



Навчальний посібник

**Автори: Желих В. М., Шаповал С. П., Савченко О.О., Фурдас Ю. В.,
Юркевич Ю. С., Гулай Б. І.**



**Співфінансується
Європейським Союзом**



Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»
Національний Еразмус-Офіс в Україні

Желих В. М., Шаповал С. П., Савченко О.О., Фурдас Ю. В.,
Юркевич Ю. С., Гулай Б. І.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ ТА ЕНЕРГЕТИЧНА СЕРТИФІКАЦІЯ БУДИНКІВ

Навчальний посібник

Львів
2025

Авторський колектив:

- В. М. Желих** Доктор технічних наук, завідувач кафедри теплогазопостачання і вентиляція; керівник проекту UKRENERGY, викладач магістерської програми НУ «Львівська політехніка» «Енергоефективні будівлі та інженерні системи»
- С. П. Шаповал** Доктор технічних наук, професор кафедри теплогазопостачання і вентиляція; викладач магістерської програми НУ «Львівська політехніка» «Енергоефективні будівлі та інженерні системи»
- О. О. Савченко** Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляція; викладач магістерської програми НУ «Львівська політехніка» «Енергоефективні будівлі та інженерні системи»
- Ю. В. Фурдас** Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляція; викладач магістерської програми НУ «Львівська політехніка» «Енергоефективні будівлі та інженерні системи»
- Ю. С. Юркевич** Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляція; викладач магістерської програми НУ «Львівська політехніка» «Енергоефективні будівлі та інженерні системи»
- Б. І. Гулай** Кандидат технічних наук, доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляція; викладач магістерської програми НУ «Львівська політехніка» «Енергоефективні будівлі та інженерні системи»

Рецензенти:

- Т.Д. Нікіфорова** Доктор технічних наук, професор, професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій, деканка будівельного факультету ННІ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури" Український державний університет науки і технологій
- М. В. Савицький** Доктор технічних наук, професор, професор кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій ННІ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури" Український державний університет науки і технологій

Енергоефективні інженерні системи та енергетична сертифікація будинків : навчальний посібник / Желих В. М., Шаповал С. П., Савченко О.О., Фурдас Ю. В., Юркевич Ю. С., Гулай Б. І. – Львів, 2025. – 272 с. (електронне видання)

I-72

Навчальний посібник розроблено в рамках проекту 101082898 – UKRENERGY, що співфінансується Європейським Союзом: «Інноваційні магістерські курси на підтримку покращення енергетичного та вуглецевого сліду будівельного фонду України».

Проект співфінансується Європейським Союзом, проте висловлені погляди та думки належать лише авторам цього проекту і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу чи Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури. Ні Європейський Союз, ні грантодавець не можуть нести за них відповідальність.

В початковому посібнику розглядаються результати наукових досліджень і практичного досвіду в сфері енергоефективності та інноваційних технологій.

Для вчених, аспірантів, викладачів, магістрів, бакалаврів, студентів технічних факультетів, енергоаудиторів, представників бізнесу і влади, а також для широкого кола читачів.

Затверджено до видання вченою радою НУ «Львівська політехніка» (протокол № 8 від 20.03.2025).

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В БУДІВНИЦТВІ ЯК РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

1.1. Критерії оцінювання будівельних об'єктів відповідно до вимог сталого розвитку

1.1.1. Енергоефективність

1.1.2. Екологічність будівельних матеріалів

1.1.3. Комфорт для проживання та мікроклімат

1.1.4. Управління водними ресурсами

1.2. Напрями реалізації потенціалу енергоефективності в будівництві

1.2.1. Використання енергоефективних будівельних матеріалів

1.2.2. Підвищення енергоефективності огорожувальних конструкцій

1.2.3. Інтеграція відновлюваних джерел енергії

1.2.4. Системи управління енергією та автоматизація

1.3. Характеристика житлового фонду України

1.3.1. Основні показники житлового фонду України

1.3.2. Типологія житлового фонду України

1.3.3. Енергетичний потенціал модернізації житлового фонду

РОЗДІЛ 2. МІКРОКЛІМАТ ТА ТЕПЛООБМІН У ПРИМІЩЕННЯХ

2.1. Властивості вологого повітря

2.2. Параметри повітря приміщень

2.3. Теплообмін

2.4. Теорія подібності

2.5. Масообмін

2.6. Температурні умови комфортності людини в приміщенні

2.7. Розрахункові параметри зовнішнього повітря

2.8. Проектування теплоізоляційної оболонки будівель та споруд

РОЗДІЛ 3. СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА ТА РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ У БУДИНКАХ

- 3.1. Джерела теплової енергії у системах централізованого теплопостачання
- 3.2. Особливості підключення систем опалення до теплових мереж
- 3.3. Конструкції та обладнання систем опалення будівель
- 3.4. Схеми підключення систем гарячого водопостачання до теплових мереж
 - 3.4.1. Закриті системи теплопостачання
- 3.5. Конструкції та обладнання систем гарячого водопостачання
- 3.6. Облік теплової енергії

РОЗДІЛ 4. ОСОБЛИВОСТІ ВЕНТИЛЮВАННЯ ДЕЯКИХ ПРИМІЩЕНЬ В БУДИНКАХ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

- 4.1. Особливості вентиляції помешкань багатосімейних житлових будинків
 - 4.1.1. Вентиляція гуртожитків
 - 4.1.2. Механічна вентиляція помешкань багатосімейних житлових будинків
- 4.2. Енергоощадна гідрокерована вентиляція помешкань
 - 4.2.1. Види систем вентиляції помешкань і їх вплив на мешканців і будівельні конструкції
 - 4.2.2. Вимоги до повітрообміну окремих приміщень помешкань
 - 4.2.3. Особливості застосування і характеристики повітророзподільників
 - 4.2.4. Системи гідрокерованої вентиляції помешкань
 - 4.2.5. Практичні способи оцінювання ефективності вентиляювання помешкань
 - 4.2.6. Висновки і рекомендації
- 4.3. Вентилювання кухонь
 - 4.3.1. Вентилювання малих кухонь
 - 4.3.2. Кухні середньої величини в ресторанах, готелях і їдальнях
 - 4.3.3. Великі кухні
 - 4.3.4. Продуктивність вентиляторів

4.3.5. Зауваги щодо будівельних розв'язань

4.3.6. Протипожежна безпека

4.4. Вентилювання санвузлів і душових кімнат

4.5. Загальні відомості про вентилявання деяких основних приміщень громадських будинків

4.6. Характерні особливості вентилявання виробничих приміщень

4.6.1. Особливості повітророзподілення у виробничих приміщеннях

4.6.2. Загальний повітрообмін виробничих приміщень

4.6.3. Рекуперація теплоти викидного повітря

РОЗДІЛ 5. ОБСТЕЖЕННЯ СТАНУ ТА РІВНЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ БУДИНКУ

5.1. Аналіз стану огороджувальних конструкцій будинку

5.2. Тепловізійне обстеження огорожень

5.3. Визначення коефіцієнта корисної дії котлоагрегату

5.4. Проблеми експлуатації систем опалення та шляхи їх вирішення

5.4.1. Заходи з підготовки систем опалення до опалювального періоду

5.4.2. Промивання системи опалення

5.5. Вплив фактичного стану обладнання систем гарячого водопостачання на її ефективність

5.6. Основні перешкоди при роботі систем вентиляції та способи їх усунення

5.7. Обстеження стану обладнання систем кондиціонування повітря

РОЗДІЛ 6. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ БУДІВЕЛЬ

6.1. Основні поняття та визначення енергоефективності

6.2. Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель

6.3. Методи оцінювання енергетичної характеристики будівель

6.4. Сертифікація енергетичної ефективності будинків

6.5. Вимоги до змісту та форми енергетичного сертифікату

6.6. Фінансова оцінка інвестицій в енергоефективні проекти

РОЗДІЛ 7. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ БУДІВЕЛЬ

- 7.1. Що таке енергоаудит та його мета
- 7.2. Типи енергетичного аудиту
- 7.3. Завдання енергоаудитора будівель та кваліфікаційні вимоги до нього
- 7.4. Основні етапи проведення енергетичного аудиту
- 7.5. Планування енергетичного аудиту
- 7.6. Попередня нарада
- 7.7. Збір даних та заповнення опитувальних форм
- 7.8. Проведення огляду об'єкта
- 7.9. Планування та проведення вимірювань
- 7.10. Аналіз інформації
- 7.11. Розроблення заходів з енергоощадності та енергоефективності
- 7.12. Представлення звіту за результатами енергетичного аудиту. Заключна нарада

РОЗДІЛ 8. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО БУДІВНИЦТВА

- 8.1. Принципи проектування енергоефективних будівель
 - 8.1.1. Орієнтація будівлі та використання природного освітлення
 - 8.1.2. Теплоізоляція огорожувальних конструкцій
 - 8.1.3. Повітронепроникність будівлі
 - 8.1.4. Вентиляційні системи з рекуперацією тепла
 - 8.1.5. Використання відновлюваних джерел енергії
 - 8.1.6. Інтегровані системи управління енергією
- 8.2. Концепція пасивного будинку
 - 8.2.1. Енергоефективність та жорсткі стандарти споживання енергії
 - 8.2.2. Висока теплоізоляція
 - 8.2.3. Високоякісні вікна та конструкції з низьким рівнем тепловтрат
 - 8.2.4. Вентиляція з рекуперацією тепла
 - 8.2.5. Уникнення теплових мостів
 - 8.2.6. Герметичність конструкцій
 - 8.2.7. Використання пасивних джерел тепла
 - 8.2.8. Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії

8.3. Стандарт будинків із наближеним до нульового рівнем споживання енергії

8.3.1. Жорсткі обмеження на енергоспоживання

8.3.2. Використання високоефективної теплоізоляції

8.3.3. Герметичність та мінімізація повітряних витоків

8.3.4. Енергоефективні вікна

8.3.5. Система вентиляції з високоефективною рекуперацією тепла

8.3.6. Інтеграція відновлюваних джерел енергії

8.3.7. Інтелектуальні системи управління енергією

8.4. Основи проектування активних будинків

8.4.1. Генерація надлишкової енергії

8.4.2. Використання "розумних" енергосистем управління

8.4.3. Максимальна теплоізоляція та герметичність

8.4.4. Система вентиляції з рекуперацією тепла

8.4.5. Використання енергоефективних матеріалів і технологій будівництва

8.4.6. Використання водоощадних технологій

8.4.7. Відновлювана енергія та взаємодія з електромережею

ЛІТЕРАТУРА

ВСТУП



Навчальний посібник розроблено в рамках проекту 101082898 – UKRENERGY, що співфінансується Європейським Союзом: «Інноваційні магістерські курси на підтримку покращення енергетичного та вуглецевого сліду будівельного фонду України».

Навчальний посібник висвітлює характеристики енергоефективних інженерних систем та основи енергетичної сертифікації будівель та споруд. У ньому розглянуто особливості теплового та вологісного режиму огороджувальних конструкцій, описані характеристики енергоефективних систем теплозабезпечення та вентиляції приміщень, основні принципи проведення енергетичного аудиту та вимоги до енергетичної сертифікації будинків. Крім того, у посібнику наведена інформація щодо обстеження стану та рівня енергетичної ефективності огороджувальних конструкцій та інженерних систем будинків та сучасних технологій енергоефективного будівництва. Посібник містить рекомендації, які допоможуть фахівцям у виконанні енергетичної сертифікації будинків відповідно до сучасних стандартів і нормативних вимог.

Матеріал посібника буде корисним для студентів, аспірантів, викладачів закладів вищої освіти, а також для практикуючих енергоаудиторів, проєктантів та інженерів. Він сприятиме формуванню компетентностей, необхідних для здійснення професійної діяльності у сфері енергоаудиту та енергоефективності будівель.

Інформація про інженерні системи у будинку є ключовим етапом у визначенні енергетичної ефективності будинку, а, відповідно, розробці стратегії енергозбереження, що має важливе значення для сталого розвитку та енергетичної незалежності країни. Саме тому знання, отримані з цього посібника, допоможуть фахівцям робити обґрунтовані технічні рішення для забезпечення енергоефективної відбудови України.

Розділ 1.

Енергоефективні технології в будівництві як реалізація принципів сталого розвитку

1.1. Критерії оцінювання будівельних об'єктів відповідно до вимог сталого розвитку

Вступ. Сталий розвиток є одним із ключових напрямків сучасного будівництва, що забезпечує баланс між економічними, екологічними та соціальними аспектами. Однією з основних цілей сталого розвитку в будівництві є створення енергоефективних, екологічних і комфортних для життя будівель, які мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище. Критерії оцінювання будівель відповідно до вимог сталого розвитку дозволяють оцінити, наскільки проект або споруда відповідає принципам сталого розвитку та враховує сучасні виклики, такі як зміна клімату, виснаження природних ресурсів, енергоефективність та здоров'я людини.

Основні критерії оцінювання сталості будівельних об'єктів.

Критерії сталого будівництва поділяються на кілька категорій, кожна з яких має конкретні показники та значення, що відображають рівень відповідності вимогам сталого розвитку. Основні категорії критеріїв включають енергоефективність, екологічність, комфорт для проживання та управління ресурсами.

1.1.1. Енергоефективність

Енергоефективність є одним із ключових показників сталого будівництва, який визначає споживання енергії будівлею протягом її життєвого циклу. Основними критеріями для оцінювання енергоефективності будівель є:

- 1. Питомі енерговитрати на опалення:** цей показник відображає кількість енергії, яка витрачається на опалення приміщень у розрахунку на 1 м² площі на рік. Відповідно до європейських стандартів, для енергоефективних

будівель питомі витрати на опалення не повинні перевищувати 50 кВт·год/м² на рік, а для пасивних будівель — 15 кВт·год/м² на рік.

- 2. Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій (U):** цей показник визначає кількість тепла, що передається через стіни, дах та підлогу. Згідно з сучасними стандартами, коефіцієнт теплопередачі для зовнішніх стін енергоефективних будівель не повинен перевищувати 0,2–0,25 Вт/(м²·К).
- 3. Енергоефективність інженерних систем:** доцільно оцінювати ефективність таких систем, як опалення, вентиляція, кондиціонування та освітлення. Використання енергоефективного обладнання з високим класом енергоспоживання (A+ та вище), а також впровадження відновлюваних джерел енергії (сонячні колектори, теплові насоси, вітрогенератори) дозволяють значно скоротити витрати на енергоспоживання будівлі.
- 4. Відновлювані джерела енергії:** інтеграція сонячних панелей, теплових насосів, геотермальних систем є важливим критерієм. Наприклад, встановлення сонячних панелей на площі 20 м² може забезпечити близько 3–5 кВт електроенергії, що значно знижує залежність від традиційних джерел енергії.

1.1.2. Екологічність будівельних матеріалів

Один із ключових аспектів сталого будівництва — це використання екологічно безпечних і відновлюваних будівельних матеріалів. Екологічні критерії включають:

- 1. Вуглецевий слід матеріалів:** визначає кількість CO₂, що виділяється при виробництві матеріалів. Наприклад, вуглецевий слід виробництва 1 тонни цементу становить близько 900 кг CO₂. Зниження використання матеріалів з високим вуглецевим слідом (наприклад, заміна цементу на золу винесення) дозволяє значно зменшити вплив на клімат.

2. **Локальність походження:** матеріали, вироблені у радіусі 500 км від будівельного об'єкта, знижують транспортні викиди, тим самим зменшуючи екологічний слід будівництва.
3. **Перероблюваність і можливість повторного використання:** матеріали, що можуть бути перероблені або використані повторно, сприяють зниженню утворення відходів. Наприклад, алюміній є одним із найкращих перероблюваних матеріалів, що дозволяє зберігати до 95% енергії у порівнянні з виробництвом з первинної сировини.
4. **Вміст шкідливих речовин:** будівельні матеріали мають відповідати нормативам щодо відсутності токсичних речовин, таких як формальдегід, ПХД (поліхлоровані біфеніли) тощо, які можуть негативно впливати на здоров'я людей.

1.1.3. Комфорт для проживання та мікроклімат

Сталий розвиток спрямований не тільки на енергоефективність, але й на створення комфортних умов для проживання. Критерії, що оцінюють комфорт, включають:

1. **Якість повітря в приміщенні:** рівень CO₂ в приміщенні не повинен перевищувати 800–1000 ppm. Системи вентиляції повинні забезпечувати постійний приплив свіжого повітря, а також мати можливість фільтрації для видалення пилу та алергенів.
2. **Температурний комфорт:** внутрішня температура повинна підтримуватися в межах 20–24 °C взимку та 22–26 °C влітку, щоб забезпечити комфорт проживання. Це досягається завдяки якісним ізоляційним матеріалам, а також автоматизованим системам управління кліматом.
3. **Акустичний комфорт:** рівень шуму всередині приміщень не повинен перевищувати 35 дБ вдень і 30 дБ вночі. Для цього використовуються спеціальні звукоізоляційні матеріали на основі мінеральної вати, гіпсокартону та інших поглинаючих звуку матеріалів.

4. **Ергономіка та природне освітлення:** природне освітлення повинне забезпечувати не менше 300 люкс у житлових приміщеннях та 500 люкс у робочих зонах. Правильне розташування вікон і використання світлопрозорих матеріалів дозволяє максимізувати денне освітлення та знижує потребу в штучному освітленні.

1.1.4. Управління водними ресурсами

Ефективне управління водними ресурсами — важлива частина сталого будівництва, що сприяє економії природних ресурсів і зниженню експлуатаційних витрат. Основні критерії включають:

1. **Зниження споживання води:** досягається за допомогою встановлення водозберігаючих сантехнічних приладів, таких як змішувачі з аераторами, душові насадки з регульованим потоком. Застосування таких рішень дозволяє знизити споживання води до 30-50 %.
2. **Системи збору дощової води:** використання дощової води для технічних потреб (полив, змив унітазів тощо) знижує навантаження на водопостачальні системи. Середній об'єм зібраної дощової води для будівлі площею 100 м² у помірних кліматичних зонах може становити до 50 000 літрів на рік.
3. **Системи очищення стічних вод:** використання локальних систем біоочищення дозволяє повторно використовувати очищену воду для технічних потреб, що сприяє економії водних ресурсів.

Висновки. Застосування критеріїв оцінювання сталості в будівництві дозволяє забезпечити високу якість об'єктів з мінімальним впливом на навколишнє середовище, підвищити енергоефективність та створити комфортні умови для проживання. Інтеграція цих критеріїв у процес проектування та експлуатації будівель є необхідною для досягнення сталого розвитку та підвищення ефективності використання природних ресурсів.

1.2. Напрями реалізації потенціалу енергоефективності в будівництві

Енергоефективність у будівництві є ключовим напрямом для зниження енергоспоживання та мінімізації впливу на навколишнє середовище. Досягнення високих показників енергоефективності потребує впровадження комплексних заходів на різних етапах життєвого циклу будівлі — від проектування та будівництва до експлуатації та утилізації. Нижче наведено основні напрями реалізації потенціалу енергоефективності, які можна впровадити для забезпечення сталого розвитку та підвищення якості будівельного об'єкта.

1.2.1. Використання енергоефективних будівельних матеріалів

Одним із перших кроків до підвищення енергоефективності будівлі є використання матеріалів з високими теплоізоляційними властивостями. Це дозволяє зменшити тепловтрати через огорожувальні конструкції та підвищити комфортні умови всередині будівлі.

1. Теплоізоляційні матеріали:

- **Мінеральна вата:** має коефіцієнт теплопровідності близько $0,035 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Рекомендована товщина утеплювача для зовнішніх стін у помірному кліматі становить 150–200 мм, що дозволяє досягти високого рівня енергоефективності.
- **Пінополістирол (EPS і XPS):** має коефіцієнт теплопровідності від $0,030$ до $0,040 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, що робить його ефективним для утеплення підлог, стін та покрівель. Використання 100 мм пінополістиролу знижує тепловтрати до 80% порівняно з неізольованими стінами.
- **Аерогель:** інноваційний матеріал з ультранизькою теплопровідністю (близько $0,013 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$). Його використання в конструкціях знижує тепловтрати на 95 %, хоча високі витрати обмежують його застосування в масовому будівництві.

2. **Екологічні будівельні матеріали:** для зниження негативного впливу на довкілля доцільно використовувати натуральні матеріали, такі як дерево, солома, коноплі, а також матеріали з переробленої сировини. Наприклад, дерев'яні конструкції мають низький вуглецевий слід, оскільки вони природним чином поглинають CO₂ з атмосфери.

1.2.2. Підвищення енергоефективності огороджувальних конструкцій

Огороджувальні конструкції, такі як стіни, дахи, підлоги, вікна та двері, відіграють важливу роль у забезпеченні енергоефективності будівлі. Їх оптимізація дозволяє зменшити тепловтрати та забезпечити стабільний мікроклімат усередині будівлі.

1. **Теплоізоляція фасадів:** система утеплення фасаду має забезпечити тепловий опір стін, який відповідає нормативам (не менше 3,3–3,5 м²·К/Вт для зовнішніх стін у помірному кліматі). Застосування комбінованих рішень (наприклад, теплоізоляційна штукатурка та утеплення мінеральною ватою) дозволяє знизити тепловтрати до 60%.
2. **Утеплення даху та покрівлі:** дах є одним з найбільших джерел тепловтрат. Встановлення теплоізоляційного шару товщиною 200–300 мм для скатних дахів та 150 мм для плоских дахів дозволяє скоротити тепловтрати на 25–30 %. Використання матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності, таких як PIR-панелі (0,022 Вт/(м·К)), є високоефективним рішенням.
3. **Вікна з високою теплоізоляцією:** сучасні енергоефективні вікна з трьома склопакетами та покриттям Low-E мають коефіцієнт теплопередачі на рівні 0,6–0,9 Вт/(м²·К). Встановлення таких вікон дозволяє знизити тепловтрати через віконні отвори на 40–50 % порівняно зі звичайними подвійними склопакетами.
4. **Двері з високим тепловим опором:** зовнішні двері з ізоляційними панелями мають коефіцієнт теплопередачі 0,7–1,2 Вт/(м²·К).

Використання дверей із теплоізоляційними вставками з пінополіуретану або мінеральної вати дозволяє суттєво знизити втрати тепла.

1.2.3. Інтеграція відновлюваних джерел енергії

Для підвищення енергоефективності будівель важливо інтегрувати відновлювані джерела енергії, які дозволяють забезпечити будівлю екологічно чистою енергією.

1. **Сонячні панелі:** встановлення фотоелектричних модулів потужністю 5–10 кВт може забезпечити до 80 % річного електроспоживання для приватного будинку. Виробництво 1 кВт·год електроенергії за допомогою сонячних панелей знижує викиди CO₂ на 0,6–0,9 кг.
2. **Теплові насоси:** сучасні теплові насоси типу повітря-вода мають коефіцієнт продуктивності (COP) на рівні 3–4, що означає, що вони виробляють у 3–4 рази більше тепла, ніж споживають електроенергії. Тепловий насос потужністю 10 кВт може знизити річні витрати на опалення на 60–70 %.
3. **Геотермальні системи:** застосування геотермальних теплових насосів для великих будівель дозволяє забезпечити постійне джерело тепла та охолодження. Геотермальні системи мають середній коефіцієнт продуктивності (COP) на рівні 4–6, що робить їх дуже ефективними для постійної роботи в умовах з помірним кліматом.
4. **Сонячні колектори для гарячого водопостачання:** використання сонячних водонагрівачів дозволяє знизити енергоспоживання для нагріву води на 50–80%. У середньому, 1 м² площі сонячного колектора виробляє близько 500–600 кВт·год теплової енергії на рік.

1.2.4. Системи управління енергією та автоматизація

Системи автоматизації та управління енергією є невід'ємною складовою сучасних енергоефективних будівель. Вони дозволяють оптимізувати витрати

енергії, забезпечуючи комфортні умови в приміщеннях та знижуючи експлуатаційні витрати.

1. **Системи управління освітленням:** застосування датчиків руху та автоматичного регулювання рівня освітлення дозволяє зменшити споживання електроенергії для освітлення до 30–50 %. Використання світлодіодних ламп також сприяє енергозбереженню, оскільки вони споживають на 80 % менше енергії, ніж лампи розжарювання, і мають термін служби до 50 000 годин.
2. **Терморегулятори та програмовані термостати:** сучасні терморегулятори дозволяють підтримувати оптимальну температуру в приміщеннях, що знижує витрати на опалення та кондиціонування на 10–15 %. Програмовані термостати забезпечують автоматичне зниження температури в періоди, коли будівля не використовується, що додатково знижує споживання енергії.
3. **Системи «розумного дому»:** інтеграція систем розумного дому, які об'єднують управління опаленням, освітленням, охороною та іншими функціями, дозволяє скоротити загальне енергоспоживання будівлі на 20–30 %. Розумні будинки мають можливість дистанційного керування через мобільні додатки, що забезпечує зручність та додаткові можливості для оптимізації.

Висновок. Реалізація потенціалу енергоефективності в будівництві потребує комплексного підходу та застосування сучасних технологій і матеріалів. Інтеграція високоефективних теплоізоляційних матеріалів, відновлюваних джерел енергії, систем управління енергією та автоматизації сприяє не лише зменшенню енергоспоживання, але й підвищує екологічну відповідальність об'єктів будівництва.

1.3. Характеристика житлового фонду України

Житловий фонд України є важливим компонентом національної економіки та соціальної інфраструктури, що значною мірою впливає на

добробут населення та рівень енергоефективності країни. Стан житлового фонду характеризується різноманітністю типів будівель, різним рівнем енергоефективності, фізичної зношеності та застарілою інфраструктурою. Знання характеристик житлового фонду є важливим для оцінки потенціалу його модернізації та впровадження енергоефективних технологій.

1.3.1. Основні показники житлового фонду України

Станом на 2023 рік, загальна площа житлового фонду України складає приблизно 1,1 мільярда квадратних метрів, із них приблизно 25 % — це багатоквартирні будинки, а 75 % — індивідуальні житлові будинки. Основні характеристики житлового фонду включають:

- **Загальна кількість будівель:** понад 17 мільйонів житлових будівель, з яких близько 200 тисяч — багатоквартирні будинки.
- **Частка житлових будівель, побудованих до 1990 року:** приблизно 70% житлового фонду збудовано до 1990 року, що свідчить про високий рівень фізичного зношення та потребу в модернізації.
- **Середній рівень зношеності:** понад 60 % будівель мають високий рівень зношеності, а близько 15% будівель потребують капітального ремонту або реконструкції.
- **Енергоефективність будівель:** середня енергоефективність будівель житлового фонду України значно нижча, ніж у країнах ЄС. Споживання теплової енергії в багатоквартирних будинках складає 160–200 кВт·год/м² на рік, що майже вдвічі вище, ніж у нових будинках ЄС з подібними кліматичними умовами (80–100 кВт·год/м² на рік).

1.3.2. Типологія житлового фонду України

Житловий фонд України є різноманітним за структурою, що пов'язано з історичними етапами забудови, використанням різних матеріалів та конструктивних рішень, а також відмінностями у рівні енергоефективності.

1. Довоєнна забудова (до 1945 року):

- **Матеріали:** здебільшого цегляні будівлі з масивними стінами (товщина стін до 60 см).
- **Енергоефективність:** споживання тепла становить приблизно 220–250 кВт·год/м² на рік.
- **Фізичний стан:** будівлі цього періоду мають значний рівень зношеності (понад 80 %), що потребує капітального ремонту. Основні проблеми включають низький рівень теплоізоляції та зношену інженерну інфраструктуру.

2. Сталінські будинки (1945–1960 роки):

- **Матеріали:** цегла, з частковим використанням залізобетонних конструкцій.
- **Енергоефективність:** середнє споживання тепла — 180–220 кВт·год/м² на рік.
- **Стан:** будівлі цього періоду також потребують модернізації, особливо в частині заміни інженерних мереж та утеплення фасадів. У багатьох випадках наявні високі тепловтрати через вікна та фасади.

3. Хрущовки (1960–1980 роки):

- **Матеріали:** панельні та цегляні будинки з товщиною стін 25–40 см, недостатньою для забезпечення належного теплового опору.
- **Енергоефективність:** споживання теплової енергії складає 150–180 кВт·год/м² на рік.
- **Стан:** високий рівень фізичного зношення, низький рівень теплоізоляції. Основні проблеми включають погану звуко- та теплоізоляцію, зношені вікна та інженерні системи. Через низьку енергоефективність «хрущовки» є пріоритетними об'єктами для термомодернізації.

4. Покращені панельні будинки та «Брежнєвки» (1980–1990 роки):

- **Матеріали:** панельні конструкції з покращеною теплоізоляцією, але ще недостатньою для відповідності сучасним вимогам.

- **Енергоефективність:** середнє споживання тепла складає 130–150 кВт·год/м² на рік.
- **Стан:** будівлі мають кращу теплоізоляцію, ніж «хрущовки», але також потребують модернізації. Основні проблеми включають недостатню герметичність стиків панелей, низьку ефективність старих вікон та дверей.

5. Сучасні будівлі (після 1990 року):

- **Матеріали:** залізобетонні монолітні або цегляні будівлі з покращеними теплоізоляційними властивостями.
- **Енергоефективність:** середнє споживання тепла на рівні 100–120 кВт·год/м² на рік.
- **Стан:** у сучасних будівлях спостерігається кращий рівень енергоефективності, хоча вони також часто не відповідають сучасним стандартам енергоефективності ЄС. Багато будівель цього періоду потребують додаткових заходів з утеплення, заміни вікон та модернізації інженерних систем для досягнення класу енергоефективності А або В.

1.3.3. Енергетичний потенціал модернізації житлового фонду

Модернізація житлового фонду України є важливим завданням для досягнення національних цілей у сфері енергоефективності. За оцінками експертів, термомодернізація багатоквартирних будинків може знизити споживання теплової енергії на 30–50 %, що дозволить зекономити до 9–12 мільярдів кубометрів природного газу на рік. Основні напрями модернізації включають:

1. Теплоізоляція огорожувальних конструкцій:

- **Фасади:** утеплення фасадів дозволяє знизити тепловтрати до 30 %. Наприклад, утеплення зовнішніх стін мінеральною ватою товщиною 100–150 мм може зменшити витрати на опалення на 20–30 %.

- **Дахи:** утеплення дахів скорочує тепловтрати на 15–20 %. Використання теплоізоляційних матеріалів з низьким коефіцієнтом теплопровідності (PIR, XPS) значно підвищує ефективність.

2. **Заміна вікон та дверей:**

- **Вікна з енергоефективним склом:** встановлення трикамерних склопакетів із покриттям Low-E знижує тепловтрати через вікна на 40–50 %. Сучасні вікна з коефіцієнтом теплопередачі менше 1,0 Вт/(м²·К) значно зменшують витрати на опалення.
- **Двері з теплоізоляційними вставками:** заміна старих дверей на нові з покращеними теплоізоляційними властивостями знижує тепловтрати на 10 %.

3. **Інженерні системи та автоматизація:**

- **Модернізація систем опалення:** заміна старих котлів на сучасні конденсаційні котли дозволяє зекономити до 20% енергії. Інтеграція теплових насосів, які ефективно використовують відновлювану енергію, знижує енергоспоживання на 30–40 %.
- **Системи обліку та автоматизації:** встановлення індивідуальних теплових лічильників і систем автоматичного регулювання температури (термостатів) дозволяє знизити споживання тепла на 15–20 % у багатоквартирних будинках.

Висновок. Житловий фонд України потребує широкомасштабної модернізації, спрямованої на підвищення енергоефективності та зниження викидів парникових газів. Різні типи будівель, залежно від їхніх конструктивних особливостей та віку, вимагають різних підходів до термомодернізації. Комплексна модернізація житлового фонду може не лише знизити енергоспоживання, а й значно поліпшити комфорт проживання, сприяти економії ресурсів та підвищити екологічну стійкість житлових об'єктів України.

Розділ 2.

Мікроклімат приміщень

2.1. Властивості вологого повітря

Повітря біля земної поверхні являє собою суміш газів та водяної пари:

азот – 78,9%

кисень – 20,95%

аргон і інші інертні гази – 0,93%

вуглекислий газ – 0,03%. (По об'єму).

Також в повітрі знаходяться: пил, газоподібні та пароподібні продукти хімічних і біологічних процесів, мікроорганізми.

Вологим повітрям називають суміш сухої частини повітря і водяної пари.

Склад повітря приміщень залежить від наявності людей, технологічних процесів, обладнання тощо. Фізичні властивості вологого повітря характеризуються параметрами його стану: температура (по сухому та по мокрому термометру), температура точки роси, вологовміст, відносна вологість, густина, ентальпія, повний тиск вологого повітря, парціальний тиск водяної пари.

Температура повітря, виміряна термометром із сухою кулькою, називається **температурою по сухому термометру**, а температура повітря, виміряна термометром із змоченою кулькою, називається **температурою по мокрому термометру**.

Парціальний тиск ідеального газу в суміші газів пропорційний температурі суміші і обернено пропорційний об'єму:

$$p_i = m_i \frac{R_{\mu} T}{\mu_i V}, \quad (2.1)$$

де p_i – парціальний тиск ідеального газу в суміші газів, Па; m_i – маса газу, кг; R_μ – універсальна газова стала, 8314 Дж/(моль·К); μ_i – молекулярна маса газу, кг/моль; T – термодинамічна температура, К; V – об'єм усієї суміші, м³.

Температура точки роси – це температура, при якій водяна пара внаслідок охолодження стає насиченою (це найнижча температура, до якої можна охолоджувати вологе повітря при постійному його вологовмісті).

Відносна вологість повітря – це відношення парціального тиску водяної пари в ненасиченому вологому повітрі до парціального тиску водяної пари в насиченому вологому повітрі при одній і тій же температурі.

$$\varphi = \frac{p_n}{P_n}. \quad (2.2)$$

Вологовміст – маса води, що припадає на 1 кг сухої частини вологого повітря, d, кг.

Густина вологого повітря – це маса повітря в одиниці об'єму:

$$\rho = \frac{m}{V}, \text{ кг/м}^3. \quad (2.3)$$

Ентальпія – повна енергія, що пов'язана із даним станом тіла:

$$I = c_{c.v.}t + \frac{d}{1000}(r_0 + c_n t), \text{ кДж/кг}, \quad (2.4)$$

де $c_{c.v.}$ – питома ізобарна теплоємність сухої частини повітря, $c_{c.v.} = 1,005$ кДж/(кг·К); t – температура повітря по сухому термометру, °С; r_0 – питома теплота пароутворення при $t = 0$ °С, $r_0 = 2500$ кДж/кг; c_n – питома ізобарна теплоємність водяної пари, $c_n = 1,89$ кДж/(кг·К).

Якщо відомі два незалежні параметри повітря, то аналітично можна вирахувати всі інші фізичні параметри стану вологого повітря. Проте

аналітичне їх визначення є досить складним, тому доцільно використовувати *I – d діаграму* вологого повітря.

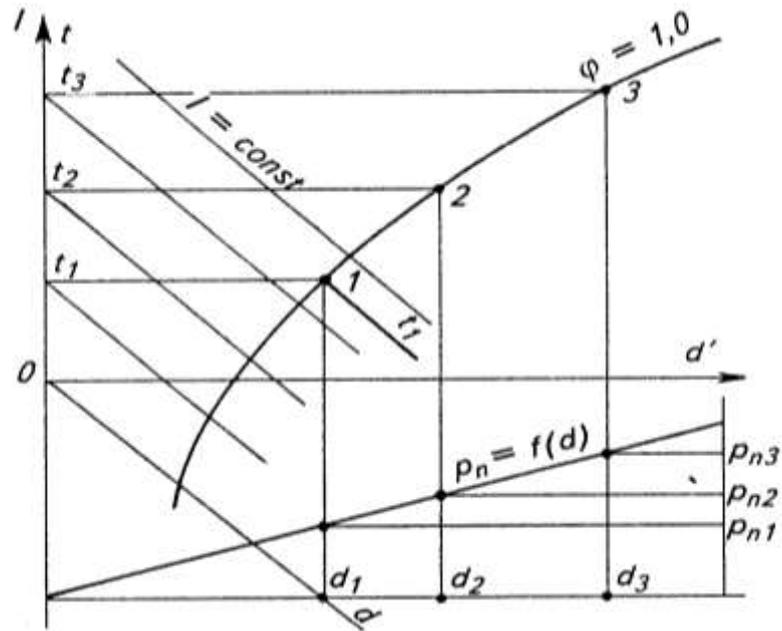


Рис. 2.1. Побудова ліній на I-d діаграмі

I – d діаграма являє собою графічне представлення залежності ентальпії від вологовмісту. На вертикальній осі зображено значення ентальпії I , а на похилій – значення вологовмісту d . Початок координат відповідає стану сухого повітря з температурою $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $d = 0$, $I = 0$. Кут між осями складає 135 ° .

Лінія $\varphi=1$ поділяє діаграму на дві зони. Верхня зона визначає стан повітря, в якому знаходиться водяна пара в перегрітому стані. Нижня зона зображує такий стан повітря, в якому міститься волога у вигляді насиченої водяної пари і туману, що складається із мілких капель води або кристалів льоду (зона туману).

2.2. Параметри повітря приміщень

Повітря являє собою складну суміш газів, що може змінюватись (по складу та об'єму) залежно від природних умов, або умов життєдіяльності людей, тварин і рослин. Склад повітря впливає на життєдіяльність живих організмів та рослин. Газообмін між організмом та оточуючим його повітря

називається *диханням*. У процесі дихання забезпечується постачання кисню до клітин організму та звільнення їх від CO_2 .

Таблиця 1.1.

Енерговитрати та споживання кисню залежно від виду діяльності людини

Вид діяльності	Енерговитрати, Вт	Споживання кисню, л/год
Відносний спокій	85-100	15-18
Дуже легка праця	100-175	18-30
Легка праця	175-350	30-60
Середня праця	350-520	60-90
Важка праця	520-700	90-100

Збільшення вмісту CO_2 в повітрі приводить до подразнення шкіри та слизової оболонки, негативно впливає на кровообіг та нервову систему. При короткотривалому збільшенні CO_2 в повітрі до 2% спостерігається задишка, головна біль, збільшена частота дихання. При концентрації до 5% - відчуття спеки, нудоти, головний біль та пониження температури тіла. При концентрації 9% - можливе настання смерті.

Усі шкідливості по ступеню впливу на організм людини поділяють на 4 класи:

- 1-й клас – надзвичайнонебезпечні;
- 2-й клас – сильнебезпечні;
- 3-й клас – помірнонебезпечні;
- 4-й клас – малонебезпечні.

Таблиця 1.2.

Вплив співвідношення CO_2/O_2 (у процентах об'єму) в повітрі приміщення на організм людини (при впливі 8 годин)

Умови	$\frac{\text{CO}_2}{\text{O}_2}$
Оптимальні	$\frac{0,03}{21-23}$

Гранично-допустимі	$\frac{0,3-2}{18,5-20}$
Максимально-переносимі	$\frac{2-5}{16-18}$
Загрожуючі здоров'ю	$\frac{5-6}{12-16}$
Загрожуючі життю	$\frac{6}{8-9}$

Коли в повітря приміщення виділяється декілька шкідливих речовин, то необхідно враховувати ефект їх взаємного впливу на організм людини:

$$\frac{c_1}{c_{1\text{ГДК}}} + \frac{c_2}{c_{2\text{ГДК}}} + \frac{c_3}{c_{3\text{ГДК}}} + \dots + \frac{c_n}{c_{n\text{ГДК}}} \leq 1. \quad (1.5)$$

Оксид вуглецю СО є, як правило, продуктом неповного спалювання вуглецю в двигунах внутрішнього згорання і теплофікаційних установках систем теплопостачання та місцевого опалення. СО засвоюється гемоглобіном крові в 250-300 раз інтенсивніше ніж кисень, що при значних концентрація СО призводить до кисневого голодування і смерті. ГДК СО в житлових приміщеннях складає 2 мг/м³.

Також, негативний вплив на організм людини здійснюють гази, що утворюються в результаті випаровування мастил, палив, охолоджувальних рідин, лаків, красок та ін.

У повітрі приміщень знаходяться *аерозолі* – аеродисперсні системи, що містять тверді або рідкі завислі частинки. Частинки пилу можуть попадати в органи дихання, на слизові оболонки органів дихання, шкіру та шлунково-кишковий тракт.

Метеорологічні параметри повітря: температура, вологовміст, швидкість руху повітря і температура поверхонь. Метеорологічні параметри визначають *мікроклімат приміщень*.

Мікроклімат приміщень – це метеорологічні умови внутрішнього середовища приміщення, що визначаються поєднанням температури, відносної вологості, швидкості пересування повітря і теплового випромінювання, які впливають на людину.

Для приміщень, що призначені для постійного, або довготривалого перебування людей, тварин або рослин, вимоги до мікроклімату зумовлені особливостями організму чи рослин і визначають умови, що забезпечують найбільш ефективно видалення тепла, газових і рідких виділень.

Тепловий баланс в організмі людини і, як наслідок, хороше самопочуття може бути забезпечено за різних поєднань параметрів оточуючого середовища.

Комфортними умовами називають такий комплекс параметрів оточуючого середовища, за якого організм людини підтримує свою теплову рівновагу при найменших напруженнях системи терморегуляції. Для людей, що займаються різною діяльністю комфортні умови будуть також різні. Тому параметри повітря в приміщенні залежать і нормуються з врахуванням виду діяльності людини та призначення приміщень, а також від кліматичних умов та періоду року.

Метеопараметри приміщень поділяються на *оптимальні і допустимі*.

Оптимальні мікрокліматичні умови – це такі поєднання параметрів мікроклімату, які при довготривалому і систематичному впливі на людину забезпечують збереження нормального функціонального і теплового стану організму без напруження терморегуляції.

Допустимі мікрокліматичні умови – це такі поєднання параметрів мікроклімату, які при довготривалому і систематичному впливу на людину можуть викликати скороминучі зміни функціонального і теплового стану організму і напруги терморегуляції, що не виходять за границі фізіологічних можливостей пристосовуватись.

Розділ 2.

Теплообмін в приміщенні

2.1. Теплообмін

Теплообмін (*теплопередача*) – наука про самочинні незворотні процеси розповсюдження тепла в просторі. Поширення тепла відбувається трьома основними способами: *теплопровідністю, конвекцією і тепловим випромінюванням.*

Теплопровідність. *Теплопровідність* – це молекулярне перенесення тепла в тілах, а також між ними, яке зумовлене різницею температур.

Кількість теплоти, що передається за одиницю часу через одиницю площі поверхні називається *густиною теплового потоку*:

$$q = \frac{Q}{F}, \text{ Вт/м}^2, \quad (2.1)$$

де Q – потужність теплового потоку, Вт; F – довільна поверхня, м².

Потужність теплового потоку – це кількість теплоти, яка передається за одиницю часу через довільну поверхню.

Перенесення тепла теплопровідністю – це результат теплового руху мікрочастинок речовини (молекул, атомів, електронів). Це характерно для твердих тіл, а також газів і рідин у яких відсутнє перенесення маси. Теплопровідність пов'язана із перенесенням температур всередині тіла. Сукупність миттєвих значень температури у всіх точках тіла – **це температурне поле**. Температура в загальному випадку є функцією координат і часу:

$$t = f(x, y, z, \tau). \quad (2.2)$$

Аналітичне дослідження теплопровідності зводиться до вивчення просторово-часової зміни температури, тобто до знаходження рівняння (2.2), яке є математичним описом температурного поля. Якщо температура

змінюється з часом, то температурне поле є *нестационарне*, а якщо не змінюється то – *стационарне*. В залежності від кількості розглянутих координат поле може бути одно-, дво-, і трьохмірним.

Ізотермічна поверхня – це геометричне місце точок з однаковою температурою. Тобто, якщо з'єднати точки тіла, що мають однакову температуру, буде одержана поверхня рівних температур, яка і називається ізотермічною. Ізотермічні поверхні не перетинаються, оскільки одна і та ж точка тіла не може одночасно мати різні температури. Ізотермічні поверхні закінчуються на поверхні тіла, або повністю знаходяться всередині тіла. На рис. 2.1. зображено ізотерми, температури яких відрізняються на Δt .

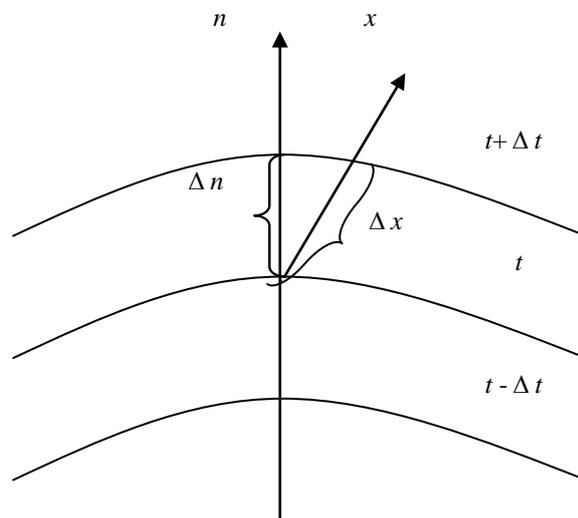


Рис. 2.1. Ізотерми

Оскільки температура в тілі змінюється лише в напрямках, що перетинають ізотермічні поверхні, то найбільший перепад температур на одиницю довжини відбувається в напрямку нормалі до ізотермічної поверхні, а границя відношення зміни температури до відстані між ізотермами називається *градієнтом температур*:

$$\lim_{\Delta n \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta t / \Delta n}{\Delta n} \right) = \partial t / \partial n = \text{grad } t = \Delta t . \quad (2.3)$$

Градiєнт температури – це вектор, що направлений в бiк збiльшення температури. Значення градиєнта температур $\partial t / \partial n$ не однакове для рiзних точок iзотермiчної поверхнi.

Нерiвномiрнiсть розподiлення температури в середовищi, що розглядається, зумовлює розповсюдження тепла. Отже, для передачi тепла необхідно, щоб градиєнт температур не був рiвний нулю.

Вiдповiдно до закону Фурє, густина теплового потоку q в тiлi, де передача тепла проходить шляхом теплопровiдностi, пропорцiйна градиєнту температури, $\frac{\partial t}{\partial n}$, $^{\circ}\text{C}/\text{м}$:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}, \text{ Вт}/\text{м}^2. \quad (2.4)$$

Експериментально встановлено, що коефiцiєнт пропорцiйностi в рiвняннi (2.4) є фiзичним параметром речовини. Вiн характеризує здатнiсть речовини проводити теплоту i називається *коефiцiєнтом теплопровiдностi*.

Вектор густини теплового потоку q направлений по нормалi до iзотермiчної поверхнi. Його додатнiй напрям спiвпадає з напрямком спадання температури, оскiльки тепло передається вiд бiльш нагрiтих частин тiла до менш нагрiтих. Таким чином вектори q i $\text{grad } t$ лежать на однiй прямiй, але направленi в протилежнi сторони.

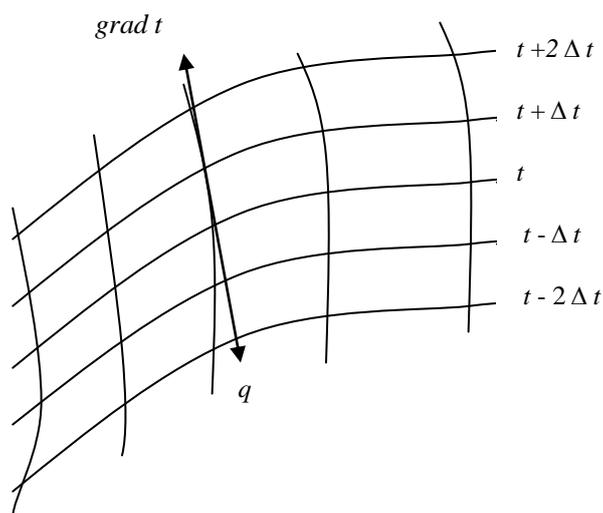


Рис. 2.2. Изотерми i лiнii теплового потоку

Лінії, дотичні до яких співпадають з напрямком вектора q , називаються лініями теплового потоку. Лінії теплового потоку перпендикулярні до ізотермічних поверхонь.

Кількість тепла, що проходить за одиницю часу через ізотермічну поверхню F , називається **тепловим потоком**.

У випадку передачі тепла в стаціонарних умовах через плоску однорідну стінку в напрямку перпендикулярному її поверхні, *рівняння теплопровідності* запишеться в наступному вигляді:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta}(t_1 - t_2)F, \quad (2.5)$$

де Q – тепловий потік, Вт; δ – товщина стінки, м; t – температура, К; F – площа стінки, м².

Коефіцієнт теплопровідності λ – це кількість тепла, що переноситься через 1 м² ізотермічної поверхні в одиницю часу при градієнті температури рівному одиниці. Теплопровідність в чистому вигляді відбувається у твердих тілах.

Для визначення кількості тепла, що проходить через будь-яку поверхню твердого тіла, необхідно знати температурне поле всередині розгляданого тіла. Знаходження температурного поля і є головною задачею аналітичної теорії теплопровідності.

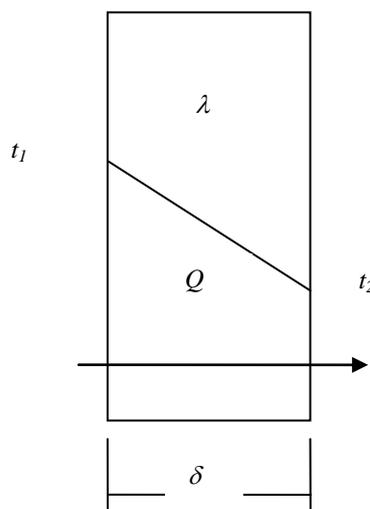


Рис. 2. 3. Зміна температури в однорідній стінці

Конвективний теплообмін. Перенесення конвекцією пов'язано з перенесенням маси рухомого середовища. Рух в рідинах або газах виникає або за рахунок різниці густин холодних і нагрітих мас середовища (вільна, природна конвекція), або за допомогою сторонніх збуджувачів руху (вентиляторів, насосів).

Конвекція – це перенесення тепла за рахунок переміщення об'ємів рідини, або газу в просторі із зони з однією температурою у зону з іншою температурою.

Конвекція тепла завжди супроводжується теплопровідністю (*конвективний теплообмін*). Конвективний теплообмін між потоком рідини (газу) і поверхнею твердого тіла називається *конвективною тепловіддачею* або просто *теповіддачею*.

Конвективний теплообмін описується законом Ньютона, згідно якому тепловий потік Q_k , що передається конвекцією, рівний:

$$Q_k = \alpha_k (t_1 - t_2) F, \quad (2.6)$$

де α_k – коефіцієнт конвективного теплообміну, Вт/(м²·К);
 t_1, t_2 – температури на поверхнях стінки.

Коефіцієнт конвективного теплообміну (*коефіцієнт тепловіддачі*) – це кількість тепла, яким обмінюється середовище і 1 м² поверхні твердого тіла при різниці температур між ними в один градус за одиницю часу. Також він характеризує інтенсивність перенесення тепла.

Коефіцієнт тепловіддачі залежить від великої кількості факторів. У загальному випадку він є функцією форми і розмірів тіла, режиму руху, швидкості і температури рідини, фізичних параметрів рідини та інших величин. По різному буде відбуватись процес тепловіддачі в залежності від природи виникнення руху рідини.

На теплообмін впливають режими течії: *ламінальний і турбулентний*. Ламінарний режим характеризується спокійним, струминним рухом, а турбулентний – вихровим, неупорядкованим. Зміна режиму течії відбувається в

перехідній області за деякої критичної швидкості. Встановлено, що один режим переходить в інший за певного критичного числа Рейнольдса.

За будь-якого режиму течії біля поверхні тіла, що обтікається, сили в'язкого тертя знижують швидкість середовища до нуля. Таким чином утворюється *пограничний шар*.

Вимушений рух в загальному випадку може супроводжуватись вільним рухом. Відносний вплив останнього тим більший, чим більша різниця температури окремих частинок середовища і чим менша швидкість вимушеного руху. За великих швидкостях вимушеного руху вплив вільної конвекції стає таким, що ним можна знехтувати.

В залежності від фізичних властивостей рідини (газів) процес теплообміну може проходити по різному і своєрідно. Особливо велике значення мають коефіцієнт теплопровідності, питома теплоємність, густина, коефіцієнт температуропровідності та коефіцієнт в'язкості. Для кожної речовини ці величини набувають певних значень і є функціями параметрів стану.

Усі реальні рідини володіють в'язкістю. Між частинками і шарами, що рухаються із різними швидкостями, завжди виникає сила внутрішнього тертя, яка протидіє руху. Відповідно до закону Ньютона дотична сила s , віднесена до одиниці поверхні, яка діє в будь якій точці потоку в площині, орієнтованій за течією, пропорційна зміні швидкості в напрямку нормалі до цієї площини:

$$s = \mu \frac{d\omega}{dn}. \quad (2.7)$$

Коефіцієнт μ називається *динамічним коефіцієнтом в'язкості*, або просто *коефіцієнтом в'язкості*; він вимірюється в Па·с. За $\frac{d\omega}{dn}=1$ чисельно $s = \mu$.

У рівняння гідродинаміки і теплопередачі часто входить відношення в'язкості μ до густини ρ , яке називається кінематичним коефіцієнтом в'язкості, ν , м²/с:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}. \quad (2.8)$$

Коефіцієнти μ і ν є фізичними параметрами рідини і суттєво залежать від температури. У крапельних рідинах в'язкість майже не залежить від тиску, проте значно зменшується при підвищенні температури. У газів μ збільшується при підвищенні температури, а при підвищенні тиску збільшується не значно.

За протікання рідини або газу, що мають в'язкість, наявність внутрішнього тертя приводить до процесу дисипації (розсіювання) енергії. Частина кінетичної енергії рідини, що рухається, необоротно переходить в теплоту і викликає нагрівання рідини. Якщо в'язкість рідини, або її швидкість незначні, то і нагрівання буде незначним.

На тепловіддачу впливає *стискуваність* рідин. *Ізотермічною стискуваністю* або *коефіцієнтом стиснення* тіла при $t = \text{const}$ називають величину

$$\varepsilon = \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_t, \quad (2.9)$$

що являє собою відносну зміну густини речовини за зміни тиску. Для крапельних рідин ізотермічна стискуваність надзвичайно мала, так для води $\varepsilon \approx 5 \cdot 10^{-10}$ 1/Па, а для повітря $\varepsilon \approx 10^{-5}$ 1/Па.

Крім ізотермічної стискальності рідини для конвективного теплообміну велике значення має *теплове розширення рідини*. Воно характеризується *температурним коефіцієнтом об'ємного розширення*:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right)_p. \quad (2.10)$$

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення β , 1/К, являє собою відносну зміну об'єму при зміні температури на один градус (за сталого тиску).

Для рідин температурний коефіцієнт об'ємного розширення відносно незначний. Наприклад, для води за $t < 4$ °С, коефіцієнт β може мати від'ємне

значення. Для ідеального газу температурний коефіцієнт об'ємного розширення є величина обернена до абсолютної температури газу:

$$\beta = \frac{1}{T}. \quad (2.11)$$

У нерівномірно нагрітій рідині внаслідок теплового розширення виникає неоднорідне поле густини, що в результаті може спричинити вільний рух.

Теплообмін випромінюванням. Процеси теплопередачі можна розділити на дві категорії. Перша визначається тим, що структурні елементи середовища, що знаходяться на шляху перенесення тепла, приймають участь у процесі переносу (теплопровідність, конвекція). Друга категорія характерна тим, що середовище може не приймати участі у перенесенні тепла (теплове випромінювання).

Теплове випромінювання – це процес розповсюдження тепла за допомогою електромагнітних хвиль. Теплова енергія перетворюється на поверхні тіла в енергію випромінювання, передається крізь променепрозорі середовища на поверхню іншого тіла і перетворюється у теплову.

Випромінювання має подвійні властивості: неперервності поля електромагнітних хвиль і дискретності. На основі цього вважається, що енергія та імпульси зосереджені у фотонах, а ймовірність знаходження їх в тому чи іншому місці простору – у хвилях. Відповідно до цього випромінювання характеризується довжиною хвилі λ і частотою коливань:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (2.12)$$

де c – швидкість світла у вакуумі ($c = 2,9979 \cdot 10^8$ м/с). Усі види електромагнітного випромінювання мають однакову природу і розрізняються лише довжиною хвиль.

При збільшенні температури збільшується інтенсивність короткохвильового випромінювання і зменшується інтенсивність

довгохвильового випромінювання. У процесах випромінювання залежність від температури значно більша, ніж в процесах теплопровідності і конвекції. Внаслідок цього за високих температур основним видом перенесення тепла може бути теплове випромінювання.

Енергія, що випромінюється довільною поверхнею в одиницю часу по усіх можливих напрямках півпростору і відповідає вузькому інтервалу довжин хвиль від λ до $d\lambda$, називається *поток*ом монохроматичного, спектрального або однорідного випромінювання Q_λ . Сумарне випромінювання з поверхні речовини по всіх довжинах хвиль спектру називається *інтегральним* або *повним* потоком випромінювання Q .

Таблиця 2.1.

