Методичні вказівки до розв'язку ситуаційних задач

1. Система освітлення будівель.

Освітлення приміщень характеризується низкою кількісних показників:

– ***світловий потік*** Ф – це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості оцінюваної зоровим відчуттям світлової енергії W, що потрапляє на поверхню за одиницю часу τ, створюється джерелом світла.

$$Ф=W/\tau \text{ [лм (люмен)]}. \quad (1)$$

– ***сила світла*** I – це фізична величина, що визначається відношенням світлового потоку Ф до тілесного кута w в межах якого світловий потік розподіляється.

$$I = Ф/w = Ф/4\pi \text{ [кд (кандела)]}. \quad (2)$$

Кандела – сила світла точкового джерела, що випромінює світловий потік в 1 лм, який рівномірно розподіляється в середині тілесного кута в 1 стерадин;

– ***яскравість*** B – визначається як відношення сили світла I, що випромінюється елементом поверхні в данному напрямку до площі S цього елементу поверхні

$$B = I / (S\cdot\cos\alpha) \text{ [кд/м}^2\text{ або нт (ніт)]} \quad (3)$$

де α – кут між нормалю до елементу поверхні і напрямком для якого визначається яскравість.

– ***освітленість*** E – це фізична величина, яка чисельно дорівнює світловому потоку Ф, що падає на одиницю освітленої поверхні S.

$$E = Ф/S \text{ [лк (люкс)]}. \quad (4)$$

Люкс це рівень освітленості поверхні площею 1 м^2 на яку падає світловий потік в 1 лм.

Освітленість описується двома законами. Математична формула першого закону освітленості має вигляд

$$E = I/r^2, \quad (5)$$

де r – відстань від джерела світла до освітлюваної поверхні.

Математична формула другого закону освітленості має вигляд:

$$E = E_0\cdot\cos\alpha. \quad (6)$$

де E_0 – освітленість по нормалі.

Формула що об'єднує 1 і 2 закони освітленості має вигляд:

$$E = I\cdot\cos\alpha / r^2. \quad (7)$$

Прилад розв'язаня задачі.

Задача 1. Лампочка потужністю P = 75 Вт, створює на відстані r = 3 м за нормального падіння променів освітленість E = 8 лк. Визначити питому потужність лампочки (Вт/кд) і світлову віддачу лампочки (лм/Вт).

Розв'язання.

1) Формулою (7) за умовами задачі матиме вигляд $E = I\cdot\cos\alpha / r^2$, ($\alpha=0$, $\cos\alpha = 1$), тоді $E = I / r^2$.

2) Питома потужність визначається за формулою:

$p = P / I = P / (E\, r^2) = 75 / (8\cdot 3^2) = 1.04$ Вт/кд.

3) Світловіддача визначається по формулі $\eta = Ф / P$, враховуючи формулу (2) і (5), тоді

$\eta = 4\pi \cdot E \cdot r^2 / P = 4 \cdot 3{,}14 \cdot 8 \cdot 3^2 / 75 = 12{,}1$ лм/Вт.

2. Теплонадходження від системи освітлення, електричного і побутового обладнання.

2.1. Величину теплонадходження від систем освітлення і електричного обладнання визначають згідно формули:

$$Q_{ел.\ об.} = k \cdot N_{ел.} \cdot \tau \text{ [кВт год]} \quad (8)$$

де k – загальний коефіцієнт, що враховує коефіцієнт використання потужності обладнання (k_1), коефіцієнт завантаження (k_2), коефіцієнт одночасності роботи (k_3),
коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову (k_4); $N_{ел.}$ – номінальна потужність приладів, Вт;

τ – час використання, год.

