташування вентиляційних каналів, потужність вентиляторів, опір і швидкість повітря. Моделювання здійснюється шляхом введення цих даних у спеціалізовану програму, яка використовує рівняння руху рідини або газу для розв'язання задачі.

Програмне забезпечення для моделювання зазвичай дозволяє отримати графічне зображення розподілу повітря в мережі каналів. Це може містити карти швидкості потоку, карти температури, а також оцінку енергетичних витрат на пересування повітря через систему. Моделювання також дозволяє провести аналіз різних варіантів проектування системи вентиляції, порівнюючи їх ефективність.

Завдяки моделюванню можна виявити проблемні ділянки, де виникають зайві витрати енергії, або де повітря не циркулює рівномірно. Це дає можливість

оптимізувати проєкт до початку будівництва та встановлення системи, що в кінцевому підсумку дозволяє скоротити витрати на експлуатацію.

Важливою частиною моделювання є оцінка впливу на систему таких факторів, як вологість і температура повітря, що також може впливати на ефективність вентиляції. Програмне забезпечення дозволяє враховувати ці змінні та моделювати їх вплив на систему.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 11

Теоретичні питання

1. Які програмні комплекси використовуються для моделювання повітряних потоків у вентиляційних системах?
2. Які основні параметри враховуються під час моделювання вентиляційних систем?
3. Як моделювання вентиляційних потоків може допомогти в оптимізації енергетичних витрат системи?
4. Які фізичні процеси враховуються під час розрахунку аеродинамічних характеристик вентиляційних систем?
5. Які переваги має використання програмного забезпечення для моделювання порівняно з традиційними методами розрахунку вентиляційних систем?

12 ПРОЄКТУВАННЯ БАЗОВОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ПРИМІЩЕННЯ

Мета заняття: ознайомлення студентів з основами проєктування вентиляційних систем для промислових приміщень, вивчення принципів розрахунку параметрів вентиляції, а також придбання практичних навичок у створенні проєктів ефективних вентиляційних систем. Студенти повинні вміти самостійно розраховувати основні параметри вентиляційної системи та вибирати відповідне обладнання для забезпечення нормальних умов для працівників і технологічних процесів.

Теоретичні положення. Проєктування вентиляційних систем для промислових приміщень є складним процесом, що вимагає врахування специфічних умов роботи, розміру приміщення, вимог до чистоти та якості повітря, а також температурних і вологісних характеристик. Правильне проєктування забезпечує ефективне повітропостачання та видалення забрудненого повітря, а також сприяє підтриманню оптимального мікроклімату, що важливо для здоров'я працівників та нормального функціонування обладнання.

Першим кроком у проєктуванні є розрахунок необхідного обсягу повітря, що має надходити до приміщення. Це залежить від кількості людей, що працюють, типу технологічного процесу, а також від температури та вологості повітря. Для промислових приміщень часто використовуються механічні системи вентиляції, які дозволяють контролювати потоки повітря та ефективно підтримувати потрібні параметри.

Вентиляція промислових приміщень містить не лише подачу свіжого повітря, але й видалення забрудненого, що особливо важливо для приміщень, де відбуваються технологічні процеси, що виділяють тепло, вологу або шкідливі речовини. Крім того, потрібно враховувати аеродинамічний опір повітроводів і вентиляційних пристроїв, щоб забезпечити оптимальну ефективність системи.

У проєктуванні вентиляційних систем важливим аспектом є також вибір типу вентиляції: природної, механічної або змішаної. Для великих промислових приміщень найчастіше застосовуються механічні системи, оскільки вони здатні забезпечити необхідну інтенсивність повітрообміну незважаючи на розміри приміщення чи атмосферні умови.

Основна частина. Початковим етапом проєктування є визначення типу приміщення, його розмірів, кількості працівників, технологічного процесу, що відбувається, а також характеристик шкідливих викидів, якщо такі є в наявності. На основі цих даних визначаються параметри вентиляційної системи.

Насамперед необхідно розрахувати повітропродуктивність вентиляційної системи. Для цього враховуються показники, такі як кількість людей, що

працюють в приміщенні, а також вид технологічних процесів, що можуть впливати на забруднення повітря. У разі необхідності система має забезпечувати видалення тепла, вологи та токсичних газів.