**Класифікація електромагнітного випромінювання
залежно від довжини хвилі**

Вид випромінювання	Довжина хвилі, мм	Вид випромінювання	Довжина хвилі, мм
Космічне	$0,05 \cdot 10^{-9}$	Видиме	$(0,4 \div 0,8) \cdot 10^{-3}$
γ - випромінювання	$(0,5 \div 0,10) \cdot 10^{-9}$	Теплове (інфрачервоне)	$0,8 \cdot 10^{-3} \div 0,8$
Рентгенівське	$1 \cdot 10^{-9} \div 2 \cdot 10^{-5}$		
Ультрафіолетове	$2 \cdot 10^{-5} \div 0,4 \cdot 10^{-3}$	Радіохвилі	$> 0,2$

Інтегральний потік, що виходить з одиниці поверхні, називається поверхневою густиною потоку інтегрального випромінювання:

$$E = \frac{dQ}{dF}, \quad (2.13)$$

де dQ – променевий потік, що виходить із елементарної площі dF , Вт.

Променевий потік із усієї поверхні виражається інтегралом:

$$Q = \int_F E dF. \quad (2.14)$$

У загальному випадку густина потоку випромінювання може мати нерівномірний розподіл на поверхні тіла. Якщо густина потоку інтегрального випромінювання для всіх елементів поверхні випромінюючого тіла однакова, то залежність (2.14) набуде наступного вигляду:

$$Q = EF. \quad (2.15)$$

Кількість енергії, що випромінюється в одиницю часу довільною поверхнею називається потоком випромінювання Q , Вт, а одиницею поверхні – *густиною потоку випромінювання* E , Вт/м².

Енергетичний баланс падаючого випромінювання складається із поглинутого Q_A , відбитого Q_R і пропущеного тілом Q_D випромінювання:

$$Q = Q_A + Q_R + Q_D. \quad (2.16)$$

Якщо поділити обидві частини рівняння на Q і позначивши:

$$\frac{Q_A}{Q} = A; \quad \frac{Q_R}{Q} = R; \quad \frac{Q_D}{Q} = D, \quad (2.17)$$

отримується:

$$A + R + D = 1. \quad (2.18)$$

Якщо $A = 1$, то тіло повністю поглинає променеву енергію (*абсолютно чорне тіло*). Якщо $R = 1$, то тіло повністю відбиває падаюче на нього

випромінювання. Якщо $D = 1$, то тіло повністю пропускає енергію, тобто тіло *абсолютно прозоре* (діатермічне).

Величини A , R , D залежать від природи тіл, їх температури і довжини хвиль випромінювання. Наприклад, віконне скло прозоре для видимого проміння, а для ультрафіолетового та інфрачервоного – непрозоре. Тому сонячна енергія, що попадає всередину приміщення не може випромінюватись назовні, чим пояснюється парниковий ефект.

Закони теплового випромінювання. Закони теплового випромінювання отримані для абсолютно чорного тіла у випадку термодинамічної рівноваги. *Рівноважним* (чорним) *випромінюванням* називають випромінювання за якого усі тіла, що входять у дану випромінювальну систему, набувають однакову температуру, тобто знаходяться у термодинамічній рівновазі. Відповідно теплове випромінювання набуде динамічного характеру. За однакових температур кожне із тіл як випромінює так і поглинає променеву енергію в однакових кількостях.

Випромінювання енергії по довжинах хвиль проходить нерівномірно і залежить від температури. Залежність спектральної густини потоку випромінювання від довжини хвилі і температури встановлюється **законом Планка**:

$$E_{0\lambda} = \frac{2\pi c_1}{\lambda^5} \left(e^{-\frac{c_2}{\lambda T}} - 1 \right)^{-1}, \quad (2.19)$$

де λ – довжина хвилі, м; $c_1 = 5,944 \cdot 10^{-17}$ – перша стала випромінювання, Вт·м²; $c_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$ – друга стала випромінювання, м·К; e – основа натуральних логарифмів; T – температура тіла, К; $E_{0\lambda}$ – вимірюється в Вт/м³.

Якщо знехтувати членами вищого порядку у рівнянні (2.19), то отримується **закон Релея-Джінса**:

$$E_{0\lambda} = \frac{2c_1\pi T}{c_2\lambda^4}. \quad (2.20)$$

Якщо добуток λT у є настільки малим, порівняно із сталою c_2 , що ним можна знехтувати у залежності (2.19), тоді отримується **закон Віна**:

$$E_{0\lambda} = \frac{2\pi c_1}{\lambda^5} e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}. \quad (2.21)$$

Досліджуючи функцію (2.19) на екстремум отримується наступний запис закон Віна:

$$\lambda_{\text{макс}} T = 2,8978 \cdot 10^{-3}, \quad (2.22)$$

де $\lambda_{\text{макс}}$ – довжина хвилі, якій відповідає максимальна густина випромінювання.

Відповідно до закону зміщення Віна максимальне значення спектральної густини потоку випромінювання з підвищенням температури зміщується в бік більш коротких хвиль.

Закон Стефана-Больцмана встановлює залежність густини потоку інтегрального півсферичного випромінювання від температури. Цей закон для поверхової густини потоку інтегрального випромінювання E_0 , Вт/м², описується наступною залежністю:

$$E_0 = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda = \sigma_0 T^4, \quad (2.23)$$

де σ_0 – стала Стефана-Больцмана.

Також вище наведена залежність може бути представлена у наступному вигляді:

$$E_0 = c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (2.24)$$

де $c_0 = 5,6703$ – випромінювальна здатність абсолютно чорного тіла, Вт/(м²·К⁴).

Для сірих тіл закон Стефана-Больцмана набуде наступного вигляду:

$$E = \varepsilon E_0 = \varepsilon c_0 \left(\frac{T}{100} \right)^4 = c \left(\frac{T}{100} \right)^4, \quad (2.25)$$

де $\varepsilon = \frac{E}{E_0} = \frac{c}{c_0}$ – коефіцієнт теплового випромінювання;

c – випромінювальна здатність сірого тіла.

Закон Кірхгофа встановлює кількісний зв'язок між енергіями випромінювання і поглинання поверхнями сірих і абсолютно чорних тіл. Цей закон можна отримати із балансу променевої енергії для випромінювальної системи, що складається із відносно великого замкнутого об'єму із теплоізолюваними стінками та розміщених у нього тіл. Для кожного із цих тіл в умовах термодинамічної рівноваги енергія випромінювання рівна поглинутій енергії:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots = E_0 = f(T). \quad (2.26)$$

Енергія випромінювання, яка випромінюється тілом по окремих напрямках, встановлюється **законом Ламберта**. Відповідно до цього закону потік випромінювання абсолютно чорного тіла в даному напрямку пропорційний потоку випромінювання в напрямку нормалі до поверхні і косинусу кута між ними.

Для кутової густини потоку випромінювання закон Ламберта виражається залежністю:

$$I_\psi = I_n \cos \psi, \quad (2.27)$$

де I_ψ і I_n – кутові густини потоків інтегрального випромінювання відповідно в напрямку, що визначається кутом ψ , і в напрямку нормалі до поверхні.

2.2. Теорія подібності

Подібні фігури характеризуються умовою $l_1 / l_2 = idem = c$, де c – стала геометричної подібності. Течія двох різних середовищ при подібності

сил, що викликали рух, вважається подібним, якщо режими течії однакові. Це *гідродинамічна подібність*.

Якщо розподіл температур і теплових потоків в двох тілах співвідносяться в певному масштабі, то ці явища подібні. Це *теплова подібність*.

Таким чином поняття подібності може бути застосовано до фізичних явищ, якісно однорідних і таких, що описують однакові по формі і змісту аналітичними рівняннями. При цьому обов'язкові умови геометричної подібності. Лише в геометрично подібних системах проходять подібні фізичні процеси.

Сталі подібності для різних величин в подібних явищах мають чітко визначене значення, отримуються із аналізу математичного опису процесів. Ці величини називають *критеріями (числами) подібності*. Числа подібності є безрозмірними величинами.

Теорія подібності дозволяє, не вирішуючи систему диференціальних рівнянь, отримати із них числа подібності і на основі експериментальних даних, що отримані на фізичних моделях, скласти рівняння подібності, яке буде підходити до усіх подібних процесів в певних межах.

Число Прандтля характеризує теплофізичні властивості середовища:

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{a}, \quad (2.28)$$

де ν - коефіцієнт динамічної в'язкості середовища, м²/с ($\nu = c_p \cdot \mu$, де c_p - питома теплоємність за сталого тиску, Дж/(кг/К); μ - динамічний коефіцієнт в'язкості, Н·с/м²); a – коефіцієнт теплопровідності, м²/с.

$$a = \frac{\lambda}{c_p \rho}. \quad (2.29)$$

Число Нусельта характеризує інтенсивність конвективного теплообміну:

$$\text{Nu} = \frac{\alpha l}{\lambda}, \quad (2.30)$$

де α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м² · К); l – характерний розмір, м.

Число Рейнольдса визначає режим течії:

$$\text{Re} = \frac{\omega l}{\nu}, \quad (2.31)$$

де ω - швидкість потоку, м/с.

Число Грасгофа характеризує відношення підйимальної сили, яка виникає внаслідок теплового розширення рідини до тертя:

$$\text{Gr} = \frac{g \beta l^3 \Delta t}{\nu^2}, \quad (2.32)$$

де β – коефіцієнт об'ємного розширення, 1/К; Δt – різниця температур між поверхнею та рідиною, К.

Число Ейлера характеризує вплив перепаду гідростатичного тиску на рух рідини:

$$\text{Eu} = \frac{\Delta p}{\rho \omega^2}. \quad (2.33)$$

Безрозмірні числа поділяються на: *визначальні* (Re, Pr, Gr), що складаються із величин які відомі до розв'язування задачі; *визначувані* (Nu, Eu).

π -теорема Бекінгема. Число безрозмірних комплексів рівне числу всіх величин, істотних для процесу, за винятком числа первинних величин.

2.3. Теплопередача

Як правило процеси поширення тепла (теплопровідність, конвекція, теплове випромінювання) відбуваються разом. Процес передачі тепла від гарячої рідини до холодної через розділяючу їх стінку називається **теплопередачею**.

Теплопередача складається із тепловіддачі від більш нагрітої рідини до стінки, теплопередача в стінці, тепловіддача від стінки до більш холодного середовища.

Нехай плоска однорідна стінка має товщину δ (рис. 2.4) та коефіцієнт теплопровідності λ . Також відомі температури оточуючого середовища $t_{p,1}$ і $t_{p,2}$, а також коефіцієнти тепловіддачі α_1 і α_2 . Якщо прийняти, що подані вище величини сталі і не змінюються вздовж поверхні, то можна розглядати зміну температури рідин і стінки лише в напрямку перпендикулярному до площини стінки.

Густина теплового потоку від гарячої рідини до стінки визначається наступним рівнянням:

$$q = \alpha_1 (t_{p,1} - t_{c,1}). \quad (2.34)$$

За стаціонарного теплового режиму та ж густина теплового потоку, зумовлена теплопровідністю через тверду стінку:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (t_{c,1} - t_{c,2}). \quad (2.35)$$

Цей тепловий потік передається від другої поверхні стінки до холодної рідини за рахунок тепловіддачі:

$$q = \alpha_2 (t_{c,2} - t_{p,2}). \quad (2.36)$$

Рівняння (2.34) - (2.36) можна записати у наступному вигляді:

$$\left. \begin{aligned} q \frac{1}{\alpha_1} &= t_{p,1} - t_{c,1} \\ q \frac{\delta}{\lambda} &= t_{c,1} - t_{c,2} \\ q \frac{1}{\alpha_2} &= t_{c,2} - t_{p,2} \end{aligned} \right\} \quad (2.37)$$

Додаванням рівнянь (2.37) почленно, отримується:

$$q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) = t_{p.1} - t_{p.2}. \quad (2.38)$$

Звідси густина теплового потоку, Вт/м²:

$$q = \frac{t_{p.1} - t_{p.2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (2.39)$$

де $(1/(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2})) = \kappa$ - коефіцієнт теплопередачі, Вт(м²·К).

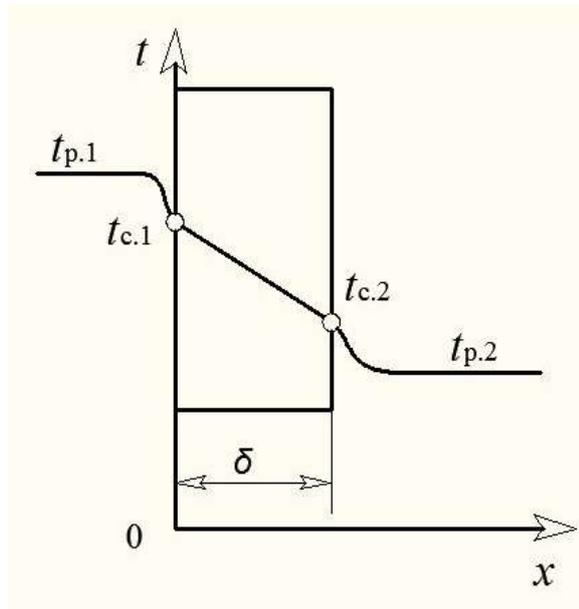


Рис.2.4. Теплопередача через плоску стінку

Коефіцієнт теплопередачі характеризує інтенсивність передачі тепла від однієї рідини до іншої через розділяючу їх стінку і чисельно рівний кількості тепла, яке передається через одиницю поверхні стінки в одиницю часу за різниці температур між рідинами в один градус.

Повним термічним опором теплопередачі називається величина обернена до коефіцієнта теплопередачі:

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (2.40)$$

Загальний термічний опір складається із часткових термічних опорів, тому для багатошарової стінки необхідно враховувати термічний опір кожного шару. Якщо стінка складається із n шарів, то повний термічний опір теплопередачі через багатошарову стінку буде рівний:

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (2.41)$$

або

$$R = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (2.42)$$

звідси

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (2.43)$$

Густина теплового потоку через багатошарову стінку, що містить n шарів, буде рівна:

$$q = \frac{t_{p.1} - t_{p.2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (2.44)$$

Тепловий потік Q , Вт, через поверхню F , m^2 , твердої стінки рівний:

$$Q = qF = k\Delta tF, \quad (2.45)$$

де $\Delta t = t_{p.1} - t_{p.2}$.

Температура на границі будь-яких двох шарів i і $i+1$ може бути визначена за формулою:

$$t_{c(i+1)} = t_{p.1} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right). \quad (2.46)$$

2.4. Масообмін

Процеси масообміну можуть відбуватись в однокомпонентному та в багатокомпонентному середовищі. У техніці часто зустрічається випадок двокомпонентного середовища, така суміш двох речовин називається *бінарною*. Широко розповсюджені процеси випаровування в пароповітряне середовище і конденсація пари з суміші «пара-повітря» відносяться до випадку масообміну в бінарній суміші. У природі й техніці багато процесів (наприклад випаровування рідини і конденсація пари) супроводжуються перенесенням маси одного компонента в інший (компонентом називають хімічно індивідуальну речовину).

Більшість процесів теплообміну пов'язано із перенесенням маси – *масообміном*, самочинним процесом поширення маси в просторі.

Перенесення речовини відбувається з ділянки з більшою її концентрацією в ділянку з меншою концентрацією. Як і поширення теплоти перенесення маси може відбуватись двома основними способами: дифузією (молекулярною дифузією) і конвективною дифузією.

Молекулярна дифузія – перенесення маси за рахунок хаотичного теплового руху мікрочастинок речовини.

Конвективна дифузія – перенесення маси за рахунок переміщення макроскопічних об'ємів речовини.

Конвективне перенесення маси від поверхні рідини в газове середовище називають *конвективною масовіддачею*, а сумісне молекулярне і конвективне перенесення маси називають *конвективним масообміном*.

Густина потоку маси речовини – це кількість речовини, яка проходить за одиницю часу через одиницю площі поверхні. Кількість маси, яка переноситься за одиницю часу через довільну поверхню називається потоком маси. *Концентрація* є мірою маси відповідного компонента, який міститься в одиниці об'єму суміші.

Аналогічно до теплопровідності і конвективної тепловіддачі розрізняють *масопровідність* – молекулярну дифузію і *масовіддачу* – конвективну дифузію. *Дифузія* – самовільне перенесення речовини за рахунок градієнта його

концентрації $\frac{\partial c}{\partial t}$. Рівняння масопровідності для стаціонарного режиму і одномірного поля концентрації аналогічного до *рівняння теплопровідності Фурє* і виражає закон Фіка:

$$Q_d = -D_c \left(\frac{\partial c}{\partial n} \right) F \tau, \quad (2.47)$$

де D_c – коефіцієнт дифузії (*масопровідність*), m^2/s ; $\frac{\partial c}{\partial n}$ – *градеєнт концентрації* – вектор, що характеризує напруженість поля концентрації.

Потік речовини на границі поділу фаз визначається наступною залежністю:

$$Q_d = \beta (c^{cm} - c^{jc}) F \tau, \quad (2.48)$$

де β – коефіцієнт масовіддачі, що відноситься до різниці концентрацій дифундованого середовища на поверхні c^{cm} і в потоці c^{jc} .

Розділ 3.

Теплові умови приміщень

3.1. Температурні умови комфортності людини в приміщенні

Температурні умови в приміщенні визначаються поєднанням температури повітря t_g і температури внутрішніх поверхонь τ_i . Усереднену температуру внутрішніх поверхонь відносно одної із поверхонь, що називається *радіаційною температурою* t_R відносно людини в приміщенні, визначають за наступною залежністю:

$$t_R = \sum \tau_i \varphi_{л-i}, \quad (3.1)$$

де $\varphi_{л-i}$ – коефіцієнти опромінення з поверхні людини на поверхні, що її оточують.

Також радіаційну температуру можна знайти усереднено за площами окремих поверхонь F_i :

$$t_R = \frac{\sum \tau_i F_i}{\sum F_i}. \quad (3.2)$$

Температурні умови в приміщенні характеризуються результируючою температурою приміщення:

$$t_n = \frac{t_g + t_R}{2}. \quad (3.3)$$

Температурні умови в приміщенні мають відповідати умовам комфортності. *Перша умова комфортності* визначає температурні умови, за яких людина, що знаходиться всередині приміщення, віддаючи усе явне тепло, не відчуває відчуття перегріву або переохолодження. Для холодного періоду року перша умова комфортності:

$$t_R = 1,57t_n - 0,57t_g \pm 1,5. \quad (3.4)$$

Друга умова комфортності обмежує інтенсивність променистого теплообміну, коли людина знаходиться неподалік нагрітих або охолоджених поверхонь огорожень. Допустима температура поверхні стіни, або стелі в холодний період року приймається рівною:

- для нагрітої поверхні (за допустимої тепловіддачі випромінюванням $11,6 \text{ Вт/м}^2$):

$$\tau_n^{\text{доп}} \leq 19,2 + \frac{8,7}{\varphi_{\text{л-п}}}; \quad (3.5)$$

- для охолодженої поверхні (при допустимій тепловіддачі випромінюванням 70 Вт/м^2):

$$\tau_n^{\text{доп}} \geq 23 - \frac{5}{\varphi_{\text{л-п}}}. \quad (3.6)$$

Мінімально допустиму температуру вікна (при тепловіддачі випромінюванням не більш 93 Вт/м^2):

$$\tau_{\text{вк}}^{\text{доп}} \geq 14 - \frac{4,4}{\varphi_{\text{л-вк}}}, \quad (3.7)$$

де $\varphi_{\text{л-п}}$, $\varphi_{\text{л-вк}}$ – коефіцієнти опромінення від найбільш невідно розміщеної частини поверхні тіла людини на нагріту чи охоложену поверхню.

3.2. Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Розрахункові параметри зовнішнього повітря встановлюються на основі багаторічних даних метеорологічних спостережень в різних регіонах країни для теплого і холодного періодів року. Розрахункові параметри зовнішнього повітря для систем опалення, вентиляції і кондиціонування повітря нормуються для теплого і холодного періодів. Клімат холодного і теплого періодів року для різних регіонів і географічних пунктів характеризується двома розрахунковими параметрами зовнішнього повітря: А і Б.

Для систем опалення будь-яких житлових, адміністративних і виробничих будівель та споруд для ХПР в якості розрахункових параметрів зовнішнього повітря необхідно приймати параметри Б. Для систем вентиляції і кондиціонування повітря громадських і виробничих приміщень необхідно приймати розрахункові параметри А для ТПР і розрахункові параметри Б для ХПР. Розрахункову температуру зовнішнього повітря для холодного періоду року, що відповідає параметрам Б, при розрахунку тепловтрат через зовнішні огорожуючі конструкції надземних будівель приймають рівною середній температурі повітря найбільш холодної п'ятиденки в даному населеному пункті, або температурі повітря найбільш холодного приміщення за розрахунку втрат тепла через внутрішні огороження.

3.3. Теплопередача через огорожувальні конструкції будівель та споруд

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_3} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (3.8)$$

де α_B, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м² · К); R_i – термічний опір i -го шару конструкції, м² · К/Вт; λ_{ip} – теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м · К);

Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної непрозорої огорожувальної конструкції розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma np} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{j=1}^J \frac{R_j F_j}{F_{\Sigma}} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (3.9)$$

де R_j – термічний опір термічно однорідної зони, що визначається експериментально або на підставі результатів розрахунків двомірного (тримірного) температурного поля й розраховується за формулою:

$$R_j = \frac{\bar{\tau}_{вj} - \bar{\tau}_{зj}}{q_j}, \quad (3.10)$$

де $\bar{\tau}_{вj}; \bar{\tau}_{зj}$ – середні температури внутрішньої і зовнішньої поверхні термічно однорідної зони, °С, відповідно; q_j – густина теплового потоку через термічно однорідну зону, Вт/м²; F_j – площа j -ї термічно однорідної зони, м²; F_Σ – площа огорожувальної конструкції, м².

3.4. Проектування теплоізоляційної оболонки будівель та споруд

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалюваних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3 °С та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q \min}; \Delta t_{пр} \leq \Delta t_{cr}; \tau_{в \min} > t_{\min}, \quad (3.11)$$

де $R_{\Sigma пр}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції (для термічно однорідних огорожувальних конструкцій визначається опір теплопередачі), приведений опір теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, м²·К/Вт; $R_{q \min}$ – мінімально допустиме значення опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, мінімальне значення опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, м²·К/Вт; $\Delta t_{пр}$ – температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С; Δt_{cr} – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього

повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С; $\tau_{в\ min}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С; t_{min} – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, °С.

Мінімально допустиме значення, $R_{q\ min}$, опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, світлопрозорих огорожувальних конструкцій і дверей житлових і громадських будинків встановлюється згідно з ДБН В 2.6-31:2006 залежно від температурної зони експлуатації будинку. У разі термомодернізації будинків, допускається для непрозорих огорожувальних конструкцій приймати значення $R_{q\ min}$ з коефіцієнтом 0,8.

Мінімально допустиме значення, $R_{q\ min}$, опору теплопередачі внутрішніх міжквартирних конструкцій, що розмежовують приміщення з розрахунковими температурами повітря, які відрізняються більше ніж на 3 °С (стіни, перекриття), і приміщень з поквартирним регулюванням теплоспоживання визначають за формулою:

$$R_{q\ min} = \frac{t_{в1} - t_{в2}}{\Delta t_{ст} \alpha_{в1}}, \quad (3.12)$$

де $t_{в1}$, $t_{в2}$ – розрахункові температури повітря в приміщеннях, °С;
 $\alpha_{в1}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні конструкцій, Вт/(м²·К).

Розділ 3.

Системи виробництва та розподілу теплової енергії у будинках

3.1. Джерела теплової енергії у системах централізованого теплопостачання

Джерелом тепла називається комплекс обладнання та пристроїв, за допомогою яких здійснюється перетворення природних та штучних джерел енергії на теплову енергію з необхідними для споживачів параметрами.

Відповідно до ДБН В.2.5-39 до систем централізованого теплопостачання відносять системи, теплова потужність яких становить понад 20 МВт. Крім того, у ДБН В.2.5-39 також відокремлюються системи помірно-централізованого теплопостачання, у яких теплова потужність знаходиться у межах 3-20 МВт. Залежно від потужності систем теплопостачання відрізняються у джерела теплової енергії. За кордоном існує одне поняття «district heating system», яке об'єднує системи теплопостачання, в яких теплота вироблена в одному централізованому місці передається системою теплоізованих трубопроводів до будинків і споруд на потреби систем опалення та гарячого водопостачання. Відповідно, визначальним є не теплова потужність системи, а централізація виготовлення теплової енергії та наявність декількох споживачів, до яких теплова енергія подається за допомогою системи трубопроводів (теплової мережі).

В якості джерел теплоти можуть бути ТЕЦ, когенераційні установки, опалювальні котельні, заводи по спалюванні побутових відходів, теплові насоси. В Україні переважна більшість теплової енергії виробляється в ТЕЦ та опалювальних котельнях.

Теплоелектроцентралі (ТЕЦ) є різновидом теплової електростанції, на якій вироблення електричної відбувається одночасно з виробленням теплової енергії. Використання комбінованого виробництва тепла та електроенергії покращує використання енергії палива відповідно до принципу використання (відпрацьованого) тепла, утвореного під час виробництва електроенергії, для цілей теплопостачання. ТЕЦ краще використовує первинну енергію порівняно з окремим виробництвом електроенергії на електростанції та виробництвом тепла за допомогою котла.

На рис. 3.1 наведена принципова схема ТЕЦ. Принцип роботи ТЕЦ полягає у наступному. У парогенераторі (паровому котлі) 1 виробляється водяна пара з початковим середнім або високим тиском ($P_n = 6; 9; 13\text{МПа}$), яка подається в парову турбіну 3, де тепла енергія водяної пари перетворюється в механічну енергію. На одній осі з турбіною розташований електрогенератор, де виробляється електрична енергія. Насичена пара з парової турбіни 3 подається у відбір 6 для нагрівання мережної води у мережних підігрівниках 7. Якщо температура мережної води після підігрівника недостатня для забезпечення теплових потреб сезонних споживачів, вода підігрівається до потрібної температури в пікових котлах 10. Залежно від типу парових турбін, які застосовуються на джерелі теплоти – конденсаційних з відборами пари (типи К, Т, ПТ) або турбін з протитиском (Р, ПР), викидна пара після турбіни надходить в конденсатор 4, або для турбін з протитиском безпосередньо до мережного підігрівника 7.

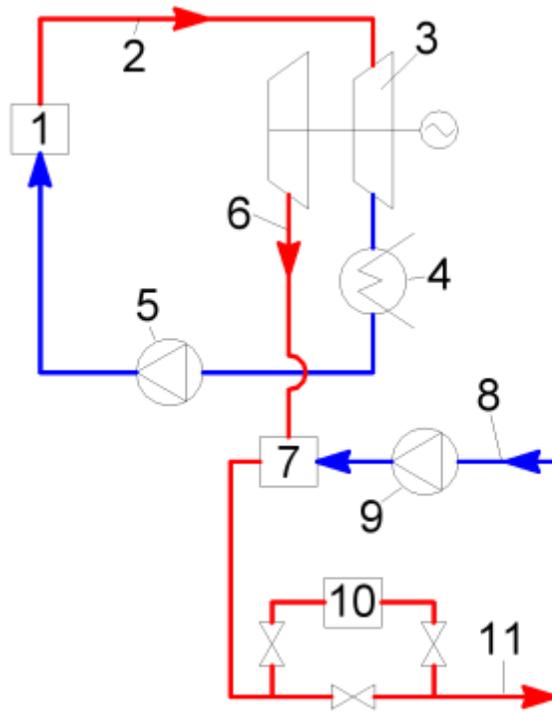
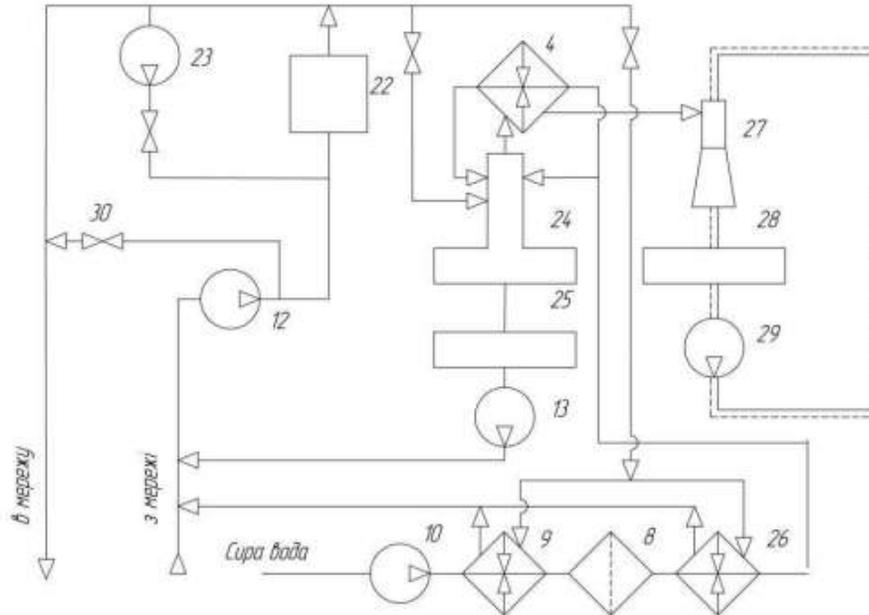


Рис. 3.1. Принципова схема ТЕЦ.

1 – парогенератор, 2 - гостра пара, 3 – парова турбіна, 4 – конденсатор, 5 – живильний насос, 6 - відбір пари з турбіни, 7 – мережний підігрівник, 8 - зворотний трубопровід теплової мережі, 9 - мережний насос, 10 - пікове джерело теплоти,

Котельні в Україні є основним джерелом теплоти для середніх (населення до 100000 осіб) і малих (населення до 50000 осіб) міст. Для забезпечення потреб у тепловій енергії житлових та громадських будинків, як правило, проектуються водогрійні котельні, виходячи з кількості теплоти, яка відпускається на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання з використанням в якості теплоносія гарячої води з температурою 150/70°C (опалення та вентиляція) і 65...75°C (гаряче водопостачання). Нагрівання мережної води здійснюється безпосередньо у водогрійних котлах.

На рис.3.2 показано принципову теплову схему водогрійної опалювальної котельні з відпуском теплоти при закритій системі теплопостачання.



Принципіальна теплова схема водогрійної опалювальної котельної з відпуском теплоти
 1 - паровий котел; 2 - редуційна охолодна установка; 3 - деаератор живильної води; 4 - охолодник випару деаератора; 5 - сепаратор безперервного продування; 6 - насос для подавання живильної води; 7 - охолодник продувальної води; 8 - перший ступінь хімічної очистки води; 9 - підігрівник сирової води; 10 - насос для подавання сирової води; 12 - насос для подавання побаротної мережної води; 13 - подавальний насос води для підживлення; 22 - водогрійний котел; 23 - рециркуляційний насос; 24 - вакуумний деаератор; 25 - бак з деаерованою водою; 26 - підігрівник хімічно очищеної води; 27 - ежектор; 28 - бак з робочої води; 29 - насос для подавання робочої води; 30 - регулятор перепуску.

Рис.3.2. Принципова теплова схема водогрійної опалювальної котельні з відпуском теплоти при закритій системі теплопостачання

Водогрійна котельня працює наступним чином. Вода в зворотній лінії теплової мережі з невеликим напором (0,2 ... 0,4 МПа) підводиться до насоса 12. До нього ж насосом 13 для підживлення подається деаерована вода з бака 25. До насоса 12 спрямовується і гріюча вода після теплообмінників 9 і 26, призначених для підігріву сирової і хімічно очищеної води відповідно. Далі вся вода надходить у водогрійний котел 22.

При роботі котлоагрегатів можлива корозія поверхонь нагріву внаслідок конденсації H_2O і SO_3 з димових газів на зовнішніх поверхнях труб. Щоб уникнути або зменшити її інтенсивність, температуру води на вході в котли необхідно підтримувати вище температури точки роси димових газів, причому мінімально допустима температура води на вході в котли повинна бути не нижче 60, 70 і 110°C при спалюванні природного газу, мало і високо-сірчистого мазутів відповідно.

Оскільки температура води в зворотних трубопроводах теплових мереж майже завжди нижче 60 °C, у схемі передбачається подача гарячої води на вхід котла (рециркуляція) за допомогою рециркуляційного насоса 23.

Для забезпечення розрахункової температури води на вході в теплові мережі при всіх режимах роботи котельні, крім максимального зимового, частину води з зворотного трубопроводу після насоса 12 направляється в подавальну магістраль системи через регулятор перепуску 30. Ця лінія називається перепускною.

Витік води в теплових мережах заповнюється водою для підживлення, яка готується наступним чином. Сира вода насосом 10 подається в підігрівач 9, хімічно очищується в першій ступені очищення 8, підігрівається в теплообміннику 26, пароводяному охолоджувачі випаровування 4 і надходить у колонку вакуумного деаератора 24. Вакуум ($\sim 0,03$ МПа) у системі підтримується завдяки відсмоктуванню пароповітряної суміші з колонки за допомогою водострумного ежектора 27, в контур якого включений бак з робочою водою 28 і насос для її подачі 29. Після деаератора 24 вода для підживлення стікає в бак 25, звідки насосом для підживлення 13 вона подається в поворотну лінію мережної води перед насосом 12. Щоб отримати гарячу воду на потреби гарячого водопостачання, у споживачів

встановлюються проміжні підігрівачі, які включаються в теплову мережу за змішаною або паралельною схемою.

Тепловий насос — це пристрій, який використовує зовнішнє джерело енергії для перенесення тепла від джерела низькотемпературної енергії до джерела високотемпературної енергії. Теплові насоси широко використовуються для виробництва теплової енергії у системах централізованого тепlopостачання європейських країн. У таких системах використовують великомасштабні теплові насоси з тепловою потужністю понад 1000 кВт, які в якості джерел енергії використовують стічні води, атмосферну воду (моря, озера та річки) та відпрацьоване тепло промислових підприємств. Асортимент теплових насосів великий залежно від використовуваної технології; з відцентровим компресором діапазон може досягати 30 МВт, а теплоносій з температурою 100°C.

Паровий компресійний цикл теплового насоса складається з конденсатора, компресора, розширювального клапана та випарника. Через ці компоненти циркулює холодоагент. Холодоагент, потрапляючи у випарник через капілярний отвір, випаровується в результаті різкого падіння тиску. Стінки випарника, нагріті за рахунок джерела низькотемпературної енергії, віддають тепло холодоагенту. Компресор, всмоктуючи і стискаючи холодоагент, сприяє його нагріванню до температури до 85-125°C, після чого виштовхує його в конденсатор, віддаючи тепло через конденсатор в контур системи тепlopостачання, остиглий холодоагент знову перетворюється в рідину. Процес повторюється циклічно.

Коефіцієнт корисної дії (the coefficient of performance - COP) теплового насоса визначається на основі корисної теплової енергії, що передана споживачу, та спожитої електричної енергії:

$$\text{COP} = Q_{\text{out}} / W_{\text{in}} \quad (3.1.)$$

де Q_{out} – корисна теплова енергія, що передана споживачу, кВт, W_{in} – кількість електричної енергії, яку використав тепловий насос, кВт.

Чим вище значення COP, тим ефективнішим вважається тепловий насос. При $\text{COP} \geq 3,0$ вважається, що тепловий насос є високоефективним.

Місце встановлення теплового насоса безпосередньо залежить від місця розташування та наявності джерела низькотемпературної теплоти. У мережах централізованого тепlopостачання є три основні варіанти розміщення теплових насосів: центральний тепловий насос, локальний тепловий насос та індивідуальний тепловий насос (рис. 3.3).

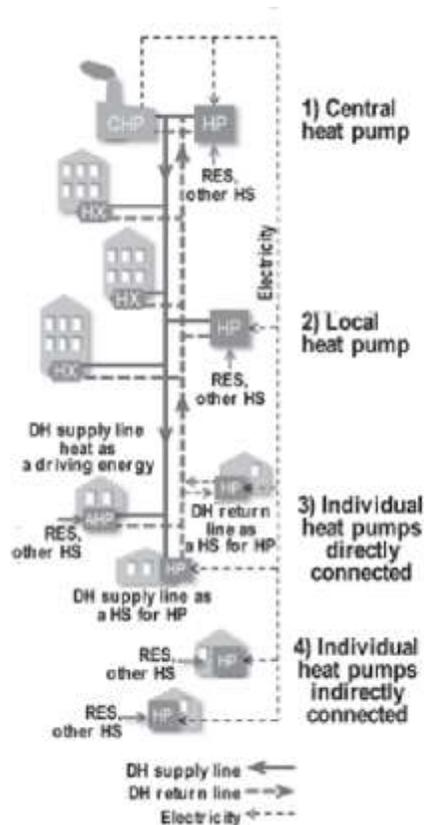


Рис.3.3. Принципова схема встановлення теплових насосів у системах централізованого тепlopостачання

Центральний тепловий насос має високу теплову потужність і є частиною ТЕЦ (рис. 3.3 – поз.1). Місцевий тепловий насос може мати високу або середню теплову потужність, він розміщується поблизу доступного локального джерела низькотемпературної енергії, проте далеко від основного джерела теплоти (рис. 3.3 – поз.2).

Індивідуальні теплові насоси мають середню та низьку теплову потужність, вони встановлені безпосередньо у будинках і підключені до мережі централізованого теплопостачання безпосередньо або опосередковано. Безпосереднє з'єднання передбачає проектування трубопроводів між тепловим насосом і мережею централізованого теплопостачання (рис. 3.3 – поз.3). У режимі опосередкованого (непрямого) підключення теплонасосні агрегати живляться електроенергією, що виробляється на ТЕЦ (рис. 3.3 – поз.3). Усі індивідуальні теплонасосні установки є частиною централізованої енергетичної системи, оскільки керування відпуску теплової енергії та вироблення електричної енергії відбувається централізовано. Центральні теплові насоси повинні мати високу теплову потужність для забезпечення тепловою енергією споживачів. Вони можуть працювати з одним або декількома режимами підключення джерел тепла, а також в одноступеневому, багатоступеневому, багатопаралельному або багатосерійному режимах роботи. Теплонасосні установки у системах централізованого теплопостачання можуть бути як основним джерелом тепла, так і піковим джерелом теплоти для покриття пікових потреб систем опалення.

Відпрацьоване тепло. Рекуперація та використання відпрацьованого тепла підвищують ефективність первинної енергії та зменшують викиди, а також потенційно сприяють економії коштів. Здатність подавати утилізоване відпрацьоване тепло в мережу централізованого теплопостачання є

важливою для цього підходу, оскільки інтеграція відпрацьованого тепла від промислових процесів була визначена як важлива область досліджень для стратегії ЄС з опалення та охолодження.

Сонячні колектори. Ефективність сонячних колекторів значною мірою залежить від їх робочих температур, причому низькі температури системи в теплових мережах позитивно впливають на вихід сонячної енергії. Залежно від вимог до температури слід вибрати відповідні типи колекторів. Корисна енергія та втрати тепла при роботі сонячних колекторів залежать від температури. Чим нижча середня температура колектора, тим менші тепловтрати та більша кількість корисного тепла.

$$\eta_c = \eta_0 - \frac{a_1 \cdot (T_m - T_a)}{G} - \frac{a_2 \cdot (T_m - T_a)^2}{G} \quad (3.2.)$$

де η_c - ефективність колектора, η_0 - оптична ефективність (досяжна ефективність без втрати тепла), a_1 - коефіцієнт тепловтрат 1-го порядку Вт/(м²·К), a_2 - коефіцієнт тепловтрат 2-го порядку Вт/(м²·К²), G - загальне (глобальне) надходження сонячного випромінювання на поверхню колектора Вт/м², T_m - середня температура колекторної рідини (вихід-вхід) °С, T_a - температура навколишнього повітря, °С.

У порівнянні з плоскими пластинчастими колекторами, вакуумтрубні колектори зі складними параболічними концентраторами дозволяють підвищити ефективність при вищих температурах колектора. Тим не менш, у більшості сонячних установок централізованого опалення використовують плоскі пластинчасті колектори через кращий коефіцієнт ціна-якість, оскільки питомі витрати «під ключ» на плоскі пластинчасті колектори становлять

приблизно половину вартості порівняно з вакуумтрубними колекторами. На даний час сонячні опалювальні системи демонструють максимальну потужність сонячного тепла за низьких температур централізованого теплопостачання. При найвищій температурі подачі централізованого опалення 90 °С усі сонячні системи демонструють значно нижчу теплову потужність.

Використання теплоти, що утворилася при конденсації димових газів. Конденсаційні установки для димових газів дозволяють рекуперувати низькотемпературне тепло від димових газів, які містять велику кількість водяної пари, що значно підвищує загальний ККД опалювальної установки, а відповідно заощаджує паливо. Однак цих ефектів можна досягти лише в тому випадку, якщо температура теплоносія у зворотному трубопроводі системи централізованого теплопостачання, є достатньо низькою для можливості охолодження димових газів до температури нижче точки роси. Температура точки роси димових газів залежить від складу газу, вмісту водяної пари та кількості надлишкового повітря, яке надходить для на процес спалювання палива у конденсаційній установці.

3.2. Особливості підключення систем опалення до теплових мереж

Система опалення до теплових мереж може приєднуватися за незалежними або залежними схемами (рис.3.4.). Місце, де інженерні системи приєднуються до теплових мереж, називається тепловий пункт. Незалежно від схеми приєднання систем опалення до теплових мереж у тепловому пункті повинен бути контролер, який дає змогу автоматично знижувати температуру подавального теплоносія при збільшенні температури зовнішнього повітря. При цьому зазвичай використовуються покази від

датчиків температури (В) на подавальному трубопроводі системи опалення приміщення (температури теплоносія) та за межами будинку (температура зовнішнього повітря). Якщо температура теплоносія у подавальному трубопроводі системи опалення вище нормативного значення, привід закриває регулюючий клапан (С), що розташований на трубі централізованого теплопостачання, що зменшує передачу тепла в систему опалення. Якщо температура теплоносія у подавальному трубопроводі системи опалення нижче нормативного значення, привід відкриває клапан, щоб збільшити кількість теплоносія, яка надходить у систему опалення.

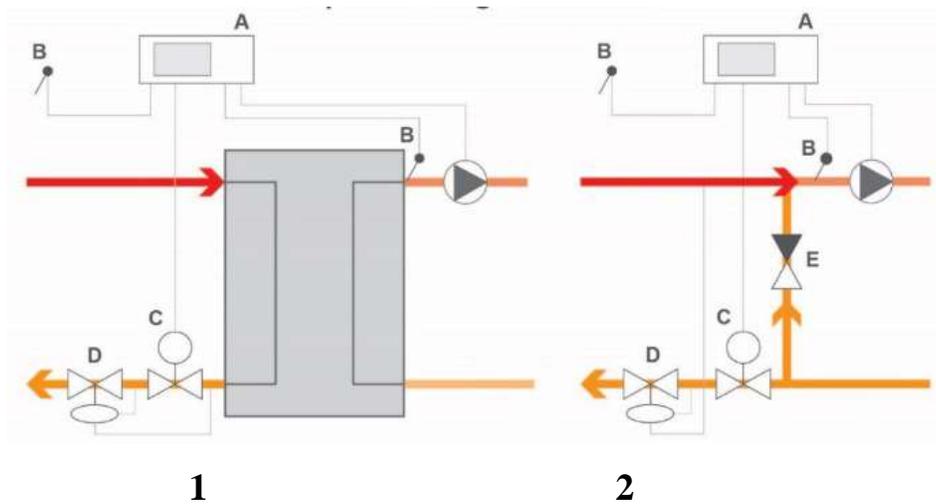


Рис. 3.4. Приєднання системи опалення до системи теплопостачання

1 – незалежна схема, 2 – залежна схема.

А - контролер, В - датчі температури, С - привід і регулюючий клапан, D - регулятор перепаду тиску, Е - зворотний клапан.

У **незалежній схемі** підключення системи опалення до теплової мережі відбувається через теплообмінник. В теплообміннику обмін теплоти здійснюється між двома ізольованими гідравлічними контурами. Контур зовнішньої теплової мережі нагріває воду замкнутого контуру системи

опалення. При цьому змішування води, як при залежному приєднанні, не відбувається.

Незалежна схема приєднання застосовується:

- для підключення високих будівель (більше 12 поверхів або більше 36м), коли тиску в тепловій мережі недостатньо для заповнення опалювальних приладів на верхніх поверхах;
- для будівель, що потребують підвищеної надійності роботи систем опалення (музеї, архіви, бібліотеки, лікарні);
- для будівель, що мають приміщення, куди небажаний доступ стороннього обслуговуючого персоналу;
- якщо тиск в зворотному трубопроводі теплової мережі вище допустимого тиску для систем опалення (більше 60 м вод. ст. або 0,6 МПа).

При **залежній схемі** теплоносій в опалювальні прилади надходить безпосередньо з теплової мережі. Один і той же теплоносій циркулює як в тепловій мережі, так і в системі опалення, тому тиск в системах опалення визначається тиском в тепловій мережі. Залежна схема приєднання системи опалення передбачає наявність індивідуальних теплових пунктів, які оснащені обладнанням для змішування води. У змішувальному вузлі перегріта вода із магістрального трубопроводу системи тепlopостачання змішується із водою із зворотного трубопроводу, набуваючи при цьому достатньої температури (у традиційних системах 95°C). Таким чином, внутрішня система опалення повністю залежить від параметрів теплоносія системи тепlopостачання. При залежній схемі системи опалення працюють під тиском, близьким до тиску в зворотному трубопроводі теплової мережі. Циркуляція забезпечується за рахунок перепаду тисків в подавальному і зворотному трубопроводах. Цей перепад ΔP повинен бути достатній для

подолання опору системи опалення та теплового вузла. Якщо тиск в подавальному трубопроводі перевищує необхідне значення, то його знижують регулятором тиску або дросельною шайбою.

3.3. Конструкції та обладнання систем опалення будівель

Система опалення – це комплекс конструктивних елементів, які призначені для отримання, переносу і передачі необхідної кількості тепла в опалювальні приміщення, та підтримання температури повітря у приміщенні на заданому рівні. Для проектування енергоефективних систем опалення потрібно мати уявлення про особливості їх конструкцій та обладнання. Знання про системи опалення при обстеженні інженерних систем дозволить знайти обладнання або елементи систем опалення, які потребують відновлення, модернізації або заміни, а також надати рекомендації щодо впровадження енергоощадних заходів при енергетичному аудиті будівель і споруд.

Отже, системи опалення розрізняють залежно від:

- джерела тепlopостачання: центральні, в яких тепла енергія виробляється на одному джерелі теплоти (ТЕЦ, опалювальна котельня, тощо) та трубопроводом транспортується до декількох будинків, та місцеві, в яких джерело теплоти знаходиться безпосередньо в опалювальному приміщенні (електричний нагрівник);
- виду теплоносія: водяні, парові, повітряні, комбіновані (пароводяні, пароповітряні тощо);
- способу забезпечення руху теплоносія: системи з природною циркуляцією (завдяки різниці густини холодного і гарячого теплоносія) і механічним спонуканням (завдяки роботі насоса).

Найпоширеніші в Україні водяні системи опалення. Вони розрізняються залежно від:

- прокладання магістральних трубопроводів в будинку:
 - з верхнім розведенням (подавальна магістраль прокладається вище опалювальних приладів, наприклад на горищі, а зворотна – нижче опалювальних приладів, наприклад у підвалі);
 - з нижнім розведенням (подавальна та зворотня магістраль знаходяться нижче опалювальних приладів, наприклад у підвалі);
 - перевернутим розведенням (зворотна магістраль знаходиться вище опалювальних приладів, подавальна – нижче);
- напрямку руху води в подавальній і зворотній магістралях:
 - тупикові, для яких характерним є зустрічний рух теплоносія у подавальному та зворотному трубопроводах,
 - системи з попутнім рухом теплоносія, коли напрямок потоків у подавальному та зворотному трубопроводах збігаються;
- прокладання розвідних трубопроводів у будинку: вертикальні та горизонтальні; причому горизонтальні трубопроводи прокладаються з нахилом 0,002.
- способу приєднання підводок до стояків (рис. 3.5.):
 - однотрубні системи з послідовним з'єднанням приладів, в яких подача теплоносія та його відведення відбувається однією трубою;
 - двотрубні з паралельним приєднанням опалювальних приладів, в яких подача теплоносія до опалювальних приладів здійснюється однією трубою, а відведення – іншою;
 - біфілярні з послідовним з'єднанням опалювальних приладів.

У системах опалення встановлюється запірна арматура в місцях підключення стояків до розподільних трубопроводів. Рекомендується

використовувати вентиля з отворами для зливу води або випуску повітря. За відсутності таких вентилів слід передбачати трійники з кранами.

У верхній точці стояків системи опалення з нижнім розведенням повинні встановлюватися автоматичні повітровипускні крани.

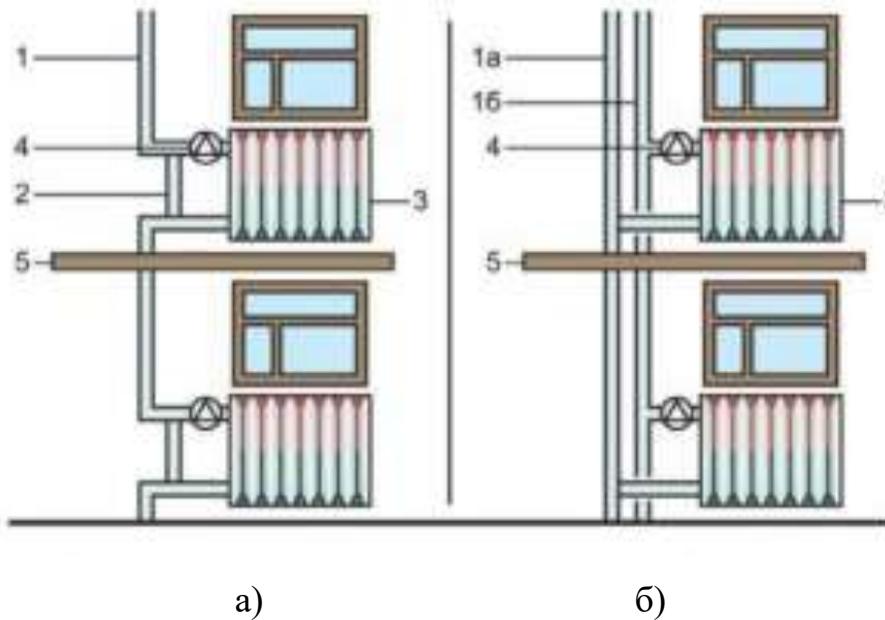


Рис. 3.5. Принципові схеми стояків системи опалення

а) – однотрубна, б) – двотрубна.

1 – стояк однотрубної системи опалення, 1а - зворотний стояк, 1б – зворотний стояк, 2 – замикаюча ділянка, 3 – опалювальний прилад, 4 – радіаторний термостатичний клапан, 5 – перекриття між квартирами.

У житлових будинках слід проектувати квартирні системи опалення з горизонтальними двотрубними розвідними трубопроводами, які прокладаються в підлозі або плінтусах.

Однотрубні системи опалення дозволяється використовувати при реконструкції існуючих будівель з однотрубними системами опалення, при новому будівництві проектування однотрубних системи опалення

дозволяється за наявності техніко-економічного обґрунтування. Узли приєднання опалювальних приладів однотрубною системою повинні мати замикаючі ділянки, а на підводках повинна встановлюватись регулююча арматура (прохідні та триходові регулюючі крани). При наявному обґрунтуванні в однотрубній системі опалення в якості регулюючої арматури дозволяється застосовувати ручні повнопрохідні кульові крани. Крім того, однотрубні системи повинні проектуватись з центральним автоматичним регулятором теплової потужності.

Прилади, які призначені для передачі тепла від теплоносія до опалювального приміщення, називаються **опалювальними**. Поділяються:

➤ *за способом тепловіддачі:*

- *радіаційні прилади* – передають випромінюванням $\geq 50\%$ теплового потоку (стелеві опалювальні панелі та випромінювачі);
- *конвективно-радіаційні* – 50-75% теплового потоку передають конвекцією (радіатори секційні і панельні, гладкотрубні прилади, підлогові нагрівальні панелі);
- *конвективні* - $\geq 75\%$ теплового потоку передають конвекцією (конвектори і ребристі труби).

➤ *за величиною теплової інерції:*

- *з малою тепловою інерцією*. Прилади мають малу масу та водоємність на одиницю площі та виготовлені з матеріалів з високим коефіцієнтом теплопровідності (конвектори та металеві панельні радіатори);
- *з великою тепловою інерцією*. Такі прилади мають велику масу матеріалу та водоємність на одиницю площі та низьким коефіцієнтом теплопровідності матеріалу, з якого вони виготовлені (чавунні нагрівальні прилади, опалювальні панелі, «тепла підлога», тощо).

➤ *за матеріалом виготовлення:*

- *металеві* (чавунні, сталеві, алюмінієві, зрідка мідні);
- *комбіновані* (в бетон чи кераміку вмонтовують сталеві або чавунні нагрівальні елементи);
- *неметалеві* (бетонні панелі з пластиковими нагрівальними трубками або пустотами без труб, керамічні, пластмасові радіатори).

➤ **за висотою** вертикальні прилади бувають:

- *високі* ($h < 650$ мм);
- *середні* ($h = 400 \dots 650$ мм);
- *низькі* ($h = 200 \dots 400$ мм);
- *плінтусні* ($h < 200$ мм).

➤ **за глибиною:**

- *малої глибини* ($b < 120$ мм);
- *середньої глибини* ($b = 120 \dots 200$ мм);
- *великої глибини* ($b > 200$ мм).

У житлових будинках найчастіше використовують радіатори (рис.3.6.). Існують секційні та блокові чавунні, а також сталеві штамповані радіатори. Секційні радіатори збирають з окремих секцій, блокові – з блоків у дві-чотири секції. Окремі секції або блоки чавунних радіаторів з'єднують між собою ніпелями з ковкого чавуну, які мають праву та ліву різь і два внутрішніх виступи для лопаткового ключа. Для ущільнення стиків між секціями застосовують прокладки з пароніту або термостійкої гуми.



а)



б)

Рис.3.6. Зовнішній вигляд радіатора

а) секційний чавунний радіатор, б) сталевий панельний радіатор.

У громадських спорудах доцільно використовувати конвектори, вони мають малі габаритні розміри, тому їх зручно використовувати у приміщеннях з великою площею, де їх можна розташувати по периметру, не порушуючи інтер'єру приміщення (рис.3.7).



а)



б)

Рис.3.7. Конвектори для систем опалення

а) з кожухом, б) без кожуха.

У промислових, комунально-побутових та сушильних камерах використовують ребристі труби, а гладкі труби використовують і теплицях та оранжереях (рис.3.8.).

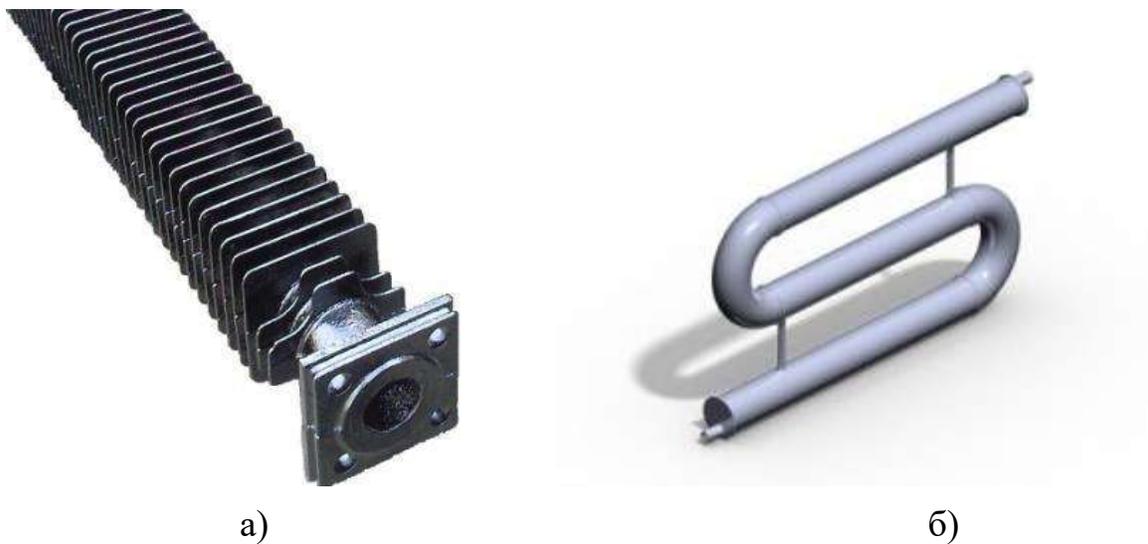


Рис.3.8. Нагрівальні труби систем опалення
а) ребристі труби, б) гладкі труби.

Для запобігання гідравлічного розрегулювання двотрубні стояки системи опалення з верхнім та нижнім розведенням, до яких приєднано 10 і більше опалювальних приладів з радіаторними термостатичними клапанами повинні проектуватися з регулятором перепаду тиску. Двотрубні системи опалення з радіаторними термостатичними клапанами при залежному приєднанні (див.п.3.2) до теплових мереж повинні проектуватися з циркуляційним насосом.