2.2. Величину теплонадходження від побутових газових і електричних плит визначають згідно формули:

$$Q_{п.п.} = \sum(N_{п.п.} \cdot n_{п.п.} \cdot k_2 \cdot \eta \cdot \tau) \text{ [кВт год]} \quad (9)$$

$N_{п.п.}$ – номінальна потужність приладів, кВт;
$n_{п.п.}$ – кількість побутових приладів;
K_2 – коефіцієнт середнього завантаження приладів;
η – коефіцієнт корисної дії приладів;
τ – час роботи, год.

2.3. Величину теплонадходження від побутових холодильників визначають згідно формули:

$$Q_x. = N_{ел.} \cdot (1 \cdot \eta_q + \varepsilon) \cdot k_2 \cdot \tau \text{ [кВт год]} \quad (10)$$

Nел. – номінальна електрична потужність холодильників, кВт;
η_q – коефіцієнт перетворення електричної енергії в теплову;
ε – холодильний коефіцієнт;
k_2 – коефіцієнт середнього завантаження холодильників;
τ – час роботи холодильника, год.

Приклад розв'язання задачі

Задача 2. Визначити, як зміняться добові теплонадходження від системи освітлення навчального корпусу №3 ХНУ в разі заміни 450 ламп розжарювання на люмінесцентні компактні лампи з вбудованими пускорегулювальними пристроями. Потужність та кількість ламп розжарювання становить: 100Вт–250шт, 75Вт–150шт, 60Вт–50шт. Коефіцієнти прийняти наступні k1 = 0.9, k2 = 0.2, k3 = 0.6, k4 = 0.95. Потужність та кількість люмінесцентних ламп становить: 20Вт–350шт, 18Вт–70шт, 15Вт–30шт. Коефіцієнти для люмінесцентних ламп прийняти наступні: $k_1 = 0.9$, $k_2 = 0.2$, $k_3 = 0.6$, $k_4 = 0.2$. Час роботи ламп 5 год/добу.

Розв’язання.

1) Теплонадходження від ламп розжарювання за фотмулою (8):

$Q_{л.р.}= k_1\cdot k_2\cdot k_3\cdot k_4\cdot\sum N_{ел.}\cdot\tau=0.9\cdot0.2\cdot0.6\cdot0.95\cdot(100\cdot250+70\cdot150+60\cdot50)\cdot5=19751$ Вт год.

2) Теплонадходження від люмінесцентних ламп:

$Q_{л.л.}= k_1\cdot k_2\cdot k_3\cdot k_4\cdot\sum N_{ел.}\cdot\tau=0.9\cdot0.2\cdot0.6\cdot0.2\cdot(20\cdot350+18\cdot70+15\cdot30)\cdot5=941$ Вт год.

3) Визначаємо різницю теплонадходження:

$Q= Q_{л.р.} – Q_{л.л.}=19751–941=18810$ Вт год.

3. Визначення теплоти, яка підводиться до робочого тіла за умови відсутності зміни фазового стану.

3.1. Розрахункова кількість теплоти, яку необхідно витратити на нагрівання інфільтраційного повітря та гарячого водопостачання визначається за формулою:

$$Q= c\cdot m\ (t_2 –t_1)\ \text{кДж} \qquad (11)$$

c – масова ізобарна теплоємність для повітря срп=1,163кДж/(кг·град), для води $c_{рв}$=4,19кДж/(кг·град);