Другим етапом є розрахунок ефективності вентиляційної системи, що містить визначення оптимального розміру повітроводів, швидкості потоку повітря та витрат енергії на роботу вентиляційного обладнання. Водночас враховуються аеродинамічні характеристики повітропроводів, опір різних елементів системи, а також параметри повітряного потоку.

Вибір типу вентиляційної системи також залежить від специфіки приміщення. Для великих виробничих приміщень із високими вимогами до повітропостачання часто застосовуються механічні системи, які дозволяють забезпечити рівномірний потік повітря та контролювати його параметри. Для деяких типів приміщень можливе використання змішаних систем, що поєднують природну та механічну вентиляцію для досягнення кращої ефективності.

Прогнозування ефективності роботи вентиляційної системи до її монтажу є важливим етапом проєктування. Завдяки використанню спеціального програмного забезпечення можна моделювати повітряні потоки, визначати зони, де виникають можливі проблеми, і оптимізувати систему для досягнення максимального результату.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 12

Теоретичні питання

1. Які фактори впливають на вибір типу вентиляційної системи для промислових приміщень?
2. Як визначити необхідну кількість повітря для вентиляції промислового приміщення?
3. Які основні етапи проєктування вентиляційної системи для промислових приміщень?

4. Які параметри необхідно враховувати під час розрахунку ефективності вентиляційної системи?

5. Як моделювання вентиляційних потоків допомагає в процесі проєктування та оптимізації вентиляційних систем?

13 ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ ПРИМІЩЕНЬ

Мета заняття: розгляд процесу вибору оптимального вентиляційного обладнання для різних типів приміщень, зокрема житлових, офісних, промислових та інших. Студенти повинні набути навичок у підборі вентиляційних систем відповідно до специфікацій приміщення, а також зрозуміти, як ефективно оцінювати технічні характеристики вентиляційних пристроїв та їх сумісність з умовами експлуатації.

Теоретичні положення. Вибір вентиляційного обладнання є важливим етапом під час проєктування вентиляційних систем. Він має забезпечити відповідність між типом приміщення, його обсягом, кількістю людей, технологічними процесами, що відбуваються, та технічними характеристиками вентиляційних пристроїв. Основними параметрами для оцінки вентиляційного обладнання є потужність, продуктивність, енергоспоживання, рівень шуму, надійність і довговічність.

Залежно від типу приміщення вибір обладнання варіюється. Для житлових приміщень і офісів зазвичай вибираються компактні та тихі вентиляційні системи, здатні забезпечити комфортний мікроклімат. У промислових приміщеннях, де можуть відбуватися технологічні процеси, що виділяють шкідливі гази чи тепло, використовуються потужніші вентилятори, фільтраційні системи та спеціалізоване обладнання для видалення забруднень.

Принципи вибору обладнання містять оцінку повітропродуктивності, забезпечення належного повітрообміну, скорочення енергетичних витрат і забезпечення зручності в експлуатації та обслуговуванні. Одним з важливих

аспектів також є енергоефективність, адже неправильний вибір обладнання може призвести до зайвих витрат електроенергії.

Під час вибору обладнання важливо також враховувати технологічні особливості приміщення. У випадках, коли вентиляційна система має працювати за умов постійного зміщення або зміни температури повітря, потрібно вибирати обладнання з можливістю регулювання потоку та температури повітря. Вентиляційні системи для великих промислових приміщень мають бути здатними працювати в умовах високих температур і великих обсягів повітря.

Основна частина. Першим кроком у виборі оптимального вентиляційного обладнання є аналіз типу приміщення, його розмірів, кількості людей, які перебувають у ньому, та умов експлуатації. Для житлових приміщень зазвичай обираються системи з низьким рівнем шуму і невеликими габаритами. Вони повинні бути здатні підтримувати оптимальний рівень вологості та температури, не порушуючи комфорт.

Для офісів та адміністративних приміщень необхідно вибирати обладнання, яке не тільки забезпечить ефективний обмін повітря, але й буде сприяти енергозбереженню та забезпеченню комфортних умов для роботи. У таких приміщеннях можуть використовуватися припливно-витяжні системи з рекуперацією тепла, що дозволяє зменшувати енергетичні витрати на обігрів чи охолодження повітря.

