



Тепловий баланс. Розв'язування задач

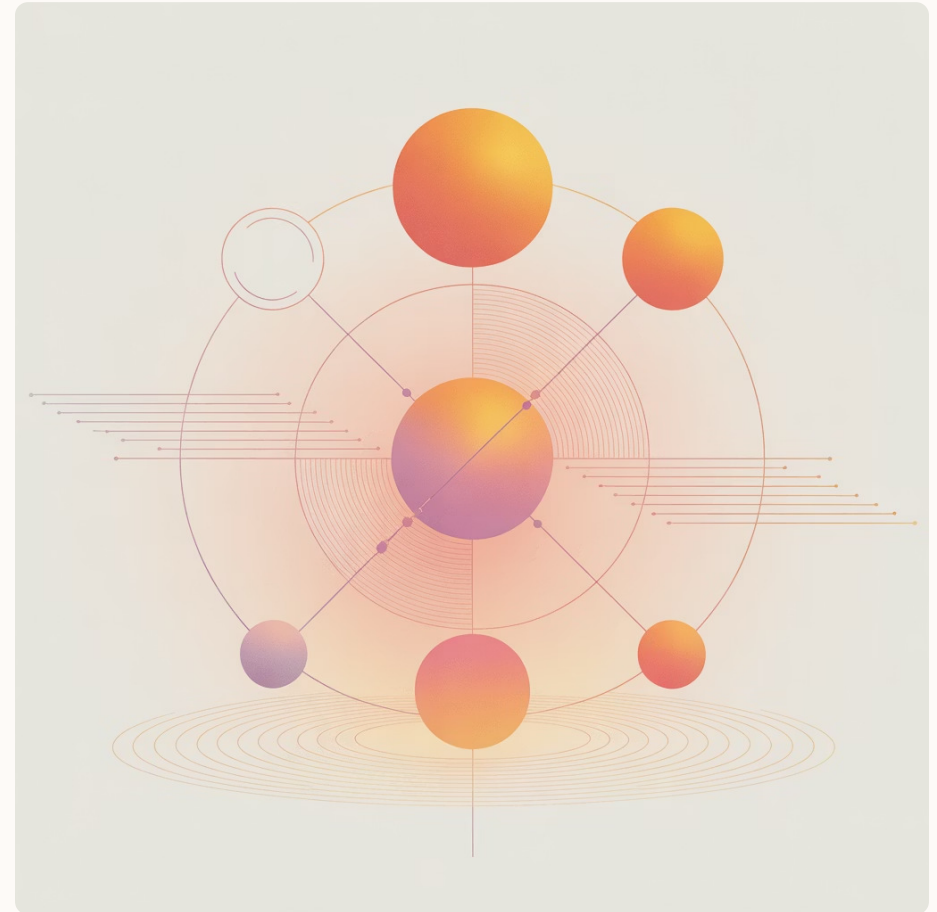
Практичний підхід до розрахунку теплових потоків та
енергоефективності будівель

?Що таке тепловий баланс

Тепловий баланс — це стан термодинамічної рівноваги, коли сума всіх теплових потоків у систему і з неї дорівнює нулю. У цьому стані температура системи залишається стабільною.

Приклад: будівля, яка втрачає стільки ж тепла через огорожувальні конструкції, скільки отримує від опалення та сонячної радіації, перебуває у тепловій рівновазі.

📄 **Формула балансу:** $Q_i + Q_c + Q_s + Q_v + Q_e = 0$



Основні складові теплового балансу

Тепловий баланс ґрунтується на законі збереження енергії: енергія не виникає нізвідки і не зникає безслідно, вона лише перетворюється з однієї форми в іншу або передається. Для досягнення стабільної температури, сума всіх теплових надходжень і втрат системи повинна дорівнювати нулю. Розглянемо ключові компоненти, що впливають на цей баланс.



Внутрішні джерела тепла

Тепло, що виділяється мешканцями, електричними приладами та освітленням всередині будівлі.



Сонячна радіація

Теплові надходження від прямого сонячного світла, що проникає крізь вікна та інші прозорі конструкції.



Тепловтрати/тепловіддача через огородження

Передача тепла через стіни, дах, підлогу та вікна внаслідок різниці температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем.



Вентиляція та інфільтрація

Втрати або надходження тепла, пов'язані з обміном повітря між будівлею та зовнішнім середовищем.