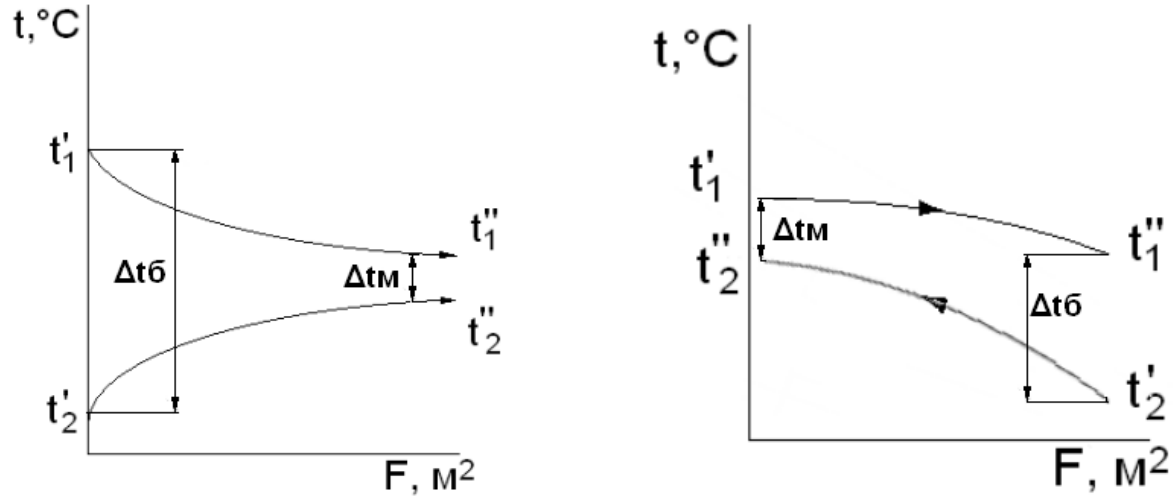
t_2 – для повітря: тепмература внітрішнього повітря у будівлі за додатком В ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель»; для гарячого водопостачання: t_2 =55°С;

t_1 – для повітря: розрахункова температура зовнішнього повітря у холодний період року за ДСТУ-НБВ1.1-27:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія»; для гарячого водопостачання: t_2 =10°С.

Процес нагрівання води та повітря здійснюється в теплообмінниках.

3.2. Розрахунок середнього температурного напору в теплообмінниках.

На рис.1 наведено схеми зміни температури робочих тіл для прямоточного і протиточного їх руху.



а б

Рис.1. Характер зміни температури робочих тіл: а – прямоточна, б – протиточна.

Середній температурний напір визначаємо за формулою:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_б - \Delta t_м}{\ln \Delta t_б / \Delta t_м}, \ °C \qquad (12)$$

де $\Delta t_б$ і $\Delta t_м$ – відповідно більший та менший температурні напори на вході і виході з теплообмінника.

3.3. Рівняння теплопередачі для теплообмінника розраховуємо за формулою:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t \ \ Дж \qquad (13)$$

де К – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^{2}К);
F – площа теплообмінника, м^2;
Δt – температурний напір, °С.

Приклад розв'язання задачі

Задача 3. Визначити річну кількість теплоти на гаряче водопостачання гуртожитку №2 ХНУ з загальними душовими. Річна тривалість проживання 240 діб, мешканців 300 осіб.

1) Норма витрат гарячої води а = 50 л/добу на одну особу.
2) За формулою (11) визначаємо витрати теплової енергії на гаряче водопостачання:
Q= c·m (t2 –t1) = 4,19·50·300·240(55-10)= 6,79·10^{8}кДж.

4. Енергія. Основи теплофізики будівель.

4.1. Згідно з першим законом термодинаміки в умовах відсутності роботи розширення вся теплота Qотр, яка підводиться до тіла витрачається на зміну його внутрішньої енергії U.

$$Q_{отр} = \Delta U. \qquad (14)$$

Одиницями теплоти є: кДж, ккал, кВт год.
Співвідношення між одиницями теплоти 1кДж = 0,24ккал = 0,278·10^{-3} кВт год.
Одиницями потужності є: кВт, кДж/год, ккал/год.
Співвідношення між одиницями потужності 1кВт = 3600кДж/год = 860ккал/год.
Підведена кількість теплоти з первинним паливом визначається за формулою:

$$Q_п = Q_п^р \cdot B, \ [кВт] \qquad (15)$$

де $Q_п^р$ – теплота згорання палива, кВт год/м^3 або кВт год/кг
В – витрати палива м^3/год або кг/год.
Коефіцієнт корисної дії (ККД) будь-якого процесу або пристрою для трансформації теплоти визначається за формулою:

$$\eta = Q_{отр} / Qп = Q / Qп^р \cdot B. \ [част. од.; \%] \qquad (16)$$

Частка втрат енергії визначається за формулою:

$$\Delta q = 1 - \eta. \ [част. од.; \%] \qquad (17)$$

4.2. Способи теплопередачі теплоти та їх розрахунок.