Двотрубні системи опалення слід проектувати з радіаторними термостатичними клапанами, які встановлюються на підводках до радіаторів

і конвекторів, та з центральним автоматичним регулятором теплової потужності. Якщо в одному приміщенні встановлено три і більше опалювальних приладів, які приєднані до одного розвідного трубопроводу, замість радіаторних термостатичних клапанів встановлюють регулюючий клапан на групу радіаторів.

Радіаторні термостатичні клапани серії призначені для регулювання й підтримання необхідної температури у приміщенні. Витрата теплоносія через опалювальний прилад є повністю незалежною від перепаду тиску в межах технічних характеристик клапану. Клапани розрізняються представлені у трьох варіантах виконання: кутовий, осьовий та прямий (рис. 3.9.) та мають додаткову функцію попереднього налаштування потрібного значення витрати (поток). Для цього в конструкції передбачено вбудований картридж з можливістю ручного регулювання (налаштування).



Рис. 3.9. Клапани термостатичні радіаторні

Регулятор теплової потужності системи опалення повинен забезпечувати погодне регулювання, а для громадських споруд – програмне зменшення теплової потужності системи в неробочі години. Регулятор повинен підтримувати температуру теплоносія у подавальному та зворотному трубопроводах відповідно до температурного графіка.

3.4. Схеми підключення систем гарячого водопостачання до теплових мереж

За способом подачі води на гаряче водопостачання водяні системи теплопостачання бувають відкриті і закриті

У відкритих системах теплопостачання воду для гарячого водопостачання санітарно-побутових і технологічних потреб виробництва споживачі отримують безпосередньо з теплової мережі і після використання скидають у каналізацію (рис.3.10. б).

У закритих системах теплопостачання для гарячого водопостачання використовують воду, яку нагрівають мережевою водою у водопідігрівниках. Після цього мережеву воду повертають на джерело теплоти (наприклад, ТЕЦ або котельню). Тобто, у закритих системах теплопостачання сам теплоносій ніде не витрачається, а лише циркулює між джерелом тепла і місцевими системами тепло споживання (рис.3.10. а).

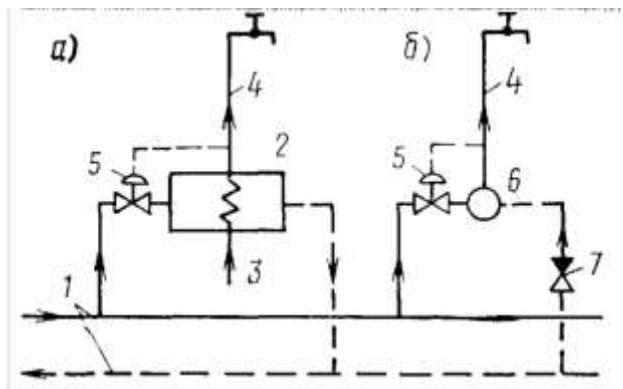


Рис.3.10. Принципові схеми приготування води для гарячого водопостачання у двотрубних системах теплопостачання

а – закрыта система, б - відкрита система;

1 - подавальний і зворотний трубопроводи теплової мережі,

2 - теплообмінник системи гарячого водопостачання; 3 – подача холодної води з водопроводу; 4 - система гарячого водопостачання; 5 - регулятор температури; 6 - змішувач; 7 - зворотний клапан

3.4.1. Закриті системи тепlopостачання

Закриті системи гарячого водопостачання приєднуються до теплової мережі через водоводяні теплообмінники. У двотрубних мережах при одночасному приєднанні систем опалення та гарячого водопостачання найпоширенішими є такі схеми підключення підігрівників:

- одноступенева паралельна,
- двоступенева послідовна,
- двоступенева змішана;

Вибір схеми підключення водопідігрівника здійснюють за співвідношенням максимальних теплових потоків на гаряче водопостачання Q_{hmax} і на опалення Q_{omax} :

- при $Q_{hmax}/Q_{omax} = 0,2 \dots 1,0 \rightarrow$ **двоступенева схема**

$Q_{hmax}/Q_{omax} \leq 0,6 \rightarrow$ двоступенева послідовна схема;

$Q_{hmax}/Q_{omax} > 0,6 \rightarrow$ двоступенева змішана схема;

- при інших співвідношеннях \rightarrow **одноступенева паралельна схема.**

$$1 \leq Q_{hmax}/Q_{omax} < 0,2$$

Одноступенева паралельна схема підключення підігрівників вважається найбільш поширеною схемою підключення систем гарячого водопостачання до теплових мереж в закритій системі тепlopостачання. Її застосовують в тому випадку, коли витрата мережної води на абонентський ввід визначається сумою витрат на опалення та гаряче водопостачання.

Витрата води на опалення є постійною величиною і підтримується регулятором витрати. Витрата мережної води на систему гарячого водопостачання – величина змінна. Постійна температура гарячої води під час виходу з підігрівача підтримується регулятором температури залежно від її витрати. У цій схемі теплота мережі використовується недостатньо раціонально. Не використовується теплота зворотної мережної води, що має температуру 40 - 60°C, хоча вона дозволяє покрити значну частку навантаження системи гарячого водопостачання, і тому має місце підвищена витрата мережної води на абонентський ввід.

У **двоступеневій змішаній схемі** розрахункова витрата мережевої води на гаряче водопостачання дещо менша порівняно з паралельною одноступеневою схемою. Підігрівник I ступеня включається по мережній воді послідовно у зворотну лінію, а II ступеня – паралельно до системи опалення.

На першій ступені водопровідна вода підігривається зворотною мережною водою після системи опалення, завдяки чому зменшується теплова продуктивність підігривача другої ступені та знижується витрата мережної води на покриття навантаження гарячого водопостачання. Загальна витрата мережної води на тепловий пункт складається з витрат води на систему опалення та витрати мережної води на другий ступінь підігривача. За цією схемою приєднуються громадські будівлі, що мають велике вентиляційне навантаження, що становить понад 15% опалювального навантаження. Перевагою схеми є незалежна витрата теплоти на опалення від потреби теплоти на систему гарячого водопостачання.

Двоступенева послідовна схема використовується при регулюванні теплових навантажень за сумісним навантаженням опалення і системи постачання гарячої води з використанням підвищеного температурного

графіка регулювання. Мережна вода розгалужується на два потоки: один проходить через регулятор витрати, а другий через підігрівач другого ступеня, потім ці змішуються і надходять у систему опалення.

Перевагою послідовної схеми в порівнянні з двоступеневою змішаною є вирівнювання добового графіка теплового навантаження, найкраще використання теплоносія, що призводить до зменшення витрати води в мережі. Скорочення витрати мережної води за цією схемою становить (на тепловий пункт) 40% порівняно з паралельною та 25% - порівняно зі змішаною. Недолік – відсутність повного автоматичного регулювання теплового пункту.

3.5. Конструкції та обладнання систем гарячого водопостачання

Система гарячого водопостачання – це система пристроїв і трубопроводів для підігріву води до розрахункової температури і розподілу її споживачам.

Системи гарячого водопостачання включають в себе наступні елементи:

- пристрій для нагрівання води (котел або теплообмінник);
- подавальний трубопровід, що складається з магістрального теплопроводу і подавальних водорозбірних стояків;
- циркуляційні стояки і магістралі, призначені для транспортування охолодженої води назад до водопідігрівачів для нагрівання. Приєднання водорозбірних приладів до циркуляційних стояків і циркуляційних трубопроводів не допускається;
- водорозбірна і запірна арматура;

- циркуляційний насос призначений для забезпечення постійної циркуляції гарячої води.

Системи гарячого водопостачання розрізняють за такими показниками:

- За **місцем розташування** джерела системи гарячого водопостачання підрозділяються на: децентралізовані і централізовані.
- За **призначенням** споживачів розрізняють системи гарячого водопостачання житлових, громадських і виробничих будівель.
- За **способом прокладання** трубопроводів від місця теплового пункту до водорозбірних приладів розрізняють місцеві системи з верхнім і нижнім розведенням, тупикові і з циркуляцією гарячої води.
- За **способом циркуляції гарячої води** системи гарячого водопостачання підрозділяються на системи з природною і примусовою циркуляцією.
- За **місцем акумулювання гарячої води** розрізняють системи з індивідуальним акумулюванням в індивідуальному тепловому пункті, з груповим акумулюванням в центральному тепловому пункті (ЦТП) або з центральним акумулюванням на джерелі теплоти.

Найпоширенішою схемою системи гарячого водопостачання є система з нижнім розведенням трубопроводів та циркуляційним стояком (рис.3.11)

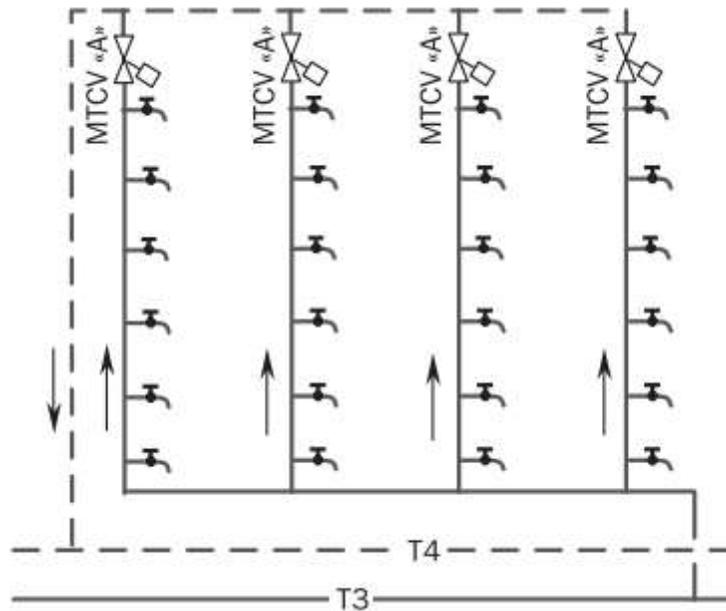


Рис. 3.11. Система гарячого водопостачання з нижнім розведенням та циркуляційним стояком

Для мереж гарячого водопостачання використовують оцинковані сталеві труби, рідше – пластмасові, металопластикові та мідні труби. Всі трубопроводи системи гарячого водопостачання, за винятком квартирних підводок, повинні бути покриті тепловою ізоляцією, товщина і якість якої має забезпечувати нормовану величину тепловтрат.

3.6. Облік теплової енергії.

Під засобами обліку теплової енергії розуміється комплекс обладнання, призначений для обліку витрати теплової енергії та складається з теплообчислювача, датчиків і додаткового мережевого обладнання (при мінімальному розмірі системи обліку). Організована на основі засобів обліку теплової енергії система обліку дозволяє ефективно здійснювати облік витрат

тепла, а при додаванні в систему додаткових елементів, то і автоматизовано управляти системою опалення.

Облік теплової енергії здійснюється на джерелі теплоти, в індивідуальному тепловому пункті (будинковий) та безпосередньо перед споживачем теплової енергії (індивідуальний). Основним документом, в якому сформульовані вимоги до теплотічильників, є ДСТУ 3339-96 «Теплотічильники. Загальні технічні вимоги».

Теплотічильник складається з таких частин: теплообчислювач, давач витрати (витратоміра), давач температури та давач тиску теплоносія.

Принцип роботи лічильника тепла базується на розрахунку спожитої теплової енергії за допомогою даних, отриманих від давача витрати теплоносія та двох давачів температури (рис.3.12).

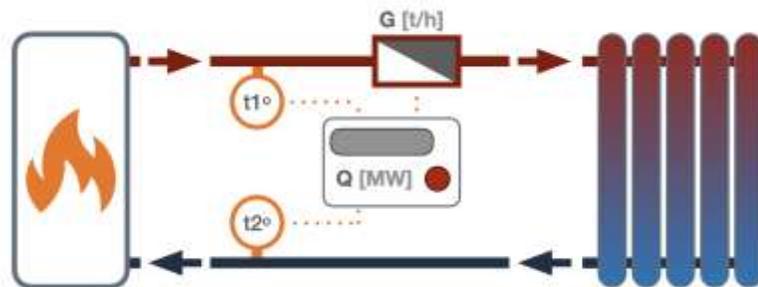


Рис.3.12 Принцип дії теплового лічильника

Кількість тепла, яка вимірюється тепловим лічильником, МВт, можна визначити за формулою:

$$Q = 1.163 \cdot G \cdot (t_1 - t_2), \quad (3.3)$$

де G - масова витрата теплоносія, т/год; t_1 і t_2 - температури теплоносія на вході в систему та виході з неї відповідно, °С.

Як видно з формули (3.3), для визначення кількості тепла необхідні дані про витрату теплоносія та різницю температур, на яку він охолоджується у споживача. Дані про витрату теплоносія визначає та передає обчислювачу давач витрати (витратомір), а дані про температуру передають два давачі температури, один з яких встановлений на вході в систему теплоспоживання (на подавальному трубопроводі), а другий - на виході з неї (на зворотному трубопроводі) (рис.3.13). Теплообчислювач лічильника обробляє дані, отримані від підключених давачів, згідно з формулою (3.3) та заносить вимірювані величини до архіву. Дані про споживання тепла можна зняти візуально з дисплея лічильника або передати на комп'ютер за допомогою пристрою зняття даних.

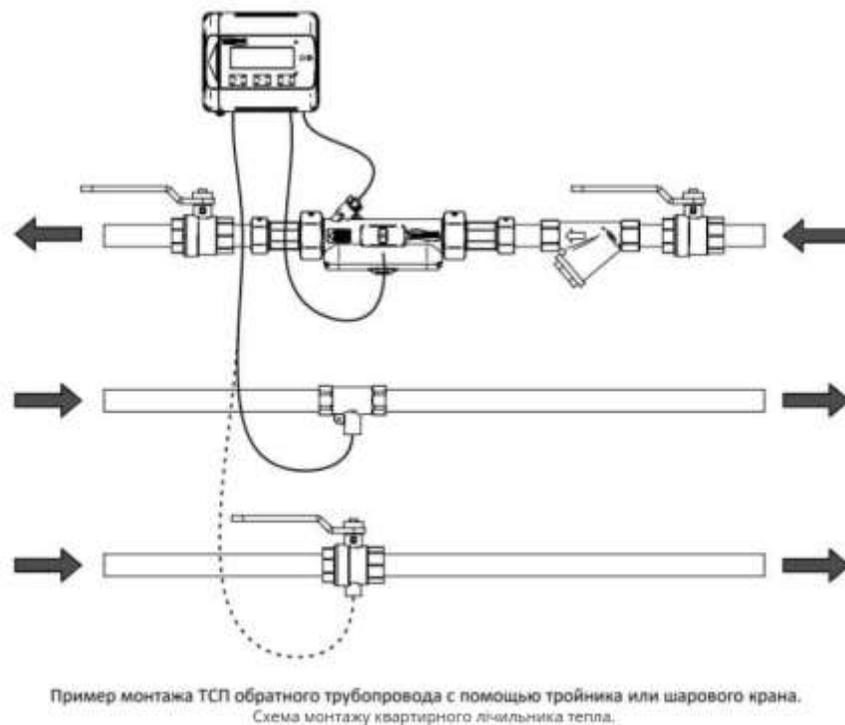


Рис.3.13.Схема встановлення індивідуального (квартирного) лічильника
тепла

Теплообчислювач - це спеціалізований мікропроцесорний пристрій, призначений для оброблення сигналів від давачів, перетворення їх в цифрову форму, обчислення кількості теплової енергії відповідно до прийнятого алгоритму, індикації і зберігання в енергонезалежній пам'яті приладу параметрів теплоспоживання.

Давач витрати - найважливіший елемент теплотічильника в сенсі впливу на його технічні та споживчі характеристики. Саме давач витрати визначає якість теплотічильника. В якості давача витрати можуть застосовуватися функціонально завершений самостійний пристрій перетворювач витрати або первинні перетворювачі витрати, який здатний функціонувати лише спільно з теплообчислювачем конкретного типу. У першому випадку давач витрати формує уніфікований вихідний сигнал, який може оброблятися різними теплообчислювачами, чиї входи узгоджені з вихідними сигналами давача витрати. Такою комплектацією теплотічильника певною мірою забезпечується уніфікація приладів обліку тепла.

Перетворювач витрати складається з первинного та вторинного перетворювачів витрати. Вторинний перетворювач витрати - це електронний блок, який може бути конструктивно поєднаний з первинним перетворювачем витрати, а може мати роздільне виконання. У деяких випадках вторинний перетворювач витрати є функціональною частиною теплообчислювача, причому вони монтуються в одному корпусі, а іноді й на одній платі.

Існують різні способи вимірювання витрати теплоносія: електромагнітний, ультразвуковий, вихровий, тощо. За способом вимірювання витрати, реалізованим у теплотічильнику, прийнято коротко називати теплотічильник електромагнітним, ультразвуковим, вихровим, тощо. У переважній більшості теплотічильників виконується вимірювання

об'ємної витрати теплоносія і подальше обчислення масової витрати на основі даних про температуру і густину (температура вимірюється, густина обчислюється).

В якості **давачів температури** в складі теплोलічильника застосовують підібрані за метрологічними характеристиками пари терморезисторів, які підключаються до теплообчислювача за дво-, три- або чотирипровідною схемою. Теплообчислювач виконує вимірювання величини активного опору, терморезистора, компенсацію похибок, внесених лініями зв'язку, і обчислення температури теплоносія.

Давачі тиску мають уніфікований струмовий вихід 4 ... 20, 0 ... 20 або 0 .. 5 мА, а теплообчислювач - узгоджений з ним вхід. Часто в теплообчислювачах не передбачена можливість підключення датчика тиску. Якщо така можливість існує, то для живлення датчика тиску може знадобитися додаткове джерело напруги (якщо він не вбудований у теплообчислювач).

Вихідними параметрами для обліку теплової енергії є питома ентальпія теплоносія, значення якої визначається залежно від його температури і тиску.

Номенклатура теплोलічильників, допущених до застосування в комерційних вузлах обліку теплової енергії, дуже широка. Так, до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, після державних випробувань внесено та допущено до застосування в Україні 290 типів теплोलічильників та лічильників холодної і гарячої води, серед яких 112 - виробниці вітчизняного виробництва.

Для вимірювання кількості теплоти, яка відпускається котельнями, застосовуються самописні дифманометри і термометри з ручним обробленням діаграм і розрахунком кількості теплоти.

Розділ 5.

Обстеження стану та рівня енергетичної ефективності огорожувальних конструкцій та інженерних систем будинку

5.1. Аналіз стану огорожувальних конструкцій будинку

Теплотехнічні вимоги, що пред'являються до огорожуючих конструкцій будівель, залежать від виду огороження (стіна, покриття та ін), нормованих параметрів виробничого середовища (мікроклімату), кліматичних умов району будівництва та функціонального призначення будівлі.

Метою теплотехнічних обстежень огорожуючих конструкцій є виявлення їх фактичних теплофізичних якостей та їх відповідності сучасним нормативним вимогам, які в останні роки істотно змінилися у зв'язку з проблемою економії та раціонального використання енергетичних ресурсів.

При визначенні теплотехнічних якостей огорожуючих конструкцій можуть встановлюватися наступні параметри:

- температурні поля на внутрішніх поверхнях огорожуючих конструкцій, на ділянках теплопровідних включень, вузлів примикань внутрішніх та зовнішніх стін, стикових з'єднань з метою виявлення зон зі зниженою температурою, де можливе утворення конденсату на поверхні конструкцій;
- характер зміни температурного поля та коефіцієнт теплотехнічної однорідності конструкцій;
- дійсні термічний опір конструкцій, коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь захищення.

Для теплотехнічного обстеження огорожувальних конструкцій застосовується вимірювач теплового потоку, який призначений для вимірювання густин теплових потоків через огорожувальні конструкції житлових будівель, промислових споруд та інших об'єктів.

Застосування приладу дозволяє за поверхневою щільністю теплового потоку та вимірним значенням температури розрахувати основні теплотехнічні характеристики огорожуючих конструкцій.

Прилад складається з первинного перетворювача щільності теплового потоку (датчика теплового потоку), робота якого ґрунтується на принципі використання допоміжної стінки і портативного переносного мікропроцесорного вимірювального приладу, що індикує вимірювані значення безпосередньо в одиницях щільності теплового потоку - Вт/м².

Нижче, представлені прилади, які рекомендуються до використання при теплотехнічному обстеженні:

Таблиця 5.1.

**Прилади, які рекомендуються до використання
при теплотехнічному обстеженні**

№ п/п	Назва приладу	Марка	Діапазон вимірювання, Вт/м ²	Країна - виробник
1.	Одноканальний вимірювач теплового потоку	ТЕМП-3,3	10 – 500	Україна
2.	Переносний датчик теплового потоку з блоком зчитування	Hukseflux HF03-LI19	10 – 10000	Нідерланди
3.	Вимірювач щільності теплового потоку	ИТП-МГ4.01 «ПОТОК»	10 – 999	Казахстан
4.	Вимірювач щільності теплового потоку	К-МГ	0 - 1999	Німеччина



Рис. 5.1. Зовнішній вигляд переносного датчика теплового потоку з блоком зчитування Hukseflux HF03-LI19

Огороджувальні конструкції будівель, крім міцнісних та конструктивних вимог, повинні задовольняти економічним, теплотехнічним та санітарним вимогам. Основним фактором, що викликає тепловтрати через огороження приміщень, є температура зовнішнього повітря. Теплотехнічні властивості огорож характеризуються опором теплопередачі, теплостійкістю, повітропроникністю та паропроникністю.

Термічний опір огороджувальних конструкцій будівель старої забудови у більшості випадків не задовольняє вимог нормативних документів. Тому виникає потреба утеплення будівельних конструкцій при реконструкції. Сучасний ринок теплоізоляційних матеріалів широкий і різноманітний, тому дуже важливо правильно в ньому орієнтуватися та підбирати те, що необхідно у тих чи інших випадках. Основними критеріями у підборі теплоізоляційного матеріалу є його фізико-механічні характеристики, скориговані до місцевих умов.

Теплоізоляційні матеріали повинні мати низьке водопоглинання та високу паропроникність, що дозволяє зберігати теплофізичні властивості матеріалу і не накопичувати вологу в конструкції. В даний час широко обговорюється проблема утворення цвілі на поверхні будівельних конструкцій. Застосовуючи сучасні теплоізоляційні матеріали у фасадних системах, цю проблему легко вирішити. Теплоізоляційні матеріали повинні бути стійкими до дії мінеральних агресивних середовищ типу вапна, цементу, гіпсу, глини, бітуму, стійкі до дії ряду кислот, володіти високою біологічною стійкістю, не піддаватися гниттю, впливу комах, бути стійкими до дії мікроорганізмів, грибків та бактерій. Теплоізоляційні матеріали повинні легко піддаватися механічній обробці за допомогою найпростіших та загальнодоступних інструментів.

Перелічені властивості є основними, але не єдиними. Одне з найважливіших якостей теплоізоляційного матеріалу - не горючість та пожежна безпека; тому ізоляційні матеріали повинні мати сертифікат пожежної безпеки.

Теплоізоляційні матеріали повинні бути стійкі до старіння та при правильному використанні зберігають стабільні властивості, форму та розміри

тривалий час, тобто бути довговічним матеріалом. Теплоізоляційні матеріали повинні бути екологічно чистими та нешкідливими для людини.

Перевага застосування теплоізоляційних матеріалів у будівництві:

- скорочення витрат на матеріали;
- скорочення термінів та витрат на монтаж;
- низький коефіцієнт теплопровідності при утепленні огорожувальних конструкцій веде до скорочення витрат на опалення та економію грошових ресурсів;
- стабільність форм, тобто виключається наявність щілин;
- екологічна безпека для здоров'я людини.

Найбільш проблемними захищуваними конструкціями з точки зору втрат теплоти є світлопрозорі захищення. Для енергозбереження для скління будівель застосовуються склопакети.

Сучасні склопакети використовують скло з нанесеним електромагнітним способом шаром оксидів металів на один із шарів скла. Таке скло називають тепло- та енергозберігаючим, тому що за допомогою нанесених покриттів воно здатне "відбивати" знову в приміщення понад 90% теплової енергії, що йде через вікно.

Переваги сучасних склопакетів:

- покращується теплоізоляція, скорочуються втрати тепла, витрати на опалення;
- оптимізується сонячне тепло;
- зменшується конденсація вологи;
- зменшується холодне випромінювання від вікна;
- висока світлопропускна здатність;
- можливість скління разом із сонцезахисним склом.

Склопакети призначені для скорочення теплових втрат через вікна. Склопакети пропускають короткохвильову сонячну енергію в приміщення, але не пропускають назовні довгохвильове теплове випромінювання, наприклад, від опалювального приладу.

5.2. Тепловізійне обстеження огорожень

Метод тепловізійного контролю заснований на дистанційному вимірюванні полів температур поверхонь огорожувальних конструкцій за допомогою тепловізора за його власним інфрачервоним випромінюванням.

Цей метод дозволяє:

- проводити в реальному часі безконтактні температурні натурні обстеження поверхні огорожувальної конструкції;
- визначити розподіл температури по поверхні огорожувальних конструкцій будівель;
- оцінити загальні та питомі тепловтрати у навколишнє середовище через теплозахисну конструкцію;
- виявити порушення теплового захисту огорожувальних конструкцій в результаті застосування неякісних будівельних матеріалів, порушенні технологічного процесу при зведенні будівель або неправильного режиму їх експлуатації;
- діагностувати стан систем опалення та мікроклімату приміщень будівель;
- діагностувати стан електропроводки та контактних з'єднань системи електроспоживання;
- за результатами проведення контролю визначити відповідність якості огорожувальних конструкцій та будівельних робіт нормативної документації та дати рекомендації щодо зміни будівельних технологій, а також проведення ремонту прихованих дефектів будівництва.

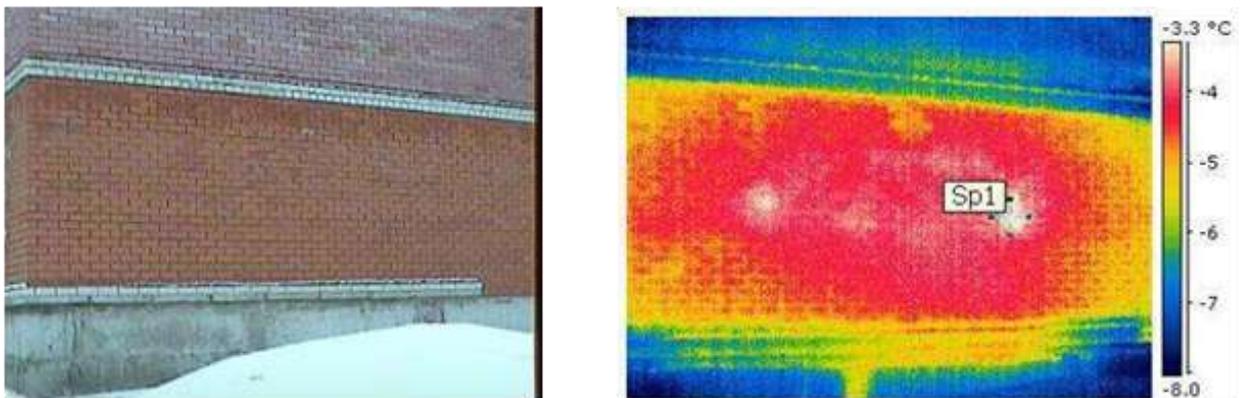


Рис.5.2. Приклад тепловізійного обстеження огорожуючої конструкції

Для вимірювань можуть бути використані тепловізори, що відповідають таким вимогам:

- прилади мають бути повірені та внесені до Держреєстру засобів вимірювань;
- діапазон температур, що вимірюються: від -20 до +100 °С;
- температурна роздільна здатність не більше 0,2 °С;
- основна похибка вимірювання не більше $\pm 2\%$ від верхньої шкали або $\pm 2\%$ (найбільше значення);
- діапазон довжин хвиль 2...5 мкм або 8...12 мкм;
- кут вимірювання (наявність змінних об'єктивів) 7×70, 12×120, 20×200, 40×400;
- діапазон робочих температур: від -15 до +60 °С;
- частота кадрів бажано щонайменше 5 Гц;
- формат зображення не менше ніж 320×240 елементів;
- можливість отримання температури в °С на екрані дисплея тепловізора чи переносного комп'ютера безпосередньо на місці зйомки;
- можливість записування термозображення на носій інформації;
- регулювання значення випромінювальної здатності (ϵ).

Найбільш поширені моделі тепловізорів представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2.

Найбільш поширені моделі тепловізорів

№ п/п	Назва приладу	Тип	Виробник
1.	Тепловізори інфрачервоні	Testo 875-1, 875-2, 881-1, 881-2, 881-3	Фірма "Testo AG"
			Німеччина
2.	Тепловізори	Flir A 320, A 325	Фірма "FLIR Systems"
			Швеція
3.	Тепловізори	Optris, мод. PI	Фірма "Optris GmbH"
			Німеччина
4.	Тепловізори	BALTECH TR, мод. BALTECH TR-01100, BALTECH TR-01400	Фірма "BALTECH GmbH"
			Німеччина

Однією з найважливіших характеристик тепловізора є такий параметр як розмір матриці (розмір одиничної термограми, одержуваної з допомогою тепловізора). З тих тепловізорів, що доступні на українському ринку, максимальний розмір матриці становить 640×480 пікселів (дані прилади мають досить велику вартість). Інші найпоширеніші розміри матриць (у порядку зменшення) складають: 384×288; 320×240; 160×120.

Чим більший розмір матриці тепловізора, тим чіткішим є зображення, яке характеризує тепловий стан об'єкта обстеження. Тепловізори з роздільною здатністю 320×240 і вище в більшості випадків дають якісне зображення, придатне для подальшого аналізу.

Наступною важливою характеристикою тепловізорів, на яку слід звернути увагу при виборі приладів, є їх чутливість (мінімальна різниця температур, до якої чутливий прилад). Більшість сучасних тепловізорів мають чутливість менше ніж 0,1 градуса. На практиці це означає, що якщо температура у двох точках відрізняється на 0,07 градуса, то для тепловізора з чутливістю 0,1 °С вони матимуть однакову температуру, а тепловізор із чутливістю 0,05 градуса побачить різницю між ними і відобразить цю різницю на екрані (в термограмі). Тепловізійні вимірювання проводять при перепаді температур між зовнішнім і внутрішнім повітрям, що перевищує мінімально допустимий перепад, що визначається за формулою:

$$\Delta t_{min} = \Theta R_0^n \frac{\alpha r}{1-r} \quad (5.1)$$

де Θ - межа температурної чутливості тепловізора, °С;

R_0^n - проектне значення опору теплопередачі, м²·°С/Вт;

α - коефіцієнт тепловіддачі, що приймається рівним: для внутрішньої поверхні стін - за нормативно-технічною документацією; для зовнішньої поверхні стін при швидкостях вітру 1, 3, 6 м/с - відповідно 11, 20, 30 Вт/(м²·°С);

r - відносний опір теплопередачі дефектної ділянки огорожувальної конструкції, яка підлягає виявленню, що приймається рівним відношенню

значення відповідно до нормативно-технічної документації до проектного значення опору теплопередачі, але не більше 0,85.

Температурний напір Δt_{min} контролюваного об'єкта має бути не менше 10°C протягом останніх 24 годин (вимоги відповідно до міжнародного стандарту ISO 6781). Під час зйомки зміна температурного напору не повинна перевищувати 30% дійсного початкового значення. Температура повітря всередині приміщення не повинна змінюватися більш ніж на $\pm 2^\circ\text{C}$, а об'єкти, що вимірюються, не повинні піддаватися впливу сонячної радіації протягом попередніх 12 год.

Обстеження необхідно проводити при зміні середньодобових температур зовнішнього повітря, близького до стаціонарного режиму теплопередачі в холодну пору року.

Зовнішні тепловізійні зйомки проводять за відсутності атмосферних опадів, туману та задимленості. Обстежувані поверхні повинні бути очищені від бруду, плісняви, льоду, снігу та інших нальотів, невластивих матеріалам досліджуваних конструкцій.

У вітряну погоду необхідно виміряти швидкість вітру для подальшого коригування вимірних значень температур. Оптимальною швидкістю вітру під час проведення тепловізійної зйомки вважатимуться 3-7 м/с.

При тепловізійній зйомці всередині приміщення слід звернути особливу увагу на екранування джерел світла та теплоти (ламп розжарювання, радіаторів опалення), що розташовані поблизу об'єкта термографування.

Мінімально допустиме наближення оператора-термографіста до поверхні, що обстежується, становить 1 м, електричних ламп розжарювання – 2 м. При термографії внутрішньої поверхні об'єкта слід виходити з розмірів ділянки з підвищеними втратами. Рекомендується використовувати об'єктиви з кутом огляду щонайменше 120°.

Перед вимірами внутрішню поверхню стіни, що обстежується, умовно розбивають на однакові квадрати з відомою стороною. Розбивку слід проводити із захопленням в одному кадрі областей вертикальних, горизонтальних стиків, укосів віконного отвору та передбачуваних зон

теплопровідних включень. На кожній досліджуваній поверхні оператором вибираються по дві реперні точки, температури в яких мають бути виміряні контактним та дистанційним способом. На обстежуваній поверхні ділянок по можливості вибирають геометричний репер, яким можуть служити лінійні розміри вертикальних і горизонтальних стиків, розміри простінків, віконних укосів та ін. конструкції по поверхні стіни з рівномірним розподілом температурного поля без аномалій, обумовлених містками тепла-холоду, конструктивними елементами, дефектами тощо. З метою забезпечення необхідної достовірності результатів контактні виміри проводять не менше ніж у двох реперних зонах на кожному типі огорожувальних конструкцій протягом 2-4 діб.

Підготовку зовнішньої поверхні до тепловізійних обстежень проводять так само, як внутрішньої, при розбивці на квадрати потрібно по можливості звертати увагу на їхню відповідність внутрішній розбивці, до захоплення в оглядове поле тепловізора областей з горизонтальними та вертикальними стиками панелей верхніх та нижніх поверхів.

Тепловізор під час вимірювання слід встановлювати таким чином, щоб об'єкт обстеження знаходився під кутом спостереження не менше ніж 60° . Віддаленість тепловізійної камери від об'єкта під час зовнішньої зйомки треба вибирати в наступному діапазоні:

$$\frac{1}{\text{tg}f} < L > L_{\text{пред}} \quad (5.2)$$

де: L – віддаленість тепловізора від об'єкта зйомки;

f – кут огляду об'єктива;

$L_{\text{пред}}$ – відстань, на якій тепловізор втрачає необхідну точність у відповідності з технічними характеристиками та поглинанням ІЧ-випромінювання повітря.

Термографування поверхні стіни, по можливості, здійснюють у перпендикулярному напрямку до стіни, послідовно знизу вгору по висоті будівлі з наступним горизонтальним переміщенням оператора по довжині

будівлі. Можливі відхилення від цього напрямку вліво, вправо, вгору і вниз не повинні перевищувати 30° . Вимірювання повинні проводитися з фіксованої відстані, оптимальна відстань до стіни складає від 2 до 10 м. При тепловізійній зйомці стін верхніх поверхів, якщо зйомку неможливо зробити зблизька, можна обмежитися загальним панорамним знімком, що охоплює всю стіну з вертикальними та горизонтальними стиками. Термографування повинно обов'язково супроводжуватись відеозйомкою або фотографуванням.

5.3. Визначення коефіцієнта корисної дії котлоагрегату

Теплотехнічні випробування котлоагрегатів можуть проводитися як при стаціонарних, так і нестаціонарних режимах.

Випробування при нестаціонарних режимах проводяться для визначення і вибору оптимальних маневрових характеристик котлів (тривалості розпалювання і зупинки, підвищення або пониження теплового навантаження, ступеню стійкості котлоагрегату та ін.); перевірки режиму пониження навантаження до рівня холостого ходу або навантаження на власні потреби котельні. В програму випробувань включають також досліди з перевірки пуску установки з різних теплових режимів. При проведенні таких випробувань неможливо дотримуватися повного усталеного теплового стану обладнання і точного зведення теплового балансу. Похибка визначення втрат теплоти на окремих етапах пуску або зупинки котла може досягати 25 %. На даний час методики випробувань при перехідних режимах ще недостатньо відпрацьовані.

Теплотехнічні випробування котлів при стаціонарних режимах в залежності від поставлених завдань можуть бути розділені на дві групи:

- Випробування, які проводяться з метою визначення теплотехнічних характеристик роботи котла (ККД, теплопродуктивності, втрат теплоти та ін.), виявлення їх експлуатаційних особливостей і недоліків конструкції;

- Випробування, проведення яких викликано необхідністю перевірки нових конструкцій або окремих елементів, використання нових

закономірностей, які мають дослідницький характер. Ці випробування не підлягають типізації і в цій роботі не розглядаються.

Випробування першої групи в залежності від мети проводяться за **трьома категоріями складності**.

До **першої категорії складності** відносяться гарантійно-здавальні випробування, які проводяться, як правило, для перевірки гарантійних показників робіт установки. В цьому випадку перевіряються: теплопродуктивність, ККД, параметри теплоносія, параметри роботи допоміжного обладнання, складові втрат теплоти, повітряний баланс топки, теплосприйняття поверхонь нагріву в робочому діапазоні навантажень.

До **другої категорії складності** відносяться експлуатаційні (балансові) випробування, які проводяться для встановлення нормативних експлуатаційних характеристик при номінальних параметрах теплоносія після реконструкції котлів, у зв'язку з переходом на спалювання нового виду або нової марки палива, або при систематичному відхиленні параметрів від нормативних. В задачі випробувань можуть входити: виявлення оптимальних значень коефіцієнта надлишку повітря, розподіл повітря і палива по пальникових пристроях при різних навантаженнях котлоагрегату; визначення фактичних економічних показників агрегату і окремих складових втрат теплоти; виявлення причин перевищення втрат теплоти над розрахунковими значеннями, розробка заходів з їх зменшення і досягнення розрахункового значення ККД; визначення аеродинамічних характеристик газо-повітряного тракту; складання типової енергетичної (нормативної) та витратної характеристик котлоагрегату.

До **третьої категорії складності** відносяться режимно-налагоджувальні та доводочні випробування, які проводяться з метою наладки режиму роботи котлоагрегату і визначення його окремих показників; визначення оптимальних значень коефіцієнтів надлишку повітря, оптимального розподілу повітря по пальниках, максимального навантаження при різному складі допоміжного обладнання. По цій категорії складності проводяться й експлуатаційні випробування після типових капітальних ремонтів котла з метою встановлення

їх якості і уточнення характеристик обладнання в результаті проведених ремонтних робіт.

Перечислені види випробувань відрізняються кількістю дослідів і точністю вимірювань основних показників. Випробування за I і II категоріями складності проводяться при усталеному тепловому режимі системи з обов'язковим зведенням теплового балансу котлоагрегату. При цьому слід використовувати вимірювальні прилади з класом точності 0,5 або 1,0. При випробуваннях по всіх категоріях складності ККД котлоагрегату визначається за зворотнім балансом. Однак прямий метод визначення ККД є простішим в тих випадках, коли є можливість його технічного виконання. Точність по зворотному балансу може бути вищою, аніж за прямим балансом, за умови визначення втрат теплоти від всіх елементів котла, а також при обробці отриманих результатів за повними, а не спрощеними методиками.

Загальноприйнята методика випробувань котлоагрегатів є достатньо трудомісткою і вимагає значних затрат часу на проведення і обробку результатів випробувань (особливо при спалюванні твердих палив). Крім того, в залежності від конкретних умов проведення балансових випробувань в загальноприйнятій методику можуть вноситися додаткові зміни і спрощення.

Коефіцієнт корисної дії котла визначається на підставі рівняння теплового балансу:

$$Q_{ка} = B Q_I = B Q_n^p \eta_{ка} \quad (5.3)$$

де B - кількість газу, спожитого котлоагрегатом, м³/год;

Q_I - теплота, корисно використана в котлоагрегаті, кДж;

Q_n^p - нижча розрахункова теплота горіння палива, кДж/м³;

$\eta_{ка}$ - коефіцієнт корисної дії котла брутто, %.

Відповідно, коефіцієнт корисної дії котла брутто за прямим балансом - це відношення корисної теплоти (Q_I) до наявної теплоти палива (Q_n^p):

$$\eta_{ка} = \frac{Q_1}{Q_H^p} \cdot 100, \% \quad (5.4)$$

Кількість корисно спожитої теплоти для отримання теплоносія, (кДж), для водогрійних котлів визначається за формулою:

$$Q_1 = i_2 - i_1 \quad (5.5)$$

де i_1 і i_2 - ентальпія води на вході і виході з котлоагрегату, кДж.

Цю величину можна визначити за залежністю:

$$Q_1 = G_B \cdot c_B (t_{вих} - t_{вх}) \quad (5.6)$$

де G_B - витрата мережевої води, кг/с;

$t_{вих}$; $t_{вх}$ - температура мережевої води відповідно на виході і на вході у котлоагрегат , °С ;

c_B - теплоємність мережевої води, кДж/(кг °С).

Тоді :

$$\eta^{op} = q_1 = \frac{G_B C_B (t_{вих} - t_{вх})}{B_B Q_H^p} \quad (5.7)$$

Додатково визначаємо ККД котлоагрегату нетто, який враховує витрати теплової та електричної енергії на власні потреби. Для цього необхідно визначити витрату електроенергії, яка споживається в котельні на привід мережевих і рециркуляційних насосів, газового пальника, системи освітлення.

Потужність, яка споживається електродвигунами, визначається за замірами сили струму і напруги, з врахуванням косинуса ϕ .

$$N_{ei} = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos \phi \cdot 10^{-3} \text{ кВт} \quad (5.8)$$

де: I - сила струму, а;

V - напруга в мережі, В;

$\cos\varphi$ - приймається рівним 0,85.

Витрата теплоти на власні потреби котла є незначною, тоді загальна витрата енергії на власні потреби в % від наявної теплоти палива буде становити:

$$\Delta\eta_{en} = \frac{N_{el}}{B Q_H} \cdot 100, \% \quad (5.9)$$

Таким чином, ККД нетто (%) котла становить:

$$\eta_{нет} = \eta_{ка} - \Delta\eta_{ВП}, \quad (5.10)$$

Величина коефіцієнту корисної дії котлоагрегату бруто може також бути визначений методом зворотнього балансу за формулою:

$$\eta = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \quad (5.11)$$

де: q_2 - втрати теплоти з викидними продуктами горіння;

q_3 - втрати теплоти від хімічної неповноти горіння;

q_4 - втрати теплоти від механічної неповноти горіння;

q_5 - втрати теплоти через нагріті поверхні котлоагрегату.

При спалюванні природного газу втрати теплоти від механічної неповноти горіння q_4 є дуже малими, через що ними можна знехтувати. Тоді тепловий баланс котла можна представити наступним чином:

$$\eta = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_5) \quad (5.12)$$

Втрати теплоти з викидними продуктами горіння визначаються за формулою:

$$q_2 = \frac{(I_{вих} - \alpha^0 \cdot I_n)(100 - q_4)}{Q_H^P}, \% \quad (5.13)$$

де $I_{\text{вих}}$, $I_{\text{п}}$ - ентальпія продуктів горіння і теоретично необхідного об'єму повітря, віднесені до 1 м^3 палива при температурі $t \text{ }^\circ\text{C}$, кДж/кг (кДж/м³).

Втрати теплоти від хімічної неповноти горіння визначаються за результатами аналізу вмісту горючих компонентів палива в продуктах горіння.

Втрати теплоти через зовнішні поверхні корпусу котлоагрегату визначаються як теплонадходження шляхом конвективного та променевого теплообміну від нагрітих поверхонь.

При складанні теплового балансу котлоагрегату однією з складових величин є втрати теплоти від хімічної неповноти горіння палива (Q_3).

Втрати теплоти від хімічної неповноти горіння палива зумовлені неповним згоранням окремих елементів палива (CO , H_2 , CH_4), теплота яких в хімічно-зв'язаному вигляді разом з димовими газами видаляється з котлоагрегату. Основними причинами хімічної неповноти горіння є недостатня кількість повітря, яка подається в топку і його незадовільне перемішування з паливом, а також недостатня температура в топці. Інколи хімічна неповнота горіння палива може спостерігатися і при нормальній роботі топкового пристрою, будучи результатом відновлювальних процесів, які відбуваються в шарі розпеченого палива або в факелі при високих температурах, коли CO_2 частково переходить в CO .

При випробуванні котлоагрегату величина Q_3 (кДж/м³) визначається за даними хімічного аналізу продуктів горіння:

$$Q_3 = V_{\text{CO}} Q_{\text{CO}} + V_{\text{H}_2} Q_{\text{H}_2} + V_{\text{CH}_4} Q_{\text{CH}_4}, \quad (5.14)$$

де V_{CO} , V_{H_2} , V_{CH_4} - об'ємна частка CO , CH_4 , H_2 в продуктах горіння;

Q_{CO} , Q_{H_2} , Q_{CH_4} - теплота горіння відповідних компонентів, кДж/м³.

Цю ж величину можна визначити за спрощеною залежністю, оскільки вміст CH_4 і H_2 в продуктах горіння при спалюванні газу практично є дуже малим:

$$Q_3 = V_{\text{CO}} \cdot Q_{\text{CO}} = 235 \cdot K^p \frac{\text{CO}}{\text{RO}_2 + \text{CO}}, \quad (5.15)$$

де $K_p = C^p + 0,375 \cdot S_{O+K}^p$;

C^p - вміст вуглецю в паливі, % ;

S_{O+K} - вміст органічної та колчеденної сірки в паливі.

Для інженерних розрахунків, при складанні теплового балансу котлоагрегату, можна скористатися спрощеною методикою, за якою визначаються втрати теплоти від хімічної неповноти горіння палива, виражені в %:

$$q_3 = \frac{(30,2 CO + 25,8 H_2 + 85,5 CH_4) h \cdot 100}{Q_H^p}, \% \quad (5.16)$$

де: h - коефіцієнт зміни об'єму сухих продуктів горіння у порівнянні з теоретичним об'ємом

$$h = CO_2 / (CO_2)_{max} \quad (5.17)$$

$(CO_2)_{max}$ - максимальний вихід CO_2 , для природного газу $(CO_2)_{max} = 11,8$ %;

CO_2, CO, H_2, CH_4 - вміст діоксиду вуглецю, оксиду вуглецю, водню та метану у викидних продуктах горіння за даними газового аналізу, %;

Заміри концентрації CO та O_2 проводяться з застосуванням портативного газоаналізатора Тесто 300М, який призначений для налагодження та моніторингу вогнетехнічних установок. З його допомогою можна вимірювати температуру димових газів, розрідження в димовідвідних каналах, перепад тисків, а також концентрацію оксиду вуглецю CO , кисню O_2 та розраховувати концентрацію діоксиду вуглецю CO_2 і ККД котлоагрегату.



Рис. 5.3. Газоаналізатор Testo 300M

На рис. 5.3 зображено будову портативного газоаналізатора Testo 300M та функціональне призначення кнопок клавіатури, які дозволяють швидко керувати режимами вимірювань. У функціональному рядку над кожною з кнопок вказано функцію, яка їй відповідає. Функції кнопок залежать від вибраного меню.

В Україні можна придбати портативні газоаналізатори продуктів горіння як вітчизняного виробництва, так і продукцію провідних західних фірм (XINTEST HT-1805, WINTACT WT8811, СЕМ DT-9881, Testo 300 Longlife).

Щоб об'єктивно оцінити фактори, які впливають на величину ККД конкретного котлоагрегату, необхідно проаналізувати кожен складову втрат теплоти.

Втрати теплоти з викидними газами (g_2) є найбільшими з усіх втрат теплоти. В котлоагрегатах великої потужності вони становлять 4 - 8 %, а в малих досягають 10 - 20 %. Це викликано тим, що продукти горіння покидають котлоагрегат з високою температурою (120 - 150 °C) для котлів, обладнаних хвостовими поверхнями нагріву і біля 200 °C при відсутності хвостових поверхонь.

Втрати теплоти від хімічної неповноти горіння палива (g_3) зумовлені неповним згоранням окремих елементів палива (CO , H_2 , CH_4), теплота яких в хімічно-зв'язаному вигляді разом з димовими газами видаляється з котлоагрегату. Величина q_3 знаходиться в таких межах: для ручних топок 2 – 5 %; для механічних і напівмеханічних топок ≈ 3 %; при факельному спалюванні палива (мазуту і природного газу) $\approx 0,5$ %.

Втрати теплоти від механічної неповноти горіння (g_4) мають місце лише при спалюванні твердого палива. Величина g_4 залежить від властивостей палива (зольності, наявності дрібних частинок, виходу летких речовин, стікливості), а також режиму процесу горіння. Величина g_4 коливається в значних межах: від 1 - 2 % в великих камерних топках, до 10 - 15 % в малих установках.

Втрати теплоти від зовнішнього охолодження котлоагрегату (g_5) в навколишнє середовище залежать від температури зовнішніх поверхонь різних елементів котлоагрегату (обмурівки, ізоляції газоходів, трубопроводів), через які частина теплоти передається довкіллю. Втрати теплоти g_5 залежать від теплової потужності котлоагрегату і при тепловому розрахунку визначаються за спеціальними графіками. Для потужних енергетичних котлоагрегатів величина q_5 є вельми малою і може становити 0,2 - 0,3 %, в малих усановках q_5 може досягати 3 - 4 %.

Втрати теплоти з фізичним теплом шлаку (g_6) є незначною величиною і враховуються тільки при складанні уточненого теплового балансу котлоагрегату.

5.4. Проблеми експлуатації систем опалення та шляхи їх вирішення

Якщо при первинних пуско-налагоджувальних роботах системи опалення не було виявлено дефектів, пов'язаних з недоліками проектування і які вимагають усунення, така система може бути здана в експлуатацію. Однак і в період експлуатації за системою необхідно проводити нагляд та догляд за нею.

Система опалення повинна мати паспорт та виконавчі креслення, що передаються обслуговуючому персоналу з інструкцією з догляду за системою.

Усі несправності, що виявилися під час експлуатації, повинні негайно усуватись. Необхідно піддавати найчастішому огляду такі частини системи як насоси, електродвигуни, а також магістральні трубопроводи. Слід також спостерігати за станом ізоляції трубопроводів.

Правильність роботи системи слід спостерігати за показаннями двох манометрів, встановлених на подавальному та зворотному трубопроводах біля насосів або на вводі теплофікаційних ліній. Манометри при зупинці системи повинні показувати один і той же тиск, що дорівнює гідростатичному тиску в системі, а при роботі системи - проектну розрахункову різницю тисків. Якщо манометри показують менший тиск, а різниця їх показань залишається постійною, то причина полягає в тому, що система повністю не заповнена водою. Як правило, протягом опалювального сезону в системі опалення має бути одна й та сама вода. Це викликано тим, що якщо використовується той же теплоносій, то в ньому міститься мала кількість повітря і система не піддається корозії. Після закінчення опалювального сезону систему промивають, для чого воду спускають. Систему опалення заповнюють свіжою водою, яку нагрівають до температури 95 °С. Цю температуру підтримують протягом 1 години з метою можливого повного видалення повітря. Ця вода в системі залишається до наступного опалювального сезону. Недоліки в роботі системи, які не можуть бути усунені негайно, записуються в спеціальний журнал і усуваються після закінчення опалювального сезону.

Під час експлуатації системи водяного опалення слід дотримуватися таких вимог:

- температура мережної води, що повертається з системи, повинна відрізнятися не більше ніж на 3 - 4 °С вище від значення, встановленого температурним графіком за відповідної температури зовнішнього повітря;
- заповнення водою верхніх точок системи;
- тиск у системі, який би не перевищував допустимого для нагрівальних приладів і трубопроводів системи;

- коефіцієнт змішування на елеваторному вузлі або підмішувальному насосі не повинен відрізнятись від розрахункового більше ніж $\pm 5\%$. Фактичний напір перед елеватором має бути не меншим, ніж розрахунковий.

Експлуатація системи парового опалення повинна забезпечувати:

- рівномірне нагрівання всіх нагрівальних приладів;
- повну конденсацію пари, що надходить у нагрівальні прилади, не допускаючи її прольоту;
- повне повернення конденсату із системи.

Місцеві системи водяного опалення заповнюються пом'якшеною, деаерованою водою з теплових мереж.

Після закінчення опалювального періоду необхідно здійснювати гідропневматичне промивання систем опалення з використанням стисненого повітря. Витрата повітря, води та тиску на початку ділянки, що промивається, визначаються за відповідним розрахунком. Наприкінці промивання необхідно досягти повного освітлення води. Після закінчення гідропневматичного промивання системи опалення складається відповідний акт.

Для захисту від внутрішньої корозії системи повинні бути постійно заповнені хімічно очищеною деаерованою водою під надлишковим тиском не нижчим за 50 кПа ($0,5 \text{ кгс/см}^2$).

Дефекти, виявлені в процесі експлуатації і під час огляду системи опалення, зазначаються у журналі дефектів та враховуються під час складання плану ремонтних робіт. Дефекти та витіки, що не потребують опорожнення всієї системи, усуваються негайно.

Графік поточного і капітального ремонтів систем опалювання узгоджується з графіком ремонту опалюваних приміщень і передбачає остаточне закінчення всіх робіт не пізніше, ніж за 15 днів до початку опалювального сезону.

Перед початком опалювального сезону на всіх системах опалення здійснюється гідравлічне випробування на щільність та міцність. Гідравлічне випробування проводиться на:

- вузлах керування (вводу) тиском 1,25 робочого, але не нижче ніж 1 МПа (10 кгс/см²);
- системах опалення з чавунними опалювальними приладами тиском 1,25 робочого, але не більше ніж 0,6 МПа (6 кгс/см²);
- системах панельного і конвекторного опалення тиском 1 МПа (10 кгс/см²);
- системах опалення з іншими опалювальними приладами тиском згідно з їхніми паспортними даними або рекомендаціями виробника приладів.

Гідравлічне випробування здійснюється за плюсових температур зовнішнього повітря. Якщо ж температура зовнішнього повітря нижча від нульової, випробування можливе лише у виняткових випадках.

Під час заповнення систем опалення водою для гідравлічного випробування слід видаляти повітря з опалювальних приладів. Тиск слід піднімати рівномірно до досягнення пробного тиску. Загальний час підняття тиску повинен бути не меншим 10 хв. Використання стисненого повітря або газу для підняття тиску не допускається.

До включення системи опалення в експлуатацію після ремонту, модернізації чи монтажу, а також не менше ніж один раз на 5 років здійснюється її теплове випробування на рівномірність прогрівання опалювальних приладів та визначення фактичних теплових втрат. У процесі теплових випробувань потрібно виконати налагодження і регулювання системи. Випробування здійснюються спеціалізованою організацією. Результати випробувань оформляють актом.

Уважається, що система витримала гідравлічні випробування, якщо під час їх проведення:

- не виявлено пітніння зварних швів, витікання з нагрівальних приладів, трубопроводів, арматури та іншого устаткування;
- під час випробування водяних і парових систем теплоспоживання протягом 5 хв спад тиску не перевищив 20 кПа (0,2 кгс/см²);
- під час випробування систем панельного опалення спад тиску протягом 15 хв не перевищував 10 кПа (0,1 кгс/см²);

- під час випробування систем гарячого водопостачання спад тиску протягом 10 хв не перевищував 50 кПа (0,5 кгс/см²).

Результати перевірки оформлюються актом проведення гідравлічних випробувань.

Якщо результати гідравлічних випробувань не відповідають зазначеним вимогам, необхідно виявити й усунути витоки, після чого виконати повторну перевірку системи на щільність.

У разі варій, які призводять до припинення циркуляції мережної води в опалювальних системах, за температури зовнішнього повітря нижчою ніж 0 °С, персонал, який обслуговує ці системи, повинен здренувати воду з систем для запобігання її замерзанню та виходу системи з ладу. Рішення про необхідність дренажування води з системи приймає особа, відповідальна за технічний стан і експлуатацію тепловикористовуючих установок і теплових мереж суб'єкта господарювання за узгодженням з енергопостачальною організацією.

Допустима тривалість відключення опалювальних систем без дренажування теплоносія залежить від температури зовнішнього повітря, якості утеплення, акумулюючої здатності й конструкції опалюваних будинків і споруд та визначається інструкцією з експлуатації, складеною відповідно до місцевих умов. Вона визначає і порядок опорожнення опалювальних систем.

5.4.1. Заходи з підготовки систем опалення до опалювального періоду

Під час підготовки до опалювального періоду з метою забезпечення надійності теплопостачання споживачів необхідно виконати основний комплекс заходів:

- здійснення ремонтно-профілактичних робіт устаткування джерел теплоти та теплових мереж;
- усунення порушень, виявлених у теплових режимах джерел теплоти та гідравлічних режимах роботи теплових мереж;

- гідравлічні випробування устаткування теплових мереж, центральних теплових пунктів систем тепlopостачання (до теплового вводу споживача) на щільність та міцність;

- шурфування теплових мереж, вирізання з трубопроводів зразків з метою з'ясування ступеня корозійного пошкодження трубопроводів;

- промивання устаткування та трубопроводів теплових мереж, центральних теплових пунктів систем тепlopостачання (до теплового вводу споживача);

- розроблення експлуатаційних режимів роботи систем тепlopостачання, а також заходів з їх забезпечення;

- складання актів готовності систем тепlopостачання до опалювального періоду.