У промислових приміщеннях вибір обладнання значно складніший через необхідність врахування більш жорстких вимог. Це можуть бути системи, що видаляють токсичні речовини, підвищену вологість або тепло. Для таких умов використовуються спеціалізовані вентилятори, фільтри, охолоджувачі та інше обладнання, яке забезпечить необхідні умови для безпечної роботи технологічних процесів.

Ключовими факторами під час вибору вентиляційного обладнання є потужність системи, її здатність забезпечувати необхідний обсяг повітря, рівень шуму та енергоефективність. Важливо також враховувати експлуатаційні

характеристики обладнання, такі як необхідність у регулярному обслуговуванні, наявність запасних частин, а також умови гарантії та технічної підтримки.

У промислових умовах, де є потреба в постійній зміні повітря, критично важливим є вибір вентиляційних установок, здатних забезпечити необхідний рівень повітряного потоку і видалення забруднюючих речовин. Для таких приміщень застосовуються вентиляційні системи з високою продуктивністю, а також із додатковими фільтраційними та охолоджувальними пристроями.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 13

Теоретичні питання

1. Як впливає тип приміщення на вибір вентиляційного обладнання?
2. Які основні параметри необхідно враховувати під час вибору вентиляційної системи для промислового приміщення?
3. Які вимоги до вентиляційного обладнання для офісних приміщень?
4. Чому енергоефективність є важливим чинником під час вибору вентиляційних систем?
5. Які додаткові функції можуть бути необхідними для вентиляційного обладнання в промислових приміщеннях?

14 АНАЛІЗ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВІТРОВОДІВ ТА ПРОПОЗИЦІЇ З ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ

Мета заняття: вивчення аеродинамічних характеристик повітроводів, що є важливою складовою ефективності вентиляційних систем. Студенти повинні зрозуміти, як параметри повітроводів, такі як їх форма, розміри, матеріали та розташування, впливають на рух повітря і загальну ефективність вентиляції. Окрім того, студенти мають навчитися визначати можливі шляхи оптимізації аеродинамічних характеристик для скорочення енергетичних витрат і поліпшення функціональності вентиляційних систем.

Теоретичні положення. Аеродинаміка повітроводів є важливим аспектом у проектуванні вентиляційних систем, оскільки характеристики потоку повітря

безпосередньо залежать від параметрів самих повітроводів. Важливими параметрами для оцінки аеродинамічних характеристик є опір повітря, швидкість потоку, втрати тиску, а також шум, що виникає під час проходження повітря через систему. Опір повітря у повітроводах виникає через тертя між потоками і стінками каналу, а також через геометричні особливості самих повітроводів (вигини, переходи, перешкоди).

Основним завданням є зменшення аеродинамічних втрат, які виникають під час руху повітря через повітроводи, щоб досягти максимальної ефективності вентиляційної системи із мінімальними енергетичними витратами. Вибір оптимальних розмірів і форм повітроводів дозволяє значно зменшити втрати тиску та скоротити енергетичні витрати, пов'язані з роботою вентиляційних установок.

Для мінімізації втрат тиску важливо правильно вибирати діаметр повітроводів, враховуючи необхідний повітропотік. Вузькі повітроводи збільшують опір і потребують більше енергії для руху повітря, а занадто великі повітроводи можуть бути недоцільними з економічної точки зору, створюючи додаткові витрати на матеріали та обслуговування.

Одним із важливих аспектів є вибір матеріалів для повітроводів. Повітроводи з гладкою поверхнею зменшують тертя і, відповідно, втрати енергії. Проте на практиці враховуються також інші фактори, такі як вартість матеріалів, їх довговічність, а також наявність можливості для очищення системи від забруднень.

Основна частина. Аналіз аеродинамічних характеристик повітроводів містить кілька етапів. Першим етапом є розрахунок втрат тиску у повітроводах. Це вимагає визначення швидкості повітря на різних ділянках системи та обчислення опору, що виникає на кожному етапі. Важливими параметрами для визначення втрат тиску є діаметр, довжина і геометрія повітроводів, а також кількість і тип з'єднань (повороти, переходи). Для кожного з'єднання та вигину можуть бути визначені коефіцієнти втрат тиску, що дозволяють отримати точну картину загальних аеродинамічних втрат у системі.