В природі існує три способи теплопередачі:
- теплопровідність;
- конвекція;
- випромінювання.

Теплопровідність – являє собою процес розповсюдження енергії між частинами тіла, які знаходяться один з одним в контакті і мають різну температуру.

Основним законом теплопровідності є закон Фур'є: полягає в тому, що щільність теплового потоку пропорційна температурному градієнту:

$$q = -\lambda \operatorname{grad} t = -\lambda\, dt/dn, \ [Вт/м^{-2}] \qquad (17)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м К);
grad t – градієнт температури, величина яка має напрямок по нормалі до ізотерми в бік збільшення температури.
Термічний опір теплопровідності матеріалу визначається за формулою:

$$R_т = \delta/\lambda, \quad [м^2К/Вт] \qquad (18)$$

де δ – товщина шару, м

Умовою передачі теплоти теплопровідністю для багатошарової плоскої стінки, яка складається із декількох однорідних шарів є щільність їх прилягання між собою та різниця температур.

Термічний опір багатошарової плоскої стінки визначається за формулою:

$$R_t = \sum_{i=1}^{n} \delta_i / \lambda_i, \ [м^2К/Вт] \qquad (19)$$

Кількість теплоти, що розповсюджується теплопровідністю визначається за формулою:

$$Q = \frac{1}{R_t} F (t_в - t_з), \ [кВт] \qquad (20)$$

де $t_в$ – температура внутрішньої поверхні стінки, °С;
$t_з$ – температура зовнішньої поверхні стінки, °С;
F – площа поверхні стінки, $м^2$.

Конвекція – процес переміщення об'ємів рідини або газу (у подальшому рідини) з області з більшою температурою в область з меншою температурою. Конвекція завжди супроводжується теплопровідністю.

Кількість теплоти, що передається конвекцією визначається формулою Ньютона-Ріхмана:

$$Q=\alpha\cdot F\cdot(tp - tст), \quad (21)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м^{2}К);

tp – температура рідини, яка омиває поверхню стінки, °С;

tст – температура стінки (зовнішня або внутрішня), °С.

Термічний опір тепловіддачі визначаємо за формулою:

$$R_к = 1/\alpha, \ [м^2К/Вт] \quad (22)$$

Випромінювання – це процес розповсюдження внутрішньої енергії випромінюючого тіла у просторі за допомогою електромагнітних хвиль. При досягненні другого тіла енергія випромінювання частково поглинається та перетворюється в внутрішню енергію. Енергія випромінювання абсолютно чорного тіла визначається за формулою Стефана-Больцмана:

$$E_0 = C_0\left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (23)$$

Теплопередача. В реальних умовах процеси теплопровідності, конвекції та випромінювання можуть відбуватися спільно. Передача теплоти від одного рухомого середовища до іншого через роздільну тверду стінку називається теплопередачею.

Опір теплопередачі термічно однорідної непрозорої огороджувальної конструкції розраховують за формулою:

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_в} + \sum_{i=1}^{n} R_i + \frac{1}{\alpha_з} = \frac{1}{\alpha_в} + \sum_{i=1}^{n} \delta_i/\lambda_i + \frac{1}{\alpha_з} \quad (24)$$

де $\alpha_в$, $\alpha_з$ – коефіцієнти тепловіддачі відповідно внутрішньої і зовнішньої поверхонь огороджувальної конструкції Вт/(м^{2}К), які приймаються згідно з додатком Б ДСТУ БВ2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будинків»;

R_i – опір теплопередачі і-го шару конструкції, м^{2}К/Вт;

δ_i – товщина і-го шару, м;

λ_i – теплопровідність і-го шару матеріалу конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/м К;

n – кількість шарів огороджувальної конструкції.