Графіки підготовки джерел тепlopостачання, теплових мереж системи тепlopостачання до опалювального періоду розробляються до закінчення поточного опалювального періоду, але не пізніше травня поточного року.

Для набуття навичок і готовності персоналу діяти швидко і правильно під час аварійних ситуацій, своєчасного усунення аварій та недопущення їх розвитку надалі в тепlopостачальних організаціях проводяться протиаварійні тренування з відпрацювання взаємодії персоналу під час ліквідації аварійних ситуацій, розробляються відповідні організаційно-технічні заходи.

Для перевірки готовності до опалювального періоду під час приймання теплових пунктів перевіряється та оформляється відповідними актами:

- виконання плану ремонтних робіт, якість їх виконання;
- стан трубопроводів місцевих теплових мереж, які належать споживачу;
- стан утеплення будівель (горища, сходові клітки, підвали, двері тощо) та центральних теплових пунктів, які належать споживачу, а також індивідуальних теплових пунктів;

- стан трубопроводів, арматури та теплової ізоляції;
- наявність і стан засобів вимірювальної техніки та автоматичних регуляторів;

- наявність і стан приладів комерційного обліку теплової енергії;

- працездатність захисту систем теплоспоживання;
- наявність паспортів теплових установок, принципових схем та інструкцій для обслуговуючого персоналу;
- відсутність прямих з'єднань устаткування теплових пунктів з водопроводом та каналізацією;
- щільність устаткування теплових пунктів;
- наявність пломб на розрахункових шайбах та соплах елеваторів.

Перед початком опалювального періоду проводиться перевірка готовності системи опалення та системи теплопостачання у цілому шляхом виконання пробного пуску з метою визначення їх готовності до роботи.

Пробний пуск здійснюється після закінчення робіт з підготовки систем теплопостачання до осінньо-зимового періоду. Початок і тривалість пробного пуску визначається графіком теплопостачальної організації, який слід узгодити з органами місцевого самоврядування та довести до відома споживачів не пізніше ніж за три доби до початку пробного пуску.

Початок і закінчення опалювального періоду (і пов'язана з цим зміна гідравлічного і теплового режиму роботи джерел теплоти і теплових мереж) установлюється в кожному регіоні окремо.

Перед пуском водогрійних котлів в експлуатацію, а також перед початком опалювального періоду теплові мережі та внутрішні системи теплоспоживання слід попередньо промити.

5.4.2. Промивання системи опалення

Як показує практика, в результаті експлуатації будь-якого теплообмінного обладнання утворюється велика кількість відкладень, таких як накип (карбонатно-кальцієві відкладення), шлам (залізоокисні відкладення), біообростання (продукти мікробіологічної діяльності).

Залежно від ступеня забруднення системи опалення, об'єму та протяжності циркуляційних контурів можуть бути реалізовані декілька

способів промивки систем опалення: механічна; гідрохімічна; гідродинамічна; гідропневматична, електро-гідроімпульсна.



Рис. 5.4. Трубопровід системи опалення до і після промивки

Механічна промивка.

Цей тип промивання орієнтований, в основному, на очистку від бруду нагрівальних приладів, і в меншій мірі на очищення від накипу внутрішніх поверхонь труб. Механічне очищення буде більш ефективним, якщо попередньо виконати демонтаж нагрівальних приладів. Механічне очищення радіатора можна виконувати з допомогою троса, подібним до того, як прочищають систему каналізації. Таку ж процедуру проводиться і з трубопроводами. Однак для мережі з великою кількістю поворотів механічна промивка буде малоефективною. Після механічного очищення радіаторів і трубопроводів, їх промивають протічною водою, а шлам зливають в каналізацію. Промивання системи опалення виконують до тих пір, поки вода на виході не стане чистою.



Рис. 5.5. Нижні ніпельні головки радіатора, заповнені шламом.

Хімічна промивка.

Як показує практика, хімічне промивання системи опалення є найбільш поширеним і ефективним, оскільки накип, продукти корозії металу і мулові відкладення є дуже стійкими, з ними можуть впоратися тільки хімічні реагенти. Головна перевага – майже повна очистка труб за короткий проміжок часу. Це досягається завдяки використанню розчинників і засобів на основі лугів і кислот.



Рис. 5.6. Обладнання для промивки трубопроводів СО, котлів та теплообмінників

Недоліком хімічного типу промивки є те, що рідини, які при цьому застосовуються, є токсичними. Тому при роботі необхідно бути дуже уважними і стежити, щоб розчин не потрапив на шкіру або в очі. В системах великих розмірів потрібно кожен контур промивати окремо. В цьому випадку промивка систем опалення може проводитися поетапно і тривати декілька днів. Щоб руйнування накипу на трубах і радіаторах було рівномірним, реагент залишається в системі на термін від декількох годин до декількох днів згідно з інструкцією.

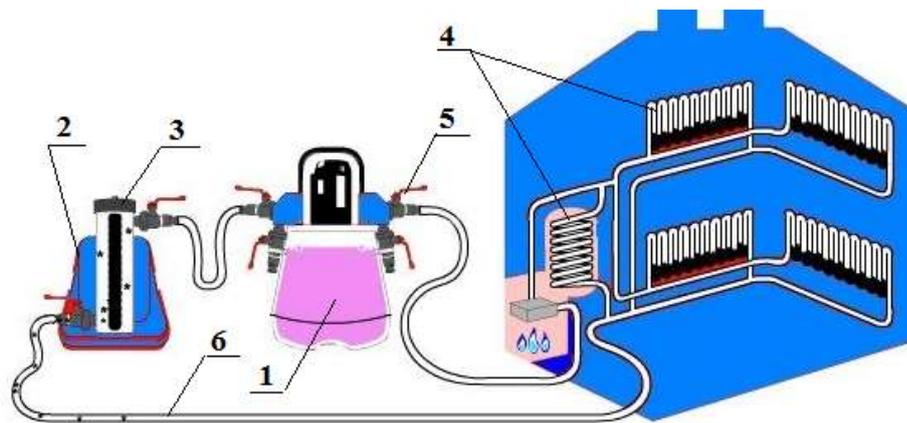


Рис. 5.7. Схема установки хімічної промивки системи опалення

*1 – ємність з миючим розчином; 2 – циркуляційний насос; 3 – ротаметр;
4 – елементи системи опалення; 5 – запірні арматури; 6 – з'єднувальні шланги.*

Конструкція обладнання для промивок складається з ємності з розчином, спеціального насоса та шлангів з запірною арматурою. При виборі типу очищуючого розчину необхідно враховувати не лише тип накипу, але і матеріал, з якого виготовлені елементи СО (чавун, сталь, алюміній, різноманітні сплави або полімерні матеріали), бо проводячи очистку не можна допустити пошкодження самої системи. Зокрема, для алюмінієвих нагрівальних приладів використання кислотних або лужних розчинів категорично заборонено. Є різноманітні засоби для промивання систем опалення, серед яких найбільш поширені:

- «СВОД-ТВН» Professional для залізоокисних відкладень;
- «СВОД-ТВН» Professional для карбонатно-кальцієвих відкладень;
- Master Boiler - реагент для промивки систем СО і теплих підлог;
- Засіб «ЛВХ-5.1», який містить активні речовини, диспергатори та інгібітор корозії;
- Нейтралізатор DIXIS-Lux.

Іншим недоліком хімічної промивки є негативний вплив активної речовини на поверхню труб, опалювальних радіаторів, теплообмінників, запірної арматури та необхідність скидання їдких розчинів в спеціально

відведені для них ємкості з подальшою їх нейтралізацією. Після обробки системи промиваємо її чистою водою.

Гідропневматична промивка системи опалення.

При цьому методі повітря під високим тиском подається в систему опалення компресором, завдяки чому всередині трубопроводів створюються турбулентні потоки з великою кінетичною енергією, що викликає зрив наростів і вимивання бруду, який накопичився. Турбулентні потоки проходять по опалювальному контуру не постійно, а періодично в формі короткочасних імпульсів.

Високоєфективним є спосіб промивки нагрівальних приладів, при якому застосовується спеціальний пристрій - «пневмопістолет». Пневмопістолет легко і швидко видаляє накип та інші відкладення. Промивання труб і нагрівальних приладів ефективно може здійснюватися на відстані до 50 м. При цьому діаметр труб та інших елементів повинен бути не більше 150 мм. Регулярна гідропневматична промивка системи опалення проводиться з приміщення теплового пункту. Промивка одночасно кількох стояків може здійснюватися з використанням промивочної ємкості об'ємом не більше ніж $0,05 \text{ м}^3$. При цьому всі забруднення зливаються в каналізацію.

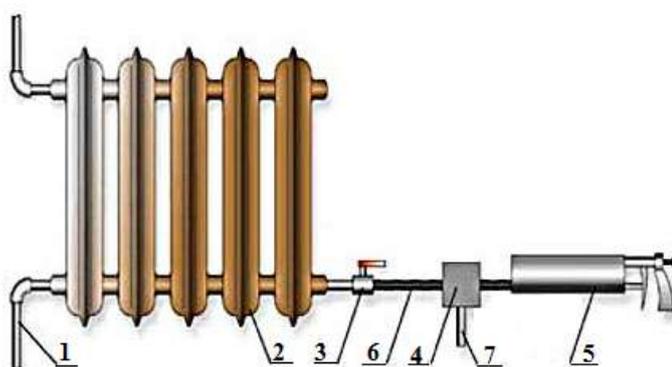


Рис. 5.8. Гідропневматична промивка нагрівального приладу

1 – стояк СО; 2 – нагрівальний прилад; 3 - запірна арматура; 4 – комутатор;

5 – пневматичний пістолет; 6 – шланг; 7 – зливний патрубок.

Підключення компресора в контур виконується через зворотний клапан, щоб запобігти попаданню води в компресор. Подачу повітря під тиском можна виконати через патрубок одного з радіаторів або ж підключити шланг замість заглушки.



Рис. 5.9. Промивання радіатора з використанням «пневмопістоleta»

Гідродинамічна промивка.

При виборі способу гідродинамічної промивки потрібне спеціальне обладнання. Вода в цьому випадку подається від насоса під високим тиском, частіше використовується спеціальний шланг з кінцевиком. Конструкція кінцевого насадка має отвори невеликого діаметра. Через них вода під високим тиском подається назовні. Саме за рахунок тиску струменів води проходить ефективна боротьба з грязьовими і сольовими відкладеннями. Для промивання системи опалення гідродинамічним способом потрібне устаткування, здатне створювати необхідний напір води.

Електрогідроімпульсна промивка.

В основі роботи такого методу промивання лежить використання енергії електричного імпульсу. Він спрямований на руйнування солей, які осіли на стінках труб. Імпульси діють саме на забруднення, а матеріал труб при цьому

впливу не піддається. Для генерації електричного імпульсу використовується спеціальний апарат. До нього підключається коаксіальний кабель, на протилежному кінці якого утворюється розряд, ударна хвиля від якого руйнує накіп на внутрішній поверхні. Після цього систему промивають чистою водою для видалення відокремлених часток накипу.

Проведення прочищення системи електроімпульсним методом очищення вимагає наявності спецобладнання. Але ефективність його досить велика і немає потреби розбирати систему для промивання. При цьому, на відміну від хімічного прочищення, весь шлак можна скинути в каналізацію.

5.5. Вплив фактичного стану обладнання систем гарячого водопостачання на її ефективність

Під час обстеження технічного стану системи гарячого водопостачання (ГВП) на об'єкті визначають наступні дані:

- а) загальна інформація по системі ГВП: тип, стан, вид енергоносія;
- б) інформація по теплообміннику: тип, назва, термін експлуатації, потужність, температура гарячої води;
- в) інформація по автоматичним регуляторам температури: наявність, стан, тип, назва, принцип автоматичного регулювання;
- г) інформація по системам розподілення: максимальна подача (витрата), потужність та ККД системи ГВ; матеріал труб, наявність теплоізоляції, матеріал теплоізоляції, наявність рециркуляційного насосу, наявність таймеру для рециркуляційного насосу, втрати теплоти.

Визначають тип місцевої системи розподілення гарячого водопостачання-індивідуальний розподільний трубопровід до місця водорозбору гарячої води користувача та циркуляційний контур (за наявності).

Для розрахунку тепловтрат в підсистемі розподілення ГВ необхідно визначити наступні дані: довжину ділянки трубопроводу; лінійний коефіцієнт теплопередачі трубопроводів; середню температуру оточуючого середовища;

середню температуру гарячої води на ділянці трубопроводу; період користування ГВ; величину ККД системи.

Підвищення гідравлічної стійкості систем гарячого водопостачання є одним з основних завдань для підвищення ефективності роботи системи ГВ. Не дивлячись на те, що при експлуатації централізованих систем гарячого водопостачання (ГВ) від ЦТП доволі часто спостерігаються періодичні перебої подачі води на верхні поверхи будівель, або низька температура гарячої води (завдяки порушенню гідравлічного режиму), в цих же системах спостерігається значна перевитрата води, теплоти і електроенергії. Основною причиною перебоїв ГВП є недостатній тиск підкачувальної установки та збільшений опір водонагрівачів і перевантаження початкових (розподільчих) ділянок мережі, що спричинено гідравлічним розрегулюванням системи.

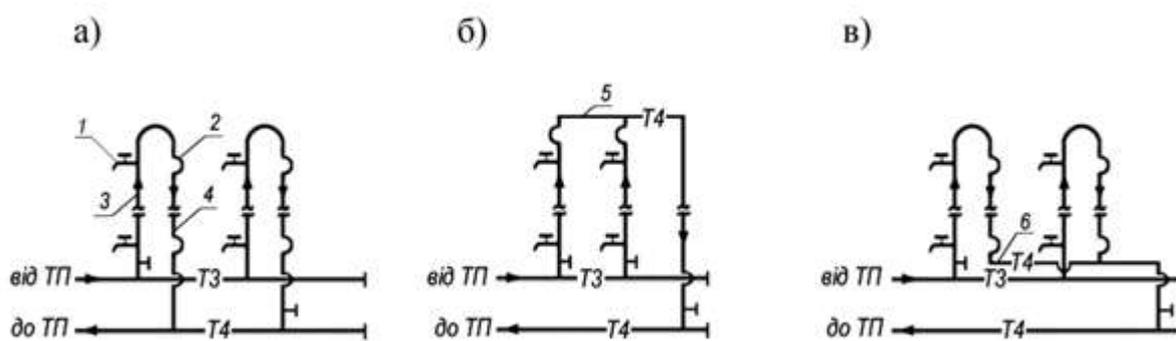


Рис. 5.10. Схеми систем гарячого водопостачання житлових будівель з нижньою розводкою:

а) наявна схема; б) нова схема; в) реконструйована схема;

1 – водорозбірні крани; 2 – рушникосушники; 3 – водорозбірні стояки;

4 – циркуляційні стояки; 5, 6 – кільцючі перетинки;

Т3 – трубопровід гарячої води; Т4 – циркуляційний трубопровід.

На рис. 5.10а наведена наявна схема системи ГВП. Завдяки низькому опору кілець, які складаються із водорозбірного 3 і циркуляційного 4 стояків, розташованих один за одним, інтенсивна циркуляція здійснюється через найближчі до ЦТП стояки, а в найбільш віддалених – вона значно нижча або відсутня зовсім; в водорозбірні крани вода надходить з пониженою

температурою. Для виправлення цього негативного явища, тобто доведення циркуляції до віддалених стояків, на практиці часто циркуляційні насоси замінюють більш потужними, при цьому циркуляційна витрата води збільшується. Але окрім того, що в останньому випадку спостерігається перевитрата електроенергії, ще й погіршується робота системи – подавальний трубопровід перевантажується; перевантажується і водонагрівач 2 ступеня, що призводить до збільшення втрат тиску і перебоїв подачі води на верхні поверхи. Для виправлення гідравлічного розрегулювання централізованої системи ГВ необхідно зменшувати кількість циркуляційних кілець і підвищувати їх гідравлічний опір. На рис. 5.10б наведена схема секційного вузла з рушникосушниками на водорозбірних стояках. Об'єднання водорозбірних стояків з рушникосушниками кільцюючою перетинкою 5 дозволяє зменшити діаметр стояків за рахунок можливості живлення водорозбірного крана з двох сторін (знизу і через перетинку з сусідніх менше завантажених стояків). При реконструкції наявних схем з рушникосушниками на циркуляційному стояку (рис. 5.10а) для наладки теплового і гідравлічного режимів необхідно відрізати циркуляційні стояки від магістралі, об'єднавши їх по підвалу в межах однієї секції будинку кільцюючою перемичкою 6, яку в одному місці трубопроводом підвищеного опору підключають до магістральної циркуляційної лінії Т4 (рис.5.10в). Це призводить до підвищення гідравлічної стійкості системи і до зменшення кількості циркуляційних кілець (як мінімум у 4 рази). Суттєвим резервом економії теплоти є також можливість періодичного відключення рушникосушилок від стояків гарячого водопостачання.

Ще одним з резервів економії в системах ГВП є ізоляція стояків, які прокладені в шахтах санітарно-технічних кабін або відкрито у ванній кімнаті. При цьому скорочуються не тільки втрати теплоти, але й витрата електроенергії на подачу циркуляційної води, оскільки при зменшенні теплових втрат скорочується і необхідна циркуляційна витрата. Нескладні розрахунки за відомими рівняннями показують, що для однієї типової квартири при ізоляції водорозбірних стояків діаметром 32 мм втрати теплоти скорочуються на 35% порівняно з неізольованими стояками, також на 35% скорочується витрата

циркуляційної води, а це призводить до економії електроенергії на привід циркуляційних насосів. Теплота, яка надходить від стояків гарячого водопостачання у холодний період року використовується для опалення квартир. Але влітку теплові надходження від стояків ГВП є некорисними втратами теплоти. Наприклад, для житлового будинку з 500 квартир втрати теплоти складуть біля 500 ГДж. При відомій вартості 1 ГДж теплоти та вартості ізоляційних робіт для всіх квартир можна визначити економічний ефект та термін окупності додаткових капіталовкладень.

Контроль за витратами теплоти в теплових пунктах здійснюється за теплолічильниками. Але до недоліку відноситься те, що часто встановлюють один лічильник на вводі, який фіксує витрату теплоти на опалення разом з витратою на гаряче водопостачання. В довідково-нормативній літературі наведені розрахункові рівняння для визначення витрати теплоти на ГВ у залежності від загальної кількості санітарно-технічних приладів, ймовірності їх використання і з урахуванням втрат теплоти трубопроводами, які розраховуються згідно з конкретною довжиною ділянок прокладки трубопроводів. Цей розрахунок доволі трудомісткий. З достатньою для встановлення нормативної витрати теплоти на ГВ точністю можна визначити витрату теплоти на водорозбір за кількістю споживачів, а теплові втрати задавати відповідним коефіцієнтом в долях витрати теплоти на нагрів середньої годинної витрати води до температури, при якій нормується рівень водорозбору ($t_{г.сп} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$) в межах 0,1 ... 0,35. За максимальною витратою теплоти на ГВ виконують тепловий розрахунок водонагрівачів, якщо відсутні баки-акумулятори. Значення середньої витрати теплоти використовують при визначенні розрахункової потужності теплового пункту.

Зниження температури води, яка надходить з водонагрівача в систему ГВП, економічно виправдано. По-перше, зменшуються теплові втрати трубопроводами і по-друге, зі зниженням температури нагріву води з неї в меншій мірі виділяється карбонат кальцію, внаслідок чого менш інтенсивно заростають трубки водонагрівачів і трубопроводи. Але мінімальною температурою у водорозбірних кранах (згідно ДБНу) є температура $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (для

закритих систем тепlopостачання). Таким чином, оптимальна температура нагріву води у водонагрівачі буде визначатися охолодженням її при транспортуванні, тобто тепловими втратами подавальних трубопроводів. В системі ГВ з індивідуальними циркуляційними стояками (див. рис.5.10в) охолодження води до останнього водорозбірного крана при правильно налаштованій циркуляції не перевищує 1,5 – 3,0 °С, тому розрахункову температуру на виході із водонагрівача можна брати 53 °С. Але подібні системи внаслідок підвищеної металоємності в новому будівництві не застосовуються. Для системи, представленої на рис.5.10б, де рушникосушники розташовані на водорозбірних стояках, збільшуються теплові втрати в подавальному трубопроводі і, як наслідок, вода охолоджується інтенсивніше. Тому, щоб доставити до останнього водорозбірного крана воду з температурою не менше 50 °С, температура води на виході з водонагрівача для таких систем повинна складати 60 °С.

В незалежних системах тепlopостачання багатьох споживачів опалення, а також для нагріву води на потреби ГВП, у багатьох теплових пунктах все ще експлуатуються кожухотрубчаті швидкісні секційні водо-водяні підігрівники з довжиною трубок секцій 2000 або 4000 мм. Вони складаються зі сталевих циліндричного корпусу з патрубками, через які надходить теплоносій; трубного пучка з латунних трубок діаметром 16×1 мм, які закріплені в трубних решітках, що приварені до корпусу. Окремі секції з'єднуються між собою калачами. Для попередження прогину трубок у 4-метрових секціях встановлюють 2 опорних кільця з перетинками на відстані 1,6 м від трубних решіток. Опори зі сталевих смуги приварюють до кільця, зовнішній діаметр якого менше внутрішнього діаметра корпусу. Перетинки підтримують трубки, які розташовані через один ряд, таким чином, що кожна трубка при довжині 4 м має тільки одну проміжну точку опори. В іншій опорній перетинці за допомогою відповідних полиць будуть підтримуватися ті ряди трубок, які не підтримуються в першій. Наявна конструкція опор є причиною зниження тепловіддачі при експлуатації або в результаті неправильного монтажу секцій. Якщо, наприклад, при блочній збірці водонагрівачів деякі секції повернути на 90°, то полки опорної перетинки

займуть вертикальне положення і не будуть підтримувати трубки. Трубки при цьому провисають, злипаються, і теплоносій не надходить між ними, а омиває пучок тільки зовні, що різко знижує теплову потужність водонагрівачів. При експлуатації таких установок відбувається недогрів вторинного теплоносія, що доволі часто призводить до перебоїв в теплопостачанні споживачів. Але навіть у правильно зібраних водонагрівальних установках через 3-5 років, як показує досвід практичної роботи, має місце різке зниження їх тепловіддачі внаслідок руйнування опорних перетинок. Розроблена і впроваджена конструкція блоку опорних перетинок, яка покращує ефективність роботи водонагрівачів. Блок опорних перетинок складається із 10 двосекторних опор, які встановлюються зі зміщенням одна відносно іншої на 60° . Кількість опор вибрана із розрахунку забезпечення мінімального прогину трубок. Кожна периферійна трубка має як мінімум три проміжних точки опори і максимальний проліт 1100 мм. Внутрішні трубки мають більшу кількість опор.

Зміщення опорних перетинок, розміщених послідовно, призводить до турбулізації потоку теплоносія в міжтрубному просторі (рух здійснюється подібно гвинтовій лінії), тому збільшується коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія, який рухається у міжтрубному просторі, до поверхні стінок трубок, а також збільшується і коефіцієнт теплопередачі водонагрівача.

Експериментально встановлено, що в чисельник виразу для дійсного коефіцієнта теплопередачі, окрім коефіцієнта використання поверхні теплообміну ϕ необхідно ввести коефіцієнт ефективності теплообміну ψ , який для гладких трубок підігрівача з блоком опорних перетинок беруть 1,2, а для профільованих трубок в підігрівачі з блоком опорних перетинок – 1,65. З іншого боку, підвищення турбулізації потоку води призводить до збільшення гідравлічного опору водонагрівача у міжтрубному просторі в 2-2,5 рази порівняно з наявною конструкцією. Але слід відзначити, що збільшення густини теплового потоку призведе до зменшення необхідної теплопередавальної поверхні, при цьому необхідно буде встановити меншу кількість секцій, що незначно вплине на загальний гідравлічний опір водонагрівальної установки в міжтрубному просторі. Таким чином,

використання водонагрівачів з блоком двосекторних опорних перетинок призводить до зменшення витрати металу (латуні, сталі), збільшення у 2-3 рази терміну експлуатації водонагрівачів, зменшенню площі приміщень для їх встановлення і зменшення витрат на монтаж.

5.6. Основні перешкоди при роботі систем вентиляції та способи їх усунення

Вентиляційні викиди відносяться до низькотемпературних вторинних енергоресурсів (за класифікацією температура низькотемпературних ВЕР менше як 300 °С). В реальних умовах в холодний період року вентиляційні викиди мають температуру $t_{\text{п}} = 23...40$ °С, але завдяки їх великих витратах $L_{\text{п}}$, кг/с, можна утилізувати значні потоки теплоти, що ілюструється рівнянням теплового балансу: $Q_{\text{п}} = L_{\text{п}} c_{\text{п}} t_{\text{п}}$. Вентиляційні викиди зазвичай використовуються для нагрівання припливного повітря в системах вентиляції в холодний період року, для чого можуть бути використані наступні теплоутилізатори:

- регенеративні, що обертаються;
- пластинчасті теплообмінники;
- теплообмінники з проміжним теплоносієм;
- теплоутилізатори рекуперативні на базі теплових труб;
- кондиціонери – утилізатори;
- КТАНи – повітрянагрівачі систем опалення і вентиляції; і т. ін.

Вентиляція вирішує ряд задач із забезпечення санітарно–гігієнічних вимог до параметрів повітря у робочій зоні - температура, відносна вологість, ентальпія, вологовміст, наявність органічних і неорганічних забруднень. Якщо у одному метрі квадратному знаходиться більш ніж 5000 мікроорганізмів повітря вважається брудним.

Тому перевірка включає такі етапи:

- Санітарна перевірка;
- Технічна перевірка;

- Оцінка ефективності. Ефективність вентиляції, ε_v , характеризує зв'язок між концентрацією забруднень в припливному повітрі, витяжному повітрі і в зоні дихання (всередині експлуатованої зони) та обчислюється за формулою:

$$\varepsilon_v = \frac{C_{EHA} - C_{SUP}}{C_{IDA} - C_{SUP}}, \quad (5.18)$$

де C_{EHA} - концентрація забруднень у витяжному повітрі;

C_{IDA} - концентрація забруднень всередині приміщення (в зоні дихання в межах експлуатованої зони);

C_{SUP} - концентрація забруднень в припливному повітрі.

Ефективність вентиляції залежить від розподілу повітря, а також від виду і місця знаходження джерел забруднення повітря. Вона може бути різною для різних видів забруднень. Якщо відбувається повне видалення забруднень, то ефективність вентиляції дорівнює одиниці.

Склад технічної документації, яка повинна бути представлена для здійснення перевірки, включає:

- відомості про категорії приміщень, приміщення з небезпекою по загорянню і підвищеною концентрацією пилу;
- проект вентиляції або його копію на паперовому носії (плани поверхів, розрізи, аксонометричні схеми, плани і розрізи обладнання);
- паспорт вентиляційних систем.

Об'єктом обстеження є вентиляційні системи в цілому, незалежно від того, які приміщення вони обслуговують.

Порядок проведення санітарно-епідеміологічної перевірки:

- провести експертизу і аналіз проектно-паспортної документації;
- оцінити якість робіт з монтажу та налагодження;
- оцінити фактичний стан конструктивних елементів систем вентиляції та їх відповідність проекту і вимогам нормативної літератури;
- провести інструментальні заміри параметрів повітряного середовища в приміщеннях і повітроводах систем вентиляції;

- перевірити, наявність забруднень повітропроводів, каналів органічними і неорганічними відкладеннями;
- виконати забори проб цих відкладень;
- провести аналізи цих відкладень в лабораторних умовах;
- оцінити, ефективність заходів по обслуговуванню систем вентиляції, які регулярно проводяться.

Технічну перевірку і оцінку ефективності роботи та ефективності енергозбереження вентиляційних систем виконують одночасно - це аудит, в ході якого виносяться рішення про технічний стан систем вентиляції та рекомендації по її експлуатації.

- Перевірка включає: - візуальний огляд всіх частин вентиляційних систем, вентиляційного обладнання, повітроводів, вентиляційних шахт, оголовоків вентиляційних каналів на дахах, повітрозабірних пристроїв, припливних центрів на наявність зовнішніх пошкоджень, тріщин і т.д.;
- проведення замірів габаритних розмірів обладнання і перетинів повітроводів і каналів, оцінка їх відповідності проекту і встановленим нормам;
 - перевірка герметичності вентиляційних систем повітроводів, каналів і т.д.;
 - обстеження (наприклад, відеоустаткуванням) на предмет перекриттів вентиляційних каналів, повітропроводів та інших незаконних втручань, забруднень або поломок;
 - проведення інструментальних замірів параметрів повітряного середовища в приміщеннях і повітроводах систем вентиляції;
 - перевірка відповідності раніше проведених робіт вимогам нормативної літератури та проекту;
 - аналіз технічної та проектної документації по вентиляційним системам об'єкту;
 - проведення санітарно-гігієнічних, епідеміологічних досліджень, забір і виконання аналізів;
 - інструментальні виміри вентиляційних систем її елементів і обладнання;

- проведення порівняння за фактом вимірів характеристик вентиляторів, кондиціонерів і калориферів і др. обладнання із заводськими паспортними даними на обладнання і з розрахунковими показниками проекту.

Виявлення існуючих невідповідностей в роботі вентиляційних систем дає можливість: завчасно усунути несправності і запобігти виникненню позаштатних ситуацій; збільшити термін експлуатації всього комплексу; забезпечити відповідність параметрів повітря існуючим нормам; зменшити енерговитрати при експлуатації систем вентиляції.

При оцінці ефективності роботи вентиляції і прийнятих проектних рішень виконують обстеження і заміри повітрообмінів приміщень і кожного поверху окремо. Для запобігання підвищених втрат теплоти і перетоків вентиляційного повітря між поверхами рекомендується дотримуватися повітряного балансу на поверсі. Це допоможе запобігти додатковим тепловтратам, які виникають при:

- негативному повітряному балансі в приміщеннях створюється розрідження, що сприяє підвищеній інфільтрації і, відповідно, підвищенню втрат теплоти на нагрів інфільтраційного повітря;

- позитивному повітряному балансі в приміщеннях створюється надлишковий тиск, що призводить до зайвого видалення теплого внутрішнього повітря через витяжні природні системи вентиляції, аеродинамічні прорізи, щілини, нещільності і т.д.

Відносно системи вентиляції висновок може бути одним з наступних:

- система чиста - на поверхнях повітропроводів і каналів внутрішніх поверхонь вентиляційного обладнання не виявлено видимих забруднень, зон вологості, лабораторні аналізи показують відповідність параметрам санітарних норм;

- систему необхідно піддати дезінфекції та очищенню - в ході обстеження на поверхнях повітропроводів і каналів, внутрішніх поверхнях вентиляційного обладнання виявлені видимі забруднення, виділення вологи, присутність мікроорганізмів. При роботі вентиляційних систем частинки сажі, пилу або бруду потрапляють з системи вентиляції в приміщення.

Паспорт вентиляційної системи - це технічний документ, який містить відомості про склад і параметри вентиляційної системи з аеродинамічними

випробуваннями вентилятора, з вимірами витрат повітря і з кресленням обладнання та повітропроводів на аксонометричній схемі вентиляційної системи. Паспорт вентиляційної установки необхідний для оцінки фактичного стану та ефективності вентиляційної системи; для визначення відповідності вентиляційної системи нормам і проекту.

Паспорт вентиляційної системи містить:

- найменування, призначення і розташування вентиляційної установки;
- перелік обладнання з маркуванням двигунів вентиляторів для кожної вентиляційної системи.
- технічні характеристики вентилятора, електродвигуна, повітряного фільтра, зволожувача, калорифера, перетину повітропроводів;
- аксонометрична схема на кожну систему вентиляції з позначенням устаткування та точок вимірів витрати повітря.
- фактичні виміри витрат повітря на ділянках системи і проектні (нормовані) значення вказуються в таблиці;
- додатково, до паспортів, може бути прикладений ескізний план розташування повітропроводів і вентиляторів на планах об'єкту.

5.7. Обстеження стану обладнання систем кондиціонування повітря

При обстеженні систем кондиціонування повітря можуть застосовуватися такі аспекти для оцінки енергоефективності будівель і відповідності характеристик системи: відповідність системи кондиціонування повітря первинному проекту і подальшим змінам, фактичні вимоги до зазначених систем та існуючий стан будівлі; коректність функціонування системи; працездатність і налагодження різних регулюючих пристроїв; працездатність і приєднання різних елементів системи кондиціонування повітря; споживана потужність і загальна вихідна потужність. Під час регулярного обстеження системи кондиціонування повітря виконуються наступні дії:

- визначають тип системи кондиціонування повітря;

- перевіряють технічну документацію, оцінюють повноту, актуальність та відповідність проектній документації системи кондиціонування повітря, яка містить базові енергетичні баланси, проект та визначення розмірів окремих частин системи, документації щодо введення системи в експлуатацію, особливо, результати вимірювання витрат повітря на окремих ділянках системи, документації щодо змін до системи з часу її введення в експлуатацію, журнал експлуатації системи кондиціонування повітря та інша документація з експлуатації.

Якщо зазначеної документації недостатньо, проводиться збір мінімально необхідного обсягу інформації про систему кондиціонування та режим використання будівлі.

Слід провести перевірку відповідності документації та фактично встановлених елементів. Невідповідності заносяться до протоколу. Проектну документацію, в якій визначені основні проектні критерії, за наявності, зіставляють з фактично встановленим обладнанням.

Робочі креслення або монтажні схеми порівнюють з фактично встановленим обладнанням і його використанням. Перелік обладнання повинен бути отриманий або складений заздалегідь. При можливості порівнюють термін введення в експлуатацію з тривалістю експлуатації існуючої системи.

В існуючих будівлях проектна документація на системи кондиціонування може бути неповною або навіть бути відсутня. Можливо, що наявна документація частково застаріла, якщо протягом терміну експлуатації будівлі проводилась незадокументована зміна режиму використання, навантажень, конструктивних елементів або інженерних систем будівлі. В цьому випадку встановлюють, яка документація відсутня або застаріла.

Проводиться обстеження системи кондиціонування повітря, що включає перевірку відповідності встановлених компонентів проектній документації, визначення різниці в температурі між входом та виходом холодильних агрегатів, визначення надмірного шуму та вібрації під час експлуатації холодильних агрегатів, перевірку повноти та цілісності теплової ізоляції, перевірку правильної експлуатації вихідного пристрою для повітря

зовнішнього постачання та підігрітого повітря, обстеження вентиляційних каналів, включаючи дроселі, контроль за засувками пожежної безпеки, зокрема, цілісність вентиляційних каналів, функціональності засувок, перевірку системи контролю, наприклад, датчики температури, активатори для регулюючих клапанів і повітряних засувок, таймерів.

Оцінюють рівень технічного обслуговування на основі висновків очевидних ознак діяльності з технічного обслуговування та записів щодо ремонту та технічного обслуговування. Перевіряють функціональність системи кондиціонування повітря шляхом проведення випробувань, як працює система кондиціонування повітря під час експлуатації усіх функцій згідно з інструкціями постачальника та перевіряється досягнення максимальних і мінімальних показників; випробування повинні проводитись під час експлуатації, коли забезпечується достатнє споживання холоду та тепла.

Для проведення вимірювань в системі кондиціонування повинні бути встановлені прилади для вимірювання основних параметрів. Регулярна реєстрація показників зазначених приладів може використовуватися при оцінюванні роботи системи кондиціонування. Якщо реєстрація витрати енергії проводилась регулярно, то оцінка може бути проведена за номінальною споживаною потужністю і зареєстрованою витратою енергії з урахуванням обладнання, що працює відповідно до режиму експлуатації будівлі. В інших випадках під час обстеження власнику будівлі видають рекомендації зі зниження витрати енергії.

У разі встановлених вимірювальних приладів, але при відсутності записів про витрату енергії при обстеженні власнику будівлі рекомендують регулярно реєструвати показання приладів. При відсутності приладу для вимірювання витрати енергії рекомендують встановити зазначений прилад як мінімум на елементі системи кондиціонування з найбільшою витратою енергії і в подальшому регулярно реєструвати витрату енергії.

Оцінюють споживання енергії системою кондиціонування повітря, оцінюють показники системи кондиціонування повітря у порівнянні з потребами будівлі в опаленні та охолодженні і пропонують заходи для заміни системи

кондиціонування повітря, коригування до системи кондиціонування повітря або альтернативні рішення згідно з відповідними технічними стандартами.

Кожна система кондиціонування повітря оцінюватиметься окремо незалежно від кількості інших систем кондиціонування, які є частиною будівлі.

При розробці рекомендацій щодо вдосконалення системи кондиціонування повітря і альтернативних рішень користувачі повинні отримати пропозиції щодо можливості удосконалення або по заміні системи кондиціонування, а також з альтернативних вирішень. У пропозиціях необхідно враховувати аспекти, які головним чином спрямовані на вдосконалення фактичного режиму експлуатації будівлі;

Основні етапи, які виконує персонал із обслуговування систем вентиляції:

- Візуальний огляд обладнання та перевірка елементів кріплення;
- Очищення корпусів зовнішнього та внутрішнього блоків;
- Заміна розхідних матеріалів;
- Контроль та коригування робочих показників;
- Вимірювання електричних показників;
- Обслуговування припливного та витяжного клапанів;
- Комплекс робіт з холодного контуру;
- Комплекс робіт з гарячого контуру;
- Перевірка тенівих груп;
- Перевірка та очищення вентиляторів;
- Тестування показників роботи автоматики;
- Тестовий запуск з налаштуванням обладнання та перевіркою робочих показників та інше.

В діагностику системи кондиціонування входить також визначення технічного стану обладнання, виявлення несправності в системі, а саме:

- компресора, теплообмінника, вентилятора зовнішнього блоку, турбіни внутрішнього блоку і т.д.;
- електронних плат внутрішнього та зовнішнього блоків;
- виявлення тріщин у фреономагістралі;
- перевірка міжблочного кабелю і кабелю електроживлення;

- перевірка цілісності дренажної системи.

Основні неполадки при роботі обладнання систем КП на основі спліт кондиціонерів:

- кондиціонер став гірше охолоджувати;
- кондиціонер не охолоджує або не обігріває;
- кондиціонер самостійно вимикається;
- зовнішній блок кондиціонера має механічні пошкодження;
- сторонні шуми та вібрація;
- відчувається запах горілого або запах мастила;
- при вмиканні багаторазово лунає системний звук;
- увімкнутий індикатор помилки;
- з кондиціонера тече вода.

Розділ 7.

Енергетична ефективність будівель

7.1. Основні поняття та визначення енергоефективності

У 2017 році було затверджено Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>, який визначає правові, соціально-економічні та організаційні засади діяльності у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель і спрямований на зменшення споживання енергії у будівлях. В цьому законі визначені основні терміни щодо енергоефективності будівель, зокрема:

- **енергетична ефективність будівлі** - властивість будівлі, що характеризується кількістю енергії, необхідної для створення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей у такій будівлі;
- **енергетичний аудит будівель** - систематизований процес оцінки ефективності споживання (використання) енергії будівлею або групою будівель у межах обсягу робіт, визначених замовником енергетичного аудиту будівлі, з метою визначення економічно обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі або групи будівель;
- **енергетичний сертифікат** - електронний документ встановленої форми, в якому зазначено показники та клас енергетичної ефективності будівлі, наведено сформовані у встановленому законодавством порядку рекомендації щодо його підвищення, а також інші відомості, визначені законодавством;
- **енергоефективні заходи** - заходи, спрямовані на зменшення обсягів питомого споживання енергії (підвищення рівня енергетичної ефективності) в будівлі, за умови забезпечення належних умов проживання та/або життєдіяльності людей у такій будівлі;

- ***інженерні системи*** - комплекс технічних установок та внутрішніх інженерних мереж будівлі (її відокремлених частин), призначених для опалення, охолодження, кондиціонування, вентиляції, постачання гарячої води, освітлення, автоматизації, управління енергоспоживанням чи для поєднання цих функцій;
- ***клас енергетичної ефективності будівлі*** - позначення (маркування) властивості будівлі, що відповідає розрахунковому рівню енергетичної ефективності будівлі, визначене за інтервалом значень загального показника енергетичної ефективності, що встановлюється відповідно до вимог законодавства у сфері енергетичної ефективності будівель;
- ***мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель*** - вимоги до показників енергетичної ефективності будівель, інженерних систем та їх елементів, теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій;
- ***сертифікація енергетичної ефективності*** - вид енергетичного аудиту будівель, під час якого здійснюється аналіз використання енергії в будівлі, інформації про характеристики огорожувальних конструкцій та інженерних систем, оцінюється відповідність енергетичної ефективності встановленим мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель та надаються рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівлі, що враховують місцеві кліматичні умови, є технічно та економічно обґрунтованими;
- ***термомодернізація будівель*** (термомодернізація) - комплекс робіт на прийнятому в експлуатацію закінченому будівництвом об'єкті, результатом яких є підвищення показників енергетичної ефективності будівлі, інженерних систем та їх елементів, теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій до рівня не нижче мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель;

Визначення енергетичної ефективності будівель відбувається відповідно до наказу Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 169 від 11.07.2018 «Про

затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#n14> . Відповідно до цього наказу до **показників енергетичної ефективності будівель** належать:

- питома енергопотреба на опалення, охолодження, постачання гарячої води;
- питома енергоспоживання при опаленні;
- питома енергоспоживання при охолодженні;
- питома енергоспоживання при постачанні гарячої води;
- питома енергоспоживання систем вентиляції;
- питома енергоспоживання при освітленні;
- питома енергоспоживання первинної енергії;
- питома енергоспоживання викидів парникових газів.

Показники енергетичної ефективності будівлі характеризують ефективність використання енергії для потреб систем опалення, охолодження, постачання гарячої води, вентиляції та освітлення, встановлюють граничні межі витрат енергії вказаними інженерними системами, використовуються при проектуванні, будівництві, прийнятті в експлуатацію, та подальшій експлуатації з урахуванням категорії відповідальності будівлі і класу її енергетичної ефективності.

У ДБН В.1.2-11:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність» вказано, що **енергетична ефективність будівлі** представляється загальним показником **EP**, який відносять до кондиціонованої (опалювальної) площі A_f або до кондиціонованого (опалювального) об'єму будівлі V .

У ДБН В.1.2-11:2021 показниками **енергетичної ефективності будівлі** вказані:

- енергопотреба будівлі **EP_{nd}**;
- енергоспоживання будівлі **EP_{use}**;
- доставлена енергія **EP_{del}**;
- первинна енергія **EP**;
- маса викидів парникових газів **m_{CO2}**.

Показник енергопотребности будівлі EP_{nd} включає потреби в енергії будинком на опалення, вентиляцію, охолодження (зокрема на попереднє нагрівання/охолодження вентиляційного повітря) та постачання гарячої води.

Показник енергоспоживання будівлі EP_{use} включає витрати енергії на опалення (опалення приміщень/теплової зони, попереднє нагрівання вентиляційного повітря, допоміжна енергія системи опалення), охолодження (охолодження приміщень/теплової зони, попереднє охолодження вентиляційного повітря, зокрема осушення, допоміжна енергія системи охолодження).

Показник доставленої енергії EP_{del} включає витрати енергії на опалення (опалення приміщень/теплової зони, попереднє нагрівання вентиляційного повітря, допоміжна енергія системи опалення), вентиляцію (вентилятори), охолодження (охолодження приміщень/теплової зони, попереднє охолодження вентиляційного повітря, зокрема осушення, допоміжну енергію системи охолодження), постачання гарячої води (нагрівання води, допоміжна енергія системи постачання гарячої води), освітлення.

Показники первинної енергії E_p та викидів парникових газів m_{CO_2} повинні включати всі енергетичні потоки будівлі з урахуванням доставленої енергії та енергії, що виробляється будівлею, на підставі встановлених у нормах та стандартах факторів перетворення енергії від відновлювальних та невідновлювальних джерел.

Чисельні значення показників енергетичної ефективності будівлі встановлюються ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель».

Відповідно до ДБН В.2.6-31, житловий або громадський будинок в цілому чи їх відокремлені частини вважаються енергоефективними, якщо виконується умова:

$$EP_{use} \leq EP_p, \quad (7.1)$$

де EP_{use} – річне розрахункове або фактичне значення загального показника питомого енергоспоживання на опалення та охолодження житлового (кВт·год/м²) або громадського будинку (кВт·год/м³), визначається:

- для житлових будинків та готелів:

$$EP_{use} = \frac{(Q_{H,use} + Q_{C,use})}{A_f} \quad (7.2)$$

- для громадських будівель:

$$EP_{use} = \frac{(Q_{H,use} + Q_{C,use})}{V} \quad (7.3)$$

EP_p - граничне значення питомого енергоспоживання на опалення та охолодження житлового (кВт·год/м²) або громадського будинку (кВт·год/м³), приймається відповідно до Наказу Міністерства розвитку громад та територій України № 260 від 27.10.2020 «Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text> (табл.7.1.) залежно від призначення будівлі, її поверховості або показника компактності, температурної зони місця будівництва.

Таблиця 7.1.

**Граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні житлових та громадських будівель
(Наказ № 260 від 27.10.2020)**

№ з/п	Вид будівлі (еталонні будівлі)	Граничне значення питомого енергоспоживання будівель при опаленні та охолодженні, EP_p , кВт·год/м ² [кВт·год/м ³], для температурної зони України	
		I	II
	Будівлі житлові (поверховість):		
	від 1 до 3	120	110
	від 4 до 9	85	75

	від 10 до 16	75	70
	17 і більше	70	65
	Громадські будівлі (поверховість):		
	від 1 до 3	$[38\Lambda_{bci} + 15]$	$[34\Lambda_{bci} + 13]$
	від 4 до 9	[30]	[25]
	10 і більше	[25]	[20]
	Окремі типи громадських будівель:		
3.1	Будівлі готельні	$57\Lambda_{bci} + 60$	$50\Lambda_{bci} + 55$
3.2	Будівлі закладів освіти	$[55\Lambda_{bci} + 24]$	$[52\Lambda_{bci} + 23]$
3.3	Будівлі закладів дошкільної освіти	[32]	[28]
3.4	Будівлі закладів охорони здоров'я	[30]	[26]
3.5	Будівлі торгівельні	$[33\Lambda_{bci} + 17]$	$[26\Lambda_{bci} + 15]$
	Примітка: Λ_{bci} - коефіцієнт компактності будівлі, m^{-1} .		

Розрахунковий коефіцієнт компактності будівлі Λ_{bci} визначається за формулою:

$$\Lambda_{bci} = A_{\Sigma} / V \quad (7.4)$$

де $Q_{H,use}$, $Q_{C,use}$ - річне енергоспоживання будівлі відповідно на опалення та охолодження, кВт·год, визначаються відповідно до ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, освітлення та гарячого водопостачання»;

A_{Σ} — загальна площа внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожувальних конструкцій, включаючи покриття (перекриття) верхнього поверху і перекриття (підлоги) нижнього опалюваного приміщення, m^2 ;

V — кондиціонований (опалювальний) об'єм будівлі, рівний об'єму обмеженому внутрішніми поверхнями зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків, m^3 .

7.2. Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель

Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель наведені у Наказі № 260 від 27.10.2020 р. Вони були встановлені на основі розрахованих для еталонних будівель даних, з урахуванням вимог до теплотехнічних

характеристик огорожувальних конструкцій та енергетичної ефективності інженерних систем (у тому числі обладнання) будівель, відповідно до економічно доцільного рівня із врахуванням вартості дисконтованих загальних витрат на здійснення заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності відносно розрахункового строку служби кожної еталонної будівлі, та диференціюються залежно від функціонального призначення, висотності будівель та виду будівельних робіт.

Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель *не застосовуються*:

- при виконанні будівельних робіт з відновлення окремих конструкцій будівель та споруд, з метою ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій (аварій) та відновлення функціонування об'єктів, призначених для забезпечення життєдіяльності населення, без зміни їх геометричних розмірів;
- при реконструкції, капітальному ремонті частин будівлі (приміщень чи їх сукупності), які не є її відокремленою частиною.

Мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівлі залежно від виду будівельних робіт приймаються наступними:

1. *При новому будівництві, реконструкції, що веде до зміни функціонального призначення будівлі, основним показником енергетичної ефективності будинку є клас енергетичної ефективності будинку.*

Відповідно до Наказу Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 169 від 11.07.2018 «Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#n14>, клас енергетичної ефективності будівель встановлюється залежно від показника, Δ_{EP} , %, який є відсотковою різницею між загальним показником питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_{use} , кВт·год/м², [кВт·год/м³] та граничним значенням питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_p , кВт·год/м², [кВт·год/м³], й розраховується за формулою:

$$\Delta_{EP} = [(EP_{use} - EP_p) / EP_p] \times 100, \quad (7.5)$$

де EP_{use} - загальний показник питомого енергоспоживання на опалення та охолодження, що розраховується за формулою:

$$EP_{use} = EP_{H,use} + EP_{C,use}, \quad (7.6)$$

де $EP_{H,use}$ - питома енергоспоживання при опаленні, кВт·год/м² [кВт·год/м³];

$EP_{C,use}$ - питома енергоспоживання при охолодженні, кВт·год/м² [кВт·год/м³].

EP_p - граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні житлових та громадських будівель (табл.7.1.).

Загалом в Україні існує сім класів енергетичної ефективності будівель від А до G (рис. 7.1.).



Рис. 7.1. Класи енергетичної ефективності будівлі

Найгірші показники енергоефективності будинку відповідають класу G, а найкращі - класу А. Відповідність показника Δ_{EP} , %, класу енергетичної ефективності будинку наведені у табл.7.2.

Клас енергетичної ефективності будівлі
(Наказ № 169 від 11.07.2018)

Клас енергетичної ефективності будівлі	Відсоткові показники, Δ_{EP}
A	$\Delta_{EP} < -50$
B	$-50 \leq \Delta_{EP} < -20$
C	$-20 \leq \Delta_{EP} \leq 0$
D	$0 < \Delta_{EP} \leq 20$
E	$20 < \Delta_{EP} \leq 35$
F	$35 < \Delta_{EP} \leq 50$
G	$50 < \Delta_{EP}$

При новому будівництві, реконструкції, що веде до зміни функціонального призначення будівлі, мінімальним класом енергетичної ефективності є клас "С".

2. При реконструкції, капітальному ремонті будівель в цілому або їх відокремлених частин мінімальною вимогою є виконання умови:

$$EP_{use} \leq 1,2 \cdot EP_p, \quad (7.7)$$

де EP_{use} - загальний показник питомого енергоспоживання на опалення та охолодження, кВт·год/м², (кВт·год/м³);

EP_p - граничне значення питомого енергоспоживання на опалення та охолодження житлових та громадських будівель, кВт·год/м², (кВт·год/м³).

3. При реконструкції, капітальному ремонті, визначених проектною документацією частин будівлі (окремих огорожувальних конструкцій в цілому), мінімальною вимогою є виконання умови:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q min}, \quad (7.8)$$

де $R_{\Sigma пр}$ - приведений опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K / Wt$, визначається за ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель;

$R_{q \min}$ - мінімально допустиме значення опору теплопередачі, $m^2 \cdot K / Wt$, яке визначається з ДБН В.2.6-31:2021 залежно від виду огорожувальної конструкції та температурної зони місця будівництва та наведене у табл.7.3.

Таблиця 7.3.

**Мінімально допустиме значення опору теплопередачі
(ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель)**

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q \min}$, $m^2 \cdot K / Wt$, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50
2.	Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	7,00	6,00
3	Покриття опалювальних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалювальних горищ	6,00	5,50
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям, та над неопалюваними підвалами	5,00	4,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90	0,70
6	Зенітні ліхтарі	0,80	0,70
7	Зовнішні двері	0,70	0,60

4. Мінімальною вимогою до енергоефективності інженерних систем є клас енергоефективності технічного оснащення, автоматизації, моніторингу й управління інженерних систем, який приймається не нижче класу енергоефективності будівлі.

7.3. Методи оцінювання енергетичної характеристики будівель

Енергетичне оцінювання будівель здійснюється з метою:

а) проведення оцінки відповідності будівельним нормам та правилам, вираженої через обмеження на використання енергії або відповідну величину;

б) забезпечення прозорості комерційних операцій за рахунок енергетичної сертифікації та/або демонстрації рівня енергетичної ефективності (сертифікація енергетичної ефективності);

в) моніторингу енергетичної ефективності будівлі та її інженерних систем;

г) допомоги при плануванні заходів з модернізації шляхом прогнозування економії енергії, яка може бути отримана від різних заходів.

Оцінка енергетичних характеристик будівель здійснюється відповідно до ДСТУ Б EN 15603:2013. Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки. Залежно від мети енергетичної сертифікації *методи оцінювання енергетичних характеристик будівель* бувають (ДСТУ Б В.2.2-39:2016. Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель):

- розрахунковий метод за проектними даними;
- розрахунковий метод за проектними даними та результатами технічних обстежень;
- розрахунково-вимірювальний метод;
- вимірювальний (експлуатаційний) метод.

Розрахунковий метод за проектними даними використовується для будівель, що здаються в експлуатацію, і, які мають документацію з авторського нагляду, яка підтверджує повну відповідність будівельних робіт проектним рішенням. Енергетичні характеристики будівлі визначаються за розрахунковими параметрами теплового режиму приміщень залежно від функціонального призначення будівлі, розрахунковими кліматичними параметрами навколишнього середовища та проектними параметрами конструкцій теплоізоляційної оболонки і інженерних систем на підставі наступних вхідних даних:

- Кліматичних параметрів території експлуатації будівлі.
- Функціонального призначення, енергетичного навантаження та особливостей використання будівлі.

- Техніко-будівельних характеристик теплоізоляційної оболонки та інженерних систем будівлі.
- Розрахункових значень температури повітря у приміщеннях будівлі.
- Проектного значення повітрообміну у характерних приміщеннях будівлі.

Розрахунковий метод за проектними даними та результатами технічних обстежень використовується для будівель, що експлуатуються, і для будівель, що здаються в експлуатацію, які не мають проектної документації у необхідному обсязі та документації з авторського нагляду, що підтверджує відповідність будівельних робіт проектним рішенням. Доповнення необхідної для розрахунків інформації здійснюється за результатами технічних обстежень. Енергетичні характеристики будівлі визначаються за розрахунковими кліматичними параметрами навколишнього середовища і даними за результатами вимірювань:

- Фактичних конструктивних параметрів основних елементів теплоізоляційної оболонки і встановлення їх відповідності даним, наведеним у проекті.
- Наявності всіх типів та марок основних елементів інженерних систем, встановлення їх відповідності даним, наведеним у проекті, та перевірки їх робочого стану.
- Фактичних значень температури повітря у характерних приміщеннях будівлі.
- Фактичних значень повітрообміну у характерних приміщеннях будівлі.

Розрахунково-вимірвальний метод використовується для будівель, що експлуатуються, і для будівель, що здаються в експлуатацію, для визначення і проведення детального аналізу фактичних енергетичних та теплотехнічних показників будівель, розроблення енергозберігаючих заходів, обґрунтованих результатами інструментальних теплових вимірювань. Енергетичні характеристики будівлі визначаються за результатами вимірювань:

- Фактичних значень температури повітря у характерних приміщеннях будівлі.
- Фактичних значень температури зовнішнього повітря.

- Фактичних значень опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.
- Фактичних значень повітрообміну у характерних приміщеннях будівлі та повітропроникності огорожувальних конструкцій.
- Фактичних витрат теплової та електричної енергії.
- Вологості матеріалів шарів огорожувальних конструкцій.

Результати вимірювань перераховують на розрахункові температурні умови зовнішнього повітря та внутрішнього повітря за умови теплового балансу.

При розрахунково-вимірювальному методі обов'язковою умовою його проведення є наявність температурного напору не менше ніж 15 К.

Вимірювальний (експлуатаційний) метод використовується для визначення фактичного енергоспоживання будівлі, що експлуатується. Вимірювальний метод застосовується при проведенні енергетичної сертифікації існуючої будівлі та/або її інженерних систем з використанням енергоаудиторів спеціальних технічних засобів вимірювання поточних та/або інтегральних параметрів, а також з використанням існуючих стаціонарних систем контролю та обліку поточних та інтегральних параметрів будівлі та її інженерних систем. Метод дає можливість отримати найбільш об'єктивну та достовірну інформацію щодо теплоізоляційних показників огорожувальних конструкцій, характеристик інженерного обладнання та рівня енергоспоживання досліджуваної будівлі.

Межі оцінювання енергетичної ефективності повинні бути чітко визначені перед оцінюванням. Визначення меж та зони будівлі наведені у ДСТУ 9190:2022. Межі будинку формують з усіх елементів будівлі, що відокремлюють кондиціонований об'єм або об'єми, які розглядають, від зовнішнього навколишнього середовища (повітря, ґрунт, вода) або від суміжних будівель чи некондиціонованих об'ємів, використовуючи внутрішні габаритні розміри.

7.4. Сертифікація енергетичної ефективності будинків

З 1 липня 2019 року Законом України «Про енергетичну ефективність будівель» запроваджена обов'язкова сертифікація енергетичної ефективності будівлі.