Другим етапом є вибір оптимальних розмірів повітроводів, що забезпечують баланс між мінімальними втратами тиску і достатньою пропускною здатністю. Зазвичай це досягається через обчислення оптимального діаметра для кожного відрізка повітропроводу залежно від необхідного повітропотoku та допустимих втрат.

Для скорочення аеродинамічних втрат використовують спеціальні методи оптимізації, такі як застосування згладжених повітроводів (з мінімумом вигинів), використання перехідних елементів між різними діаметрами, а також правильне розташування повітроводів для забезпечення рівномірного потоку повітря.

Особливу увагу потрібно приділити аналізу і зменшенню шумових характеристик повітроводів, оскільки надмірний шум є важливим фактором, що зменшує комфорт у приміщеннях. Для цього використовують різні методи, зокрема вибір більш тихих вентиляційних установок, встановлення звукоізоляційних матеріалів або використання спеціальних шумопоглинаючих елементів у конструкції повітроводів.

Підсумовуючи, можна сказати, що оптимізація аеродинамічних характеристик повітроводів є важливим етапом у проектуванні вентиляційних систем. Це дозволяє зменшити енергетичні витрати та підвищити ефективність роботи всієї системи вентиляції.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 14

Теоретичні питання

1. Які основні параметри аеродинамічних характеристик повітроводів впливають на ефективність вентиляційної системи?
2. Як геометрія повітроводів впливає на втрати тиску і швидкість повітря?
3. Чому важливо правильно вибирати діаметр повітроводів для різних типів приміщень?

4. Які методи оптимізації аеродинамічних характеристик використовуються для зменшення енергетичних витрат?

5. Як впливає шум від вентиляційних систем на комфорт у приміщеннях і які способи його зменшення існують?

15 РОЗРОБКА ІНТЕГРОВАНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОЇ БУДІВЛІ

Мета заняття: вивчення процесу проєктування інтегрованої вентиляційної системи для багатофункціональної будівлі, враховуючи різноманітність функціональних зон, вимог до мікроклімату та енергоефективності. Студенти повинні навчитися розробляти систему вентиляції, яка буде ефективно працювати за різних умов, оптимізуючи витрати енергії та забезпечуючи належний повітрообмін у кожній частині будівлі.

Теоретичні положення. Інтегровані вентиляційні системи є необхідним елементом для підтримання комфортних умов у багатофункціональних будівлях, таких як бізнес-центри, житлово-офісні комплекси, торгові центри та інші. Такі будівлі мають різноманітні функціональні зони, що накладає вимоги на вентиляційні системи для кожної з них, зокрема на потреби щодо температури, вологості, обміну повітря та енергоефективності.

Одним із основних аспектів проєктування таких систем є використання комбінованих методів вентиляції, що поєднують природну та механічну вентиляцію. Вибір і комбінування цих методів залежить від типу приміщення, його розміру, кількості осіб, що перебувають у ньому, а також специфічних вимог до мікроклімату.

Проєктуючи інтегровану вентиляційну систему для багатофункціональної будівлі, потрібно враховувати, що різні зони (офісні, торгові, санітарні, технічні) мають різні вимоги до повітропродуктивності, температури, вологості та інших параметрів. Важливим є забезпечення незалежності вентиляції в кожній функціональній зоні під час інтеграції всієї системи в загальну інфраструктуру будівлі.

Енергоефективність також є важливою складовою, оскільки оптимізація енергоспоживання вентиляційних систем дозволяє скоротити експлуатаційні витрати. Для цього використовують високоефективні вентиляційні установки, рекуператори тепла, системи автоматичного контролю та моніторингу повітропотоків.

Основна частина. Розробка інтегрованої вентиляційної системи для багатофункціональної будівлі передбачає кілька етапів. Першим кроком є детальний аналіз характеристик кожної зони будівлі. Це містить оцінку кількості людей, необхідного повітрообміну, можливих джерел забруднення повітря, вимог до температури та вологості. Для кожної зони будівлі потрібно визначити оптимальні параметри вентиляції, враховуючи специфіку функціонального призначення приміщень.