Розрахункову теплопровідність матеріалів приймають згідно з додатком А ДСТУ У Б В2.6-189.

Величина обернена термічному опору називається коефіцієнтом теплопередачі і визначається за закономірністю:

$$K = \frac{1}{R_\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_в} + \sum_{i=1}^{n} \delta_i/\lambda_i + \frac{1}{\alpha_з}} \quad (25)$$

Приведений опір теплопередачі огороджувальних конструкцій контактуючих з грунтом визначають за формулою:

$$R\sum пр\ ц = R\sum ц + \delta/\lambda, \quad (26)$$

де R∑ц – опір теплопередачі (м^{2}К/Вт), який приймають 2,1 для першої зони, 4,3 для другої зони, 8,6 – для третьої зони, 14,2 для решти площі.

δ товщина теплоізоляційного шару при теплопровідності λ.

Величину необхідного опору теплопередачі додаткового утеплювача огороджуючої конструкції для досягнення умови $R\sum \geq R_{min}$ визначають за формулою

$$R\sum дод = R_{min} - R\sum. \tag{27}$$

Товщина додаткового утеплювача визначається за формулою:

$$\delta_{дод} = \lambda_{ут} \cdot R\sum дод. \tag{28}$$

Трансмісійні втрати розраховують за формулою:

$$Q_{транс} = \chi_1 \cdot k \cdot F \cdot (t_в - t_з)\, n_s\, (1 + \sum \beta_i),\ кВт\ год, \tag{29}$$

де: $\chi_1 = 0{,}024$ – розмірний коефіцієнт;

n_s – коефіцієнт, який враховує фактичне зменшення розрахункової різниці температур для огороджень, що розділяють опалюване та неопалюване (горище, підвал) приміщення;

β_i – додаткові втрати теплоти (на орієнтацію огороджень за сторонами горизонту – на захід і південний схід $\beta_1 = 0{,}05$; на північ, схід, північний схід, північний захід $\beta_1 = 0{,}1$, $\beta_2 = 0{,}05$ для кутових приміщень; на надходження холодного повітря через входи з будівлі, які не обладнані повітряними завісами: для одинарних вхідних дверей $\beta_3 = 0{,}22$ h, для подвійних дверей з тамбуром між ними $\beta_3 = 0{,}27$ h, де h – висота дверей, м.; на висотуприміщень більшою за 4 м, $\beta_4 = 0{,}02$ на кожен 1 м висоти, більшої за 4 м.

Втрати теплоти з інфільтрацією, визначаємо за формулою:

$$Q інф = \chi_1 \cdot \chi_2 \cdot L_г \cdot \gamma \cdot C \cdot \nu_v \cdot \eta \cdot (t_в - t_{ср.о\ п}) \cdot F\sum \cdot n_{оп},\ кВт{\cdot}год \tag{30}$$

де χ_2=0,278 – розмірний коефіцієнт; $L_г$ – витрати повітря 3 м^3/год на 1 м^2 площі;
γ – густина повітря, що надходить за рахунок інфільтрації та вентиляції, кг/м^3; С – питома теплоємність повітря, кДж/(кг·К); ν_v – коефіцієнт зниження об'єму повітря, приймається ν_v=0,85; η – коефіцієнт впливу зустрічного повітря, приймається приведене значення η=0,76, $n_{оп}$ – тривалість опалюваного періоду.

Побутові тепло надходження протягом опалювального періоду визначаються за формулою:

$$Q_{вн.п} = \chi_1 \cdot q_{вн.п} \cdot n_{оп} \cdot F_р,\ кВт{\cdot}год \tag{31}$$

де $q_{вн.п}$– величина побутових тепло надходжень на 1 м^2 розрахункової площі, Вт/м^2 $q_{вн.п}$ = 10 Вт/м^2.