Відповідно до Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» під **сертифікацією енергетичної ефективності** розуміється «вид енергетичного обстеження (аудиту), під час якого здійснюється аналіз інформації щодо фактичних або проєктних характеристик огорожувальних конструкцій та інженерних систем, оцінюється відповідність розрахункової енергетичної ефективності будівель та надаються рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності будівель, що враховують місцеві кліматичні умови, які є технічно та економічно обґрунтованими».

Відповідно до Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» **обов'язкова сертифікація енергетичної ефективності є для:**

- 1) Об'єктів будівництва (нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту), що за класом наслідків (відповідальності) належать до об'єктів із середніми (СС2) та значними (СС3) наслідками, що визначаються відповідно до Закону України "Про регулювання містобудівної діяльності" (сюди відносяться всі нові багатоквартирні будинки);
- 2) Будівель, у яких мають намір здійснювати термомодернізацію та/або енергоефективні заходи, спрямовані на підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, для здійснення яких надається державна підтримка;
- 3) Державних будівель з опалювальною площею понад ніж 250 м², у всіх приміщеннях яких розташовані органи державної влади;
- 4) Будівель комунальної власності з опалювальною площею понад 250 м², у всіх приміщеннях яких розташовані органи місцевого самоврядування;
- 5) Будівель комунальної власності з опалювальною площею понад 250 м², які часто відвідують громадяни.

Положення Закону «Про енергетичну ефективність будівель» щодо обов'язковості дотримання мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель та обов'язковості сертифікації енергетичної ефективності **не поширюються на:**

- 1) індивідуальні (садибні) житлові будинки, садові, дачні будинки (крім випадків отримання державної підтримки на здійснення термомодернізації);
- 2) будівлі, які є об'єктами культурної спадщини;
- 3) окремо розташовані будівлі з опалюваною площею менше 50 м².

Перелік будівель промислового та сільськогосподарського призначення, об'єктів енергетики, транспорту, зв'язку, оборони, складів, будівель, призначених для проведення богослужінь і релігійних заходів релігійними організаціями, та інших будівель, на які не поширюються мінімальні вимоги до енергетичної ефективності будівель та, які не підлягають сертифікації енергетичної ефективності, встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Сертифікація енергетичної ефективності будівель здійснюється після завершення будівництва перед прийняттям об'єкта в експлуатацію.

Сертифікація енергетичної ефективності будівлі проводиться відповідно до Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності, який наведений у Наказі Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 № 172 «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0825-18#Text>.

Порядок проведення сертифікації енергетичної ефективності будівель визначає:

- 1) вимоги до процедури збору та обробки інформації про характеристики огорожувальних конструкцій та інженерних систем;
- 2) вимоги до процедури оцінки відповідності розрахункового рівня енергетичної ефективності встановленим мінімальним вимогам до енергетичної ефективності;

- 3) вимоги до процедури розроблення рекомендацій щодо підвищення рівня енергетичної ефективності;
- 4) форму та зміст енергетичного сертифіката;
- 5) форму та зміст витягу з енергетичного сертифіката;
- 6) порядок виготовлення енергетичного сертифіката;
- 7) форму та перелік показників вихідних даних, що використовувалися для виготовлення енергетичного сертифіката;
- 8) методика визначення енергетичної ефективності будівель;
- 9) інші вимоги до сертифікації енергетичної ефективності будівель та їх результатів.

Сертифікація енергетичної ефективності будівель здійснюється на замовлення та за рахунок замовника. Сертифікація енергетичної ефективності будівель, що не підлягають обов'язковій сертифікації, здійснюється за рішенням власника (співвласників).

За результатами сертифікації енергетичної ефективності складається енергетичний сертифікат і витяг з енергетичного сертифіката.

7.5. Вимоги до змісту та форми енергетичного сертифікату

Відповідно до Закону України «Про енергетичну ефективність будівель», енергетичний сертифікат – це електронний документ встановленої форми, в якому зазначено показники та клас енергетичної ефективності будівлі, наведено сформовані у встановленому законодавством порядку рекомендації щодо його підвищення, а також інші відомості, визначені законодавством.

Енергетичний сертифікат розробляється енергоаудитором будівель з використанням Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва. Енергетичний сертифікат виконується на основі результатів, які наведені у звіті з енергетичного аудиту будівлі (див. Розділ 8.).

Строк дії енергетичного сертифіката становить **10 років**. Енергетичний сертифікат вважається таким, що набрав чинності, з дня присвоєння йому реєстраційного номера у Єдиній державній електронній системі у сфері

будівництва. Енергетичний сертифікат вважається таким, що втратив чинність до закінчення встановленого строку дії, у разі складення для такої будівлі нового енергетичного сертифіката.

Доступ до енергетичних сертифікатів будівель є відкритим та безоплатним через портал Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва.

Вимоги до форми та змісту енергетичного сертифіката, а також порядок його виготовлення, наведені у Наказі Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 № 172 «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката».

В енергетичному сертифікаті зазначається така інформація:

- 1) адреса (місцезнаходження) будівлі;
- 2) ідентифікатор об'єкта будівництва - зазначається лише для об'єктів, яким присвоєно ідентифікатор об'єкта будівництва або закінченого будівництвом об'єкта до видачі енергетичного сертифіката);
- 3) відомості про об'єкт сертифікації;
- 4) функціональне призначення та назва будівлі;
- 5) відомості про конструкцію будівлі;
- 6) фотографія;
- 7) шкала класів енергетичної ефективності;
- 8) клас енергетичної ефективності;
- 9) питоме енергоспоживання;
- 10) питоме споживання первинної енергії;
- 11) питомі викиди парникових газів;
- 12) дані енергоаудитора;
- 13) номер та дата реєстрації;
- 14) характеристики огорожувальних конструкцій будівлі;
- 15) опис виявленого стану огорожувальних конструкцій;

16) показники енергетичної ефективності та фактичного енергоспоживання будівлі визначені за результатами сертифікації та встановлені мінімальні вимоги до енергетичної ефективності, зокрема:

- питома енергопотреба;
- питоме енергоспоживання;
- питоме споживання первинної енергії;
- питомі викиди парникових газів, $\text{кг}/\text{м}^2$.

17) показники енергоспоживання будівлі: абсолютні значення річного споживання енергії інженерними системами будівлі за рік та питомі показники щодо обсягів споживання енергії інженерними системами будівлі, визначені за результатами сертифікації та за показами відповідних приладів обліку, зокрема:

- річне енергоспоживання при опаленні, тис. кВт·год;
- річне енергоспоживання при охолодженні, тис. кВт·год;
- річне енергоспоживання при постачанні гарячої води, тис. кВт·год;
- річне енергоспоживання при вентиляції, тис. кВт·год;
- річний обсяг енергоспоживання при освітленні, тис.кВт·год;
- питоме енергоспоживання при опаленні;
- питоме енергоспоживання при охолодженні;
- питоме споживання енергії при постачанні гарячої води;
- питоме енергоспоживання на роботу механічної вентиляції;
- питоме енергоспоживання при освітленні.

18) діаграма річного енергоспоживання будівлі;

19) причини відхилення обсягів споживання, визначених за результатами сертифікації, від обсягів споживання, визначених за показами відповідних приладів обліку;

20) характеристики інженерних систем будівлі, виявлені за результатами сертифікації енергетичної ефективності будівлі;

21) рекомендації щодо забезпечення (підвищення рівня) енергетичної ефективності.

Без наявності сертифікату не можливо пройти експертизу та здати об'єкт в експлуатацію.

Форма енергетичного сертифіката, яка наведена у Наказі Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 № 172 «Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката» представлено на рис.7.2. - рис.7.5. На **титульному аркуші** (рис. 7.2.) відображаються основні дані по об'єкту, що сертифікується, такі як:

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СЕРТИФІКАТ БУДІВЛІ

Адреса (місцезнаходження) будівлі: _____

Функціональне призначення та назва: _____

Відомості про конструкцію будівлі:

загальна площа, м²: _____
загальний об'єм, м³: _____
опалована площа, м²: _____
опалований об'єм, м³: _____
кількість поверхів: _____
рік прийняття в експлуатацію: _____
кількість під'їздів або входів: _____

ФОТО

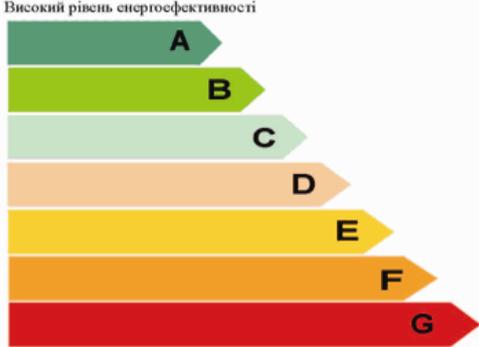
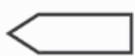
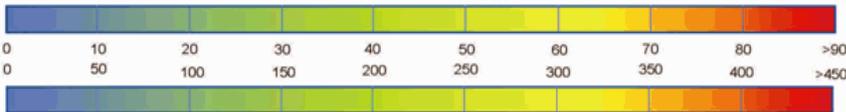
Шкала класів енергетичної ефективності	Клас енергетичної ефективності
Високий рівень енергоефективності	
	
Низький рівень енергоефективності	
Питоме споживання енергії на опалення, гаряче водопостачання, охолодження будівлі	
Питоме споживання первинної енергії, кВт x год/м ² за рік	
	
Питомі викиди парникових газів, кг/м ² за рік: _____	
Серія та номер кваліфікаційного атестата енергоаудитора _____	

Рис. 7.2. Титульний аркуш енергетичного сертифікату

На **другому аркуші** (рис.7.3.) наводиться характеристика огорожувальних конструкцій будинку, зокрема детальна інформація параметрів огорожувальних конструкцій будинку та опис їх стану, а також проводиться їх оцінювання відповідно до діючих норм.

I. Характеристики огорджувальних конструкцій будівлі

Вид огорджувальної конструкції	Значення опору теплопередачі огорджувальної конструкції, (м ² ·К/Вт)		Площа А, (м ²)
	Визначене за результатами сертифікації	Встановлені мінімальними вимогами до енергетичної ефективності	
Зовнішні стіни			
Суміщені покриття			
Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів) та покриття мансардного типу			
Горищні перекриття неопалюваних горищ			
Перекриття над проїздами та неопалюваними підвалами			
Світлопрозорі огорджувальні конструкції			
Зовнішні двері			
Опис виявленого стану огорджувальних конструкцій			
Зовнішні стіни:			
Світлопрозорі конструкції (віконні, балконні блоки та ін.):			
Зовнішні двері:			
Дах:			
Підвал:			

Рис. 7.3. Другий аркуш енергетичного сертифікату

На **третьому аркуші** наводяться показники енергетичної ефективності та фактичне питоме енергоспоживання інженерними системами будівлі.

II. Показники енергетичної ефективності та фактичного енергоспоживання будівлі

Показники енергетичної ефективності будівлі		
Назва показника енергетичної ефективності будівлі	Значення показника енергетичної ефективності будівлі	
	Визначене за результатами сертифікації	Встановлені мінімальні вимоги
Питома енергопотреба (кВт·год/м ² або [кВт·год/м ³])		
Питоме енергоспоживання (кВт·год/м ² або [кВт·год/м ³])		
Питоме споживання первинної енергії (кВт·год/м ² або [кВт·год/м ³])		
Питомі викиди парникових газів (кг/м ²)		

Показники енергоспоживання будівлі				
Вид енергоспоживання	Обсяг енергоспоживання за рік			
	Визначений за показами відповідних приладів обліку		Визначений за результатами сертифікації	
	тис. кВт·год	кВт·год/м ² [кВт·год/м ³]	тис. кВт·год	кВт·год/м ² [кВт·год/м ³]
Види енергоспоживання, за якими визначається клас енергетичної ефективності будівлі				
Енергоспоживання при опаленні				
Енергоспоживання при охолодженні				
Енергоспоживання при постачанні гарячої води				
Енергоспоживання при вентиляції				
Обсяг енергоспоживання при освітленні				
УСЬОГО:				

Діаграма річного енергоспоживання будівлі

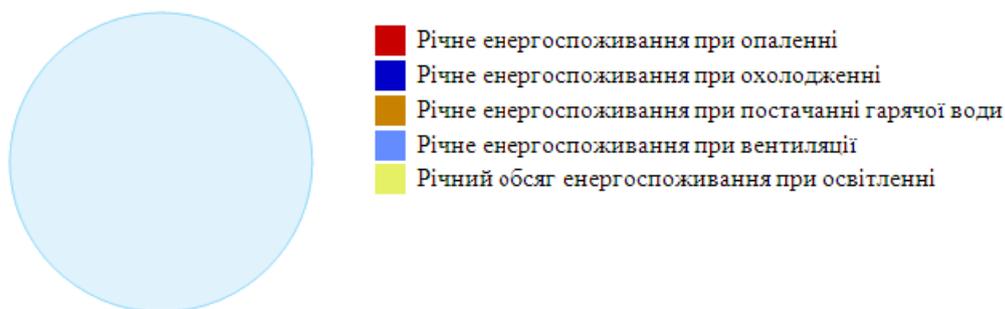


Рис. 7.4. Третій аркуш енергетичного сертифікату

На *четвертому аркуші* знаходиться опис інженерних систем (опалення, система постачання гарячої води, вентиляція, система електропостачання та освітлення) і оцінка їх ефективності.

III. Характеристики інженерних систем будівлі

Системи опалення
Системи охолодження, кондиціонування, вентиляції
Системи постачання гарячої води
Системи освітлення

Рис. 7.5. Четвертий аркуш енергетичного сертифікату

На *п'ятому аркуші* наводяться рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності обстежуваної будівлі та оцінка інвестиційних витрат на впровадження вказаних рекомендацій.

Крім енергетичного сертифіката, енергоаудитор розробляє також витяг із енергетичного сертифіката будівлі, який містить підсумкові дані оцінки об'єкту енергетичної сертифікації, зокрема:

- 1) адреса (місцезнаходження) будівлі;
- 2) ідентифікатор об'єкта будівництва;
- 3) відомості про об'єкт сертифікації;
- 4) функціональне призначення та назва будівлі;
- 5) відомості про конструкцію будівлі;
- 6) шкала класів енергетичної ефективності;
- 7) клас енергетичної ефективності будівлі;
- 8) питома енергоспоживання;
- 9) питома споживання первинної енергії;
- 10) питомі викиди парникових газів;
- 11) дані енергоаудитора;
- 12) номер та дата реєстрації.

Форма витягу з енергетичного сертифіката наведена на рис. 7.6.

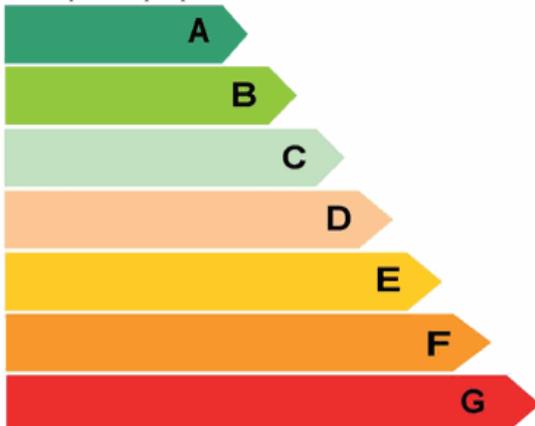
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СЕРТИФІКАТ БУДІВЛІ

Адреса (місцезнаходження) будівлі:

Функціональне призначення та назва:

Відомості про конструкцію будівлі:

опалована площа, м ² :	опалований об'єм, м ³ :
кількість поверхів:	рік прийняття в експлуатацію:

Шкала класів енергетичної ефективності	Клас енергетичної ефективності
<div style="text-align: center;"> <p>Високий рівень енергоефективності</p>  <p>Низький рівень енергоефективності</p> </div>	<div style="border: 1px solid black; width: 50px; height: 20px; margin: auto; position: relative;"> ← </div>
Питоме споживання енергії на опалення, гаряче водопостачання, охолодження будівлі	

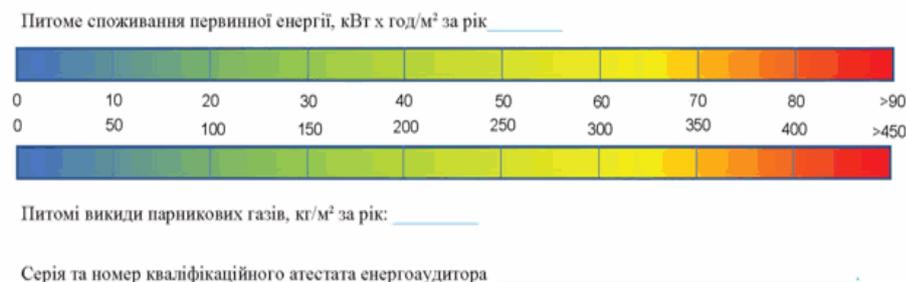


Рис. 7.6. Витяг з енергетичного сертифікату

Копія витягу з енергетичного сертифікату розміщується у доступному для ознайомлення громадян місці у будівлі. Розміщення копії витягу забезпечує власник будинку або уповноважена ним особа.

7.6. Фінансова оцінка інвестицій в енергоефективні проекти

Фінансова оцінка заходів з енергоефективності є основою для прийняття

рішення власника енергетичного сертифікату та фінансової установи щодо фінансування реалізації проєкту. Тому звіт з енергоаудиту повинен містити не лише детальну інформацію про запропоновані заходи з енергоефективності, а також розрахунок їх рентабельності.

Зазвичай, розрахунок рентабельності проєкту передбачає наступні **кроки**:

1. Визначення основних економічних показників.
2. Розрахунок заощаджень від реалізації заходів з енергоефективності або проєкту в натуральному і грошовому вигляді.
3. Розрахунок показників рентабельності.

Для проведення фінансово-економічних розрахунків необхідно мати наступні вхідні дані:

1. **Інвестиції (капітальні витрати)** I_0 , грн., які охоплюють всі витрати, пов'язані з проєктом, зокрема із врахуванням податків.

Інвестиції на проєкт (захід) з енергоефективності включають в себе всі витрати, пов'язані з реалізацією проєкту, зокрема витрати на проведення сертифікації енергетичної ефективності, обстеження технічного стану об'єкту, розроблення проєктно-кошторисної документації (ПКД). Проведення державної експертизи ПКД, банківські збори за оформлення кредитів, будівництво та монтаж, пуско-налагоджувальні роботи, проведення технічного та авторського нагляду, проведення навчання персоналу, покриття ризиків та невизначеності.

2. **Чисті річні заощадження** C , грн./рік, - це річні заощадження, які отримані завдяки реалізації заходів або проєкту з енергоефективності.

Чисті річні заощадження, грн./рік, від запропонованого енергоефективного проєкту (заходу) можна визначити за формулою:

$$C = S \cdot E \pm \Delta O \& M \quad (7.9)$$

де S - заощадження енергії, МВт·год/рік; E - тарифи на енергію, грн./ МВт·год;
 $\Delta O\&M$ - зміни у витратах на експлуатацію і обслуговування (+ або -), грн./рік.

3. **Горизонт планування** n , років, – це термін експлуатації для

інвестиції/обладнання, тобто період часу, протягом якого проєкт буде створювати чистий прибуток або граничний термін експлуатації, перш ніж вигідно замінити нове обладнання або провести його капітальний ремонт.

Горизонт планування може визначатися, виходячи із технічного або економічного терміну служби. Під **технічним терміном служби** розуміється фізичний термін служби обладнання, тобто як довго може технічно експлуатуватися обладнання. **Економічний термін служби** - практичний термін служби обладнання, тобто термін служби до того моменту, коли заміна обладнання на нове стає рентабельною.

4. **Індекс інфляції** i , % визначається як середньорічне підвищення цін на всі споживчі товари. Для проєктів з енергоефективності за умови, що ціни на енергію змінюються значно швидше, ніж середня інфляція, можуть використовувати відносне значення.
5. **Номінальна ставка дисконтування** r_n , %, - це відсоткова ставка без урахування інфляції.
6. **Реальна ставка дисконтування** r , % є номінальною відсотковою ставкою, яку коригують з урахуванням індексу інфляції.

Ставка дисконтування використовується для розрахунку вартості на даний момент, наприклад, майбутньої економії енергетичних витрат, скоригованої на вартість капіталу. Тобто це коефіцієнт, що застосовується для визначення поточної вартості, виходячи з грошових потоків, які прогнозуються на майбутнє, за умови їх зміни протягом періодів прогнозування. Вона може розглядатися як мінімальна норма прибутковості, очікувана інвестором від проєкту, а також показує прибутковість альтернативних вкладень коштів і може прийматися на рівні: облікової ставки НБУ, банківських відсотків по депозитних рахунках, рентабельності власних коштів підприємств, індексу інфляції, відсоткової ставки, що пропонує інвестор.

До **показників** для розрахунку рентабельності інвестицій (простого терміну окупності) у проєкти (заходи) з енергоефективності належать:

1. Простий період окупності (SPP - simple payback period).

2. Чиста поточна/приведена вартість (NPV – net present value).
3. Коефіцієнт чистої приведеної вартості.
4. Дисконтований період окупності (DPP - discounted payback period).
5. Внутрішня норма прибутковості (IRR - internal rate of return).

Простий період окупності – це час, який потрібен для того, щоб сума заощаджень від реалізації енергоефективного проєкту (заходу), відшкодувала суму інвестицій на їх впровадження. Чим коротший період окупності проєкту, тим проєкт є більш привабливим і доцільним до впровадження.

Період окупності, років (може вимірювати в місяцях).

$$SPP = \frac{I_0}{C} \quad (7.10)$$

де I_0 – інвестиції (капітальні витрати), грн.; C - річні чисті заощадження, грн./рік.

Якщо простий період окупності перевищує термін служби заходу, то цей захід є нерентабельним.

Показник чистої поточної (приведеної) вартості (NPV) енергоефективного заходу або проєкту в цілому - це поточна сума майбутніх річних чистих заощаджень протягом періоду економічної рентабельності інвестиції (горизонту планування), не враховуючи інвестицій. Він є узагальненим кінцевим результатом інвестиційної діяльності в абсолютному вимірі.

- Якщо $NPV > 0$, то поточна вартість заощаджень від впровадження заходів перевищує поточну вартість витрат і захід або проєкт є вигідним для реалізації.
- При $NPV < 0$ – захід або проєкт є не вигідним для реалізації тому, що отриманий грошовий потік від заощаджень не компенсує капітальні вкладення.
- Якщо $NPV = 0$, то реалізація заходу або проєкту беззбиткова.

Горизонт планування проєкту є важливим фактором для оцінки

рентабельності методом NPV.

Показник чистої поточної (приведеної) вартості розраховується за формулою, грн.:

$$NPV = \left[\frac{C_1}{(1+r)^1} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \frac{C_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{C_n}{(1+r)^n} \right] - I_o$$

або

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{C_n}{(1+r)^n} - I_o \quad (7.11)$$

де I_0 – інвестиції (капітальні витрати), грн.; C_n – річні чисті заощадження, грн./рік; n – горизонт планування, рік; r – реальна ставка дисконтування, %.

Показник чистої поточної вартості входить до числа найчастіше використовуваних критеріїв оцінки ефективності інвестицій.

Коефіцієнт чистої приведеної вартості NPVQ, - це відношення чистої приведеної вартості до сумарних інвестицій:

$$NPVQ = \frac{NPV}{I_o} \quad (7.12)$$

де I_0 – інвестиції (капітальні витрати), грн., NPV – чиста приведена вартість, грн.

Найбільший NPVQ вказує на найбільш прибутковий захід. При значенні коефіцієнта $NPVQ < 0$ захід або проєкт не є вигідним для реалізації.

Дисконтований період окупності – це час, за який окупаються інвестиції, враховуючи реальну ставку дисконтування. Це означає ту кількість років, за яку NPV стає рівною 0:

$$NPV = C \cdot \frac{1 - (1+r)^{-n}}{r} - I_o \quad (7.13)$$

де I_0 – інвестиції (капітальні витрати), грн., C – річні чисті заощадження, грн./рік., r – реальна ставка дисконтування, %.

Внутрішня норма прибутковості - процентна ставка, при якій зрівнюється приведена вартість майбутніх чистих річних заощаджень та сума інвестицій для реалізації енергоефективного заходу (проєкту), тобто відсоткова ставка, при якій чиста поточна (приведена) вартість дорівнює $NPV = 0$. Економічний зміст даного показника полягає в тому, що він фактично показує усереднену щорічну прибутковість від впровадження заходу (проєкту) з урахуванням прийнятого горизонту планування.

Внутрішня норма прибутковості є другим за важливістю показником ефективності інвестиційних проєктів після чистої поточної (приведеної) вартості. Показник внутрішньої норми прибутковості розраховується за формулою:

$$IRR \rightarrow NPV = C \cdot \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} - I_0 = 0 \quad (7.14)$$

де I_0 – інвестиції (капітальні витрати), грн.; C – річні чисті заощадження, грн/рік; n – горизонт планування, рік; r – реальна ставка дисконтування, %.

Для розрахунку IRR рівняння NPV прирівнюють до нуля та розв'язують за функцією відсоткової ставки (r), що є IRR. Тому формулу IRR розраховують експериментальним способом або з використанням спеціального програмного забезпечення (наприклад, функція Excel – IRR).

Розділ 8.

Енергетичний аудит будівель

8.1. Що таке енергоаудит та його мета

Енергетичний аудит – це енергетичне обстеження підприємств, будівель, окремих виробництв, інженерних систем з їх ініціативи, яке проводиться з метою оцінки ефективності споживання енергетичних ресурсів, визначення можливих їх втрат, розробки економічно-ефективних енергоощадних заходів для усунення цих втрат та визначення можливостей для економії енергії.

Головною метою енергетичного аудиту є виявлення джерел втрат енергії та визначення напрямків ефективного енергоспоживання об'єкту. Крім того, енергетичний аудит може дати комплексний висновок щодо:

- Зменшення споживання енергетичних ресурсів;
- Зниження впливу на довкілля;
- Дотримання вимог об'єктом дослідження чинних нормативних документів щодо енергоефективності.

Об'єктом енергетичного аудиту може бути будь-яке підприємство, енергетична установка, будинок, технічна система, агрегат, що споживає, перетворює чи виробляє енергію.

8.2. Типи енергетичного аудиту

Проведення енергетичного аудиту, як енергетичного обстеження, розрізняють:

- **за термінами проведення** енергетичний аудит буває первинним, черговим, позачерговим.

Первинний енергоаудит проводять по відношенню до об'єкту, що раніше не підлягав енергетичному аудиту або перерва в його обстеженнях становить більше п'яти років.

Черговий енергоаудит проводять не рідше одного разу в п'ять років, і не частіше, ніж один раз в два роки в плановому порядку - для порівняння поточних показників енергоефективності з показниками, визначеними попереднім обстеженням, внесення змін в енергетичний паспорт, тощо.

Позачерговий енергоаудит проводять при виявленні у об'єкта досліджень зростання об'ємів споживання паливно-енергетичних ресурсів, зниження ефективності їх використання, скарг мешканців (працівників) на погіршення умов мікроклімату у приміщеннях.

- **за об'ємами робіт** енергетичний аудит буває експрес-аудит, комплексний енергоаудит та деталізований енергоаудит.

Під час **експрес-аудиту (оглядового)** визначають шляхи підвищення енергоефективності будівель, що не потребують залучення коштів або з використанням маловитратних заходів з енергоефективності, а також оцінюють можливості шляхів заощаджень коштів. Експрес-аудит включає оцінку рахунків за енергоносії та короткий огляд будівлі.

Під час **комплексного енергоаудиту** визначаються можливості для підвищення енергоефективності будівель, що не потребують залучення коштів або з використанням маловитратних заходів з енергоефективності. Крім того, під час комплексного енергоаудиту надаються рекомендації щодо реалізації енергоощадних заходів для будівлі відповідно до фінансових планів замовника, зокрема, потенційних можливостей капіталомістких заходів з енергоефективності. Аудити цього рівня включають поглиблений аналіз енергетичних витрат, споживання енергії та характеристик будівель, а також детальніший огляд використання енергії у будівлі.

Деталізований енергоаудит (аудит інвестиційного рівня) дозволяє здійснити детальний аналіз капіталомістких заходів з енергоефективності будівель, що потребують залучення сторонніх інвестицій, і надає рекомендації та результати фінансового аналізу основних інвестицій у такі заходи. Крім того, аудит інвестиційного рівня включає розроблення плану моніторингу, збір даних та інженерний аналіз.

В таблиці 8.1 показано основні відмінності описаних вище типів енергоаудиту.

Таблиця 8.1.

Результати порівняння рівнів енергоаудиту будівлі [.....]

Елементи енергоаудиту	Рівень енергоаудиту		
	1	2	3
Витрати енергоносіїв та питомі характеристики будівлі	+*	+*	+
Попередня оцінка інженерних систем та огорожувальних конструкцій	+	+	+
Ознайомлення з проєктною документацією на будівлю	+	+	+
Опитування обслуговуючого персоналу та мешканців будівлі	-	+	+
Вимірювання: мінімальний рівень	-	+	-
Вимірювання: достатній рівень	-	-	+
Складання балансів споживання енергії	-	+*	+*
Оцінка потенціалу енергозбереження	+	+	+
Спрощена техніко-економічна оцінка можливості для підвищення енергоефективності будівлі	-	+	-
Техніко-економічне обґрунтування заходів з енергоефективності	-	+	+

*Виконання цього елемента аудиту можливе за наявності в будинку лічильників теплової енергії, води та електроенергії.

8.3. Завдання енергоаудитора будівель та кваліфікаційні вимоги до нього

Енергетична сертифікація будинку проводиться енергосервісними компаніями чи незалежними експертами (енергоаудиторами), що уповноважені суб'єктами господарювання на його проведення.

Виконувати сертифікацію будинку має право лише сертифікований спеціаліст, котрий пройшов навчання в одному з акредитованих державою центрів та отримав відповідний дозвільний документ (сертифікат). Професійну підготовку осіб, які хочуть отримати професійну кваліфікацію енергетичного аудитора будівель, здійснюють:

- заклади вищої освіти, наприклад НУ «Львівська політехніка»;
- саморегулювні організації у сфері енергетичної ефективності будівель;
- інші установи та організації, акредитовані Національним агентством кваліфікацій.

В даний час бажаючі особи отримують 2 кваліфікаційних атестати із **сертифікації енергетичної ефективності та обстеження інженерних систем.**

Вимоги до осіб, які допускаються до професійної атестації наведені у частині другій статті 9 Закону України «Про енергетичну ефективність будівель». Так, до професійної сертифікації допускаються особи, які відповідають **усім таким вимогам:**

- 1) здобули відповідну вищу освіту не нижче другого (магістерського) рівня вищої освіти;
- 2) мають стаж роботи не менше одного року у сфері енергетики, енергоефективності та енергозбереження, будівництва та архітектури або житлово-комунального господарства;
- 3) отримали сертифікат про присвоєння/підтвердження/визнання кваліфікаційним центром, акредитованим Національним агентством кваліфікацій, професійної кваліфікації енергоаудитора будівель.

Видача сертифіката енергоаудитора будівель здійснюється за результатами професійної сертифікації. Доступ до інформації про енергоаудиторів будівель, зокрема про номери їх сертифікатів, є відкритим та безоплатним через портал **Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва** https://e-construction.gov.ua/ep_efficiency_specialist.

Права та обов'язки енергоаудиторів будівель наведені у статті 11 Закону України «Про енергетичну ефективність будівель».

Так, енергоаудитори будівель під час провадження своєї діяльності **мають право:**

- 1) самостійно обирати форми і методи здійснення сертифікації енергетичної ефективності, обстеження технічних установок відповідно до порядків та методик, передбачених Законом України «Про енергетичну ефективність будівель»;

2) отримувати від замовника будівництва, власника (співвласників) будівлі, житлово-будівельного кооперативу, об'єднання співвласників багатоквартирного будинку, управителя багатоквартирного будинку необхідні документи та інформацію щодо сертифікації енергетичної ефективності та обстеження технічних установок;

3) страхувати свою професійну відповідальність відповідно до законодавства.

Під час провадження своєї діяльності енергоаудитори будівель **зобов'язані:**

1) дотримуватися вимог Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» та інших нормативно-правових актів, технічних регламентів, норм і правил у сфері енергетичної ефективності будівель, принципу незалежності;

2) зберігати в таємниці інформацію, отриману під час провадження своєї діяльності, не розголошувати відомості, що становлять предмет комерційної таємниці, і не використовувати їх у своїх інтересах або в інтересах третіх осіб, дотримуватися вимог законодавства про захист персональних даних;

3) нести відповідальність перед замовником сертифікації енергетичної ефективності та обстеження технічних установок за порушення умов договору відповідно до договору та закону;

4) своєчасно та в повному обсязі надавати необхідну інформацію для здійснення незалежного моніторингу енергетичних сертифікатів і звітів про результати обстеження технічних установок, вимоги до якої визначені порядками незалежного моніторингу;

5) за рішенням центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сферах ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів, енергозбереження, відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива, брати участь у здійсненні незалежного моніторингу енергетичних сертифікатів та незалежного моніторингу звітів про результати обстеження технічних установок відповідно до порядків незалежного моніторингу.

Строк дії сертифіката енергоаудитора будівель становить п'ять років.

Ефективність і повнота енергетичного обстеження залежать від кваліфікації і досвіду енергоаудитора. Тому, замовник має право обирати енергетичного аудитора будівель на основі очікуваних характеру та обсягу робіт з енергетичного аудиту, меж та цілей аудиту, а також їх кваліфікації та компетентності.

8.4. Основні етапи проведення енергетичного аудиту

Відповідно до положень стандарту ДСТУ ISO 50002:2016, процес енергетичного аудиту складається з **наступних етапів**:

1. Планування енергоаудиту.
2. Попередня нарада.
3. Збирання даних.
4. Планування вимірювань.
5. Проведення огляду об'єкта.
6. Аналіз інформації.
7. Представлення звіту за результатами енергоаудиту.
8. Заключна нарада.

Також потрібно звернути увагу на те, що до початку виконання робіт з енергетичного аудиту потрібно підготувати **договір на проведення енергетичного аудиту** та розробити технічне завдання. Договір між замовником і виконавцем на енергетичний аудит – це юридична основа для початку енергетичного обстеження. У договорі має бути відображено такі положення:

1. Основа укладання договору.
2. Призначення договору.
3. Строки проведення енергетичного аудиту.
4. Загальна вартість робіт згідно з договором.
5. Організаційні питання початку і припинення дії договору.
6. Юридичні адреси замовника та виконавця.

Додатково до договору долучають план проведення енергетичного аудиту, а також кошторис на енергетичний аудит. У кошторисі мають бути відображені основні види робіт, витрата людино-годин на окремі види робіт та їх загальна вартість.

8.5.Планування енергетичного аудиту

Планування енергетичного аудиту має важливе значення для визначення характеру, обсягу робіт та цілей енергетичного аудиту. Тому, для забезпечення проведення ефективного енергоаудиту, відповідно до ДСТУ ISO 50002:2016, при плануванні енергетичного аудиту слід врахувати наступні фактори:

1) Енергетичний аудитор та замовник мають домовитися про:

- Характер та обсяг робіт, межі та ціль(і) енергетичного аудиту.
- Потреби та очікування для досягнення цілей аудиту.
- Необхідний рівень деталізації.
- Часові межі енергоаудиту.
- Критерії оцінювання та ранжування можливостей для підвищення рівня досягнутої/досяжної енергоефективності.
- Залучення часових та інших ресурсів організації.
- Представник організації, відповідальний за проведення енергетичного аудиту.

Відповідна інформація повинна бути доступною до початку енергетичного аудиту.

2) Енергетичний аудитор повинен запросити інформацію для визначення показників, які можуть впливати на процес проведення енергетичного аудиту, зокрема, виходячи з реальної ситуації:

- Нормативні вимоги або інші змінні, що впливають на проведення енергетичного аудиту.
- Нормативні або інші обмеження, що впливають на характер та обсяг робіт з енергетичного аудиту або інші аспекти запропонованого енергетичного аудиту.

- Стратегічні плани, які можуть вплинути на рівень досягнутої/досяжної енергоефективності організації.
 - Системи управління, наприклад, довкілля, якості, енергетичного менеджменту, тощо.
 - Фактори або особливі домовленості, які можуть змінити характер та обсяг робіт, процес і висновки енергоаудиту.
 - Будь-які міркування, навіть суб'єктивні, у тому числі існуючі думки, ідеї та обмеження, що стосуються потенційних заходів з підвищення рівня енергетичної ефективності.
- 3) Енергетичний аудитор повинен проінформувати організацію про:
- Засоби, обладнання та послуги, необхідні для проведення енергетичного аудиту.
 - Комерційний чи інший інтерес, який може вплинути на його/її висновки та рекомендації.
 - Будь-які інші питання щодо конфлікту інтересів.

8.6. Попередня нарада

Метою проведення попередньої наради є інформування всіх зацікавлених сторін з цілями та межами проведення енергетичного аудиту, визначення характеру та обсягу робіт, видів та вимог до запланованих інструментальних вимірювань, а також погодження організаційних заходів щодо підготовки енергетичного аудиту.

Попередня нарада може проводитись як при особистій зустрічі із замовником енергоаудиту, так і при онлайн зустрічі із застосування комп'ютерної техніки.

Під час попередньої наради енергоаудитор погоджує із замовником енергоаудиту такі питання:

- Час проведення енергоаудиту (робочий або неробочий час).
- Обсяг робіт з енергоаудиту, зокрема, яка будівля, її частина, чи інженерні системи будуть підлягати енергетичному аудиту.

- Чи об'єкти (споруди, системи) поза межами обраної будівлі включають в енергетичний аудит.
- Забезпечення доступу до приміщень та частин будівлі, які підлягають енергетичному аудиту, зокрема приміщення та частини будівлі з обмеженим доступом (підвали, горища, покрівлі, тощо).
- Забезпечення доступу до обладнання інженерних систем: індивідуальних теплових пунктів, трубопроводів систем тепло- та водопостачання, лічильників тепла, газу, електроенергії, холодної та гарячої води, електрощитових, дахових котелень.
- Призначення відповідальних осіб від замовника для надання допомоги енергоаудитору та встановлення рівня та обов'язків залучення цих осіб до проведення енергоаудиту.
- Підготовку замовником наявної технічної документації об'єкту, паспортів БТІ, проєктної документації, тощо.
- Підготовку замовником наявної інформації щодо енергоспоживання, зокрема журналів обліку споживання тепла, води, електроенергії, газу, інших видів палива.
- Забезпечення допомоги енергоаудитору у зборі даних щодо кількості і типу наявного у будівлі електрообладнання та приладів освітлення.
- Встановлення можливої небезпеки та ризиків для здоров'я енергоаудитора, забезпечення техніки безпеки на об'єкті.
- Узгодження питання нерозголошення конфіденційної інформації.
- Визначення будь-яких незвичних умов, які можуть вплинути на проведення енергоаудиту або рівень досягнутої/досяжної енергоефективності, зокрема роботи з технічного обслуговування, візити клієнтів або контролюючих органів, значні зміни в енергоспоживанні, тощо.

За результатами проведеної наради з боку замовника призначається відповідальна особа (особи) для допомоги енергоаудитору. Ці особи повинні бути компетентними у питаннях, пов'язаних із експлуатацією та станом

будівлі, інженерних систем, що обстежуються, а також мати повноваження здійснювати необхідні операції над процесами і обладнанням. Крім того, необхідно, щоб персонал та інші зацікавлені сторони на об'єкті були проінформовані про дату та мету проведення енергетичного аудиту. У випадку, якщо енергетичний аудит виконує не одна особа, а група, необхідно призначити провідного енергоаудитора та проінформувати про це замовника.

8.7.Збір даних та заповнення опитувальних форм

Збір даних про об'єкт енергоаудиту починається з першого візиту. Тому, метою візиту є ознайомлення з будівлею, станом її будівельних конструкцій та інженерних систем, а також зібрати всю необхідну інформацію для досягнення мети енергоаудиту.

Основними джерелами інформації про об'єкт енергетичного аудиту є **проектні та технічні документи** (будівельні проекти документи, договори на постачання енергетичних ресурсів, паспорти обладнання, схеми тепло- та електропостачання), **мешканці та персонал, енергопостачальні організації**.

Обсяг необхідної документальної інформації визначається енергоаудитором залежно від об'єкта енергоаудиту, типу енергоаудиту (див. п.8.2.) та мети енергоаудиту.

До **документів**, які використовують в якості джерел інформації про об'єкт енергоаудиту належать:

- Проектна документація на будинок (архітектурна частина), плани від бюро технічної інвентаризації (БТІ).
- Журнали обліку теплової та електричної енергії і води.
- Звітна документація щодо комерційного та технічного обліку енергоносіїв (періодичність визначається узгодженою точністю енергетичного аудиту. Зазвичай, надають помісячні дані).
- Рахунки від постачальників енергоносіїв.
- Схеми балансового розмежування теплових і електричних мереж та водовідведення будівлі.

- Схеми теплового пункту та системи тепло- і електропостачання будівлі.
- Графіки навантаження (місячні, тижневі, добові) та системи обліку енергоносіїв.
- Технічна документація на обладнання (технологічні схеми, специфікації, паспортні дані тощо).
- Звітна документація щодо ремонтних, налагоджувальних, випробувальних, енергоощадних заходів.
- Графіки роботи/перебування людей у будівлі.
- Письмові скарги від мешканців або персоналу, які експлуатують будівлю, щодо недотримання умов мікроклімату приміщень.

У документальній інформації про будівлю мають бути підписи або копії підписів замовника. За потреби технічну документацію фотофіксують з метою її подальшого використання.

Під час збирання інформації енергоаудитор проводить опитування **мешканців або персоналу**. Вони можуть надати інформацію щодо специфіки об'єкту та режиму його роботи, сезонних умов технічних та експлуатаційних характеристик об'єкту, наявності ведення архіву споживання, оснащеності вузлами обліку, проблемних питань щодо експлуатації інженерних систем та конструкцій, перевірки скарг щодо теплового комфорту, намагаючись отримати інформацію щодо внутрішньої температури протягом опалювального періоду чи інших проблем, які стосуються будівлі (постачання води, погана вентиляція, сирість, протікання тощо). Для отримання більш достовірної інформації необхідно запланувати візит до декількох квартир.

Вся інформація про об'єкт енергоаудиту, отримана з різних джерел, має бути задокументована. При збиранні інформації про об'єкт енергоаудиту доцільно використовувати **опитувальні листи**. Опитувальні листи розробляються безпосередньо енергоаудиторами для окремих груп досліджуваних об'єктів та повинні містити таку інформацію:

- Адреса та рік будівництва, тип будинку, наявність співвласників/орендарів, загальна, опалювана, житлова, нежитлова площа, загальний об'єм, кількість поверхів, кількість входів, висота

поверху, кількість мешканців (персоналу), прикріплення (наявність) проєктної документації щодо змін або відхили від проєкту під час будівництва.

- Об'ємно-планувальні та геометричні показники будівлі: розташування будинку на плані забудови, плани поверхів, висота поверхів, загальна висота будинку, загальна площа зовнішніх стін та вікон, зокрема окремо за орієнтацією за сторонами світу, тощо.
- Дані про енергетичні ресурси, які використовує будинок, зокрема відновлювані джерела енергії, та дані по вузлам обліку енергетичних ресурсів (тип лічильника, рік встановлення, технічний стан).
- Дані про споживання енергетичних ресурсів (теплової енергії, електричної енергії, природного газу, води) за останні 3-5 років з розбивкою по місяцях (для об'єкта, що вводиться в експлуатацію, наводяться проєктні значення).
- Характеристики системи опалення, зокрема тип системи, тип та робочі параметри теплоносія, температура внутрішнього повітря у приміщеннях, кількість стояків, наявність балансувальних клапанів, наявність та характеристики насосів, кількість і тип опалювальних приладів, діаметри, довжина трубопроводів системи опалення, наявність, матеріал та стан теплової ізоляції трубопроводів. Для будинків, в яких проводилась модернізація системи опалення, навести опис робіт з модернізації.
- Характеристики системи гарячого водопостачання, зокрема тип системи, робочі параметри теплоносія, кількість стояків, наявність та характеристики насосів, кількість і тип водорозбірних приладів, діаметри, довжина трубопроводів системи гарячого водопостачання, наявність, матеріал та стан теплової ізоляції трубопроводів. Наявність електричних, газових водонагрівачів або установок сонячної системи гарячого водопостачання.
- Характеристики системи вентиляції: тип вентиляції, наявність та характеристики вентиляторів (вентиляційних установок), кількість і

тип повітророзподільних пристроїв, діаметри, довжина повітропроводів, наявність, матеріал та стан теплової ізоляції повітропроводів. Наявність та характеристики.

- Характеристики системи електропостачання: загальна потужність мережі; кількість, тип та потужність ліфтів; кількість, тип та потужність освітлювальних приладів, наявність та характеристики опалювального електричного обладнання, наявність та тип обладнання автоматичного керування системою освітлення (сутінковий давач освітленості, давач руху).
- Характеристики обладнання системи газопостачання, якщо вони впливають на енергетичні показники будинку або на здійснення термомодернізаційного заходу, наприклад, димоходи.
- Характеристики вузла генерації теплової енергії (наприклад, котельні), якщо він входить в енергоаудит будівлі.
- Наявність та характеристики обладнання індивідуального теплового пункту (ІТП), зокрема обладнання для підключення систем опалення та гарячого водопостачання до теплових мереж, прилади обліку та регулювання витрати теплової енергії, тощо.

На даний час, форми опитувальних листів розроблені Асоціацією енергоаудиторів України (<https://aea.org.ua>) та періодично оновлюються.

Отриману інформацію енергоаудитор перевіряє та порівнює з інформацією, одержаною з різних джерел інформації.

8.8. Проведення огляду об'єкта

Огляд об'єкта є одним з ключових завдань енергоаудитора, оскільки саме під час проведення огляду здійснюється візуальне ознайомлення та оцінка будівельних конструкцій будівлі, його інженерних систем та встановленого обладнання та устаткування, проводить необхідні заміри, а також здійснює фото- та відеофіксацію.

Під час огляду об'єкту енергоаудитор відвідує приміщення, попередньо узгоджені для безперешкодного доступу із замовником, зокрема характерні (типові) та/або проблемні приміщення, підвал, горище/покрівля, тепловий пункт, місця встановлення системи автоматизації та управління будівлі, засобів обліку енергетичних ресурсів, тощо. Обстеження будівлі та інженерних систем об'єкту енергоаудитор проводить у супроводі вповноваженої замовником на попередній нараді особи (осіб).

В загальному випадку, під час огляду будівлі енергоаудитор:

- Проводить фото- та/або відеофіксацію огорожувальних конструкцій, інженерних систем, енергоспоживального обладнання та устаткування.
- Визначає відповідність технічних систем їх призначенню, фактичний стан, ефективність та умови експлуатації.
- Виконує відповідні архітектурні обміри, зокрема, розмірів фасадів, покрівлі, встановлених вікон та дверей, товщини елементу оздоблення, тощо. Під час обстеження будівельних конструкцій найбільш відповідальним етапом є **виявлення тріщин** і причин їх виникнення, а також динаміки розвитку.
- Визначає конструктивні рішення огорожувальних конструкцій будівлі (зовнішні стіни, підвальне та горищне перекриття, покриття, вікна, входні двері) та перевіряє їх відповідність проекту.
- Перевіряє робочі параметри інженерних систем будівлі (температура теплоносія системи опалення, температура води у системі гарячого водопостачання, тощо).
- Виконує необхідні вимірювання параметрів мікроклімату приміщень, зокрема, температури внутрішнього повітря в характерних (типових) та проблемних приміщеннях, температури на внутрішніх поверхнях приміщень, вологості та рухомості повітря, рівня освітленості. Вимірювання доцільно проводити для приміщень зі всіх фасадів будівлі.
- Виконує інші вимірювання, передбачені у договорі із замовником енергоаудиту, наприклад, тепловізійне обстеження огорожувальних конструкцій будівлі та(або) обладнання інженерних систем.

- Визначає відповідність поточного стану будівлі державним санітарним та будівельним нормам щодо показників енергоефективності та експлуатації.
- Формує попередні рекомендації та перелік можливих до запровадження заходів з енергозбереження.

8.9. Планування та проведення вимірювань

Вимірювання на об'єкті енергоаудиту необхідно проводити для отримання додаткової інформації, якої не вистачає в отриманій документальній інформації або для перевірки наявної документальної інформації.

Залежно від завдання, яке виконується під час енергетичного аудиту, вимірювання поділяють на:

- **Одноразові** — під час яких оцінюють рівень енергоефективності окремого об'єкта під час роботи у визначеному режимі;
- **Балансові** — під час яких складають баланс розподілу паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) між окремими споживачами чи системами;
- **Реєстраційні** — під час яких виявляють зміни будь-якого параметра режиму споживання ПЕР.

Найважливіше джерело інформації для проведення енергоаудиту є вимірювальні прилади. Під час проведення вимірювань потрібно максимально використовувати наявні в будівлі системи обліку та контролю ПЕР. Зазвичай у житлових будинках встановлюють вимірювальні прилади такі як:

1. Лічильники електроенергії (поквартирні та загальнобудинкові для місць загального користування).
2. Лічильники теплової енергії (квартирні та загальнобудинкові при підключенні до системи централізованого тепlopостачання).
3. Газові лічильники квартир і будівель.
4. Лічильники гарячої та холодної води.

Перед проведенням вимірювань енергоаудитор та замовник узгоджують план вимірювань, який, за потреби, в процесі проведення енергетичного аудиту можна корегувати. При розробці плану вимірювання потрібно звертати увагу на

[ДСТУ ISO 50002:2016. Енергетичні аудити. Вимоги та настанови щодо їх проведення]:

1. Перелік контрольних точок вимірювання та пов'язаних із ними процесів і вимірювального обладнання.
2. Виявлення додаткових точок вимірювання, відповідного вимірювального обладнання, та пов'язаних із ними процесів та можливості встановлення обладнання.
3. Необхідні точність і повторюваність вимірювань, і пов'язана з ними невизначеність вимірювань (нестабільність замірів).
4. Тривалість та періодичність вимірювання, тобто окремі параметри даних або безперервний моніторинг.
5. Частота збирання даних для кожного вимірювання.
6. Відповідний період часу, коли діяльність є репрезентативною.
7. Відповідні змінні, що надаються організацією, наприклад, робочі параметри і дані виробництва.
8. Відповідальність за проведення вимірювань, у тому числі, список осіб, які працюють для організації або за її дорученням.
9. Калібрування і простежуваність вимірювального обладнання (якщо це реально або практично можливо).

Під час проведення енергетичного аудиту виконання замірів та спостережень повинна забезпечуватися надійними способами. Умови проведення вимірювань повинні бути репрезентативними або нормальними режимами експлуатації для об'єкта, та, по можливості, за відповідних кліматичних умов. Проте, за потреби, вимірювання можуть проводитися у неробочий час або в періоди невідповідних погодних умов.

Вибирають методи та засоби вимірювання тих чи інших фізичних величин згідно з рекомендаціями *МИ 1967-89 ГСИ. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения.*

До вимірювань, які проводять при енергетичному аудиті належать:

- Вимірювання температури повітря у приміщені, теплоносія, тощо;

- Вимірювання рухомості (швидкості) повітря у приміщенні, повітропроводах, вентиляційних шахтах;
- Вимірювання витоків повітря та повітропроникності;
- Вимірювання показників якості повітря в приміщенні, зокрема рівень CO₂ у приміщеннях;
- Вимірювання щільності теплового потоку будинку;
- Вимірювання сонячної радіації;
- Вимірювання рівня освітленості.

8.10. Аналіз інформації

Під час цього етапу енергетичний аудитор повинен встановити та оцінити поточний рівень досягнутої енергоефективності різних видів використання енергії в межах обраного характеру та обсягу робіт з енергоаудиту. Поточний рівень досягнутої енергетичної ефективності забезпечує основу для оцінювання конкретних заходів щодо його підвищення й охоплює:

- розподіл споживання енергії за способом використання і джерелом;
- типи використання енергії, що зумовлюють значне споживання енергії;
- співставлення з еталонними значеннями аналогічних процесів (якщо це можливо);
- історичну картину рівня досягнутої енергоефективності;
- очікуване підвищення рівня досягнутої енергоефективності;
- взаємозалежність між рівнем енергетичної ефективності та відповідними змінними;
- оцінювання існуючого(-их) показника(-ів) енергетичної ефективності, за необхідності, пропозиції щодо нового(-их) індикатора(-ів) рівня досягнутої енергоефективності.

Під час аналізу інформації значення вимірюваного споживання енергії може бути визначено лише за наявності вимірюваних приладів. За відсутності лічильників тепла, газу, електроенергії, води неможливо провести вимірювання спожитої енергії. У таких випадках для визначення кількості спожитої енергії

використовують розрахунковий метод. Для підвищення достовірності отриманих даних необхідно проаналізувати дані принаймні за останні три роки.

Зміна клімату не дає можливості коректно порівняти енергоспоживання будівлі в різні роки. Тому, на підставі фактичних температур зовнішнього повітря потрібно визначити коефіцієнт (коефіцієнти) корекції клімату. **Коефіцієнт корекції клімату (ККК)** показує, як реальна температура відрізняється від розрахункового (проектного) значення температури зовнішнього повітря.

$$KKK = \frac{z_{on} \cdot (t_g - t_{x5})}{z \cdot (t_g - t_3)} \quad (8.1)$$

де z_{on}, z - тривалість періоду з середньодобовою температурою зовнішнього повітря ≤ 8 °С, відповідно, за ДСТУ-Н Б В.1.1-27 та фактично виміряних, діб;

t_g - температура внутрішнього повітря у приміщенні, °С;

t_{x5}, t_3 - температура зовнішнього повітря, відповідно, найхолоднішої п'ятиденки та фактично виміряної, °С.

При проведенні енергоаудиту необхідно розрахувати проектне споживання енергії за кілька років, а потім перерахувати його з урахуванням фактичних кліматичних умов.

Розрахунок енергопотреб та енергоспоживання системами опалення, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання відбувається за методикою розрахунку, яка наведена у ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання.

Так, енергопотреба для кожної зони будівлі та для кожного місяця, Вт·год, розраховується:

- для опалення (за умови постійного опалення):

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} - Q_{ve,pre-heat} \quad (8.2)$$

- для охолодження (за умови постійного охолодження):

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,ht} + Q_{ve,pre-cool}) \quad (8.3)$$

де $Q_{H,nd,cont}$, $Q_{C,nd,cont}$ - енергопотреба відповідно для постійного опалення та охолодження будівлі, Вт·год, має бути більше чи дорівнювати 0;

$Q_{H,ht}$, $Q_{C,ht}$ - сумарна теплопередача відповідно в режимі опалення та охолодження, Вт·год;

$Q_{H,gn}$, $Q_{C,gn}$ - сумарні теплонадходження відповідно в режимі опалення та охолодження, Вт·год;

$\eta_{H,gn}$ - безрозмірний коефіцієнт використання надходжень;

$\eta_{C,ls}$ - безрозмірний коефіцієнт використання втрат;

$Q_{ve,pre-heat}$, $Q_{ve,pre-cool}$ - енергопотреба відповідно для центрального попереднього підігрівання та охолодження вентиляційного повітря, Вт·год.

Споживання теплової енергії під час опалення будинку визначається за формулою:

$$Q_{H,use,i} = Q_{H,gen,out,i} + Q_{H,gen,ls,i} \quad (8.4)$$

де $Q_{H,gen,out,i}$ - енергія виходу з підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця, Вт·год;

$Q_{H,gen,ls,i}$ - загальні тепловтрати підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця, Вт·год.

Енергоспоживання під час охолодження, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{C,use,i} = Q_{C,gen,out,i} + Q_{C,gen,ls,i} \quad (8.5)$$

де $Q_{C,gen,out,i}$ - енергія виходу від підсистем виробництва/генерування та акумулювання, кВт·год;

$Q_{C,gen,ls,i}$ - загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування та акумулювання, кВт·год.

8.11. Розроблення заходів з енергоощадності та енергоефективності

Розроблення заходів з енергоощадності та енергоефективності здійснюють для підвищення енергоефективності будівель, що є метою енергетичного аудиту. Причому на цьому етапі енергоаудитор повинен вказати вартість енергоощадних та енергоефективних заходів, визначити економічний ефект від їх реалізації та терміни їх окупності, встановити послідовність впровадження запропонованих заходів.

Заходи з енергоефективності можуть розроблятися для будівельних конструкцій будинку, для інженерних систем будинку та для обслуговуючого персоналу або мешканців.

Одним з основних показників, яким характеризуються заходи з енергоефективності, є капітальні вкладення для їх впровадження. Відповідно до значення капітальних затрат розрізняють безвитратні, низьковитратні та високовитратні заходи з енергоефективності.

До **безвитратних заходів** належать заходи, які не потребують додаткових затрат на їх впровадження, наприклад, своєчасне вимкнення освітлення, зачинення дверей; дотримання правил експлуатації інженерних систем і обладнання; своєчасне проведення планово-запобіжних ремонтів; закупівля палива у дешевшого постачальника.