Другим етапом є вибір відповідних методів вентиляції для кожної зони. Наприклад, для офісних приміщень і торгових залів зазвичай застосовують механічну вентиляцію, що забезпечує точний контроль за повітропродуктивністю, температурою та вологістю. Для коридорів та технічних приміщень може бути достатньо природної вентиляції, що дозволяє скоротити витрати енергії.

Далі необхідно здійснити інтеграцію цих систем у загальну схему вентиляції будівлі. Враховується необхідність у використанні рекуператорів для відновлення тепла, особливо у зимовий період, та оптимізація маршруту повітропроводів для мінімізації енергетичних витрат.

Під час проєктування вентиляційної системи для багатофункціональної будівлі важливо передбачити також систему автоматизації, яка дозволяє регулювати параметри повітропотoku залежно від часу доби, кількості людей у приміщенні та зовнішніх погодних умов.

Завершальний етап містить перевірку проєкту на відповідність нормам і стандартам безпеки та енергоефективності, а також підготовку документації для монтажу і подальшого обслуговування системи.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 15

Теоретичні питання

1. Як впливає тип приміщення на вибір вентиляційної системи для багатофункціональної будівлі?
2. Які основні етапи проєктування інтегрованої вентиляційної системи для будівлі?
3. Як поєднання природної та механічної вентиляції впливає на ефективність системи?
4. Чому важливим є використання рекуператорів для тепла в інтегрованих вентиляційних системах?
5. Які фактори потрібно враховувати під час проєктування вентиляційної системи з точки зору енергоефективності?

16 ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ В ІСНУЮЧИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Мета заняття: розгляд та визначення методів підвищення енергоефективності в існуючих вентиляційних системах. Студенти повинні з'ясувати основні аспекти, які впливають на енергетичні витрати вентиляції, а також вивчити конкретні способи зменшення енерговитрат, збереження ресурсів та покращення роботи вентиляційних систем на основі технічних рішень та сучасних технологій.

Теоретичні положення. Енергоефективність вентиляційних систем є важливим аспектом, оскільки вентиляція є одним з найбільших споживачів енергії в будівлях. Відповідно, пошук і реалізація шляхів оптимізації роботи вентиляційних систем не лише скорочує експлуатаційні витрати, але й сприяє покращенню екологічної ситуації та зменшенню викидів в атмосферу.

Одним із головних шляхів підвищення енергоефективності є оптимізація параметрів роботи вентиляційних установок. Важливою складовою є автоматизовані системи контролю, які дозволяють змінювати параметри роботи

вентиляції залежно від реальних умов, таких як кількість людей у приміщенні або рівень забруднення повітря. Це дозволяє уникати перевитрат енергії, водночас підтримуючи комфортні умови.

Також значну роль у підвищенні енергоефективності відіграють технічні засоби, які скорочують енергетичні витрати. Наприклад, застосування рекуператорів тепла дозволяє зменшити потребу у додатковому нагріванні або охолодженні припливного повітря, що істотно скорочує витрати енергії на опалення та кондиціонування.

Іншою важливою складовою є правильний вибір і проектування системи вентиляційних повітроводів. Оптимізація їх розмірів та конфігурації дозволяє зменшити втрати енергії на транспортування повітря, що особливо важливо у великих будівлях чи промислових об'єктах.

Сучасні технології також дають можливість інтегрувати системи вентиляції з іншими інженерними системами будівлі, що дозволяє ще більше зменшити споживання енергії. Наприклад, система вентиляції може працювати в інтеграції з системою теплових pomp або з іншими енергозберігаючими технологіями.

Основна частина. Підвищення енергоефективності в існуючих вентиляційних системах передбачає кілька ключових напрямів роботи. Насамперед важливо здійснити перевірку стану та ефективності роботи всіх компонентів системи, зокрема вентиляційних установок, повітроводів та рекуператорів. Регулярна перевірка та обслуговування обладнання дозволяє виявити спрацьовані або малоефективні елементи, які можуть потребувати заміни або модернізації.