Основні складові теплового балансу

Кожна компонента теплового балансу відображає конкретний тип теплообміну в системі:



Q_i — Внутрішні надходження

Тепло від опалення, людей, електроприладів та освітлення



Q_c — Теплопровідність

Втрати через стіни, дах, підлогу та огорожувальні конструкції



Q_s — Сонячне тепло

Радіація, що надходить через вікна та прозорі елементи



Q_v — Вентиляція

Теплові втрати або надходження через повітрообмін



Q_e — Випаровування

Втрати енергії на випаровування вологи в приміщенні



Приклад: Тепловий баланс будівлі за добу

Для комплексного аналізу теплового балансу будівлі розглядаємо чотири характерні періоди доби з різними умовами теплообміну:

1

Ранок (6:00-12:00)

Низька температура, мінімальна сонячна радіація, початок роботи приладів

2

Полудень (12:00-18:00)

Максимальна сонячна радіація, пікове навантаження від людей та обладнання

3

Вечір (18:00-24:00)

Зниження температури, робота освітлення, присутність людей

4

Ніч (24:00-6:00)

Мінімальна температура, відсутність людей, базове опалення

Для кожного періоду визначаємо необхідне активне опалення або охолодження, щоб загальний баланс дорівнював нулю та забезпечувався комфорт.

Формули для розрахунку теплових потоків

Основні математичні залежності для визначення компонент теплового балансу:

1

Теплопровідність через огороження

$$Q_c = U \times A \times (T_{\text{внутр}} - T_{\text{зовн}})$$

де U — коефіцієнт теплопередачі ($\text{Вт/м}^2 \cdot \text{К}$), A — площа поверхні (м^2)

2

Сонячний тепловий потік

$$Q_s = G \times A_{\text{вікон}} \times g$$

де G — сонячна радіація (Вт/м^2), g — коефіцієнт пропускання скла

3

Вентиляційний теплообмін

$$Q_v = \rho \times c_p \times \dot{V} \times (T_{\text{внутр}} - T_{\text{зовн}})$$

де ρ — щільність повітря (кг/м^3), c_p — теплоємність, $\dot{V}$ — об'ємна витрата ($\text{м}^3/\text{с}$)

Задачі початковий рівень:

1. В алюмінієву каструлю масою 1 кг налили 2 кг води. Каструлю і воду нагріли від 20 °С до 40 °С. Яку кількість теплоти отримала система? ($c_{al} = 900 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$, $c_v = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$)
2. Скільки теплоти потрібно, щоб нагріти 200 г води від 10 °С до 60 °С? ($c_v = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$)

❗ ДЗ !!!! Залізну деталь масою 0,5 кг охолодили від 120 °С до 20 °С. Скільки теплоти вона віддала? ($c_{el} = 460 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$)

Задачі середній рівень

1. У 200 г води при температурі 20 °С поклали 100 г гарячого заліза температурою 100 °С. Якою стане температура рівноваги? ($c_v = 4200 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$, $c_{el} = 460 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$)
2. В алюмінієву посудину масою 200 г налили 400 г води температурою 20 °С і кинули 100 г міді при 90 °С. Знайдіть температуру рівноваги. ($c_{al} = 900$, $c_v = 4200$, $c_m = 400 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$)

 ДЗ!!! У 300 г води при 10 °С опустили шматок міді масою 200 г при 80 °С. Визначити температуру встановленої рівноваги. ($c_v = 4200$, $c_m = 400 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$)

Задачі достатній рівень:

1. В алюмінієву каструлю масою 300 г налили 500 г води температурою 20 °С і поклали шматок міді масою 200 г, нагрітої до 90 °С. Знайдіть температуру теплової рівноваги. ($c_v = 4200$, $c_{al} = 900$, $c_m = 400$ Дж/(кг·°С))
2. У калориметр поклали 100 г льоду при 0 °С і влили 200 г води при 60 °С. Визначити, скільки льоду розтане. ($\lambda = 3,4 \cdot 10^5$ Дж/кг, $c_v = 4200$ Дж/(кг·°С))

 ДЗ!!! У воду масою 400 г при 25 °С поклали 100 г льоду при 0 °С. Яка температура встановиться після теплової рівноваги? ($\lambda = 3,4 \cdot 10^5$ Дж/кг, $c_v = 4200$ Дж/(кг·°С))

:Задачі високого рівня

1. В алюмінієвий калориметр масою 200 г налили 300 г води при 20 °C і опустили 100 г льоду при -10 °C. Визначити кінцеву температуру суміші. ($c_{al} = 900$, $c_v = 4200$, $c_l = 2100$ Дж/(кг·°C), $\lambda = 3,4 \cdot 10^5$ Дж/кг)
2. У калориметр з 200 г води при 40 °C поклали 100 г пари при 100 °C. Визначити кінцеву температуру суміші. ($r = 2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг, $c_v = 4200$ Дж/(кг·°C))

 ДЗ!!! В алюмінієву посудину масою 150 г налили 250 г води при 20 °C і кинули 50 г заліза при 400 °C. Знайти температуру рівноваги. ($c_{al} = 900$, $c_v = 4200$, $c_{el} = 460$ Дж/(кг·°C))