Низьковитратні заходи – це заходи, втрати на впровадження яких окупуються за 2-3 роки. До таких заходів належать: навчання персоналу (мешканців), реалізація енергоощадних заходів із забезпеченням економічних режимів експлуатації обладнання (підвищення ККД вентиляторів і насосів, здійснення автоматизованого управління роботою насосного обладнання, організація обліку енергетичних ресурсів, усунення витоків, боротьба з відкладеннями на внутрішніх поверхнях трубопроводів систем опалення,

гарячого і холодного водопостачання, стимулювання зацікавленості мешканців і персоналу реалізації енергоощадних заходів.

Високовитратні заходи з енергоефективності потребують значних капіталовкладень, термін їх окупності понад 5 років. До таких заходів належать: заміна або капітальна модифікація енергетичних установок та інженерних систем; встановлення комплексних систем керування; утилізація теплоти; використання відновлювальних джерел енергії або встановлення когенераційних чи тригенераційних установок.

Рекомендації з підвищення енергетичної ефективності інженерних систем розробляють з урахуванням віку інженерних систем будівлі, їх стану та способу їх експлуатації та обслуговування, технологій, що застосовувались під час встановлення систем у будівлі, порівняння цих технологій з сучасними технологіями та можливості застосування передових технологій. Обсяг та перелік енергозберігаючих заходів визначається на підставі виду енергії, яку використовують інженерні системи будівлі, що є комбінацією всіх енергоносіїв та відновлюваної енергії, що виробляється на території будівлі. Рекомендації щодо підвищення рівня енергетичної ефективності інженерних систем будівлі мають враховувати місцеві кліматичні умови та бути технічно та економічно обґрунтованими.

Рекомендації з енергоощадності оформляються з обов'язковим зазначенням таких відомостей:

1) опис наявних проблем, які будуть вирішені після виконання запропонованого заходу;

2) технічні параметри та опис запропонованих заходів (передумови виконання заходів, характеристика нового обладнання/матеріалів, основні та додаткові роботи, що необхідно виконати). (Опис заходів має бути достатнім для оформлення технічного завдання на виконання робіт із цього заходу);

3) пропозиції щодо підвищення ефективності систем, зокрема: заощадження енергії та матеріальних витрат; скорочення зайвих операцій; підвищення ефективності використання енергії; використання більш дешевих енергетичних ресурсів;

4) аналіз ефективності та опис фінансових витрат на проектування та планування; на капітальні витрати (матеріали, обладнання та монтаж, тестування та прийняття в експлуатацію, виконавча документація); на амортизацію устаткування; на технічне обслуговування.

Усі заходи з енергозбереження розглядаються в комплексі та встановлюється їх вплив один на одного.

Іноді, хоча і рідко, висновком енергоаудиту є *«На даний момент економічно доцільних для впровадження технічних заходів на об'єкті не виявлено»*.

Заходи з енергоощадності та енергоефективності споруди можна поділити на такі категорії:

- Зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції будинку.
- Підвищення енергетичної ефективності інженерних систем будинку.

Зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції будинку відбувається за рахунок наступних заходів:

1. Нанесення додаткової теплової ізоляції на зовнішні стіни будинку.

Утеплення зовнішніх стін один з найбільш дієвих енергоощадних заходів при термомодернізації житлових та громадських споруд. Він дозволяє зменшити тепловтрати через зовнішні стіни, а, відповідно, зменшити потужність системи опалення. Для теплоізоляції зовнішніх стін найчастіше використовують зовнішню теплоізоляційну багат шарову систему та вентильований фасад.

Зовнішня теплоізоляційна багат шарова система передбачає кріплення теплоізоляційних матеріалів до зовнішніх стін будівлі з подальшим нанесенням на них зовнішнього захисного облицювального шару (рис.8.1.а). У вентильованих фасадах теплоізоляційні матеріали також кріпляться до зовнішніх стін будинку, проте захищаються фасадними панелями, які кріпляться до анкерної системи. Причому між теплоізоляційним матеріалом та фасадними панелями є повітряний прошарок, по якому рухається повітря для зменшення впливу вологості на коефіцієнт теплопередачі утеплювача (рис.8.1.б).

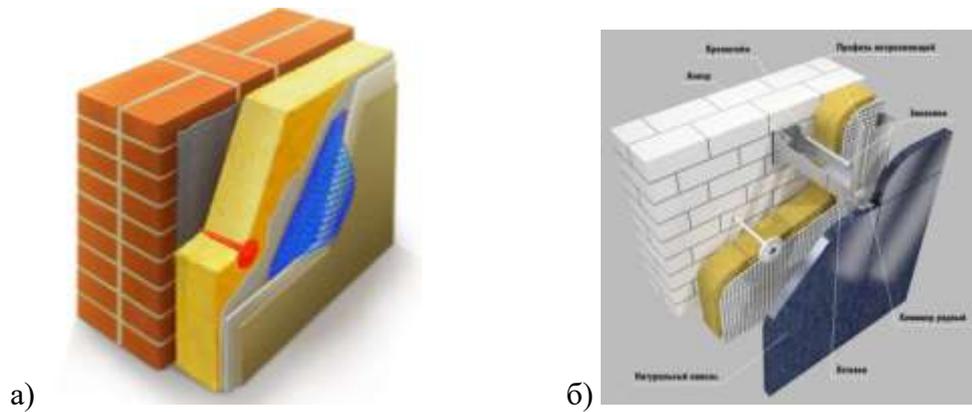


Рис. 8.1. Утеплення зовнішніх стін

а) - зовнішня теплоізоляційна багатошарова система; б) - вентильований фасад.

2. Нанесення теплової ізоляції на дах або горищне перекриття.

Залежно від призначення горища для утеплення горищного перекриття можна використовувати нещільні або щільні теплоізоляційні матеріали. Найпростіші варіанти – нещільні матеріали, наприклад, мінеральна вата або целюлозне волокно. Якщо на горищі передбачено пересування людей, то для утеплення необхідно використовувати теплоізоляційні матеріали високої густини з захисним покриттям з бетонної стяжки.

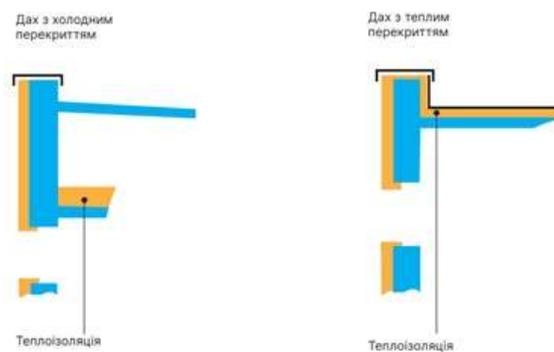


Рис. 8.2. Принципи утеплення перекриттів []

3. Теплова ізоляція цокольного перекриття.

Для утеплення цокольного перекриття найчастіше використовується теплоізоляційна багатошарова система, причому теплоізоляційний матеріал кріпиться на стелі цокольного поверху та покривають захисним покривним шаром.

4. *Теплова ізоляція фундаменту та цокольної стіни.*

Здійснюється за бажанням замовника одночасно з заходами з гідроізоляції фундаменту. Для цього стіни фундаменту очищаються, ремонтуються за потреби, проводяться гідроізоляційні роботи, а вже потім наноситься теплоізоляційний матеріал та зовнішній захисний облицювальний шар. Якщо підвал опалюється, то стіна утеплюється на всю глибину, в інших випадках утеплення відбувається на глибину 50-80 см.

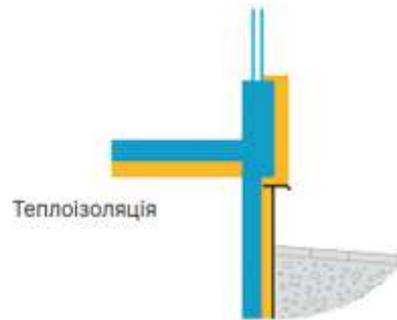


Рис. 8.3. Теплоізоляція підвалу []

5. *Заміна вікон і дверей.*

Приведений опір теплопередачі віконних склопакетів регламентується ДСТУ Б В.2.7- 107:2008 та залежить від кількості камер у склопакеті, варіанта застосування, газового складу у склопакеті. Так, у ДСТУ Б В.2.7- 107:2008 передбачена наявність однієї або двох камер склопакетів, газове середовище у склопакеті може містити повітря, криптон, аргон або їх суміші. Для скління можуть бути використані звичайне скло, енергозберігаюче скло з м'яким або твердим покриттям, також конструкції склопакетів відрізняються товщиною повітряних прошарків в них.



Рис. 8.4. Однокамерні, двокамерні та трикамерні склопакети

6. Зменшення надходження інфільтраційного повітря через нещільності у вікнах і дверях.

Для зменшення надходження зовнішнього повітря через нещільності у вікнах та дверях застосовуються ущільнювачі (рис.8.5). На даний час є великий вибір ущільнювачів, зокрема з синтетичного каучуку, силікону, пластику, поролону.



Рис. 8.5. Нанесення ущільнюючої стрічки на вікно

Щоб ущільнити вхідні металеві двері (рис.8.6.), найчастіше використовують гумові вставки, які випускаються різних видів профілю і способів кріплення.

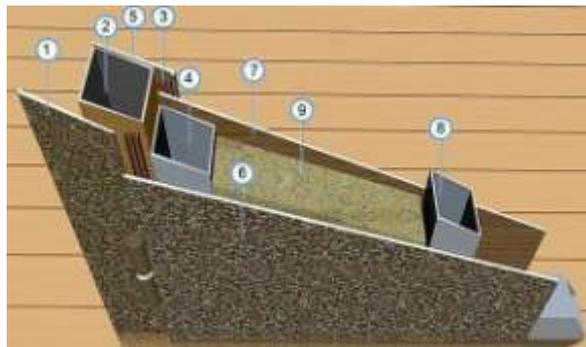


Рис.8.6. Схема конструкції дверей [h](#)

7. Влаштування тамбурів на вході у будинок.

Наявність тамбуру – прохідного простору між зовнішніми дверима в будинок та дверима в загальний коридор – дозволяє зменшити проникнення холодного зовнішнього холодного повітря в холодний період року та теплого повітря в неопалювальний період року у коридор, вестибюль, сходову клітку

або інше приміщення (рис.8.7). Влаштування тамбурів у громадських будинках при кожному зовнішньому вході до вестибюлю та сходових кліток є обов'язковим відповідно до ДБН В.2.2-9-99. У житлових багатоповерхових будинках наявність тамбуру передбачена у ДБН В.2.2-15:2019. Проте часто, під час експлуатації будинку, тамбур не виконує свого функціонального призначення через відриті двері між тамбуром і наступним приміщенням або ж взагалі через їх відсутність.



Рис. 8.7. Тамбури житлових та громадських будинків

Підвищення енергетичної ефектності інженерних систем будинку може відбуватися двома шляхами:

- модернізація існуючої системи, зокрема відновлення пошкодженого обладнання, часткова заміна обладнання на енергоефективне, встановлення додаткового обладнання;
- демонтаж існуючої системи із подальшим встановленням сучасної енергоощадної системи.

Модернізацію існуючих інженерних систем виконують за наявності обмежених коштів на впровадження енергоощадних заходів. До модернізації інженерних систем можна віднести такі заходи:

1. Зменшення тепловтрат від трубопроводів систем опалення та гарячого водопостачання в нежитлових приміщеннях.

Крім житлових приміщень, трубопроводи систем опалення та гарячого водопостачання можуть прокладатися у неопалювальних підвалах, горищах, коридорах загального користування, тощо. Тому, для запобігання тепловтрат

від таких трубопроводів, необхідно передбачати нанесення теплоізоляційного матеріалу на них (рис.8.8).



Рис.8.8. Нанесення теплоізоляційного матеріалу на трубопровід у підвалі [\[](#)

Якщо при проведенні енергетичного аудиту було виявлено пошкодження або відсутність теплової ізоляції на трубопроводах систем опалення або (і) гарячого водопостачання, необхідно передбачити її відновлення. Матеріал та товщина утеплювача підбираються відповідно до будівельних норм.

2. Організація обліку та контролю за використанням енергетичних ресурсів

Як показує практика, встановлення лічильників для обліку споживання енергетичних ресурсів дозволяє скоротити їх фактичне споживання. При новому будівництві у житлових будинках встановлюють лічильники електроенергії, газові лічильники, лічильники обліку споживання холодної та гарячої води, лічильники теплової енергії будівель, які під'єднані до системи централізованого тепlopостачання.

В існуючих будинках прилади обліку енергетичних ресурсів, наприклад, газовий лічильник або лічильники споживання води встановлювалися за бажанням споживача, тому не всі квартири на даний час, обладнані такими приладами.



Рис.8.9. Зовнішній вигляд розподільника тепла

Лічильники теплової енергії можуть встановлюватися як у квартирі, так і на цілий будинок. Існуючі конструкції систем опалення багатоквартирних житлових будинків (однотрубна та двотрубна вертикальні системи) не дозволяють встановити поквартирний облік теплової енергії. Один із способів хоч якось визначити кількість теплової енергії, яку споживають у квартирі, - це встановлення розподільників тепла на кожному радіаторі в квартирі (рис.8.9). Цей прилад вимірює лише температуру на поверхні кінцевого пристрою, а не споживання теплової енергії. На підставі цих даних, а також даних про кожний радіатор (його тип і розмір), здійснюється розрахунок орієнтовної спожитої теплової енергії.

Будинковий лічильник теплової енергії встановлюється на «енергетичній межі» будівлі на вході безпосередньо в будівлю або в індивідуальний тепловий пункт.

3. Запобігання перегріву приміщень.

Потужність системи опалення, а, відповідно, діаметри трубопроводів, потужність опалювальних приладів, проектується на температуру зовнішнього повітря, що дорівнює температурі найхолоднішої п'ятиденки, проте температура зовнішнього повітря протягом опалювального періоду змінюється. Тому, для заощадження теплової енергії доцільно здійснювати регулювання відпуску теплоти споживачам. Регулювання відпуску теплоти може здійснюватися на джерелі теплоти, в тепловому пункті (рис.8.10) або

безпосередньо перед теплообмінним пристроєм (радіатором, вентиляційним калорифером).



Рис.8.10. Загальна схема регульованого теплозабезпечення житлового будинку при централізованому теплопостачанні [f](#)

Регулювання відпуску теплоти перед радіаторами системи опалення здійснюється за допомогою термостатичних клапанів (рис.8.11). Його встановлення дозволяє регулювати кількість теплоносія, яка надходить в радіатор, залежно від температури повітря у приміщенні, а, відповідно, підтримувати комфортні умови у приміщенні та зменшити споживання теплової енергії. За способом регулювання клапани бувають механічні і автоматичні. У механічних зміна положення головки клапана здійснюється вручну, у автоматичних – клапани самостійно корегують потік теплоносія у прилад. Термостатичні клапани потрібно встановлювати на всіх радіаторах у квартирі. Проте потрібно звернути увагу, що встановлення термостатичних клапанів в існуючих системах опалення не можливе при однотрубних, двотрубних та П-подібних **протічних** стояках, а також недоцільне перед чавунними радіаторами через їх велику теплову інерційність.



Рис.8.11. Встановлення термостатичного клапана перед радіатором системи опалення

4. Встановлення теплових завіс.

Теплова завіса - це вид місцевої системи вентиляції, яка створює потужний спрямований повітряний потік біля зовнішніх дверей у споруду для запобігання проникнення зовнішнього повітря у приміщення (рис.8.12), найчастіше використовується в холодний період року.

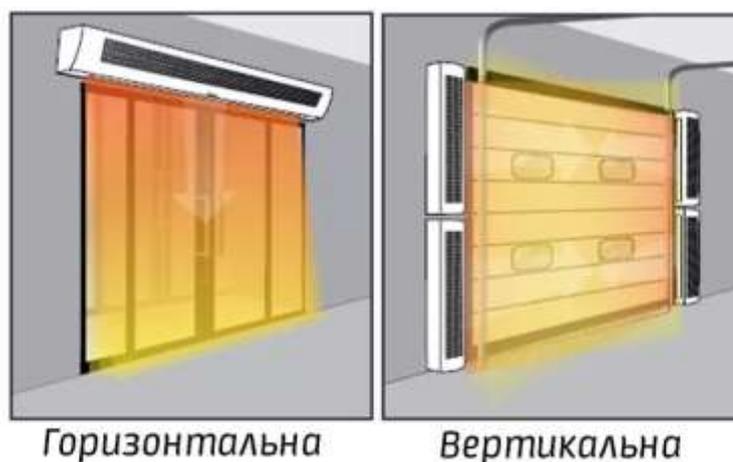


Рис.8.12. Встановлення повітряних завіс біля входних дверей будинку

5. Заміна частини або всіх трубопроводів.

Модернізація систем опалення та гарячого водопостачання може відбуватися із заміною розподільних трубопроводів, проте зі збереженням існуючої конфігурації систем.

Демонтаж існуючих інженерних систем потребує значних капітальних затрат та узгодження з усіма мешканцями житлового будинку. При заміні

системи опалення доцільно звернути увагу на горизонтальну систему з поквартирним розведенням трубопроводів, яка дозволяє здійснювати поквартирний облік теплової енергії. При демонтажі існуючої системи гарячого водопостачання сушарки рушників приєднують до системи опалення, а водорозбірні прилади приєднуються до нової системи гарячого водопостачання, з трубопроводами мінімального діаметру й мінімальною протяжністю циркуляційного контуру.

8.12. Представлення звіту за результатами енергетичного аудиту.

Заключна нарада

За результатами проведення енергоаудиту готується звіт, що є основою для прийняття рішення мешканцями будівлі щодо впровадження заходів з енергоефективності. Звіт з результатами енергоаудиту енергоаудитор повинен представити замовнику відповідно до графіку, який був погоджений під час попередньої наради. Результати енергетичного аудиту надаються замовнику у доступній формі для можливості легкого прийняття рішення щодо впровадження запропонованих заходів.

За результатами представленого звіту з енергоаудиту замовник повинен отримати інформацію щодо:

1. Фактичного стану та ефективності споживання енергоресурсів обстежуваної будівлі.
2. Основних напрямків економії енергоресурсів.
3. Переліку можливих енергоощадних заходів, пріоритетів їх впровадження та розраховану економію від їх реалізації.
4. Оцінки рівня капіталовкладень окремих енергоощадних заходів та всього проєкту.
5. Показників рентабельності енергоефективних заходів та всього проєкту.
6. Орієнтовного плану-графіку реалізації проєкту.

Звіт з енергетичного аудиту повинен складатися з таких частин:

- **описова частина** містить інформацію про будівлю, опис стану її огорожувальних конструкцій, інженерних систем, встановленого енергоспоживаючого обладнання та устаткування;
- **розрахункова частина** містить інформацію, що була отримана під час енергетичного аудиту, з наявністю визначених показників фактичного та базового енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, гарячого водопостачання та освітленні будівлі;
- **аналітична частина** містить аналіз ефективності енерговикористання, описуються рекомендації з енергозбереження та порядок їх виконання. Проводиться фінансово-економічна оцінка запропонованих заходів та їх пріоритетність за розрахованими показниками рентабельності. Зведена таблиця заходів з енергоефективності та їх фінансово-економічна оцінка вноситься на початок або в кінець звіту та оформлюється у вигляді загального резюме (висновків) по енергоаудиту.

Зміст звіту має відповідати визначеному характеру та обсягу робіт, межах та цілям енергетичного аудиту. Структура звіту з енергетичного аудиту:

1. *Резюме* містить стисло інформацію про результати енергоаудиту, короткий опис використання та споживання енергії в будівлі, потенціалу енергозбереження, запропоновані енергоощадні заходи та програму з їх реалізації, пріоритетність вказаних заходів.

2. *Вступ* містить загальну інформацію про проведений енергетичний аудит.

3. *Передумови проведення енергоаудиту та організація робіт:* передбачають наявність такої інформації: короткий опис передумов проведення енергетичного аудиту, опис процесу енергетичного аудиту, визначені характер та обсяг робіт і межі, мета (цілі) аудиту та часові рамки, загальна інформація про енергоаудитора, загальна інформація про замовника енергоаудиту, інформація щодо дотримання конфіденційності.

4. *Детальна інформація щодо енергоаудиту* містить інформацію щодо збору даних, аналіз рівня досягнутої енергоефективності хоча би одним показником, підставу для розрахунків, оцінок і припущень та зумовлену цим

точність, критерії пріоритетності можливостей для підвищення рівня енергоефективності, інформацію щодо проведених вимірювань та перелік задіяного для вимірювань обладнання.

5. Перелік стандартів та нормативно-правових документів.

6. Опис поточного стану будівлі, інженерних систем та режиму її експлуатації містить інформацію щодо загальних технічних даних об'єкту енергоаудиту (опис огорожувальних конструкцій, загальна площа (об'єм), опалювальна площа (об'єм), середня висота поверху, коефіцієнт компактності, коефіцієнт скління, орієнтацію за сторонами світу), режимів експлуатації житлової будівлі, кількість мешканців, тощо, енергетичну характеристику будівлі (інформація про потребу в теплі, фактичне використання енергоресурсів, тарифи на енергоресурси), характеристику інженерних систем будинку.

7. Енергоспоживання: фактичне споживання енергоресурсів за попередні роки, базове енергоспоживання, інформація про різницю запланованої економії (на основі базового енергоспоживання та споживання після запланованих енергоощадних заходів), енергетичний бюджет до та після реалізації енергоощадних заходів.

8. Потенціал енергозбереження містить аналіз енергетичного стану будівлі та потенціалу його енергозбереження, зведений перелік запропонованих енергоощадних заходів, інформацію щодо необхідного рівня інвестицій та оцінку рентабельності запропонованих заходів.

9. Опис заходів з енергоефективності.

10. Екологічні переваги від реалізації заходів з енергоефективності.

11. Орієнтовний план – графік реалізації проєкту з підвищення енергоефективності будівлі.

12. Фінансування заходів з енергоефективності містить оцінку необхідного рівня інвестицій, план фінансування із зазначенням джерел фінансування, пріоритетність реалізації заходів з енергоефективності.

13. Експлуатація та технічне обслуговування містить опис процедур з експлуатації та обслуговування будівлі та її інженерних систем, що

забезпечують підвищення енергетичної ефективності будівлі, пропозиції щодо експлуатації та технічного обслуговування будівлі після впровадження запропонованих енергоощадних заходів, пропозиції щодо навчання персоналу, що займається експлуатацією та технічним обслуговуванням будівлі, її інженерних систем, встановленого обладнання та устаткування.

14. *Організація системи моніторингу споживання енергоресурсів та впровадження системи енергетичного менеджменту.*

15. *Висновки.*

16. *Сертифікат енергетичної ефективності будівлі.*

17. *Додатки:* наявна технічна документація щодо будівлі, результати проведених вимірювань, фотоматеріали будівлі, її інженерних систем, встановленого обладнання та устаткування, комерційні пропозиції щодо вартості робіт та матеріалів, запропонованих у рамках заходів з енергоефективності.

Під час **заключної наради** енергоаудитор повинен відповісти на всі запитання замовника, які виникли під час ознайомлення зі звітом та спрямувати його на подальше впровадження енергоощадних заходів (або відмову від них за умови їх неефективності).

На заключній нараді можуть бути присутні як особи, які займаються експлуатацією інженерних систем будинку, так і звичайні мешканці. Тому, важливо доступно донести результати енергетичного аудиту та запропоновані енергоощадні заходи для всіх присутніх осіб.

За необхідності, зі сторони енергоаудитора в заключній нараді можуть брати участь декілька спеціалістів, які глибоко володіють питаннями у різних напрямках (наприклад, інженерні системи, фінансування тощо).

Розділ 9.

Сучасні технології енергоефективного будівництва

9.1. Принципи проектування енергоефективних будівель

Енергоефективне будівництво є одним із найважливіших напрямів сталого розвитку, оскільки будівлі споживають близько 40 % усієї енергії в світі та є джерелом до 30 % загальних викидів CO₂. Тому сучасні енергоефективні технології в будівництві спрямовані на зниження енергоспоживання будівель та мінімізацію їхнього впливу на довкілля. Даний розділ розглядає ключові аспекти, методи та інноваційні технології, які дозволяють досягти високої енергоефективності в будівлях, забезпечуючи при цьому комфорт та екологічну безпеку. У підрозділі 9.1 розглядаються основні принципи проектування енергоефективних будівель, що є фундаментом для подальшого впровадження відповідних технологій.

Проектування енергоефективних будівель базується на інтегрованому підході, що включає ряд принципів та вимог до конструкцій, інженерних систем, орієнтації будівлі, матеріалів тощо. Метою є створення будівлі, яка мінімізує втрати енергії та використовує відновлювані джерела енергії. Основні принципи проектування енергоефективних будівель охоплюють наступні аспекти.

9.1.1. Орієнтація будівлі та використання природного освітлення

Орієнтація будівлі є одним із найважливіших факторів, що впливає на рівень енергоефективності. Правильна орієнтація дозволяє максимально використовувати природне освітлення та зменшувати потребу в опаленні та охолодженні. Наприклад:

- **Південна орієнтація:** Будівлі, орієнтовані на південь, можуть отримувати більше сонячного тепла в холодний сезон, що знижує потребу в опаленні на 15-20 %.

- **Природне освітлення:** Використання природного освітлення може знизити витрати на освітлення до 30 %. Наприклад, у школах, де встановлено великі вікна з південної сторони, можна зекономити близько 3-5 кВт·год на кожному квадратному метрі за рік.

Відповідно до стандартів Європейського Союзу, будівлі повинні проектуватися з розрахунком максимальної кількості сонячного світла у холодний період року і мінімізації теплового впливу у спекотний період. Це дозволяє зменшити витрати на опалення та охолодження на 15–25 %.

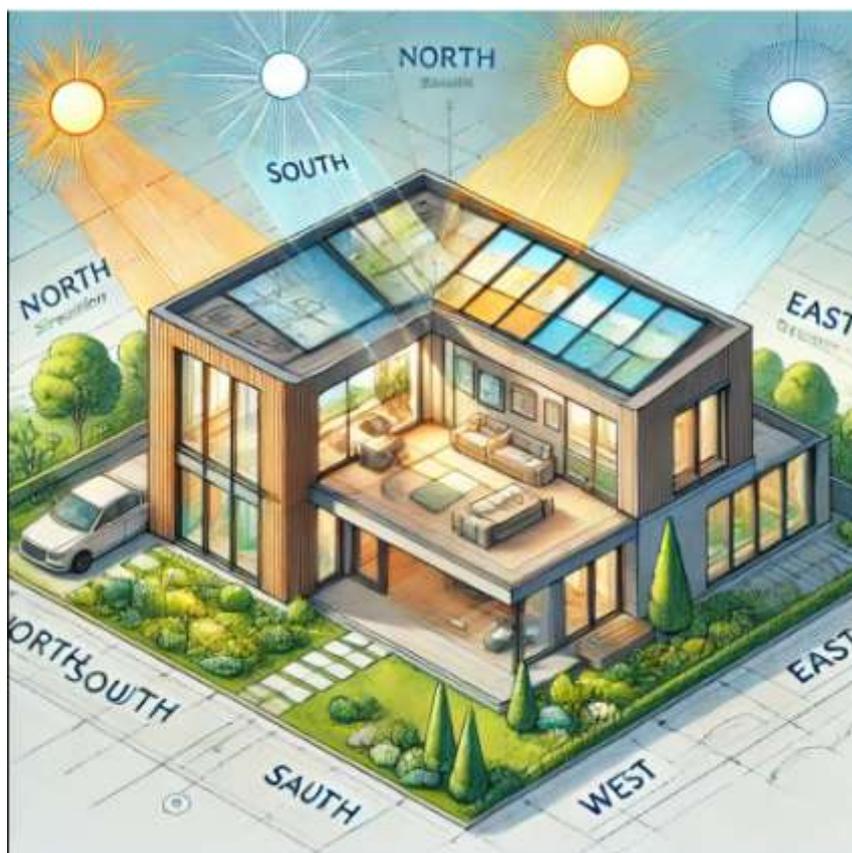


Рис. 9.1. Ілюстрація важливості орієнтації будівлі для використання природного освітлення

На рис. 9.1. показано оптимальне розташування вікон, шляхи сонячного світла та додаткові елементи, такі як затінення та озеленення.

9.1.2. Теплоізоляція огороджувальних конструкцій

Теплоізоляція є ключовим принципом енергоефективного будівництва, оскільки тепловтрати через стіни, дах, підлогу та вікна можуть складати до 70 % загальних втрат тепла в будівлі. Розглянемо конкретні аспекти теплоізоляції:

- **Стіни:** Сучасні теплоізоляційні матеріали, такі як мінеральна вата або екструдований пінополістирол (XPS), мають коефіцієнт теплопровідності близько 0,03–0,04 Вт/(м·К). Утеплення стін такими матеріалами товщиною 100–150 мм дозволяє знизити тепловтрати на 30–40 %.
- **Дах:** Утеплення даху є важливим для зменшення тепловтрат, оскільки через дах може втрачатися до 20–30 % тепла. Використання теплоізоляційних матеріалів з товщиною 150 мм і теплопровідністю 0,04 Вт/(м·К) дозволяє зекономити до 25 % енергії на опалення.
- **Вікна:** Енергоефективні вікна з трикамерним склопакетом, покриттям Low-E та заповненням аргонном мають коефіцієнт теплопередачі близько 0,6–1,1 Вт/(м²·К), що зменшує тепловтрати на 50 % у порівнянні зі звичайними вікнами.

9.1.3. Повітронепроникність будівлі

Для досягнення енергоефективності важливо забезпечити високу повітронепроникність будівлі. Дослідження показують, що через нещільності та щілини будівлі може втрачатися до 25 % тепла. Повітронепроникність вимірюється за допомогою показника повітрообміну n₅₀, який визначає кількість повітря, що проникає у будівлю при створенні різниці тиску 50 Па. Для енергоефективних будівель цей показник не повинен перевищувати 0,6 обмінів за годину (об/год). Досягнення такого рівня повітронепроникності можливе завдяки використанню:

- **Сучасних віконних та дверних систем з високою герметичністю.**
- **Систем ущільнювачів для усунення нещільностей.**

- **Спеціальних будівельних плівок та мембран**, які перешкоджають утворенню щілин та втрат тепла.

9.1.4. Вентиляційні системи з рекуперацією тепла

Системи вентиляції з рекуперацією тепла дозволяють зменшити втрати тепла, що виникають під час обміну повітря, і водночас забезпечують належний рівень якості повітря в приміщенні. Завдяки рекуператорам, які передають тепло від витяжного повітря до припливного, можна зекономити до 80 % енергії, необхідної для підігріву припливного повітря.

- **Ефективність рекуператорів:** сучасні рекуператори мають ККД від 70 до 90 %, що дозволяє знижувати витрати на опалення до 30–35 %.
- **Конкретні показники:** система вентиляції з рекуперацією для будинку площею 100 м² може зекономити до 5 МВт·год на рік, що відповідає приблизно 5000 грн при середній вартості теплової енергії.

9.1.5. Використання відновлюваних джерел енергії

Для зниження викидів CO₂ та підвищення енергоефективності сучасне будівництво орієнтується на впровадження відновлюваних джерел енергії, зокрема:

- **Сонячні панелі:** типова сонячна панель потужністю 1 кВт у середньому генерує 1000–1200 кВт·год електроенергії на рік в умовах України, що дозволяє зекономити на оплаті електроенергії близько 1500 грн на рік при вартості 1,5 грн за кВт·год.
- **Теплові насоси:** тепловий насос "повітря-вода" з коефіцієнтом продуктивності (COP) 3,5 дозволяє отримувати 3,5 кВт теплової енергії на кожен спожитий кіловат електроенергії. Це знижує витрати на опалення до 70 % у порівнянні з традиційними електронагрівачами.
- **Системи сонячного нагріву води:** сонячні колектори здатні забезпечувати до 60 % потреби у гарячій воді протягом року, що

особливо актуально для приватних будинків і дозволяє зекономити до 2000 грн на рік.



Рис. 9.2. Демонструє використання відновлюваних джерел енергії, включаючи сонячні панелі, вітряки, гідроелектростанцію, а також зарядку електромобілів від сонячної енергії

9.1.6. Інтегровані системи управління енергією (BEMS)

Системи управління енергією (BEMS - Building Energy Management Systems) дозволяють ефективно контролювати витрати енергії за допомогою автоматизації. Це дозволяє знизити споживання енергії на 20–25 % шляхом оптимізації роботи систем опалення, вентиляції, освітлення та кондиціонування повітря.

- **Сенсори та датчики:** використання датчиків руху, освітленості, температури та вологості дозволяє автоматично регулювати роботу

систем і забезпечувати необхідний комфорт при мінімальних енергетичних витратах.

- **Економія завдяки BEMS:** у багатоквартирних будинках впровадження BEMS може знизити енергоспоживання на 20 %, що еквівалентно економії до 1,5 МВт·год на рік для типової квартири.

Висновок. Принципи проектування енергоефективних будівель спрямовані на зменшення енергоспоживання, покращення комфорту та зниження негативного впливу на довкілля. Використання сучасних технологій, таких як високоефективна теплоізоляція, рекуперація, відновлювані джерела енергії та автоматизовані системи управління, дозволяє досягти значної економії енергії та забезпечити екологічну стійкість будівель. Дотримання цих принципів забезпечує значне скорочення операційних витрат та створює передумови для сталого розвитку будівельної галузі України.

9.2. Концепція пасивного будинку

Концепція пасивного будинку (Passivhaus) є однією з найбільш енергоефективних систем будівництва, яка дозволяє мінімізувати енергоспоживання будівель до рівня, при якому майже не потрібне традиційне опалення. Пасивний будинок забезпечує комфортні умови проживання з мінімальними витратами енергії, за рахунок високого рівня теплоізоляції, повітронепроникності конструкцій та ефективної вентиляції з рекуперацією тепла.

Ця концепція виникла в Німеччині у 1990-х роках і набула популярності у всьому світі завдяки своєму потенціалу значно знизити витрати енергії на опалення та охолодження, що сприяє зменшенню викидів парникових газів. Будівлі, спроектовані відповідно до стандарту пасивного будинку, можуть використовувати до 90 % менше енергії на опалення, ніж традиційні будівлі.

Основні принципи концепції пасивного будинку. Пасивний будинок будується відповідно до чітких критеріїв енергоефективності, які гарантують

мінімізацію втрат тепла та оптимальне використання енергії. Серед основних принципів цієї концепції виділяють наступні:

9.2.1. Енергоефективність та жорсткі стандарти споживання енергії

Основною метою пасивного будинку є скорочення енергоспоживання для опалення до мінімального рівня. Відповідно до стандартів Passivhaus, енергія, необхідна для опалення, не повинна перевищувати 15 кВт·год/м² на рік. Для порівняння, традиційні будинки можуть споживати від 100 до 300 кВт·год/м² на рік.

Основні вимоги пасивного будинку:

- **Максимальне споживання енергії на опалення:** не більше 15 кВт·год/м² на рік.
- **Загальне споживання первинної енергії (на всі потреби):** не більше 120 кВт·год/м² на рік.

При дотриманні цих стандартів пасивний будинок споживає приблизно в 5–10 разів менше енергії, ніж звичайна будівля.

9.2.2. Висока теплоізоляція

Для досягнення мінімальних тепловтрат в пасивному будинку застосовуються сучасні теплоізоляційні матеріали з низьким коефіцієнтом теплопровідності, який для пасивних будинків зазвичай становить 0,03–0,04 Вт/(м·К). Рекомендовані товщини ізоляційних матеріалів для пасивного будинку:

- **Зовнішні стіни:** теплоізоляція товщиною 300–400 мм, що забезпечує коефіцієнт теплопередачі (U) менше ніж 0,15 Вт/(м²·К).
- **Дах:** теплоізоляція товщиною 400–500 мм з аналогічним коефіцієнтом теплопередачі.
- **Підлога:** теплоізоляція товщиною 300 мм для мінімізації втрат тепла через фундамент, особливо важливо для холодного клімату.

9.2.3. Високоякісні вікна та конструкції з низьким рівнем тепловтрат

Вікна є одним із ключових джерел тепловтрат, тому в пасивних будинках використовуються спеціальні енергоефективні вікна. Основні характеристики таких вікон включають:

- **Трикамерний склопакет** з коефіцієнтом теплопередачі $U < 0,8$ Вт/(м²·К).
- **Низькоемісійне покриття (Low-E)**, що мінімізує втрати тепла через скло.
- **Заповнення інертним газом** (наприклад, аргоном або криптоном) між шарами скла для зменшення теплопередачі.
- **Рамні профілі** з теплоізоляційними вставками для зменшення містків холоду.

Завдяки такому підходу, вікна в пасивних будинках забезпечують теплові втрати (в порівнянні з тепловими втратами через утеплені стіни), що дозволяє зменшити загальні втрати тепла на 10–15 %.

9.2.4. Вентиляція з рекуперацією тепла

Одним із найважливіших елементів пасивного будинку є система вентиляції з рекуперацією тепла, яка дозволяє економити до 80–90 % тепла, що виходить з будівлі з відпрацьованим повітрям. Система працює за наступним принципом:

- **Рекуператор тепла** дозволяє передавати тепло від витяжного повітря до свіжого припливного повітря, знижуючи потребу в додатковому підігріві.
- **Ефективність рекуперації**: рекуператори в пасивних будинках мають ефективність не менше 75–85 %, що дозволяє зекономити до 25–30 % загальних витрат на опалення.

9.2.5. Уникнення теплових мостів

Теплові мости, такі як кути будівлі, стики між конструкціями та точки кріплення, є ділянками, через які можуть відбуватися значні втрати тепла. У пасивних будинках особливу увагу приділяють мінімізації теплових мостів шляхом:

- Використання **спеціальних теплоізоляційних елементів** для стиків і кутів конструкцій.
- **Конструктивного проектування**, що запобігає появі термічних мостів.
- Застосування **теплоізоляційних прокладок** на з'єднаннях між елементами будівлі.

Завдяки цьому підходу втрати тепла через теплові мости знижуються на 10–15 %, що підвищує загальну енергоефективність будинку.

9.2.6. Герметичність конструкцій

Одним із важливих критеріїв пасивного будинку є забезпечення високої герметичності будівлі, щоб уникнути небажаних тепловтрат через щілини і нещільності. Рівень герметичності вимірюється за допомогою коефіцієнта n_{50} , який відображає кількість повітряних обмінів на годину при створенні різниці тиску 50 Па. Для пасивного будинку цей показник повинен становити **менше 0,6 об/год**. Це дозволяє мінімізувати втрати тепла на додаткові 10–20 %.

Досягти такої герметичності можна завдяки використанню:

- **Паробар'єрних мембран і герметизуючих стрічок** для захисту від проникнення повітря в місцях з'єднання конструкцій.
- **Спеціальних ущільнювачів** для вікон та дверей.

9.2.7. Використання пасивних джерел тепла

Концепція пасивного будинку також передбачає використання внутрішніх джерел тепла, таких як побутові прилади, освітлення і навіть тепло, яке виділяється людьми. Усі ці джерела тепла можуть забезпечувати від 20 до 30 % від необхідної енергії на опалення.

Наприклад:

- **Тепло від побутових приладів та освітлення:** при середній кількості побутових приладів у квартирі, тепло від них може забезпечити до 10–15 Вт/м².
- **Тепло від мешканців:** одна людина в стані спокою виділяє близько 80 Вт теплової енергії, що забезпечує додаткове нагрівання.

9.2.8. Інтеграція з відновлюваними джерелами енергії

Для забезпечення енергонезалежності пасивні будинки можуть використовувати відновлювані джерела енергії, такі як сонячні панелі, теплові насоси або вітрові генератори. Це дозволяє пасивному будинку переходити на нульове або навіть позитивне енергоспоживання, коли будівля виробляє більше енергії, ніж споживає.



Рис. 9.3. Пасивний будинок, його основні елементи: сонячні панелі, високоефективна ізоляція, герметична конструкція та система вентиляції з рекуперацією тепла

Всі елементи спрямовані на максимальну енергоефективність і комфорт проживання.

Висновки. Концепція пасивного будинку є сучасним підходом до будівництва, який поєднує високу енергоефективність, екологічність та комфорт. Завдяки високим стандартам теплоізоляції, герметичності, вентиляції з рекуперацією тепла та використанню відновлюваних джерел енергії, пасивні будинки споживають до 90 % менше енергії, ніж традиційні будівлі. Це робить їх ідеальним рішенням для боротьби з енергетичною кризою та змінами клімату, сприяючи сталому розвитку та енергетичній незалежності України та світу.

9.3. Стандарт будинків із наближеним до нульового рівнем споживання енергії

Будинки із наближеним до нульового рівнем споживання енергії (Nearly Zero-Energy Buildings, NZEB) є важливим напрямом в енергоефективному будівництві та екологічно стійкому розвитку. Концепція NZEB орієнтується на створення будівель, що споживають мінімальну кількість енергії, яку вони можуть компенсувати за рахунок відновлюваних джерел. Основна ідея цього стандарту полягає у досягненні балансу між енергоспоживанням будівлі та її енергогенерацією, зводячи фактичне споживання майже до нуля.

У країнах Європейського Союзу стандарт NZEB став обов'язковим для нових будівель з 2021 року відповідно до Директиви ЄС 2010/31/EU. В Україні стандарт NZEB набирає популярності в рамках реалізації національної політики енергоефективності та скорочення викидів парникових газів, хоча ще перебуває на стадії поступового впровадження. Будинки NZEB мають високий потенціал для зниження енергетичної залежності, зменшення впливу на довкілля та покращення комфортних умов проживання.

Це показує, як такі будинки мінімізують споживання енергії та використовують поновлювані джерела (рис. 9.4.).



Рис. 9.4. Ключові елементи будинків з наближеним до нульового рівнем споживання енергії: сонячні панелі, вітряки, геотермальне опалення, утеплення, вентиляція з енергозбереженням і пасивний дизайн

Основні характеристики стандарту будинків із наближеним до нульового рівнем споживання енергії. Для того щоб будівля відповідала стандарту NZEB, вона має відповідати ряду вимог, які стосуються як проектування, так і використання будівлі. Серед основних критеріїв виділяють такі:

9.3.1. Жорсткі обмеження на енергоспоживання

Стандарт NZEB передбачає, що річне споживання первинної енергії має бути зведене до мінімуму. Згідно з директивами ЄС, середні показники енергоспоживання NZEB мають становити:

- **Опалення, вентиляція та охолодження:** менше ніж 20–30 кВт·год/м² на рік.
- **Загальне річне споживання первинної енергії:** не більше ніж 50–60 кВт·год/м² для житлових будівель, та до 80 кВт·год/м² для громадських будівель.

Для порівняння, у звичайних багатоквартирних будинках енергоспоживання може досягати 150-200 кВт·год/м² на рік.

9.3.2. Використання високоефективної теплоізоляції

Щоб знизити потребу в опаленні та охолодженні, у будинках NZEB широко використовуються високоефективні теплоізоляційні матеріали з теплопровідністю у межах **0,03–0,04 Вт/(м·К)**. Товщина ізоляції може сягати:

- **Стіни:** від 300 до 500 мм, що забезпечує коефіцієнт теплопередачі (U) нижче 0,15 Вт/(м²·К).
- **Дах:** товщина ізоляції 400–600 мм для забезпечення $U < 0,1$ Вт/(м²·К).
- **Підлога та цоколь:** теплоізоляція товщиною близько 200–300 мм для зменшення тепловтрат у холодну пору року.

9.3.3. Герметичність та мінімізація повітряних витоків

Високий рівень герметичності будівлі є необхідною умовою для досягнення стандарту NZEB. Це дозволяє уникнути небажаних тепловтрат та скоротити витрати на опалення та охолодження. Вимоги до герметичності включають:

- **Коефіцієнт повітропроникності (n_{50}):** не більше 0,6 об/год, що забезпечує майже повну герметичність конструкції.
- Використання **герметизуючих матеріалів та бар'єрів** на стиках стін, вікон та дверей, що запобігають утворенню теплових мостів.

Завдяки високій герметичності будівлі NZEB можуть знизити тепловтрати на 15-20 % у порівнянні з традиційними будівлями.

9.3.4. Енергоефективні вікна

Для зменшення тепловтрат та покращення енергоефективності у будинках NZEB використовуються спеціальні енергоефективні вікна, що мають такі характеристики:

- **Трикамерний склопакет** з коефіцієнтом теплопередачі $U < 0,8$ Вт/(м²·К).
- **Заповнення інертними газами** (аргон, криптон) для зниження теплопровідності.
- **Низькоемісійне покриття (Low-E)**, що мінімізує втрати тепла через скло.

Завдяки використанню таких вікон, загальні тепловтрати через віконні конструкції знижуються на 15–20 % порівняно з традиційними вікнами.

9.3.5. Система вентиляції з високоефективною рекуперацією тепла

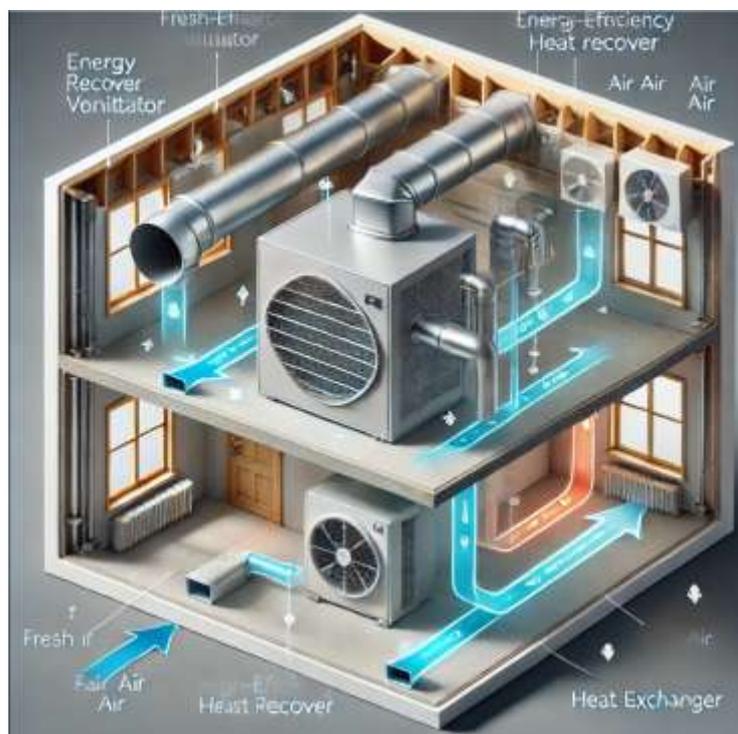


Рис. 9.5. Система вентиляції з високоефективною рекуперацією тепла

На зображенні показано основні елементи: енергозберігаючий вентилятор (ERV), теплообмінник, повітряні канали та фільтри. Потоки свіжого і відпрацьованого повітря позначені стрілками, підкреслюючи процес передачі тепла від теплого витяжного повітря до свіжого припливного.

Для забезпечення комфортного мікроклімату та мінімізації енергетичних втрат використовується система вентиляції з рекуперацією тепла, яка дозволяє повернути до 90 % тепла з витяжного повітря. Основні параметри такої системи:

- **Ефективність рекуперації тепла:** понад 85 %.
- **Можливість регулювання** інтенсивності вентиляції залежно від потреби у свіжому повітрі, що дозволяє зменшити енерговитрати.

Система вентиляції з рекуперацією тепла у будинках NZEB забезпечує комфортний рівень вологості та чистоти повітря, знижуючи енергоспоживання на 25–30 %.

9.3.6. Інтеграція відновлюваних джерел енергії

Для досягнення майже нульового рівня енергоспоживання в будинках NZEB використовуються різні відновлювані джерела енергії, які можуть повністю або частково забезпечити потреби будівлі в енергії. Найбільш популярні технології включають:

- **Сонячні панелі (фотоелектричні системи):** середня потужність сонячної електростанції для житлового будинку становить 3-10 кВт, що дозволяє генерувати до 10 000 кВт·год електроенергії на рік. Це покриває до 80 % потреб будівлі в електроенергії.
- **Геліосистеми для підігріву води:** сонячні колектори можуть знизити витрати на гаряче водопостачання на 60-80 %, забезпечуючи будівлю гарячою водою відновлюваним джерелом.
- **Теплові насоси:** коефіцієнт корисної дії теплових насосів може досягати 3-4, що дозволяє зменшити споживання енергії для опалення та охолодження у 3-4 рази.

Установлення таких джерел енергії дозволяє досягти значної економії та навіть забезпечити позитивний енергобаланс будівлі в певні періоди.

9.3.7. Інтелектуальні системи управління енергією

Інтелектуальні системи управління (Building Energy Management Systems, BEMS) забезпечують автоматизований контроль над енергоспоживанням, що дозволяє оптимізувати використання енергії. Функціональні можливості BEMS у будинках NZEB включають:

- **Автоматичне регулювання систем опалення, охолодження та освітлення:** це дозволяє знижувати енергоспоживання до 20–25 % за рахунок точного налаштування систем на основі поточного використання приміщень.
- **Моніторинг і аналіз споживання енергії:** система збирає дані про використання енергії, що дозволяє вчасно виявляти та усувати джерела надмірного споживання.
- **Сумісність із джерелами відновлюваної енергії,** що дозволяє автоматично розподіляти енергію для покриття поточних потреб.

Приклади впровадження стандарту NZEB в Україні та світі. В Україні проєкти будинків NZEB ще перебувають на початковій стадії впровадження, хоча деякі проєкти вже реалізовано у великих містах як частина державних програм із підвищення енергоефективності. За кордоном такі будівлі активно зводяться в країнах ЄС та США. Наприклад:

- **Німеччина:** програма "Effizienzhaus Plus" сприяла створенню понад 3 000 будинків із наднизьким споживанням енергії.
- **США:** Каліфорнія має вимогу до всіх нових будівель з 2020 року відповідати стандартам NZEB.

Ці будівлі забезпечують економію енергоресурсів, знижують викиди CO₂ та сприяють сталому розвитку.

Висновки. Будівлі стандарту NZEB є новим кроком у напрямі сталого будівництва, що поєднує мінімальне енергоспоживання з використанням

відновлюваних джерел енергії. Завдяки NZEB можна значно зменшити вуглецевий слід, скоротити витрати на енергію та підвищити рівень комфорту в будівлях. В Україні запровадження цього стандарту сприятиме покращенню енергоефективності житлового фонду та наближенню до європейських стандартів екологічної сталості.

9.4. Основи проектування активних будинків

Активні будинки – це тип будівель, які не тільки споживають мінімальну кількість енергії, а й виробляють її в надлишку завдяки інтеграції сучасних технологій. Відмінність активних будинків від будинків із низьким або нульовим енергоспоживанням полягає в тому, що вони орієнтовані на максимальне самозабезпечення та генерацію енергії, що перевищує потреби будівлі. Вироблена енергія може спрямовуватись у загальну мережу, забезпечуючи додаткові прибутки власникам або зменшуючи залежність від зовнішніх джерел.



Рис. 9.6. Ілюстрація активного будинку, яка включає концепцію екологічного та енергоефективного дизайну, гармонійного з природою

Активні будинки базуються на принципах сталого розвитку, оптимізації енергоресурсів та екологічності. Їх проектування потребує комплексного підходу та інтеграції інноваційних інженерних систем і матеріалів.

Основні принципи проектування активних будинків. Проектування активного будинку вимагає застосування певних концепцій та технологій, що дозволяють значно зменшити витрати енергії та забезпечити високий рівень комфорту. Основні принципи та особливості активних будинків включають:

9.4.1. Генерація надлишкової енергії

Для того щоб будівля генерувала більше енергії, ніж споживає, вона повинна бути оснащена потужними джерелами відновлюваної енергії.



Рис. 9.7. Зображення ілюструє енергоефективну будівлю з основними елементами, такими як сонячні панелі, сонячні колектори та тепловий насос

Найчастіше використовуються такі технології:

- **Фотоелектричні панелі:** потужність сонячних панелей для активних будинків може досягати 10-15 кВт, що дозволяє генерувати до 15000-

20000 кВт·год електроенергії на рік. Це дозволяє забезпечити енергопотреби не лише самої будівлі, а й надати надлишкову енергію для інших цілей.

- **Сонячні колектори для нагріву води:** системи на основі сонячних колекторів забезпечують до 70-80 % потреб у гарячій воді протягом року, що знижує використання зовнішніх джерел тепла.
- **Теплові насоси:** особливо ефективні для кліматичних умов України. Коефіцієнт корисної дії теплових насосів може досягати 3,5-4, що дозволяє виробляти у 3-4 рази більше тепла, ніж споживається електроенергії.

9.4.2. Використання "розумних" енергосистем управління

Активні будинки повинні бути оснащені інтелектуальними системами управління енергоспоживанням, які забезпечують раціональне використання ресурсів та автоматичне налаштування параметрів мікроклімату. Основні функції таких систем включають:

- **Система моніторингу та аналізу енергоспоживання:** надає дані щодо споживання та виробництва енергії в режимі реального часу.
- **Інтелектуальне регулювання освітлення, опалення та охолодження:** системи можуть автоматично адаптуватися до погодних умов і часу доби, що дозволяє економити до 20-25 % енергії.
- **Контроль за станом генераторів енергії** (сонячних панелей, теплових насосів), що дозволяє збільшити їх ефективність та запобігти можливим поломкам.

9.4.3. Максимальна теплоізоляція та герметичність

Активні будинки проектуються з використанням матеріалів із наднизьким рівнем теплопередачі, що зводить тепловтрати до мінімуму. Основні вимоги до теплоізоляції включають:

- **Стіни та дах:** коефіцієнт теплопередачі U має бути нижче $0,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Для цього застосовується теплоізоляція товщиною $300\text{--}500 \text{ мм}$, а також використання інноваційних теплоізоляційних матеріалів з теплопровідністю $0,03 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ і нижче.
- **Вікна:** багатокамерні склопакети з низькоемісійним покриттям і коефіцієнтом теплопередачі $U < 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Інертні гази (аргон або криптон) між шарами скла підвищують ізоляційні властивості.
- **Підлога та цоколь:** утеплення товщиною $200\text{--}300 \text{ мм}$ для запобігання проникненню холоду ззовні.

9.4.4. Система вентиляції з рекуперацією тепла

Активні будинки обладнуються вентиляційними системами з рекуперацією тепла, які дозволяють повернути до 90% тепла з витяжного повітря, забезпечуючи постійний приплив свіжого повітря без значних тепловтрат. Характеристики таких систем:

- **ККД рекуперації тепла:** понад $85\text{--}90 \%$.
- **Інтеграція із системою опалення та охолодження,** що дозволяє автоматично підтримувати комфортну температуру незалежно від погодних умов.
- Можливість **індивідуального налаштування** повітряного обміну залежно від кількості людей у приміщенні та рівня вологості.

9.4.5. Використання енергоефективних матеріалів і технологій будівництва

При проектуванні активних будинків широко використовуються екологічні та енергоефективні матеріали, які мають низький вуглецевий слід. Серед них:

- **Будівельні блоки з високими ізоляційними властивостями,** наприклад, піноблоки, газобетон із теплопровідністю $0,07\text{--}0,1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

- **Дерев'яні конструкції:** мають низьку теплопровідність (0,15 Вт/(м·К)), що робить їх оптимальним матеріалом для зниження тепловтрат.
- **Матеріали з вторинної сировини:** застосування таких матеріалів сприяє зменшенню викидів CO₂ під час виробництва та будівництва.

9.4.6. Використання водоощадних технологій

Активні будинки проектуються з використанням систем для раціонального споживання води. Це дозволяє зменшити загальне навантаження на водні ресурси та енергію, необхідну для підігріву води. Основні технології включають:

- **Системи збору дощової води** для технічних потреб (наприклад, поливу, санітарних вузлів).
- **Системи очищення та повторного використання води:** технології фільтрації дозволяють повторно використовувати воду, що зменшує загальне споживання до 20–30 %.
- **Сенсорні крани та душові головки,** які автоматично регулюють витрату води, забезпечуючи економію до 50 % порівняно зі звичайними системами.

9.4.7. Відновлювана енергія та взаємодія з електромережею

Активні будинки не тільки генерують енергію, а й можуть активно взаємодіяти з енергетичними мережами, забезпечуючи баланс енергоспоживання та виробництва.

Важливі аспекти інтеграції включають:

- **Зберігання надлишкової енергії:** акумуляторні системи дозволяють зберігати надлишок енергії, яку можна використовувати у пікові періоди або в разі перебоїв у постачанні.

- **Взаємодія з мережею (smart grid):** активні будинки можуть передавати надлишкову енергію в мережу, отримуючи прибуток або компенсуючи витрати на інші енергетичні послуги.
- **Зарядка для електромобілів:** інтеграція зарядних станцій для електротранспорту дозволяє використовувати будинок як джерело енергії для електромобілів.

Переваги та перспективи впровадження активних будинків.

Проектування та будівництво активних будинків дозволяє значно підвищити рівень енергонезалежності та знизити екологічний вплив від будівельної діяльності.

Основні переваги включають:

- **Зменшення залежності від традиційних джерел енергії:** активні будинки виробляють до 100 % і більше енергії від своїх потреб.
- **Зниження витрат на комунальні послуги:** у довгостроковій перспективі мешканці можуть повністю покрити витрати на електроенергію і навіть отримувати дохід.
- **Зниження вуглецевого сліду:** активні будинки сприяють зменшенню викидів CO₂, що відповідає цілям сталого розвитку.