Одним із основних напрямів є впровадження систем автоматизації для контролю повітропотоків. Такі системи можуть автоматично регулювати швидкість обертання вентиляторів або активувати додаткові функції вентиляції залежно від змін у зовнішніх чи внутрішніх умовах. Це дозволяє уникнути постійного високого енергоспоживання і значно зменшити витрати на вентиляцію в періоди низької потреби.

Використання рекуперації тепла є ще одним ефективним способом підвищення енергоефективності вентиляційних систем. У процесі рекуперації тепла відпрацьоване повітря передає своє тепло припливному повітрю, що зменшує потребу в енергії для нагріву холодного повітря. Це є особливо важливим у холодний період року, коли витрати на опалення є значними.

Оптимізація повітроводів також є важливим кроком. Перевірка системи повітроводів на герметичність, правильність розмірів та конфігурації може значно скоротити втрати енергії. Мінімізація тертя в повітроводах і правильне їх проектування дозволяє зменшити навантаження на вентиляційні установки та скоротити споживання енергії.

Застосування інтелектуальних систем моніторингу, які збирають та аналізують дані про ефективність роботи вентиляції, дозволяє у реальному часі виявляти проблеми з енергоспоживанням і своєчасно вживати заходів для їх усунення. Вони також допомагають підтримувати оптимальні параметри мікроклімату, що є важливим для здоров'я та комфорту людей.

Отже, підвищення енергоефективності вентиляційних систем можливе через комплексний підхід, включно із оптимізацією компонентів, використанням сучасних технологій і налаштуванням роботи системи під реальні умови експлуатації.

ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ 16

Теоретичні питання

1. Як впровадження автоматизації може вплинути на енергоефективність вентиляційної системи?
2. Чому рекуперація тепла є важливим компонентом енергоефективних вентиляційних систем?
3. Які методи оптимізації повітроводів можуть зменшити енергетичні витрати на вентиляцію?
4. Як системи моніторингу можуть допомогти в управлінні енергоефективністю вентиляційних систем?

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Lintao Fan and all, Temperature field analysis in tunnel construction ventilation with emphasis on duct leakage and thermal conductivity, Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 61, September 2024, 105102. URL: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105102> (date of the application: 08.05.2025).
2. Rong Liu and all, Tunnel construction ventilation frequency-control based on radial basis function neural network, Automation in Construction, Vol. 118, October 2020, 103293. URL: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103293> (date of the application: 08.05.2025).
3. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Чинний від 2022-01-09. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. 27 с.
4. Chen Ren and all, Construction of linear temperature model using non-dimensional heat exchange ratio: Towards fast prediction of indoor temperature and heating, ventilation and air conditioning systems control, Energy and Buildings, Vol. 251, 15 November 2021, 111351. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111351> (date of the application: 08.05.2025).
5. Ming-Rui Luo and all, Effect of tunnel ventilation on surrounding rock temperature field and heat regulating circle during construction phase, Tunnelling and Underground Space Technology, Vol. 150, August 2024, 105835. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2024.105835> (date of the application: 08.05.2025).
6. ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. Чинний від 2020-01-06. Київ : Мінрегіонбуд України, 2019. 109 с.
7. ДБН В.2.5-77:2014. Котельні зі зміною № 1. Чинний від 2018-01-07. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. 55 с.
8. Burda Y. Comprehensive analysis of thermodynamic and thermophysical processes in heat and gas supply and ventilation systems: theoretical foundations and engineering solutions : monograph / Y. Burda; Kharkiv. O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Kharkiv : O. M. Beketov NUUE, 2025. 130 p. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/68140/> (date of the application: 08.05.2025).

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до проведення практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ВЕНТИЛЯЦІЯ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія
галузі знань 19 – Архітектура та будівництво,
освітня програма «Цивільна інженерія»)*

Укладачі: **БУРДА** Юрій Олександрович,
ЧАЙКА Юрій Іванович

Відповідальний за випуск *Ю. І. Чайка*

Редактор Б. О. Хільська

Комп'ютерне верстання *Ю. О. Бурда*

План 2025, поз. 501М

Підп. до друку 22.05.2025. Формат 60×84/16.
Ум. друк. арк. 2,5.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office @kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.