Активні будинки відкривають нові можливості для сталого будівництва в Україні та світі, пропонуючи енергетичну незалежність, високу екологічність та комфорт.

Розділ 10.

Особливості вентиляювання деяких приміщень в будинках різного призначення

10.1. Особливості вентиляції помешкань багатосімейних житлових будинків

Системи вентиляції вибирають з урахуванням призначення приміщення і будівлі, їх об'єму, характеру забрудників, які виділяються, кліматичних особливостей місця будівництва, наявності вторинних теплових ресурсів та інших спеціальних вимог. При цьому керуються приписами відповідних державних нормативних документів [1-27]. Необхідно зауважити, що рекомендації цих норм переважно не враховують приписів, що мають на сьогодні місце в будівельних нормах розвинених європейських держав.

Основними принципами вентиляювання приміщення є:

- застосування, найперше, систем місцевої вентиляції, завдяки її високій ефективності;
- загальна вентиляція повинна забезпечувати нормативні гігієнічні умови в ЗО (РЗ) приміщення за мінімального повітрообміну;
- притікальне повітря доцільно розподіляти безпосередньо в ЗО чи РЗ.

Ефективність прийнятого конструкційного розв'язання вентиляції приміщення повинна обґрунтовуватись економічним аналізом.

Системи вентиляції помешкань повинні забезпечувати щонайменше:

- притікання зовнішнього повітря до житлових кімнат, а також кухні із зовнішнім вікном;
- витікання забрудненого внутрішнього повітря з кухні, ванни, окремого санвузла, а також допоміжного безвіконного приміщення (комори, гардеробу).

За приписами вітчизняних норм [1, 14, 28] в помешканнях рекомендується природна загальна витікальна вентиляція з верхньої зони приміщень кухонь, ванн, санітарних вузлів, а в деяких випадках і житлових

кімнат. Компенсувальне притікання зовнішнього повітря передбачається через квартирки і нещільності вікон та балконних дверей.

Згідно [29] допускається застосування в окремих помешканнях механічної децентралізованої вентиляції, яка включається в дію мешканцями і унеможливорює затікання витікального повітря до інших помешкань. Нормується щільність зовнішніх вікон і дверей, а також внутрішніх входних дверей до помешкань.

Згідно приписів вітчизняних норм мінімальна кількість витікального повітря: для кухонь із зовнішнім вікном і електроплитами – $60 \text{ м}^3/\text{год}$; те ж з газовими двопальниковими плитами – $60 \text{ м}^3/\text{год}$; з трипальниковими – $75 \text{ м}^3/\text{год}$, з чотиріпальниковими – $90 \text{ м}^3/\text{год}$. Із ванних кімнат і індивідуальних санвузлів кількість витікального повітря по $25 \text{ м}^3/\text{год}$, а із суміщених санвузла і ванни – $50 \text{ м}^3/\text{год}$.

Для кухні без зовнішнього вікна [29], оснащеної електроплитою, повітрообмін $50 \text{ м}^3/\text{год}$, а для окремого санвузла – $30 \text{ м}^3/\text{год}$; для допоміжних безвіконних приміщень помешкання – $15 \text{ м}^3/\text{год}$, а для кухонь без зовнішнього вікна, що оснащені газовим обладнанням, – $70 \text{ м}^3/\text{год}$. В кухнях рекомендується вентиляція, яка уможливорює повітрообмін, в часі вжитку обладнання для готування їжі, щонайменше $120 \text{ м}^3/\text{год}$.

Згідно приписів вітчизняних норм в житлових приміщеннях помешкань з нещільними зовнішніми огорожами (вікнами), із врахуванням нормованої площі на одну людину, повітрообмін приймається рівним $3 \text{ м}^3/\text{год}$ на 1 м^2 площі; в приміщеннях з ущільненими зовнішніми вікнами – 1 год^{-1} (в денний період доби за умови перебування в приміщенні людей); в нічний період (наприклад, з 22.00 год до 6.00 год) повітрообмін може бути зменшений до величини $20 \text{ м}^3/\text{год}$ на одного мешканця.

В помешканнях, у яких спалюється однотипне паливо, де є каміни або газові підігрівники води з гравітаційним відведенням продуктів спалювання, рекомендовано застосовувати тільки природну вентиляцію або механічну притікально-витікальну вентиляцію нульового тиску (нульового балансу повітрообміну) [29].

Притікання зовнішнього повітря до житлових кімнат і кухні з ущільненими зовнішніми вікнами повинно забезпечуватись наступним чином [29]:

а) *через щільні горизонтальні отвори з регульованим ступенем відкриття*, які передбачають у верхній частині вікна або над вікном, а також в нижній частині зовнішньої стіни, за умови, що забезпечується підігрівання зовнішнього притікального повітря. Регулювання відкриття отвору може бути ручним або самочинним (за допомогою регулятора сталої витрати).

Допускається притікання зовнішнього повітря через вікна з фрамугою (стулкою), яка відкривається похило або верхній провітрювач. В цих випадках регульовальне обладнання повинно уможливлювати, за мінімального похилу, щільний отвір шириною не більше ніж 15 мм поміж верхнім краєм похилої частини і рамою фрамуги або віконною рамою, причому для фрамуг, які відкриваються похило, ця вимога відноситься до ширини щілини зі сторони завісів. В однородинних будинках допускається також перетікання зовнішнього повітря через верхні провітрювачі, що відкриваються без регулювання кута розкривання.

б) *через повітророзподільники механічної притікальної вентиляції*. Витікання внутрішнього повітря з житлових кімнат повинно передбачатись через вирівнювальні вентиляційні отвори переважно в нижній (чи у верхній) частині їх входних дверей, або через отвори систем витікальної вентиляції. Допускається перетікання повітря через щілину поміж нижнім краєм дверей і підлогою. Живий переріз вентиляційних отворів або щілин повинен бути не меншим 80 см².

Житлові кімнати в двоповерхових (дворівневих) помешканнях знаходяться на вищому поверсі і відділені щонайменше двома дверима від приміщень, з яких передбачається витікальна вентиляція, а тому в них передбачають отвір для витікання повітря, приєднаний до окремого вертикального вентиляційного трубопроводу (каналу). Повітрообмін в цих кімнатах повинен відповідати 1 год⁻¹.

Згідно приписів вітчизняних норм в помешканнях з 4-х і більше житлових кімнат передбачається окрема витікальна вентиляція з усіх цих кімнат, за винятком двох найближчих до кухні.

Притікання повітря від сусідніх приміщень до кухні, ванни, санвузла, або допоміжних безвіконних приміщень повинно забезпечуватись через вентиляційні отвори у верхніх частинах дверей або через щілинний отвір поміж нижнім краєм стулки дверей і підлогою чи порогом. Живий переріз цих отворів або щілин повинен бути 200 см^2 .

Витікання повітря з кухні, ванни, санвузла, а також допоміжних безвіконних приміщень повинно забезпечуватись через отвори, які розміщені у верхній частині стіни і приєднані до вертикальних трубопроводів природної чи механічної вентиляції.

До збірних вертикальних вентиляційних трубопроводів повинні бути приєднані тільки приміщення однакового призначення (наприклад, кухні, приміщення гігієнічного призначення тощо). Не допускається використання вертикальних збірних трубопроводів, які обслуговують житлові приміщення, для переміщення витікального повітря з нежитлових допоміжних приміщень (підвалу, пральні, сушильні тощо).

В підвалі повинно забезпечуватись притікання зовнішнього повітря через віконця, які відкриваються, або через спеціальні отвори в зовнішніх огорожах. Для витікання повітря треба застосовувати природну трубопровідну вентиляцію або механічну вентиляцію тривалої дії. Повітрообмін повинен відповідати не менше $0,3 \text{ год}^{-1}$. Підвали, які розділені ажурними (тонкими) стінками на окремі приміщення, належить трактувати як одне приміщення.

Горища повинні мати притікально-витікальну вентиляцію через отвори їх зовнішніх огорож.

У верхній частині сходових приміщень повинен передбачатись отвір для витікання повітря з живим перерізом 200 см^2 .

Труба сміттєпроводу повинна мати отвір понад дахом будинку для викидного повітря. Механічний повітрообмін витікальної вентиляції не менший

200 м³/год. У верхній частині труби, перед вентилятором, потрібно передбачити фільтр.

Приміщення будинкової пральні повинні мати витікальну або притікально-витікальну вентиляцію з повітрообміном не менше 2 год⁻¹, що працює винятково в часі їх вжитку (використання). За наявності системи витікальної вентиляції притікання зовнішнього повітря повинно забезпечуватись через отвори з регульованим ступенем відкриття.

Приміщення для сушіння білизни повинні мати природну вентиляцію з повітрообміном 1 год⁻¹. Притікання повітря в них може передбачатись від сусідніх приміщень через вентиляційні отвори дверей.

Інші приміщення (технічні і тощо), які знаходяться в житлових будинках, повинні вентилуватись згідно вимог вентиляції ідентичних приміщень в громадських будинках або згідно технологічних вимог.

10.1.1. Вентиляція гуртожитків

Потрібний повітрообмін повинен бути щонайменше:

- для житлових приміщень і спалень – 20 м³/год для кожного мешканця, але не менший 1 год⁻¹;
- для приміщень з масовим перебуванням людей (наприклад, залів зібрань, їдалень) – 20 м³/год для кожної особи;
- для кухонь, ванн і санвузлів індивідуального вжитку – аналогічно як і в помешканнях житлових будинків.

Повітрообмін для кухонь і гігієнічних приміщень, які призначені для спільного вжитку мешканцями, а також інших подібних приміщень, повинен відповідати обов'язковим приписам або технологічним і санітарним вимогам.

Житлові кімнати і спальні повинні мати забезпечене притікання зовнішнього повітря, подібно як і в помешканнях житлових будинків. Витікання повітря з них повинно бути безпосереднім – через отвори, що приєднані до вертикальних вентиляційних трубопроводів, або

опосередкованим, якщо сусідні приміщення мають отвори для витікання повітря (наприклад, через ванну або санвузол).

Кімнати для групового перебування людей повинні мати гарантоване притікання зовнішнього повітря, а також отвори для витікання внутрішнього повітря, що приєднані до вертикальних вентиляційних трубопроводів. Притікання зовнішнього повітря в кількості не більше 2 год^{-1} може бути забезпечене під впливом розрідження в приміщеннях через отвори з регульованим ступенем відкривання. Долішній край притікальних отворів повинен бути на висоті нижче 2 м від рівня підлоги. У випадку застосування фрамуги (стулки), яка відкривається похило, верхніх похилих провітрювачів або верхніх похилих фрамуг – висота 2 м стосується щілини, що утворюється при найменшому ступені відкривання.

За більшої кратності повітрообміну застосовують механічну притікальну вентиляцію з повітророзподіленням, переважно, через вентиляційні ґратки.

Кухні, ванни і санвузли, що призначені для індивідуального вжитку, повинні вентилюватись згідно вимог для цього типу приміщень в помешканнях житлових будинків.

Кухні і гігієнічні приміщення, що призначені для спільного вжитку мешканців, повинні мати вентиляцію (притікання зовнішнього і витікання внутрішнього повітря) незалежну від сусідніх побутових приміщень, яка забезпечує розрідження відносно щодо цих приміщень.

10.1.2. Механічна вентиляція помешкань багатосімейних житлових будинків [30]

Рекомендації норми [30] стосуються механічної витікальної вентиляції багатосімейних житлових будинків висотою до 55 м. Таку вентиляцію не можна застосовувати в помешканнях з паливниками (топками), які підключені до будинкових трубопроводів, або з газоспоживальними приладами із гравітаційним відведенням продуктів спалювання.

В допоміжних приміщеннях, (наприклад, пральнях, сушильнях) в цьому випадку також обов'язково передбачають механічну вентиляцію.

Системи механічної вентиляції помешкань повинні бути із вертикальними збірними каналами і незалежні для кухонь, гігієнічних і інших приміщень (в межах помешкання), в яких вимагається тривале вентилявання.

Недопустимим є приєднання до одного збірного вертикального трубопроводу отворів для витікання внутрішнього повітря з двох помешкань на одному поверсі, а також підключення до такого збірного трубопроводу отворів для витікання внутрішнього повітря з приміщень іншого призначення.

Допускається приєднання до спільного збірного вертикального трубопроводу отворів для витікання повітря з ванни і санвузла, а також приєднання до спільного вентилятора вертикальних збірних трубопроводів, що обслуговують приміщення різного призначення.

В будинках з механічною вентиляцією не вимагається тривале вентилявання сходових приміщень.

Сміттєпровід повинен бути оснащений окремою системою механічної витікальної вентиляції тривалої дії. Повітрообмін сміттєпроводу не менше 200 м³/год, причому перед вентилятором належить встановлювати повітряний фільтр із забезпеченням доступу для його очищення.

Трубопроводи СВ повинні бути виконані з матеріалу відпирного на корозію (наприклад, із оцинкованої або алюмінієвої бляхи). Рекомендується застосовувати трубопроводи круглого перерізу. Збірні вертикальні трубопроводи повинні мати сталий переріз по всій висоті.

Швидкість повітря в трубопроводах не повинна перевищувати:

- у відгалуженнях – 4 м/с;
- у вертикальних збірних трубопроводах – 5 м/с;
- в горизонтальних трубопроводах, які поєднують вертикальні збірні трубопроводи з вентиляторами, що розміщені на горищі або покрівлі – 6 м/с.

Діаметр (серединник) відгалужень повинен бути ≥ 100 мм.

Повинно забезпечуватись очищення кожного вертикального збірною трубопроводу з рівня стриху (даху), а також знизу, через ревізійний отвір. Збірний трубопровід повинен починатись щонайменше на 1 м вище від найнижчого відгалуження.

Відтинки трубопроводів, що прокладені через об'єми, які не обігріваються, повинні теплоізолюватись з метою запобігання скраплювання водяної пари на їх внутрішніх стінках.

Стабільність витрати витікального повітря забезпечується відповідним перепадом тисків на відгалуженнях, який підтримується за допомогою регульовальних клапанів, характеристика опору яких функціонально залежить від величини відкриття клапана.

Як критерій стабільності витрати витікального повітря належить приймати мінімальні втрати тиску на відгалуженнях:

- для будинків до 5-ти поверхів $\Delta p=80$ Па;
- для будинків до 11-ти поверхів $\Delta p=110$ Па;
- для будинків до 16-ти поверхів $\Delta p=120$ Па;
- для будинків від 17-ти поверхів до 55 м $\Delta p=140$ Па;

З акустичних міркувань $\Delta p \leq 180$ Па.

У випадку застосування клапанів у відгалуженнях повинна вказуватись величина їх відкриття. Допускається застосування однакового ступеня відкриття клапанів для однотипних приміщень на всій висоті збірною трубопроводу, якщо втрати тиску в цьому трубопроводі (без врахування втрат тиску у відгалуженнях) не перевищують 45 Па.

У випадку застосування клапанів зі змінним ступенем відкриття рекомендується, аби втрати тиску на відтинку від верхнього краю збірною трубопроводу до викиду повітря в атмосферу не перевищували величини, що рівна різниці прийнятого падіння тиску в клапані і втратам тиску в збірному вертикальному трубопроводі.

Робочі характеристики вентилятора СВ:

а) продуктивність вентилятора, м³/год,

$$L_g = \sum L_i + 3A , \quad (10.1)$$

де $\sum L_i$ - сума розрахункових витрат витікального повітря із вентильованих приміщень, м³/год; А – загальна поверхня стінок трубопроводів, що приєднані до вентилятора, м²; З – величина показника (коефіцієнта) нещільності трубопроводів класу „А” щільності за середнього розрідження 200 Па, м³/(м²·год);

б) тиск вентилятора, Па,

$$p_s = \Delta p_m , \quad (10.2)$$

де Δp_m - сумарні втрати тиску при розрахункових витратах повітря в межах між приміщенням, що розміщене в половині висоти будинку, і викидом повітря з системи, Па.

Якщо вентилятор обслуговує декілька вертикальних збірних трубопроводів, то потрібно приймати найбільшу величину Δp_m серед цих збірних трубопроводів.

Характеристика вентилятора має бути плоскою, аби приріст продуктивності на 10 % не спричинив втрат тиску більше ніж 20 Па. Рівень звуку А, що замірений на відстані 1 м від дахового вентилятора або вентилятора в камері, не повинен перевищувати 65 дБ.

В кінці збірного трубопроводу, перед вентилятором, повинен бути шумоглушник з такою ефективністю глушіння, щоби рівень звуку А в житлових приміщеннях, спричинений дією СВ, не перевищував допускної величини.

Даховий вентилятор або вентиляторна камера повинні бути посаджені на амортизатори, з метою запобігання перенесення вібрації на конструкції будинку. Якщо вентилятор розміщений у сусідстві з вікнами інших житлових будинків або помешкань того ж будинку, то він повинен бути оббудований екранами із звукопоглинальних (звуковбирних) матеріалів, аби рівень вентиляційного звуку А, який проникає до помешкань, не перевищував допускних величин.

Конструкція збірних вертикальних трубопроводів повинна бути такою, щоби вона не спричиняла зниження потрібної акустичної ізоляційності між помешканнями як по вертикалі, так і по горизонталі.

В нежитлових приміщеннях, в яких розміщені елементи систем витікальної вентиляції, допускний рівень звуку А до 40 дБ. В житлових приміщеннях, в яких вимагається встановлення елементів системи витікальної вентиляції, допускний рівень звуку А не повинен перевищувати нормативних величин.

Трубопроводи СВ, а також захисні перешкоди повинні унеможливити розповсюдження вогню і продуктів термічного розкладу на сусідні поверхи. Конструкційне виконання трубопроводів і захисних перешкод (клапанів) повинно відповідати протипожежним приписам.

Вентилятори СВ повинні бути керовані (включення і виключення) з одного або кількох виокремлених і, відповідно, ознакованих пультів, що доступні для обслуги будинку.

Система електропостачання двигунів вентиляторів повинна бути оснащена обладнанням, що захищає двигуни від перевантаг (перевантажень) і перегрівання (наприклад, у випадку пропадання однієї із фаз).

Рекомендується встановлення у вхідних холах будинків сигналізаторів роботи окремих вентиляторів.

Кожний вентилятор повинен мати незалежний вимикач, що розміщений поряд з ним.

СВ повинні бути виконані так, аби забезпечувалась їх тривала щільність, і відповідати вимогам щонайменше класу А щільності [PN-84/8865-40].

Окремі елементи СВ повинні мати сертифікати допуску застосування в будівництві. Стосується це переважно вентиляторів з підставами, вентиляторних камер, шумоглушників, з'єднань і трубопроводів.

Збірні трубопроводи повинні закріплятись до конструкції будинку щонайменше в одній точці в межах кожного поверху. Закріплення клапанів в будівельних перешкодах повинно забезпечувати можливість їх легкого знімання і встановлення без порушення щільності системи.

Для кожної механічної СВ повинні розроблятися дві окремі інструкції з експлуатації:

- для адміністрації будинку;
- для винаймачів (власників) помешкань.

Інструкція з експлуатації для адміністрації будинку повинна вміщувати щонайменше:

- а) опис системи і особливості її дії;
- б) рекомендації для обслуговування системи, а саме:
 - поточні огляди вентиляторів і електродвигунів та регулювання натягу клинових пасів (приблизно 4 рази протягом року);
 - частота зміни мастила (згідно вимог виробника);
 - періоди чищення вертикальних збірних трубопроводів і вентиляторів (збірні трубопроводи від кухонь через 3 роки, інші – через 6 років), причому перше чищення, в т.ч. вентиляторів, належить виконувати через два місяці після здачі будинку в експлуатацію;
 - періоди чищення фільтру СВ сміттєпроводів;
 - список замінних частин, які потрібні в експлуатації, наприклад двигунів (або укомплектованих дахових вентиляторів), клинових пасів.

Інструкція з експлуатації для винаймачів (власників) помешкань повинна вміщувати щонайменше:

- а) особливості дії СВ;
- б) рекомендації з експлуатації, а саме:
 - способу ущільнення вікон, балконних і вхідних до помешкання дверей;
 - засад і послідовності дій у випадку підтвердження, що вентилятор не працює;
 - особливості розміщення в кухнях і гігієнічних приміщеннях вентиляційного обладнання, що приєднується до отворів для витікання внутрішнього повітря, замість клапанів.

Не допускаються перерви в роботі СВ, за винятком періодів виконання необхідних експлуатаційних заходів (наприклад, чищення вертикальних збірних трубопроводів, змащування вентиляторів тощо).

10.2. Енергоощадна гідрокерована вентиляція помешкань [47]

Вентилювання помешкань у житлових будинках, з уваги на незначні вимоги щодо рівня комфорту в них, було найчастіше поза увагою зацікавленості виробників відповідного вентиляційного обладнання. Воно, на жаль, навіть не ставиться на один рівень з поліпшеним утепленням огорож чи застосуванням щільних вікон.

Такий стан зумовив також і той факт, що не виникало проблем з вентиляванням помешкань житлових будинків із нещільними вікнами. Однак, з появою щільних вікон, за допомогою яких розв'язувались задачі заощадження енергії, виникли проблеми із вентиляванням помешкань.

Одночасно зі зменшенням коефіцієнта теплопередачі щільних вікон (балконних дверей) суттєво зменшилась інфільтрація зовнішнього повітря до приміщень, а отже погіршилися гігієнічні умови в них.

Повітрообмін є необхідний для здоров'я, комфорту і безпеки осіб, які перебувають в приміщеннях, а також для охорони помешкань від некорисного впливу надмірної вологості внутрішнього повітря або її недостатчі.

Якщо в приміщенні є занадто сухо, то можуть виникнути хвороби дихальних шляхів людини, надмірно висихають і тріскаються дерев'яні меблі, фарба на картинах, тканини стають крихкими і легко пошкоджуються. На пластикових лицеваннях будівельних конструкцій, меблів і вбрання людей накопичуються і утримуються електричні заряди, які спричиняють неприємне ураження і навіть можуть пошкодити електричні компоненти комп'ютера чи телевізора. Натомість надмір вологості спричиняє відчуття духоти, а на шибках вікон – скраплювання водяної пари. Дерев'яні речі набрякають, можуть почати гнити, появляється гриб.

Забруднення повітря в помешканнях можна розділити на дві основні категорії: помітні (відчутні) і не помітні (не відчутні). До першої категорії належать забруднювальні випари, які спричиняють неприємні запахи, конденсацію водяної пари на шибках тощо. В другій категорії залишаються інші не відчутні забруднення, які пов'язані з метаболізмом людей, домашніх тварин, рослин, а також із сушінням випраних речей чи приготуванням їжі і згорянням палива. Мало хто вважає приємні запахи страв забрудненнями помешкання вологою, що може конденсуватися на холодних поверхнях будівельних конструкцій і, за браку повітрообміну, може бути поживою для плісняви.

Навколишнє повітря відіграє для людини таку ж важливу, а може навіть і більшу роль, ніж їжа. Однак, загалом, воно є настільки не помітним і так легко доступним, що часто про нього забувають.

Не ефективна дія системи вентиляції (СВ) помешкання може спричинити в часі обігрівального періоду провітрювання приміщень через відкривання щільних вікон і, відповідно, до неконтрольованого і надмірного повітрообміну. В результаті цього можна втратити всі енергозаощадження, досягнуті завдяки теплоізоляції зовнішніх огорож і застосування щільних вікон.

10.2.1. Види систем вентиляції помешкань і їх вплив на мешканців і будівельні конструкції

В Україні і в сусідніх державах у переважній більшості житлових будинків передбачена *природна вентиляція* помешкань [1, 4] з використанням стінових каналів для витоків зужитого і забрудненого внутрішнього повітря з окремих приміщень, а також з притоком зовнішнього повітря через кватирки, відхильні фрамуги та нещільності вікон [5]. Ця вентиляція є залежною від атмосферних умов, температур внутрішнього і зовнішнього повітря, а також швидкості та напрямку вітру. Природна вентиляція працює за підвищених температур зовнішнього повітря дуже нестабільно і непередбачувано (рис.10.1), виникає зворотна тяга.

З рис. 10.1 видно, що майже протягом всього часу досліджень в липні зовнішнє повітря притікало в приміщення через вентиляційний канал (явище оберненої тяги). Крім цього система вентиляції (СВ) працювала дуже нестабільно і непередбачувано. З рис. 10.1 видно, що в теплий період року природна вентиляція не забезпечує потрібного повітрообміну.

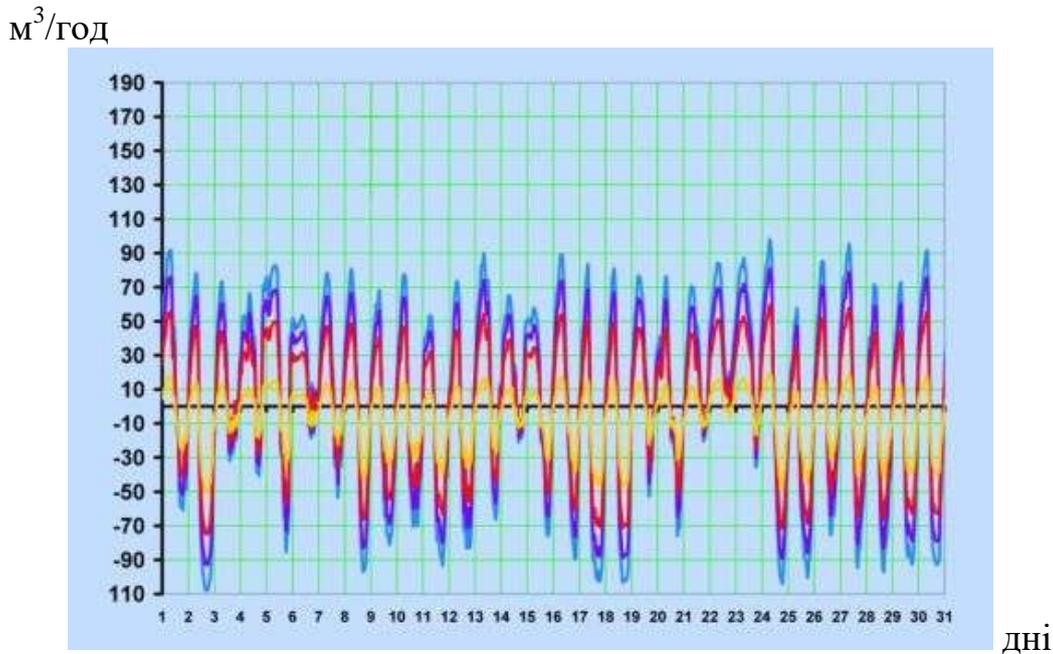


Рис. 10.1. Зміни повітропродуктивності природної вентиляції житлового приміщення 1-го поверху в 5-ти поверховому житловому будинку у липні

Більшість мешканців проживають у будинках, у яких вікна виконують допоміжну функцію найпростішої вентиляції. Проектанти передбачили, що притікання зовнішнього повітря в помешкання буде відбуватися через нещільності вікон. Таке розв'язання забезпечували дерев'яні вікна, виконані з не висушеної деревини низької якості.

Застосування щільних вікон спричинило до майже повного зникнення повітрообміну.

Проаналізуємо, чому щільні вікна негативно впливають на дію природної вентиляції.

Видимими наслідками поганого вентиляювання помешкання є: пліснява на будівельних конструкціях; запаровані шибки вікон; притікання зовнішнього повітря через вентиляційні ґратки в кухні або ванній кімнаті (зворотна тяга).

Невидимими наслідками поганого вентиляювання є: шкода здоров'ю мешканців (алергія, хвороби верхніх дихальних шляхів, болі голови, спричинені недостатнім повітрообміном); поступове нищення конструкцій будинку в результаті проникнення вологи в них.

Виробники щільних вікон можуть оснащувати свої вироби, замість повітророзподільників, системою *мікророзподілу*. Але тоді самі мешканці вручну регулюють витрату зовнішнього повітря, що притікає до приміщення, відкриваючи вікна в певній позиції. Оскільки людина не може визначити необхідну кількість повітря для повітрообміну, рекомендується використовувати самочинну СВ (дія яких не залежить від впливу людини).

Застосування систем *механічної вентиляції* робить повітрообмін помешкання незалежним від дії природних сил. Не зважаючи на температуру зовнішнього повітря і напрямок вітру, вони забезпечують потрібний і регульований повітрообмін. Однак, такі СВ не позбавлені вад: погані конструкційні виконання і експлуатація є джерелом шуму, а також можливих надмірних протягів; через споживання досить великої кількості електроенергії не є дешевими.

В пошуках енергоощадності в групі країн ЄС виник проект "RESHYVENT". Він передбачав створення чотирьох різних варіантів розв'язань вентиляювання помешкань, пов'язаних з перевагами природної (гравітаційної) вентиляції, а саме її низькими інвестиційними і експлуатаційними видатками та безшумною роботою і ефективністю та надійністю механічної вентиляції. Проектовану вентиляцію було названо мішаною (гібридною).

Найбільш вдале конструкційне розв'язання запропонувала фірма "Aereco". Був розроблений і запатентований спеціальний тип трубопровідної (канальної) вентиляторної насадки низького тиску VBP (рис. 10.2).



а)



б)

Рис. 10.2. Вигляд вентиляторної насадки низького тиску VBP фірми “Aereco”:

а) – загальний вигляд; б) – його будова в розрізі

Насадка VBP забезпечує повітропродуктивність до 250 м³/год і створює розрідження від 8 до 20 Па. Вказані величини дозволяють реалізувати ефективне вентилявання помешкання, особливо в теплий період року (рис. 10.3). Величини розрідження та, спричинені ними, швидкості руху повітря є характерними для природної вентиляції. Великою перевагою є забезпечення розрідження в теплий період року, а не тільки за низьких температур зовнішнього повітря, як це має місце в традиційних системах природної гравітаційної вентиляції.



Рис. 10.3. Повітрообмін житлового приміщення 1-го поверху в 5-ти поверховому будинку у липні, спричинений вентиляторною насадкою VBP

Двигун насадки споживає приблизно 9 Вт електроенергії. Про ефективність, отриману завдяки цій ощадності, свідчить простий приклад: вентилятор традиційної конструкції, призначений для системи вентиляції п'яти приміщень, споживає приблизно 260 кВтгод електроенергії щорічно, а вентилятор насадки VBP споживає тільки 18 кВтгод протягом року, що в 14 разів менше. Ще однією перевагою насадки VBP є її тиха робота.

Коефіцієнт місцевого опору насадки VBP приблизно рівний 0,93.

Системами мішаної (гібридної) вентиляції можуть оснащуватись як нові, так і ремонтвані будинки з існуючими трубопроводами (каналами) гравітаційної вентиляції.

10.2.2. Вимоги до повітрообміну окремих приміщень помешкань

Згідно з проектними приписами [1] притікання зовнішнього повітря передбачається в основні приміщення і спальні, а також кухні із зовнішнім вікном, таким чином, щоби воно потрапляло в ці приміщення найменш забрудненим, а зужите і забруднене внутрішнє повітря витікало з допоміжних приміщень (кухні, ванни, санвузла чи нужника) через трубопроводи (канали) систем витікальної вентиляції.

Треба пам'ятати, що притікання зовнішнього повітря в помешкання залежить від витікання внутрішнього зужитого і забрудненого повітря з нього [1, 3]. Для того, щоби СВ помешкання ефективно функціонувала, потрібно передбачити перетікання повітря через окремі приміщення, застосовуючи для цього щілинні (або інші) вентиляційні отвори у входних дверях окремих приміщень. Згідно приписів [3] живий переріз цих отворів повинен бути: в дверях основних приміщень рівним 80 см^2 ; в дверях кухні і ванни - 200 см^2 .

Недоліки наявних СВ помешкань найбільше проявляються в приміщеннях зі значним виділенням забрудників. У помешканні до таких приміщень належать кухня і нужник (санвузол).

Найперше розглянемо проблеми вентилявання кухні. Правильне вентилявання кухні тісно пов'язане з видом кухонного обладнання. Можемо вирізнити чотири стандарти обладнання кухні:

- 1 – кухня із зовнішнім вікном, що обладнана газовою плитою;
- 2 – кухня без зовнішнього вікна, що обладнана газовою плитою;
- 3 – кухня із зовнішнім вікном, газовою плитою і двофункційним газовим котлом;
- 4 – кухня з електроплитою.

Дотепер в Україні та інших сусідніх державах *найбільш поширеним є перший стандарт кухні.*

Згідно з обов'язковими приписами [3] до кухні повинно забезпечуватись притікання зовнішнього повітря (при застосуванні щільних вікон це означає наявність віконних або стінових повітророзподільників). Для приміщення кухні також, переважно, передбачають окремих вентиляційний канал з нерегульованою ґраткою для витікання розрахункової кількості зужитого і забрудненого внутрішнього повітря. Притікання зовнішнього повітря до кухні передбачають опосередковано з основних приміщень [1, 3] (через підрізані знизу мінімум на 2,5 см кухонні двері або вентиляційну ґратку в їх нижній частині з живим перерізом 200 см^2 [3]). Для перетікання повітря з основних кімнат в коридор (передпокій) їхні вхідні двері внизу повинні бути підрізані для утворення щілинного отвору висотою 1 см [3]. Очевидно при цьому треба звертати увагу на забезпечення притікання нормативної кількості зовнішнього повітря в основні кімнати. В іншому випадку не буде перетікання повітря з цих кімнат до приміщення кухні в достатній кількості.

Надзвичайно важливим чинником є застосування спеціального обладнання для підвищення ефективності витікальної вентиляції кухонь (наприклад, вентиляційних зонтів над плитками для готування їжі). Якщо в будинку передбачені системи загальної механічної витікальної або механічної притікально-витікальної вентиляції, то приєднання вентиляційних зонтів до таких СВ має бути забороненим. В іншому випадку це могло б спричинити розбалансування роботи СВ. Подібна ситуація має місце за наявності збірних

трубопроводів (шахт) гравітаційних СВ (щодругий поверх приєднаний до збірною трубопроводу).

Поміркованим розв'язанням є застосування вентиляційних зонтів, які працюють в режимі повної рециркуляції. В цьому випадку повітря з понад плити для готування їжі підтікає в зонт, де очищується від жиру в фільтрі, і знову витікає в приміщення кухні.

Єдиним випадком, коли вентиляційний зонт може функціонувати ефективно, є його приєднання до індивідуального вентиляційного трубопроводу (каналу) кухні. Таке розв'язання застосовується щораз частіше. Однак, більшість житлових будинків масової забудови мають СВ зі збірними трубопроводами (шахтами).

Другий стандарт кухні вимагає, щоби помешкання було обладнане механічною витікальною або притікально-витікальною вентиляцією. Але завжди треба пам'ятати про забезпечення притікання зовнішнього повітря до помешкання. В цьому випадку притікання повітря передбачають в основні кімнати, а з них опосередковано через коридор (передпокій) до кухні. Треба пам'ятати і конструкційно забезпечувати перетікання повітря з основних кімнат до кухні (аналогічно, як і у випадку першого стандарту кухні), витікання внутрішнього зужитого і забрудненого повітря з кухні за допомогою механічної СВ через вентиляційну ґратку з можливістю періодичного регулювання (збільшення) витрати.

Третій стандарт кухні є найбільш небезпечний для мешканців. Встановлення двофункційних газових котлів пов'язане зі збільшеними потребами повітря для згоряння палива і забезпеченням ефективного вентиляції приміщення. З погляду на приписи (нормативи) і інвестиційні витрати в помешканнях встановлюють котли з відкритою камерою спалювання газу. При цьому повітря для спалювання забирається з приміщення кухні. А це вимагає безпосереднього постачання (притікання) зовнішнього повітря в приміщення з котлом. Найчастіше для притікання зовнішнього повітря в кухню застосовували підвіконний отвір з вентиляційною ґраткою [2]. Таке конструкційне розв'язання не є ефективним. Витікання струменя холодного

повітря із надпідлогового отвору зовнішньої стіни спричиняє неприємне відчуття холоду, протяг і закінчується закриванням ґратки мешканцями або замуруванням отвору. Кращим розв'язанням є наявність у верхній частині вікна горизонтального щілинного повітророзподільника зі сталою витратою зовнішнього повітря. Розміщення повітророзподільника у верхній частині вікна не викликає неприємних відчуттів у мешканців. Крім цього, у випадку встановлення двофункційного котла притікання зовнішнього повітря в кухню мусить бути сталим, оскільки котел працює протягом року. Очевидно, що притікання зовнішнього повітря в кухню буде відбуватись також і опосередковано через основні приміщення помешкання.

Наявність газових котлів повністю виключає застосування вентиляційних зонтів над плитами для готування їжі. Вентиляційна ґратка для витікання повітря з кухні повинна мати незмінний живий переріз, а застосування газового котла можливе лише за гравітаційної або механічної витікально-притікальної вентиляції приміщення.

Четвертий стандарт кухні є найбільш сприятливий для мешканців. Відсутність газу, як палива, не вимагає безпосереднього притікання зовнішнього повітря в приміщення. Притікання повітря в кухню може бути опосередкованим від основних кімнат. СВ кухні може бути гравітаційною або механічною. Вентиляційна ґратка для витікання повітря може мати змінний живий переріз, наприклад, узалежнений від вологості внутрішнього повітря.

Ідеальна – це самочинна вентиляція, яка забезпечує необхідний повітрообмін без втручання людини і не погіршує умов побуту (проживання).

10.2.3. Особливості застосування і характеристики повітророзподільників

Застосування щільних вікон спричинило майже повне зникнення повітрообміну помешкань і потребу застосування керованих повітророзподільників для притікання зовнішнього повітря.

Ефективна вентиляція це така, яка забезпечує притікання в помешкання (приміщення) відповідної кількості зовнішнього повітря і витікання з

помешкання (приміщення) визначеної (нормованої) кількості зужитого або забрудненого повітря.

Безпосередні переваги застосування керованих повітророзподільників:

- відсутність скраплювання водяної пари на вікнах і інших холодних місцях;
- менші витрати теплової енергії в порівнянні з нормально відкритими або привідкритими вікнами;
- тепловий комфорт в приміщенні – відсутність відчуття протягу (чого не спостерігається за привідкритих вікон);
- автоматизація систем вентилявання.

Конструкційне розв'язання з ручним відкриванням повітророзподільника застосоване у деяких видах віконних блоків. Ці повітророзподільники здатні забезпечити нормативний повітрообмін при правильній їх експлуатації мешканцями.

Вентиляційні потреби помешкань змінюються в часі і залежать від: зміни кількості мешканців, які постійно проживають в помешканні; зміни навантажень приміщень протягом року, наприклад, періоду праці і відпустки, шкільного року і періоду канікул; випадкових змін (гостьові відвідання); тижневих змін (робочі дні – відпочинок); добових змін: нічний відпочинок, ранковий туалет, приймання їжі тощо.

Вентиляційні потреби змінюються також в окремих приміщеннях і ніколи не є однаковими для всіх приміщень; вночі вентиляція більшої продуктивності потрібна в спальнях, в процесі готування їжі – в кухні, а в процесі купання – у ванній кімнаті тощо.

”Умовно автоматичні” повітророзподільники, в яких зміна витрати притікального (зовнішнього) повітря залежить від різниці тисків і температур, виконують подібну функцію як нещільності в звичайних дерев'яних вікнах.

Є такі типи цих повітророзподільників: віконні, так звані шибкові вкладки, розміщені замість фрагменту верхньої частини шибки (ефективні); віконні, які розміщені в рамі або крилі вікна; стінові.

Їхні переваги – проста будова і відносно невисока ціна; недоліки – ручне керування (відкрито-закрито); неможливість ефективного очищення (в деяких моделях); слабе заглушування зовнішнього шуму; можливі високі енерговитрати, якщо забувати про їх закривання за відсутності людей в приміщенні.

Потрібно зазначити, що технічне розв'язання, яке уможлиблює регулювання інтенсивності вентиляції в залежності від різних чинників існує. В практиці лише три чинники використовуються конструкторами в якості регуляторів витрати повітря: наявність мешканців (або кількість осіб); зміна вмісту CO₂; зміна відносної вологості.

Перший регулятор (який реагує на кількість осіб) призначений найперше для приміщень, в яких повітрообмін визначається кількістю осіб, наприклад житлових кімнат. Очевидно, що цей показник може бути помилковим в таких приміщеннях, як кухня чи ванна кімната. Давачі наявності людини використовуються в офісних приміщеннях і то обмежено.

Другий регулятор реагує на вміст CO₂ у внутрішньому повітрі. Двооксид вуглецю є стійкою сполукою, що не проникає в огорожі помешкання. Його вміст в зовнішньому повітрі є приблизно сталим і, натомість, у внутрішньому повітрі є змінним (вплив метаболізму живих істот, життєдіяльності кімнатних рослин). Цим регулятором можна забезпечувати потрібний повітрообмін за умови, що не часто виникають причини раптової необхідності збільшення повітрообміну (купання, висушування випраних речей). Недоліком використання CO₂ в якості регульованого чинника є те, що давач цього газу дорогий і вимагає регулярного калібрування.

Давачі, які реагують на CO₂, застосовуються у великих приміщеннях зі змінним режимом використання (кінозали, конференційні зали).

Третій регулятор, який реагує на вміст водяної пари в повітрі, окрім недоліків (легке проникнення в будівельні конструкції і змінний вміст у зовнішньому повітрі), в найкращій мірі відображає не тільки наявність людини в приміщенні (вологovidілення від неї), але і інші чинники, пов'язані з експлуатацією помешкання (купання, прання, готування їжі тощо).

Перевагою використання вмісту водяної пари в повітрі для контролю повітрообміну є також недопущення найважливішої загрози для всього будинку, - скраплювання в будівельних конструкціях надмірної вологи і утворення гриба (плісняви).

Отже, *гігрокерування* повітророзподільником полягає в узалежненні витрати притікального повітря від вмісту водяної пари у внутрішньому повітрі.

Водяна пара є умовним забрудником внутрішнього повітря, а її кількість залежить від кількості осіб у приміщенні і від виду побутових процесів (прання, готування їжі, сушіння випраних речей тощо). Дослідження, проведені за участю фірми "Aereco" в 1989-1991 рр. у Бельгії, Голландії і Франції показали, що вентиляція, яка базується на керуванні, пов'язаному із вологістю внутрішнього повітря, є ефективною і вибір гігрокерованих засобів регулювання витрати притікального повітря не спричиняє зростання вмісту інших забрудників, небезпечних для людини, наприклад CO₂.

Основним конструкційним елементом гігроскопічного повітророзподільника фірми "Aereco" (рис. 10.4) є механічний давач із пасків гігроскопічного поліаміду, який приводить в дію регулятор витрати повітряного потоку. Фірма випускає також самочинні вентиляційні ґратки, повітропродуктивність яких змінюється залежно від відносної вологості витікального повітря. Це запобігає протягам і небажаним втратам енергії з витікальним (теплим) повітрям.

Дія самочинних гігрокерованих повітророзподільників є наступною: в конструкції повітророзподільника передбачений давач із восьми поліамідних пасків. Ці паски під впливом змін вмісту водяної пари у внутрішньому повітрі змінюють власну довжину, що спричиняє більше або менше відкривання щільного отвору повітророзподільника, а тим самим, перетікання в приміщення більшого або меншого за витратою повітряного потоку. Регульовані повітророзподільники діють в межах відносної вологості внутрішнього повітря від 30 до 70%. Якщо відносна вологість повітря менша або рівна 30%, то повітророзподільник майже закритий і в приміщення притікає мінімальна кількість зовнішнього повітря. Зі зростанням відносної вологості

внутрішнього повітря повітророзподільник привідкривається і при її величині більше або рівній 70% забезпечує максимальну витрату зовнішнього повітря. Конструкція повітророзподільників така, що зовнішнє повітря не контактує безпосередньо з давачем рівня вологості; з ним безпосередньо контактує внутрішнє повітря, яке циркулює в приміщенні (завдяки перетіканню внутрішніх потоків, що спричинені дією вентиляції і явищами конвекції).

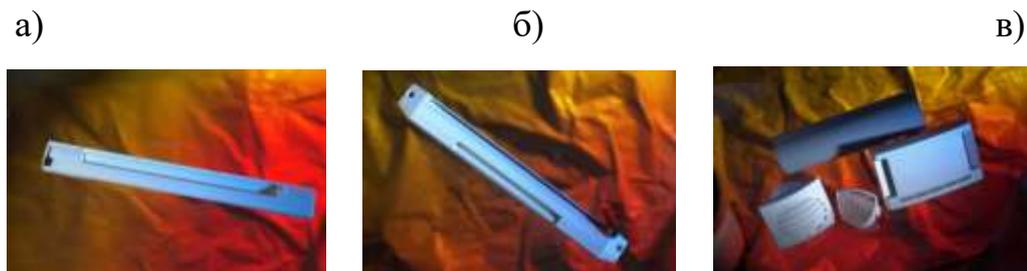


Рис. 10.4. Зовнішній вигляд гігрокерованого повітророзподільника фірми “Aereco”:

а) тип ЕММ; б) тип ЕНА; в) тип ЕНТ

Додатковою перевагою деяких гігрокерованих повітророзподільників є підвищена акустична ізоляційність щодо зовнішнього шуму при відкритому або привідкритому положеннях.

Продуктивність повітророзподільників фірми “Aereco”, за перепаду тисків 10 Па, змінюється в межах 5 - 50 м³/год, а гігрокерованих вентиляційних ґраток, за аналогічної різниці тисків, - в межах 15 - 120 м³/год. Звукопоглинальна здатність повітророзподільників до 42 дБ(А); власний шум вентиляційних ґраток при тисках 70 -130 Па змінюється в межах від 21 до 34 дБ(А).

Звичайно на сьогодні найбільш ефективними і відносно недорогими є системи самочинної гігрокерованої вентиляції помешкань.

Переваги застосування самочинних повітророзподільників: забезпечують ефективно вентилявання окремих приміщень і помешкання загалом; винятково велика енергоощадність у порівнянні з традиційними розв’язаннями (до 50%); збереження добрих теплових та акустичних властивостей вікон і теплового

комфорту приміщень (виключення протягів); високий опір на проникання атмосферних опадів і комах; широкі можливості застосування (вікна дерев'яні, полівінілхлоридні (ПВХ), алюмінієві).

До недоліків можна віднести: неможливість ефективного очищення і можливі витрати енергії за відсутності людей в приміщенні.

10.2.4. Системи гірокерованої вентиляції помешкань

Система гірокерованої природної вентиляції помешкання складається з двох основних елементів: гірокерованих повітророзподільників, які розміщуються переважно у верхній частині вікон житлових кімнат і гірокерованих вентиляційних ґраток, що розміщуються в допоміжних приміщеннях (санвузлах (нужниках), ванних кімнатах). При цьому кожний складовий елемент реагує самочинно і забезпечує необхідний для потреб приміщення, в якому знаходиться, повітрообмін.

При застосуванні гірокерованих природних СВ забезпечується дотримання вимог щодо якості внутрішнього повітря, а технічний стан будинку не є під загрозою.

Зовнішнє повітря містить зимою менше вологи і є більше придатним для зменшення вологості в помешканні, завдяки чому притікання зовнішнього повітря може бути зменшеним, а отже меншими можуть бути витрати тепла на його нагрівання. Але принциповою проблемою є тоді належне перетікання повітря через помешкання і скерування притікання зовнішнього повітря до приміщень, де настає така необхідність. Зводиться це до керованого (автоматичного) розрізнення цих потреб, оскільки вони підлягають тривалим змінам як в часі, так і в просторі.

Системи механічної витікальної вентиляції з гірокерованими вентиляційними ґратками у поєднанні з гірокерованими повітророзподільниками забезпечують необхідний повітрообмін помешкань. Розміщення елементів СВ аналогічне як і в системах гірокерованої природної вентиляції.

Найкращий ефект забезпечує застосування вентиляторної насадки низького тиску VBP (мішана вентиляція) в поєднанні з елементами систем гідрокерованої вентиляції (повітророзподільниками і вентиляційними ґратками). Таке конструкційне розв'язання дозволяє ефективно вентилювати приміщення помешкання, достосовуючи їх повітрообмін до реальних потреб.

10.2.5. Практичні способи оцінювання ефективності вентиляювання помешкань

Про безпеку і добре самопочуття мешканців в зоні обслуговування (ЗО) приміщень помешкання свідчать: хімічний склад повітря, параметри повітря, тобто температура, відносна вологість і швидкість руху (рухливість).

Некорисний вплив хімічного складу повітря може виникати із порушення природних пропорцій основних складників повітря, наприклад недостачі кисню, наявності забруднювальних речовин.

Параметри повітря можуть діяти на людину безпосередньо, впливаючи на стан теплової рівноваги організму, або опосередковано, спричиняючи розвиток мікроорганізмів.

Погане самопочуття мешканців від легкого впливу на них некорисних чинників носить назву “синдром хворого будинку”.

Звичайно в Україні бракує будь-яких формальних правничих підстав для директивного або методичного оцінювання якості вентиляції. Такі методики запропоновані нами [6, 7], або можуть бути розроблені на підставі:

- безпосереднього оцінювання на основі порівняння виміряного реального вмісту забрудників повітря з їх гранично допускною концентрацією (ГДК). Методика надається для виробничих приміщень;

- опосередкованого оцінювання на підставі контролю реальної видатності (продуктивності) СВ. При цьому визначають: витрати повітря у вентиляційних ґратках кухні, ванни, санвузла (нужника); хімічний склад внутрішнього і зовнішнього повітря (вміст CO, CO₂ і O₂). Методика надається для помешкань;

- оцінювання здатності приміщень до повітрообміну, тобто кратність (разовість) повітрообміну, визначена за умовного перепаду тисків 50 Па, тобто в так званому “тисковому тесті”.

10.2.6. Висновки і рекомендації

- Якщо мешканець відчуває задуху, а віконні шибки в кухні запотіли і запах готованих страв розповсюджується по помешканні, то це означає, що вентиляція працює неефективно (не якісно).
- *Видимими наслідками* поганого вентиляювання помешкання є пліснява на будівельних конструкціях, запаровані шибки вікон, притікання зовнішнього повітря через вентиляційні ґратки в кухні або ванній кімнаті.
- *Невидимими наслідками* поганого вентиляювання помешкання є: шкода здоров'ю мешканців (алергія, хвороби дихальних шляхів, болі голови – спричинені недостатнім повітрообміном); поступове нищення конструкцій будинку (переважно зовнішніх стін) в результаті проникання вологи в них.
- Ефективне і енергоощадне вентиляювання помешкань можна забезпечити завдяки застосуванню на верхівці вентиляційних трубопроводів (каналів) низькотискових вентиляторних насадок VBP фірми “Aereco”; економія електроенергії приблизно в 14 разів більша, ніж при застосуванні традиційних систем механічної вентиляції.
- Притікання зовнішнього повітря потрібно передбачати в житлові приміщення і спальні кімнати помешкання, а також кухні із зовнішнім вікном таким чином, щоби воно потрапляло в ці приміщення найменш забрудненим, а зужите і забруднене внутрішнє повітря витікало з допоміжних приміщень (кухні, ванни, санвузла (нужника) через ґратки трубопроводів (каналів) систем витікальної вентиляції.
- Для перетікання повітря через приміщення їхні входні двері підрізають для утворення щілинних отворів, або в їх нижній частині передбачають вентиляційні ґратки нормованих розмірів.

- За наявності в приміщенні котла, з погляду на більше споживання газу і нормальне його спалювання, вимагається постачання нормативної кількості зовнішнього повітря за допомогою повітророзподільника зі сталою витратою.
- За відсутності в кухні повітророзподільника і при виконанні її вхідних дверей щільними повітрообмін в приміщенні практично відсутній.
- Помилкою, яка від'ємно впливає на функціонування вентиляції на етапі експлуатації помешкання є встановлення в кухнях вентиляційних зонтів, що приєднуються безпосередньо до спільного вентиляційного трубопроводу (шахти). Приєднання до збірного трубопроводу вентиляційного зонта спричиняє перетікання повітря до сусідніх кухонь на інших поверхах будинку.
- Оскільки мешканцям практично неможливо визначити необхідний повітрообмін приміщень і вони переважно не знають як можна його забезпечити, а також беручи до уваги складність функціонування помешкання, рекомендується забороняти СВ, дія яких узалежнена від волі і свідомості мешканців.
- Вікна, обладнані системою мікророзподільників (тобто з ручним відкриванням вікон) не є досконалим вирішенням проблеми повітрообміну, тому що ефективно і енергоощадне вентиляювання приміщень помешкання повинно відбуватися самочинно.
- Ефективна вентиляція помешкання може бути забезпечена при застосуванні повітророзподільників.
- Конструкційне розв'язання з ручним відкриванням повітророзподільників може забезпечити нормативний повітрообмін за умови правильного користування з боку мешканців.
- Умовно автоматичні повітророзподільники, в яких зміна витрати притікального (зовнішнього) повітря залежить від різниці тисків і температур є недосконалими і діють подібно як нещільності вікон.

- Найбільш ефективним є застосування самочинних, наприклад гідрокерованих повітророзподільників, повітропродуктивність яких залежить від відносної вологості внутрішнього повітря.
- Завдяки застосуванню СВ з гідрокерованими повітророзподільниками і вентиляційними ґратками повітрообмін приміщень помешкання автоматично достосовується до потреб, які змінюються у залежності від способу експлуатації помешкання, параметрів зовнішнього повітря і інших чинників.
- Наслідком дії гідрокерованої СВ є ощадність енергії у порівнянні з дією СВ зі сталим повітрообміном, яка достосована до найбільш некорисної ситуації, що може виникнути в процесі експлуатації помешкання.
- При застосуванні гідрокерованих природних СВ забезпечується дотримання вимог щодо якості внутрішнього повітря в зимовий період року, а технічний стан будинку не є під загрозою.
- Найкращий ефект забезпечує застосування низькотискової вентиляторної насадки VBP фірми “Aereco” (мішана вентиляція) в поєднанні з гідрокерованими повітророзподільниками і вентиляційними ґратками.
- В Україні бракує формальних правничих підстав для директивного або методичного оцінювання якості вентиляції приміщень помешкань.

10.3. Вентилювання кухонь

Кухні вимагають інтенсивної вентиляції, оскільки внутрішнє повітря в них значно забруднюється тепло- і вологовиділеннями, запахами і жировими випарами. Кількість цих виділень залежить від конструкційних розв'язань кухонь і способу їх використання.

З погляду вентиляційної техніки розрізняють три групи кухонь: малі кухні, кухні середньої величини і великі кухні.

10.3.1. Вентилювання малих кухонь [31]

Маються на увазі кухні помешкань, малих ресторанів і готелів, в яких протягом двох годин виділяються 0,5 ... 1,0 кг/год водяної пари. Провітрювання через відкриті вікна є найпростішим, але не завжди задовільним. Найкориснішими є вікна з висувними рамами, за допомогою яких зовнішнє повітря притікає в кухню через отвір над підвіконною дошкою, а забруднене внутрішнє повітря витікає через отвір верхньої частини вікна.

Природна витікальна вентиляція з використанням каналів розміром 140×140 мм і 140×270 мм забезпечує тільки мінімально потрібний повітрообмін, якого найчастіше не вистачає для усунення запаху і вологовиділень.

Найкращим способом вентиляювання кухонь однородинних будинків є системи механічної витікальної вентиляції з вентиляторами, які умонтовані в зовнішньостіновий чи віконний отвори, або з вентиляторами у верхній частині вентиляційного трубопроводу (каналу).

Кратність повітрообміну потрібно приймати в межах 20 ... 30 год⁻¹, відповідно до розмірів кухні, з можливістю регулювання витрати. Важливим є забезпечення певного напрямку притікання повітря до кухні (найперше через вентиляційні отвори в нижній частині дверей).

В багатосімейних (багатоквартирних) будинках кожна кухня повинна мати свій вентиляційний канал. Але можна передбачати і один *збірний канал*, з умонтованими в ньому пристроями типу труби Вентурі (рис. 10.5), і вентилятором на верхівці.

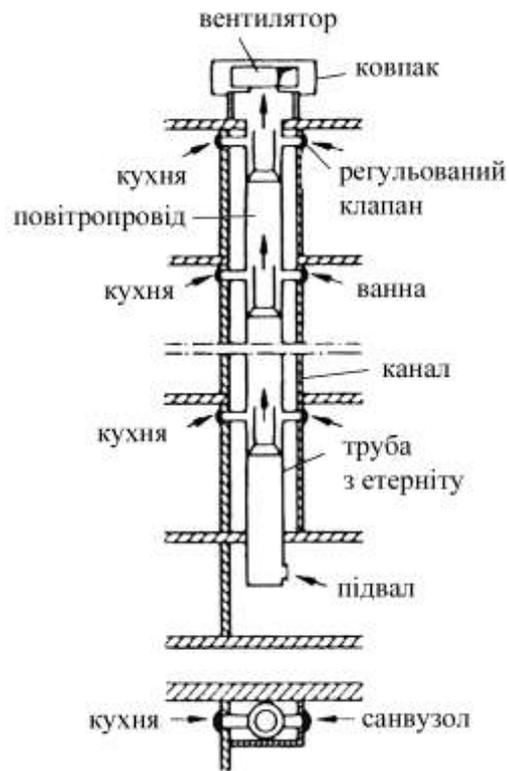


Рис. 10.5. Механічна вентиляція кухонь і ванних кімнат помешкань кількоповерхового житлового будинку з вентилятором на верхівці вертикального збірного трубопроводу із стерніту

Кращою є індивідуальна вентиляція кухонь з вертикальною збірною шахтою (рис. 10.6).

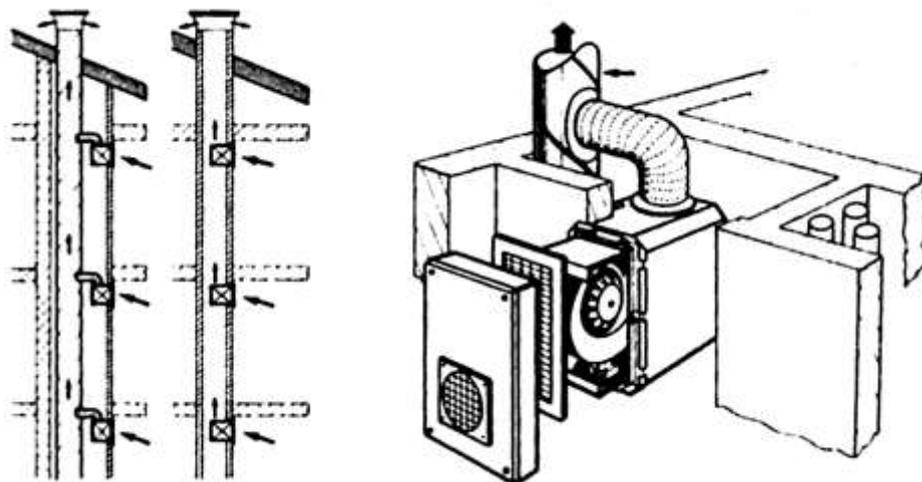


Рис. 10.6. Індивідуальна механічна вентиляція кухонь помешкань зі спільною збірною шахтою і радіальними вентиляторами типу „Linos”

В цьому випадку припадає 1 вентилятор на кожну кухню (або ванну кімнату чи санвузол); він може працювати з однією або двома швидкостями або мати безступеневе регулювання обертів. Вентилятори мають бути в парі з протипожежними клапанами.

Часто вживають над кухонною (газовою) плитою поглиначі випарів з умонтованим вентилятором. В місцевих над кухонних смоках належить передбачати вловлювачі (фільтри) жиру, які вимагають частого очищення (рис.10.7).

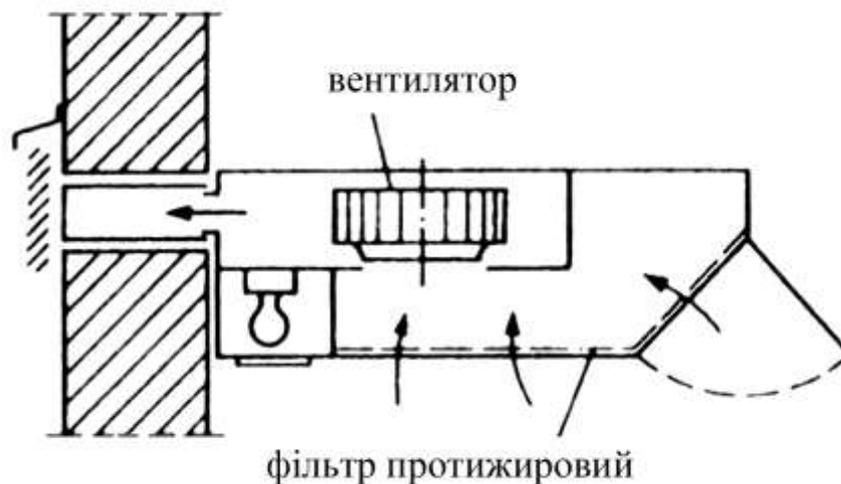


Рис. 10.7. Поглинач випарів (смок) над кухонною плитою

Для природного провітрювання жаровень потрібні два отвори по 100 см^2 , один в нижній, а другий у верхній частині шафи.

10.3.2. Кухні середньої величини в ресторанах, готелях і їдальнях

До пересічного кухонного обладнання належать піч, котел перекидний, сковорода перекидна і мийка для посуду. В кухнях середньої величини звичайно не вистачає тільки витікальної вентиляції, а тому в них передбачають механічну витікально-притікальну вентиляцію (вимушене постачання зовнішнього повітря) за умови недопущення забруднення повітря сусідніх приміщень і запобігання виникненню протягів внаслідок неконтрольованого притікання зовнішнього повітря. В кухні потрібно уникати додаткового

надлишкового тиску, який може спричинити розповсюдження кухонних запахів до кімнат для гостей (залів приймання їжі).

У ФРН заборонене притікання до кухні забрудненого повітря з зали прийому їжі. В холодний період (ХПР) зовнішнє повітря потрібно нагрівати до 20 °С, а в літній період – охолоджувати до цієї температури. Належить передбачати зовнішні сонцезахисні заслони вікон. В повітроготувальнику системи притікальної вентиляції кухні рекомендується фільтр доброї якості очищення зовнішнього повітря (клас EU3). Повітропроводи рекомендуються з алюмінієвої або оцинкованої сталевий бляхи. В якості повітропроводів не рекомендується використовувати канали (трубопроводи з будівельних матеріалів).

Повітропроводи систем витікальної вентиляції повинні бути щільними, щоби через них не проникали скраплена волога і краплини жиру. Горизонтальні ділянки повітропроводів повинні бути якомога коротшими і похиленими (в найнижчих місцях повинно передбачатись відведення конденсату). Повітропроводи, по яких рухається „зажирене” повітря повинні мати вогневідпорні клапани (при цьому не потрібні протипожежні клапани). Потрібно передбачати отвори для очищення повітропроводів від жирових осадів. У всмоктувальних отворах повітропроводів належить передбачати жировловлювальні фільтри.

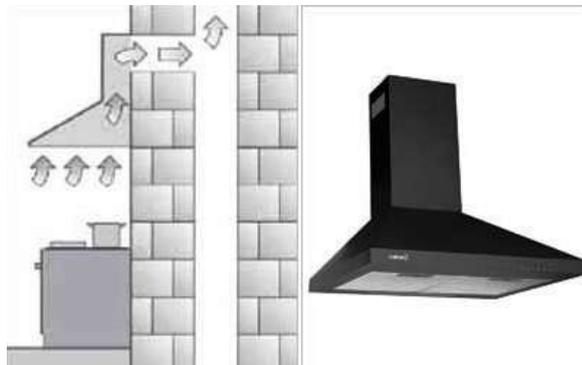


Рис. 10.8. Кухонні вентиляційні ковпаки з жировловними фільтрами

Вентиляційні ковпаки над кухонними плитами (рис. 10.8) є добрими з того погляду, що вони одночасно вловлюють теплоту і інші забрудники. Вони

виготовляються прямокутного або трапецеподібного перерізів з жироловним фільтром. В якості матеріялу виготовлення вживають хромонікелеві сталі або мідь. Найчастіше в ковпаках є умонтовані освітлювальні засоби.

Обов'язковим є систематичне очищення вентиляційних ковпаків, оскільки вони швидко забруднюються і затіняють приміщення. Витікальне з кухні повітря потрібно викидати вертикально найвище понад дахом будинку із швидкістю 10 ... 13 м/с (для того, щоб запахи не попадали в аеродинамічну тінь забудови і, поширюючись в ній, не попадали до помешкань, які знаходяться поблизу). Потрібно звертати увагу на спрямування вітрів і в разі необхідності передбачати високу швидкість витікання в атмосферу. При прокладанні повітропроводів систем витікальної вентиляції через холодне горище їх треба теплоізулювати з метою недопущення скраплювання вологи. Канали належить захищати від насичення вологою (наприклад, за рахунок фарбування). В залежності від конструкції вентилятор системи витікальної вентиляції повинен мати в корпусі отвір для його очищення і патрубок для відведення конденсату. **Двигун вентилятора не повинен перебувати в потоці витікального повітря.** В деяких випадках у трубопроводі СВ передбачають фільтр з активованим вугіллям для адсорбування кухонних запахів.

В залежності від будівельного розв'язання приміщення кухні існують різні варіанти загальної витікально-притікальної вентиляції (рис. 10.9).

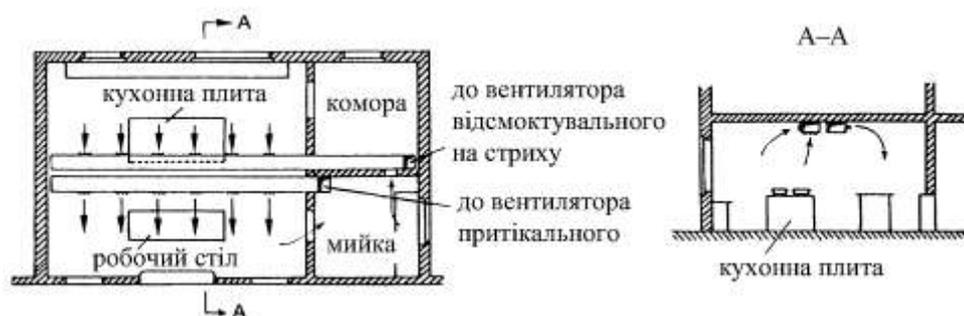


Рис. 10.9. Схема загальної притікально-витікальної вентиляції кухні середньої величини

Корисним з архітектурного погляду є умонтування повітровсмоктувальних трубопроводів у підвісній стелі. В цій стелі можна прокладати також повітропроводи систем притікальної вентиляції. Застосовуються повітропроводи з алюмінію або нержавійної сталі (рис.10.10).

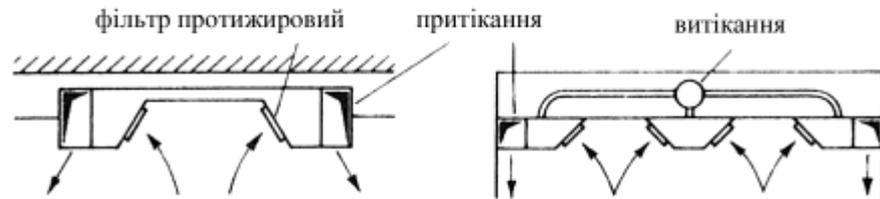


Рис. 10.10. Вентиляційні повітропроводи загальної притікально-витікальної вентиляції, умонтовані в підвісну стелю кухні

10.3.3. Великі кухні [32-34]

Стаціонарні армійські кухні, а також кухні лікарень, фабрик і заводів тощо, вимагають завжди механічної притікально-витікальної вентиляції.

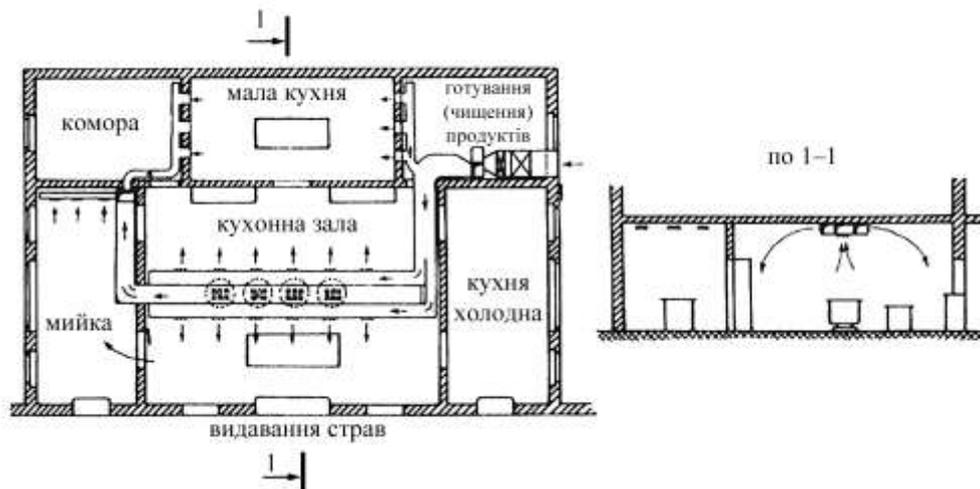


Рис. 10.11. Схема механічної притікально-витікальної вентиляції великої кухні з модульованим витікально-притікальним обладнанням і котлами для готування їжі

Головним технологічним обладнанням цих кухонь, окрім іншого обладнання, є котли для варіння їжі, з яких при відкриванні накривок (покришок) виділяється в приміщення значна кількість водяної пари. Окрім

головного приміщення (зали), велика кухня має певну кількість допоміжних приміщень. Частково потрібна в них вентиляція, перш за все йдеться про приміщення для миття посуду і дієтичну кухню. В цьому і в інших випадках існує багато варіантів прокладання трубопроводів систем витікально-притікальної вентиляції (два приклади показані на рис. 10.11 і рис. 10.12).

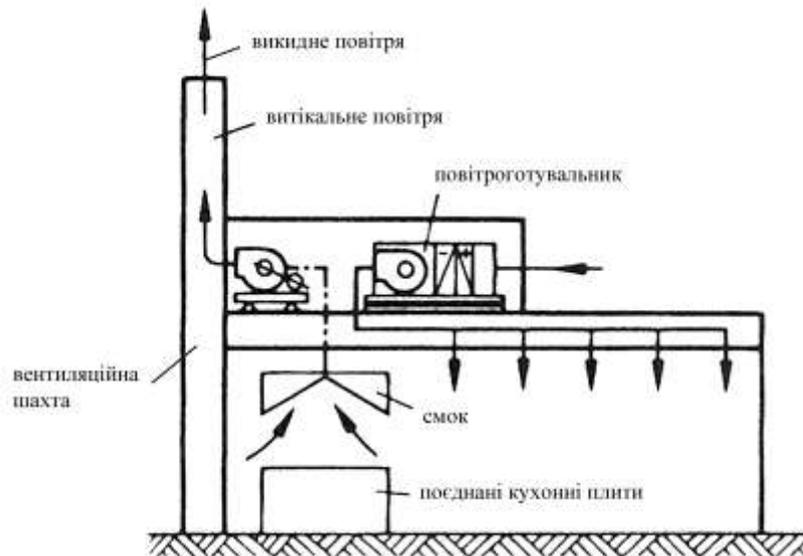


Рис.10.12.Схема механічної притікально-витікальної вентиляції великої кухні з вентиляційною шахтою витікального повітря

Поза тим, у великих кухнях обов'язковими є також конструкційні вимоги, які ставляться до кухонь середньої величини.

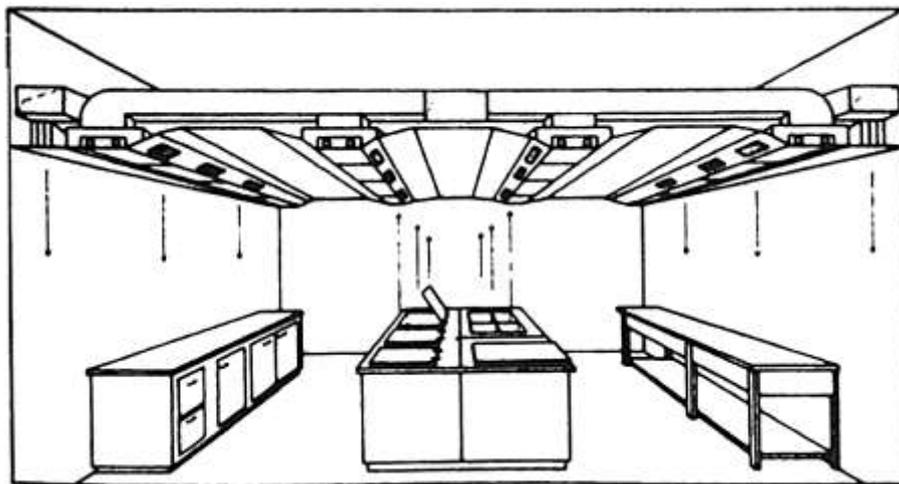


Рис. 10.13. Комплексне розв'язання підвісної вентиляційної стелі з трубопроводами притікально-витікальної вентиляції та електронним освітленням великої кухні (обладнання фірм Wimböck, Reit im Winkel)

Обладнання для готування і транспортування притікального повітря (вентилятор, фільтр, повітрянагрівник) найчастіше розміщується в підвальному приміщенні або в одному із сусідніх допоміжних приміщень (рис. 10.11). Витікальне з кухні повітря належить викидати в атмосферу вище від верхівки даху сусідніх будинків (вимога охорони довкілля). Схема прокладання вентиляційних трубопроводів і шахти (каналу) витікального повітря зображена на рис. 10.12. Верхівка шахти викидного повітря повинна перевищувати щонайменше на 5 м найвищу відмітку даху будинку кухні або сусіднього будинку.

На сьогодні використовують також **замкнені (ущільнені) вентиляційні** стелі, в яких умонтовані також засоби освітлення (рис. 10.13). Жировловні фільтри мають ефективність вловлення 99,8% і їх треба встановлювати так, щоби було зручно демонтувати (переважно у всмокувальних отворах систем витікальної вентиляції). Крім цього повинна існувати можливість їх зручного встановлення в місцях, в яких є найбільше забруднення повітря. Вони повинні зручно очищатись від жирових відкладів (промивання гарячою водою).

10.3.4. Продуктивність вентиляторів

Повітрообмін (в т.ч. і продуктивність вентиляторів) систем притікальної і витікальної вентиляції дається найчастіше в м³/год на 1 м² поверхні підлоги (табл. 10.1, VDI 2052, 03.84).

Таблиця 10.1.

Нормативний повітрообмін в кухнях, м³/год на 1 м² поверхні підлоги [35]

Тип кухні	Для кухні в цілому, м ³ /(год·1м ²)	Для окремих приміщень кухні в м ³ /(год·1м ²), які призначені для:			
		варіння	смаження, обпикання і випікання	миття і змивання	допоміжних
Кухня при барі чи буфеті	80	-	120	-	-
Кухня в ресторані, кав'ярні	60	105	120	120	45
Кухня в клубі, їдальні	90	105	120	120	45

Кухня в лікарні: - головна кухня - кухня відділення і роздавання порцій	90 60	105 -	120 -	150 -	45 -
Кухня в будинку престарілих	60	105	120	120	45
Кухня для готування страв на винос	80	105	120	120	120
Кухня морожених продуктів, кухня на кораблі, кухня в центральных закладах	90	120	120	-	60

Заувага: Годинну кратність повітрообміну одержують, як величину, яка подана в табл. 10.1, розділити на висоту приміщення. Приклад: В кухні ресторану висота приміщення 3 м. Відповідно повітрообмін кухні $K = 60 : 30 = 20 \text{ год}^{-1}$.

Кращим є метод визначення повітрообміну стосовно кількості, виду кухонного обладнання і його встановлюваної (номінальної) потужності (табл. 10.2). В цьому методі коефіцієнт одночасності роботи обладнання великих і середніх кухонь приймають 0,5...0,8, а малих кухонь 0,8...1,0.

Дотепер існувала тенденція розріджувальної вентиляції кухонь (перевищення витрати витікального повітря над витратою притікального повітря). Однак на сьогодні, згідно VDI 2052 (03.84), рекомендується вентиляція нульового тиску, тобто баланс повітрообміну при застосуванні шлюзів в стінових прорізах, якими кухні поєднуються з залами для відвідувачів (в шлюзах плюсовий баланс за рахунок тільки притікальної вентиляції).

Розріджувальна вентиляція допускається ще для малих кухонь, а інколи і для кухонь середньої величини.

Належить забезпечувати, в критичних щодо гігієнічних вимог районах кухні (холодна кухня, готування м'яса), збільшене притікання зовнішнього повітря, ніж, наприклад, в районах готування картоплі і овочів.

В кухнях заборонена рециркуляція повітря.

З метою зменшення продуктивності вентиляції і споживання енергії вентиляційним обладнанням належить застосовувати теплову ізоляцію відповідних поверхонь кухонного обладнання. У випадку невеликої завантаги

(завантаження) кухонного обладнання необхідно обмежувати продуктивність вентиляції, наприклад через регулювання числа обертів вентиляторів СВ.

Таблиця 10.2.

Явні і приховані тепловиділення та вологовиділення в приміщеннях кухонь, а також повітрообмін при асиміляції тепловиділень (при $\Delta t_p=8$ °С) і вологовиділень (при $\Delta d= 5$ г/кг·с.пов) згідно VDI 2052-03.84

Район кухні /вид обладнання/	Обладнання з електричним нагріванням*					
	повні тепло- виділен- ня, Вт/кВт	явні тепло- виділен- ня, Вт/кВт	прихо- вані теплови- ділення, Вт/кВт	виділення пари, г/(год·кВт)	повітрообмін **, м ³ /год при	
					$\Delta t_p=8$ °С	$\Delta d = 5$ г/кг с.пов
Район готування:						
- котли для варіння з доброю теплоізоляцією;	111	41	70	102	15	17
- котли для варіння під тиском.	87	58	29	43	22	7
Автомати до готування	81	29	52	77	11	13
Потужні випарники	116	46	70	102	17	17
Грійні повітряні шафи	325	58	267	395	22	66
Грійні парові шафи	407	105	302	446	39	74
Район смаження обпікання і випікання:						
- сковороди перекидні, або плити для смаження і обпікання;	714	377	337	497	141	83
- обладнання для обпікання типу саламандри.	906	732	174	257	273	43
Пічки для смаження і випікання	540	383	157	231	143	39
Обладнання на гаряче повітря	407	105	302	446	39	74
Автомати для смаження і обпікання малих порцій	488	256	232	343	96	57
Те ж, великих порцій	233	198	35	51	74	9

Автомати для соусів	343	180	163	240	67	40
Апарати для смаження фрі	803	93	715	1054	35	176
Автомати для смаження фрі	564	41	523	770	15	128
Різні райони кухні:						
- пічки і котли до готування, які розміщені на підлозі;	499	418	81	120	156	20
- пічки мікрохвильові	291	279	12	17	104	3
Купілі (ванни) водні	419	105	314	463	39	77
Теплі крендеси	552	552	-	-	206	-
Шафи для підігрівання	349	349	-	-	130	-
Шафи охолоджувальні	726	726	-	-	271	-
Роботи кухонні	174	174	-	-	65	-
Переносники	1000	1000	-	-	374	-
Видавання страв:						
- експреси для кави, які видають гарячу каву	290	75	215	317	28	-
- те ж, які видають зимну каву	726	726	-	-	271	-
Видавання посуду	296	296	-	-	111	24
Обладнання для парення напоїв	198	99	99	145	37	-

Зауваги: для обладнання з місцевими смоками величина табличних даних зменшується: при $\Delta t_p = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ на 20 %; при $\Delta d = 5 \text{ г/кг с.лов.}$ – на 30 %;

* обладнання з газовим і паровим обігріванням і обігріванням гарячою водою – див. VDI 2052 (03.84); там же подані дані, які стосуються мийок посуду;

** повітрообмін вказаний за відсутності біля обладнання смоків (вентиляційних ковпаків, локалізаторів).

Метою зменшення коштів на **нагрівання повітря** є конструкційне розв'язання, схема якого зображена на рис. 10.14. Завдяки застосуванню спеціального смока (вентиляційного ковпака) зі щілинним отвором в його нижній частині деяка кількість зовнішнього повітря (біля 70 %) не подається в приміщення, а безпосередньо до середини зонта, завдяки чому над плитою

формується вертикальний конвективний потік. За стабільного притікання засмоктується тільки 30 % внутрішнього повітря. Відповідно таку ж кількість зовнішнього повітря належить нагрівати зимою.

Рівень акустичного тиску в кухні не повинен перевищувати 50...60 дБ (А).

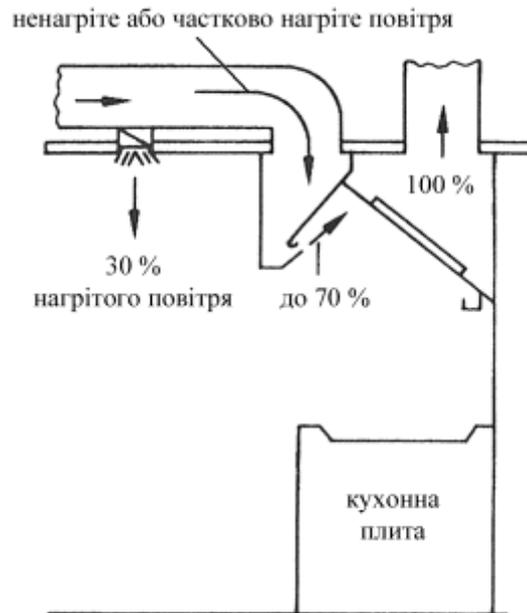


Рис. 10.14. Спеціальний вентиляційний ковпак над кухонною плитою

10.3.5. Зауваги щодо будівельних розв'язань

Кількість кухонного обладнання, яке виділяє теплоту, повинна бути оптимальною щодо площі приміщення. В разі накопичення значної кількості обладнання на малій площі не можна реалізувати ефективної вентиляції.

Можна приймати, що максимальні надходження теплоти $80...100 \text{ Вт/м}^2$. Якщо є можливість, то за великої кількості кухонного обладнання, потрібно застосовувати місцеві смоки від обладнання, навіть при мийках посуду. Стіни і стеля повинні бути лицьовані тиньком, що добре поглинає (вбирає) вологу (з метою поглинання з внутрішнього повітря певної кількості вологи). **Не можна застосовувати фарбування олійними фарбами.** Якщо є можливість, то треба застосовувати подвійні і не дуже великі вікна, аби уникати скраплювання на них водяної пари. Санвузол (нужник) повинен знаходитись, по можливості, якомога віддаленіше від головного приміщення кухні (залу для варіння), щоби можна було створити природні протизапахові шлюзи.

Вентиляційні трубопроводи, по можливості, бажано виконувати з оцинкованої сталевий бляхи. Трубопроводи систем витікальної вентиляції, що прокладаються через холодні приміщення, повинні теплоізолюватись, аби запобігати скраплюванню в них водяної пари. Повітропроводи повинні бути ущільнені (наприклад, з пропаяними фальцевими з'єднаннями).

10.3.6. Протипожежна безпека

В зажирених трубопроводах систем витікальної вентиляції може легко виникнути пожежа. Тому в місцях поворотів трубопроводів і при жироловних фільтрах потрібно передбачити отвори для чищення. З метою обмеження можливості розповсюдження вогню належить поза кухнею в трубопроводах передбачати протипожежні клапани (заслінки) і відповідні **конструкції повітропроводів**.

10.4. Вентилювання санвузлів (нужників) і душових кімнат

Санвузли належать до тієї групи приміщень, в яких завданням вентиляції є запобігання розповсюдженню запахів. З цієї причини в них повинна діяти розріджувальна вентиляція.

Найпростіше розв'язання, якщо не брати до уваги віконне провітрювання, полягає в застосуванні осьового вентилятора у вікні, або в зовнішній стіні з вікнами. Можливі збурення за рахунок вітрового підпору.

Кращим розв'язанням є застосування вентиляційної шахти з вентилятором на найвищому поверсі або на стриху (покрівлі). До цієї шахти приєднуються всі санвузли будинку, які розміщені один над другим. Вікна в таких механічно вентиляльованих приміщеннях повинні бути закриті.

Не слід передбачати загального спеціального отвору, через який мало би опосередковано притікати зовнішнього повітря, а передбачати кілька менших вентиляційних отворів (розміром біля 150 см²) в дверях тамбура санвузла.

Можна також передбачати щілинні отвори в нижній частині дверей над підлогою шириною 1 – 2 см (підрізані знизу двері). Найчастіше як двері, так і вікна є нещільними і завдяки цьому забезпечується достатнє притікання зовнішнього повітря. Належить також звертати увагу на рекомендовані приписи протипожежної безпеки.

Кратності повітрообміну в санвузлах:

- публічних на вулицях і площах 10...15 год⁻¹;
- будинків виробничого призначення 8...10 год⁻¹;
- службових (адміністративних) будинків 5...8 год⁻¹;
- помешкань 4...5 год⁻¹.

На увагу заслуговують санвузли і ванні кімнати без зовнішніх вікон, які розміщені всередині помешкань. Щодо природної вентиляції цих приміщень існують рекомендації норми DIN 18017, частина 1 (02.87), які стосуються нового будівництва з ущільненими вікнами. Передбачається там власний вентиляційний канал для кожного приміщення санвузла, яке повинно бути вентиляльованим. Верхня частина цього каналу служить для витікання внутрішнього повітря і закінчується шахтою, що умонтована в дах; натомість нижня (долішня) частина каналу служить для притікання зовнішнього повітря в санвузол (рис. 10.15).

Провітрювання завдяки природній тязі в такому каналі є невістарчальним, особливо влітку. Набагато ефективнішим є **механічна витікальна вентиляція** за допомогою вентилятора, який розміщують переважно на найвищому рівні (на стриху). Перенесення звуків і запахів з одного поверху до другого долається в той спосіб, що передбачаються окремі вентиляційні трубопроводи діаметром 50...60 мм для кожного санвузла, який розміщений всередині будинку, або спільний трубопровід з відгалуженнями, в яких передбачені клапани і глушники шуму (звуків), див. рис. 10.16. Важливим є правильний вибір вентиляційних ґраток для витікального повітря, які повинні мати певний регульований опір приблизно 100 Па, аби на процес витікання внутрішнього повітря не мали негативного впливу такі явища, як дія вітру, відкриття вікна і тощо. Вентилятор повинен мати вертикальну характеристику,

завдяки чому при змінах опору СВ, настає тільки невелика зміна його повітропродуктивності.

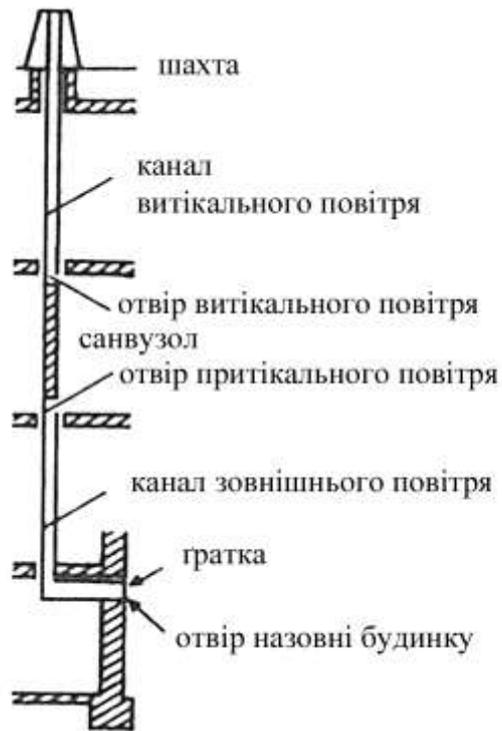


Рис.10.15. Природна витікально-притікальна вентиляція санвузлів, які розміщені всередині будинку (за відсутності в санвузлах вікон)

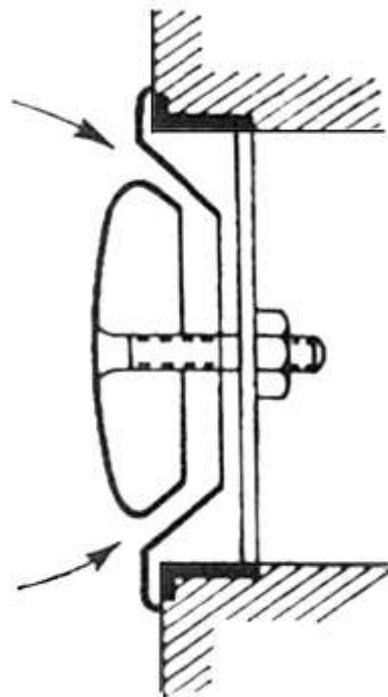


Рис. 10.16. Наставний клапан для регулювання витрати витікального із санвузлів повітряного потоку

Інше розв'язання показано на рис. 10.17, де застосовано децентралізовану енергоощадну витікальну вентиляцію.

Згідно норми DIN 18017, частина 3 (04.88) вимагаються повітрообміни:

- мінімальний в душовій кабіні 40 м³/год;
- мінімальний в санвузлі 20 м³/год.

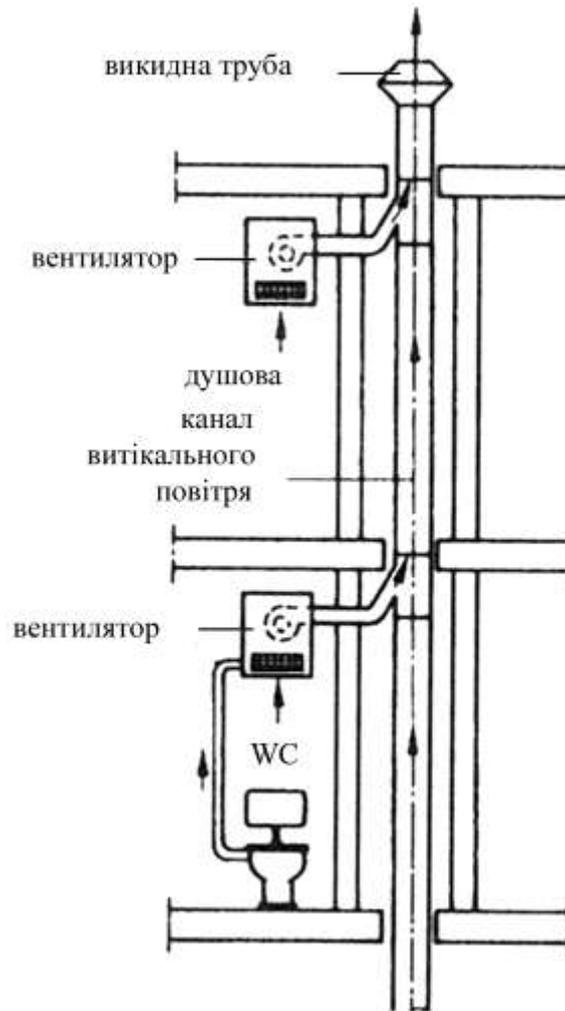


Рис. 10.17. Децентралізована витікальна вентиляція санвузлів і душових кабін (система „Limodor”)

Вказані величини повітрообмінів є обов'язковими, якщо СВ працює щонайменше 12 год на добу. У випадку, коли СВ працює 24 год/добу, допускається зменшення повітрообміну (наприклад, в нічний час) наполовину від вище вказаних величин.

В СВ, у якій існує можливість відсікання (перекривання) притікання повітря, належить забезпечити додаткове вилучення 5 м³ повітря по виключенні вентилятора. Це означає, що в системі регулювання вентилятора, або закривання клапана у пристрої для витікання повітря, повинен бути відповідний регулювальний засіб.

Максимальна витрата притікального повітря не повинна перевищувати вище вказаних подвоєних величин повітрообміну.

Розрізняють наступні системи витікальної вентиляції: **індивідуальні** з власним (індивідуальним) вентилятором; **центральні**: з нерегульованими (сталими) клапанами витікального повітря; з нерегульованими (наставними) клапанами витікального повітря; з клапанами витікального повітря за сталої витрати притікального повітря.

В усіх випадках належить звертати увагу, аби при відкриванні всіх клапанів, в порівнянні з працею тільки при одному відкритому клапані, забезпечувалась планована мінімальна витрата витікального повітря в найнижчому клапані. Допускне відхилення – до 10 %. Завдяки дії вітрових або гравітаційних сил планована витрата притікального повітря не може змінюватись більше ніж на ± 15 %. Таким чином, при налагодженні СВ треба старанно добирати характеристики клапанів і вентиляторів.

Якщо йдеться про **час дії вентилятора**, то можливі різні варіанти:

1. Вентилятор включається з кожного приміщення, які приєднані до системи, а виключається по певнім часі завдяки часовому вимикачу.
2. Вентилятор включається годинниковим механізмом тільки в певному означеному часі, наприклад вранці, в полудень і ввечері, причому кожного разу на 2...3 години або більше.
3. Вентилятор працює постійно, але вночі переважно зі зменшеною повітропродуктивністю.

В багатосімейних будинках найбільш оптимальною є система центральної витікальної вентиляції з регульованими (наставними) клапанами витікального повітря і безступінчастим регулюванням продуктивності вентилятора.

Проста енергоощадна система регулювання витрати витікального повітря за допомогою клапана показана на рис. 10.18. Клапан має два положення: клапан в положенні **закрито**, при якому витрата витікального повітря залежить від величини отвору в клапані, і виносить, наприклад, 15 м³/год; клапан в положенні **відкрито** - витрата приблизно 100 м³/год.

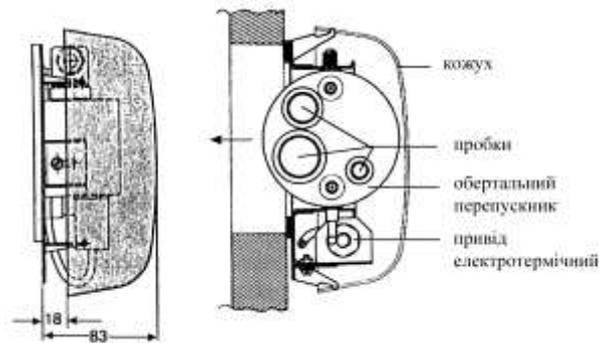


Рис. 10.18. Регулювальний автомат витрати витікального повітря з електротермічним приводом і вимикачем із запізненням в часі (фірма „Temset”)

Клапан відкривається завдяки дії, наприклад, вимикача системи освітлення, або під впливом електротермічного приводу, який відразу по виключенні, внаслідок теплової інерції, втримує клапан (перепускник) відкритим ще протягом 5...10 хв і забезпечує тим самим надійність вентилявання. Завдяки цьому настає подавлення вентилятора системи витікальної вентиляції і зменшення річної витрати енергії на вентиляцію.

Існують також розв'язання вентиляції окремих санвузлів, з керуванням від накривки унітазу або від входних дверей. В тих розв'язаннях відсмоктується повітря безпосередньо з мушлі унітазу і викидається назовні, або це повітря перетікає через фільтр з активованого вугілля і скеровується знову в приміщеннях санвузла (**повна рециркуляція**, фірми „Euosmann”, „Exodor” та інші).

Після запровадження теплоізоляованого будівництва і застосування ущільнених вікон вимагається механічна притікально-витікальна вентиляція з рекуперацією теплоти витікального повітря. Треба зауважити, що в душових

(ваннах) кімнатах, які розміщені в глибині будинку, існуючий повітрообмін є вистарчальним і відповідає вимогам DIN 18017, частина 4 (04.1988).

10.5. Загальні відомості про вентилявання деяких основних приміщень громадських будинків

В приміщеннях театрів рекомендуються системи механічної притікально-витікальної вентиляції, окремі для глядацького та сценічного комплексів, кімнат для паління, санітарних вузлів, підсобних приміщень буфетів, світлопроекційних [24]. Вентиляцію кімнат для паління та санвузлів допускається об'єднувати в одну систему.

Основними забрудниками є виділення теплоти, вологи та діоксиду вуглецю (CO_2) від глядачів, артистів і обслуги, а також теплонадходження від штучного освітлення та сонячного випромінення.

В СВ глядацької зали та інших приміщень допускається використання рециркуляційного повітря. Кількість зовнішнього повітря приймають з розрахунку розчинення вмісту CO_2 до ГДК, але не менше $20 \text{ м}^3/\text{год}$ на 1 особу. Як зовнішнє, так і рециркуляційне повітря обов'язково очищується від пилу.

Повітророзподільники систем притікальної вентиляції повинні бути регульованими.

У глядацькій залі з колосниковою сценою витрата витікального повітря 90 % від витрати притікального повітря (з метою забезпечення додатнього надлишкового тиску „підпору”). Витікання повітря із сцени приймають в кількості 17 % загального витоку із зали.

Трюм сцени вентиляється окремою механічною системою витікальної загальної вентиляції.

У приміщеннях репетиційних залів, артистичних, апаратних звукозапису, звукофіксації, телебачення та кабін дикторів необхідно передбачати окремі системи витікально-притікальної загальної вентиляції.

Системи механічної витікальної вентиляції з місцевими смоками передбачаються від клеєварок в столярних, бутафорських та декораційних майстернях.

У приміщеннях пралень, фарбування та просочення декорацій передбачається система механічної притікальної загальної вентиляції, а також системи механічної витікальної місцевої і загальної вентиляції.

Системи вентиляції повинні мати пристрої віброгасіння та шумопоглинання, автоматичного регулювання, дистанційного та місцевого контролю і сигналізації.

Кінотеатри. Рекомендації щодо вентиляції приміщень кінотеатрів вказані в приписах нормативної літератури [21, 28].

В приміщеннях кінотеатрів передбачається притікально-витікальна загальна вентиляція. Рекомендуються системи механічної притікальної вентиляції з підігріванням зовнішнього повітря в ХПР. Витікання повітря із глядацьких залів та інших приміщень, крім комплексу приміщень кінопроекційної, передбачається системами природної вентиляції.

В багатозальних кінотеатрах із загальною місткістю залів до 800 місць рекомендується передбачати одну систему притікальної вентиляції для декількох залів. При цьому на відгалуженнях системи до кожної зали треба передбачати додатковий підігрівник повітря та шумоглушник. Підігрівання повітря в центральному повітроготувальнику такої СВ до + 6 °С. Для витікання внутрішнього повітря допускається передбачити два вентилятори – один для викиду витікального повітря в атмосферу, а другий – для рециркуляційного повітря.

При загальній місткості глядацьких залів 600 місць і більше необхідно для фойє та вестибюлів передбачати зональне розподілення підігрітого зовнішнього (або суміші зовнішнього і рециркуляційного) повітря.

У глядацьких залах у вигляді амфітеатрів на 200-600 місць розподілення притікального повітря може передбачатись як зі сторони кінопроекційної, так і від екрана. Як повітророзподільники рекомендують повітропроводи рівномірного витікання.

У глядацьких залах більш ніж на 600 місць передбачають стельові повітродозподільники, або розподілення повітря зі сторони, протилежної екрану. Витікання повітря передбачають з верхньої зони або з верхньої і частково нижньої зон зали.

У глядацьких залах, ширина яких близька до довжини, притікальне повітря розподіляється через стельові отвори біля однієї із бокових стін (або торцевої стіни, залежно від того, яка із стін довша). Витікання повітря передбачається через стельові отвори біля протилежної бокової (або торцевої) стіни. Можливий варіант розподілення притікального повітря через стельові отвори біля бокових (торцевих) стін, а витікання внутрішнього повітря через отвори посередині стелі.

За наявності у глядацькій залі балконів притікальне повітря розподіляється під стелею балкону зі сторони кінопроекційної в об'ємі, який відповідає кількості місць на балконі.

Притікальне повітря розподіляється у верхню зону фойє за допомогою окремої СВ або СВ суміщеної з системою притікальної вентиляції зали.

В санітарних вузлах та кімнатах для паління передбачають системи механічної витікальної загальної вентиляції. Притікання повітря в об'ємі витікання організують в суміжні приміщення (фойє, кулуари тощо). При висоті приміщень для паління і санітарних вузлів > 3 м, вентиляційні ґратки для витікання внутрішнього повітря передбачають в двох рівнях – під стелею та на висоті 2 м, а при їх висоті < 3 м витікання повітря передбачають тільки з верхньої зони.

Притікальне у вестибюль повітря може розділятись у фойє, розподільчих кулуарах або безпосередньо у вестибюлі. Можна об'єднувати в одній системі витікальну вентиляцію із санітарних вузлів та кімнат для паління.

Із приміщень кінопроекційної і одночасно від кінопроекторів, перемотувальної, кімнат кіномеханіка і радіовузла витікання повітря передбачають за допомогою механічної СВ.

Повітрообмін глядацької зали місткістю до 800 місць в ТПР не повинен перевищувати $80 \text{ м}^3/\text{год}$ на одне глядацьке місце.

Шахти для витікального повітря з глядацької зали оснащуються утепленими клапанами з дистанційним керуванням та піддонами для збирання і відведення конденсату.

Вентиляційні камери не можуть розташовуватись над і під глядацькими залами. Вентиляційні трубопроводи, які прокладаються на горищі, обов'язково утеплюються.

В **клубах** [23] рекомендуються системи загальної притікально-витікальної вентиляції, окремі для приміщень глядацької зали та клубної частини з приміщеннями обслуговування і адміністративними приміщеннями.

Передбачається система механічної притікальної вентиляції глядацької зали та приміщень, призначених для її обслуговування, а також фойє. Допускається рециркуляція повітря з глядацької зали.

Рекомендуються самостійні системи механічної витікальної вентиляції із санвузлів, кімнат для артистів, кімнат для паління, акумуляторних та кислотних.

Природна витікальна вентиляція рекомендується із глядацької зали, приміщення сцени, адміністративно-господарських приміщень.

У **клубній частині** рекомендується вентиляція: механічна притікальна в кімнатах для гурткової роботи, бібліотеках, вестибюлях, виставкових залах, приміщеннях дитячого сектора; окрема система механічної притікальної вентиляції для спортивної зали, яка може виконувати функцію обігрівальної вентиляції. При цьому допускається рециркуляція повітря. Системи природної витікальної вентиляції рекомендуються для всіх інших приміщень, крім санвузлів та душових кімнат (в цих приміщеннях рекомендується система механічної витікальної вентиляції).

Повітророзподілення у глядацькій залі рекомендується через повітророзподільники, розташовані у площині середньої зони стелі для залів до 400 місць (без балконів); через струминні повітророзподільники, які розташовані у площині торцевої стіни для залів на 400 місць і більше; через вентиляційні ґратки в торцевій стіні під стелею балконів, за наявності останніх.

Витікання внутрішнього повітря з глядацької зали рекомендується через отвори в площині стелі або в площині верхньої частини стіни біля portalу чи перед завісою.

Рециркуляційне повітря відбирається від системи витікальної вентиляції глядацької зали, або за допомогою окремих СВ, повітрозабірні отвори яких розташовані у верхній частині площини внутрішніх капітальних стін.

Розподілення притікального повітря повинно виключати утворення мертвих (непровітрюваних) зон.

У приміщеннях фойє і кулуарах рекомендується тільки притікальна вентиляція з розподіленням повітря у верхню зону і 10 % позитивним дебалансом щодо кількості повітря, яке витікає із приміщень буфету, санвузлів, гардеробу і кімнат для паління з додатковим 2-х кратним притоком у вестибюль.

Проектування вентиляції приміщень для паління, кінопроекційних і однотипових до кінотеатрів здійснюється за аналогією з приміщеннями кінотеатрів.

В загальноосвітніх школах і школах-інтернатах, професійно-технічних і середніх спеціальних навчальних закладах рекомендуються системи механічної і природної загальної вентиляції. Рециркуляція повітря в системах вентиляції навчальних приміщень не допускається.

В основних приміщеннях передбачається механічна притікально-витікальна вентиляція з підігріванням зовнішнього повітря в ХПР.

10.6. Характерні особливості вентиляювання виробничих приміщень

У зв'язку з великим різномайттям виробничих приміщень існують різні вимоги щодо готування притікального повітря.

Системи вентиляції (СВ) застосовують для підтримання у виробничих приміщеннях умов, які потрібні для нормального здійснення технологічних процесів [36, 37]. При цьому найперше звертають увагу на умови праці людей і раціональне споживання енергії [38, 39]. При проектуванні СВ нового

виробничого приміщення найперше звертають увагу на локалізацію виділень забрудників від технологічного обладнання і потрібне для цього вентиляційне обладнання, на необхідну кількість зовнішнього повітря, на температуру, вологість, рухливість і тиск внутрішнього повітря, на наявність електростатичних зарядів, забруднення повітря, шум і вібрації, споживання енергії.

Звичайно, інколи вистачає загальної притікально-витікальної вентиляції або тільки притікальної. Системи кондиціонування (СК) повинні забезпечувати вищі вимоги щодо температури, вологості і чистості повітря, і застосовуються, наприклад, в текстильних і ткацьких виробництвах, при виробництві паперу і сигарет, в електронній промисловості тощо.

Якщо в великозальних виробничих приміщеннях є невелика кількість місць праці, на які діє велике теплове випромінення (наприклад, основні корпуси ТЕЦ, металотопильні, виробництво скла), то не потрібно забезпечувати працівникам відповідний тепловий комфорт. Кращим розв'язуванням в цьому випадку є обмеження часу праці, використання охоронного одягу або місцеві водяні екрани.

10.6.1. Особливості повітророзподілення у виробничих приміщеннях

Якщо в результаті технологічного процесу настає забруднення повітря, то притікальне (внутрішнє) повітря повинно перетікати від людини до технологічного обладнання або продукту. Забрудники (шкідливі виділення) повинні бути вилучені, наскільки це є можливим, від місць їх утворення. У зв'язку з цим в місцях праці підтримується мала теплова і мінімальна навантага виділення забруднюваних речовин. Під поняттям ступеню навантаги розуміють відношення теплової навантаги і забрудників в місці праці до відповідної навантаги в приміщенні. В особливих випадках, коли вимагається висока чистість в зоні виробничого процесу (чисті приміщення), допускається скерування руху притікального повітря від виробничого процесу до людини за умови, що відсутня ежекція забрудників (шкідливих виділень).

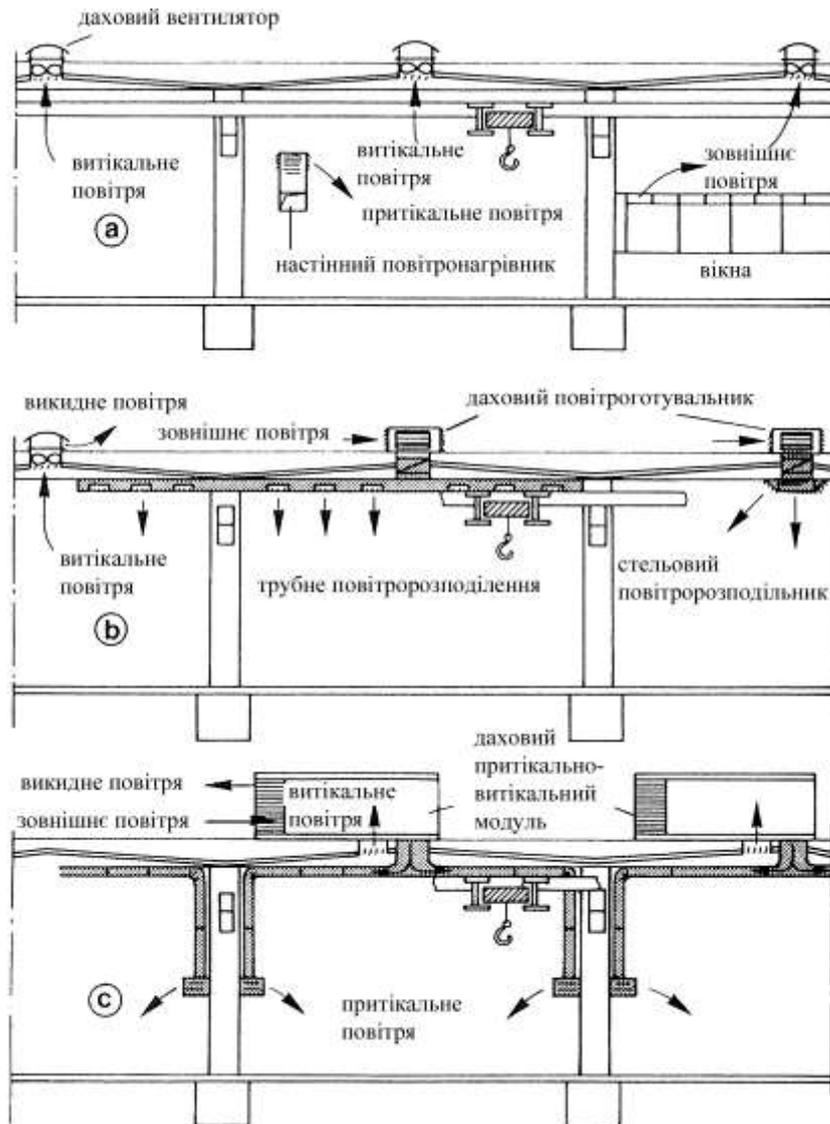


Рис. 10.19. Схеми перетікання повітря через виробничі приміщення:

а – витікання повітря через дахові отвори за допомогою дахових вентиляторів, притікання повітря через фрамуги вікон або за допомогою настінних повітрянагрівників;

б – витікання повітря через дахові отвори за допомогою дахових вентиляторів, притікання повітря через вентиляційні ґратки пристельових повітропроводів або від пристельового нагрівально-вентиляційного агрегата;

с – дахова притікально-витікальна вентиляційна централь з рекуператором теплоти витікального (викидного) повітря і повітророзподіленням в РЗ

Розглядаючи повітророзподілення, належить звертати увагу на градієнт температури внутрішнього повітря. В більшості виробничих приміщень значної висоти (наприклад, 6...10 м) бажаним є повітророзподілення безпосередньо в робочу зону (РЗ) [43-46], див. рис. 10.19. При передбаченні вертикальних повітропроводів на стінах чи колонах необхідно звертати увагу на наявність технологічних кранів (особливість їх закріплення і переміщення). В приміщеннях зі значними локальними джерелами тепловиділень передбачаються системи місцевої витікальної вентиляції. З погляду на теплову навантагу повітряне обігрівання не є обов'язковим.

Якщо немає іншої можливості повітророзподілення як тільки через стелю (покрівлю), то, у випадку обігрівальної вентиляції, застосування додаткових вентиляторів запобігає температурному розшаруванню [40]. Струмінні вентилятори можуть бути використані для притікання повітря зі стелі і до переміщення теплого повітря із ВЗ в РЗ приміщення. Таке розв'язання є можливим за низьких концентрацій забрудників. Зужите внутрішнє повітря повинно витікати із приміщення через дахові отвори. З погляду витрат коштів трубопровідні СВ не рекомендується до застосування.

10.6.2. Загальний повітрообмін виробничих приміщень

Загальний повітрообмін визначається на основі холодильної навантаги приміщення, вмісту забрудників у внутрішньому повітрі або експериментально встановлених кратностей повітрообміну (див. табл. 10.3).

Таблиця 10.3.

Величини кратностей повітрообміну деяких виробничих приміщень, год⁻¹ [35]

№ п/п	Призначення приміщення, технологічний процес	Кратність повітрообміну, год ⁻¹
1	Оброблення металовиробів на верстатах	3 - 6
2	Виробництво з відходами деревооброблення	3 - 6
3	Зварювання	5 - 8

4	Механіка презиційна	8 - 12
5	Лакування	10 - 30
6	Склади машинобудівної промисловості	1 - 2
7	Перероблення овочів і фруктів	4 - 8
8	Склади продуктів харчування	4 - 10
9	Перероблення тютюну	8 - 25
10	Вироблення паперу	6 - 15
Ткацьке виробництво:		
11	Волокна натуральні і синтетичні	4 - 25
12	Волокна хімічні	4 - 100
13	Вироблення готового одягу	4 - 20

За низьких зовнішніх температур повітрообмін виробничих приміщень, з метою економії коштів, допускається зменшувати до 50 % [35].

Таблиця 10.4.

Температура приміщень з теплими і гарячими технологічними процесами згідно VDI 3802 (E.12.79)

Температура зовнішня, °C	Температура максимальна, °C		Температура рекомендована, °C	
	технологія тепла	технологія гаряча	технологія тепла	технологія гаряча
від -18 до +10	23±3	26±3	18±3	23±3
від +10 до +26	28±3	32±3	26±3*	29±3*
від +26 до +32	31±1*	35±1	29±1*	32±1*

Заувага: * - найчастіше досягається завдяки охолодженню.

10.6.3. Рекуперація теплоти витікального (викидного) повітря [41-42]

Рекуперація теплоти в СВ виробничих приміщень в останні роки набуває все більшого поширення. За великих кратностей повітрообміну і навіть при 2...3 кратному повітрообміні, частка теплоти у притікальному і витікальному повітрі, стосовно щодо повного споживання теплоти приміщенням, є дуже високою. Тому рекуперація теплоти витікального повітря є важливою для ощадності енергії. Наприклад, в типовому виробничому приміщенні з доброю

теплоізоляцією (див. рис. 10.20) споживання теплоти на підігрівання притікального (зовнішнього) повітря становить 80 % повного споживання теплоти. Впровадження рекуперації теплоти, з коефіцієнтом рекуперації $\Phi = 69$ %, може забезпечити ошадність біля 55 % від повних потреб теплоти.

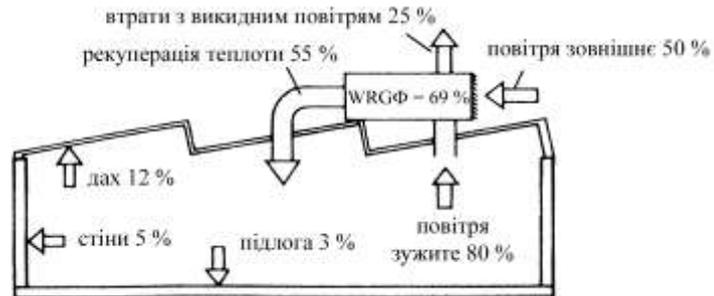


Рис. 10.20. Тепловий баланс сучасного виробничого приміщення при 6-ти кратному повітрообміні і 50 % частці розрахунково потрібної кількості зовнішнього повітря:

WRG – рекуперація теплоти; Φ – коефіцієнт рекуперації теплоти