Теплові надходження через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду для чотирьох фасадів будинку, орієнтованих за напрямками сторін світу, визначається за формулою:

$$Q_s = \chi_2 \cdot \zeta_в \cdot \varepsilon_в \cdot \sum_{i=1}^{i=4} F_{пр.н.i} \cdot I_{пр.н.i},\ кВт{\cdot}год \tag{32}$$

де $\zeta_в$ – коефіцієнт, що враховує затінення світлового прорізу вікон, приймаємо $\zeta_{вп}$=0,8 для пластикових, вд=0,65 для дерев'яних вікон; $\varepsilon_в$– коефіцієнт відносного проникання сонячної радіації, приймаємо $\varepsilon_{вп}$=0,58, $\varepsilon_{вд}$=0,6; F пр.н і–площа світлових прорізів фасадів будівлі орієнтованих за напрямками, м^2; $I_{пр.н.і}$= середня величина сонячної радіації за опалювальний період, спрямована на вертикальну поверхню, орієнтованих за чотирма фасадами будівлі, МДж/м2.

Кількість градусо-діб (ГД) опалюваного періоду визначають за формулою:

$$ГД = n_{оп} (t_в – t_{сер}) \text{ [град діб]} \quad (33)$$

де $n_{оп}$ – тривалість опалюваного періоду, за даними ДСТУ-НБВ1.1-27:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія».
$t_{сер}$ – середня температура зовнішнього повітря протягом опалюваного періоду, °С.
$t_в$ – нормована температура внутрішнього повітря у будівлі, °С. По додатку В ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель».

Розрахункові витрати теплової енергії на опалення будівлі школи протягом опалювального періоду визначається за формулою:

$$Q_{рік} = [Q_{тр} + Q_{інф} – (Q_{вн.п} + Q_s) \cdot \nu \cdot \zeta], \text{ кВт·год} \quad (34)$$

де ν – коефіцієнт, що враховує здатність огороджувальних конструкцій будівлі акумулювати або віддавати теплоту, приймаємо 0,8;
ζ – коефіцієнт авторегулювання подачі тепла в системах опалення, приймаємо ζ =0,7;

Приклад розв'язання задач.

Задача 4. Визначити теплопродуктивність котельні, обладнаної двома котлами номінальною тепловою потужністю по 200 кВт. На час проведення обстеження котли працювали з однаковим навантаженням і витрачали газу В=18м^3. ККД котла №1 відповідно до його режимної карти становить 85%. А котла №2 79%. Теплота згорання природного газу за стандартних умов $Q_н^р$ = 10 кВт год. Втрати теплоти на власні потреби

Котельні $\Delta q_{вп}$=5%.

Розв'язок.

1) Визначаємо середній ККД роботи котлів котельні за умови рівномірного навантаження: $\eta_{кот}=(\eta_{к1}+\eta_{к2})/2=(0,85+0,79)/2=0,82$ або 82%.
2) Визначаємо втрати теплоти під час роботи котлів $\Delta q_{кот}$=1–0,82=0,18 або 18%;
3) Визначаємо загальні втрати теплоти в котельні:
$$\sum\Delta q_к = \Delta q_{кот} + \Delta q_{вп} = 0,18+0,05=0,23 \text{ або } 23\%;$$
4) Розраховуємо ефективність вироблення теплоти в котельні:
$$\eta_к = 1 – \sum\Delta q_к = 1 – 0,23 = 0,77 \text{ або } 77\%;$$
5) Визначаємо теплопродуктивність котельні:
$Q_к=B\cdot Q_н^р\cdot\eta_к = 18\cdot10\cdot0,77=138,6$ кВт.

Задача 6. Визначити втрату теплоти цегляною стіною із порожнистої керамічної цегли щільністю 1300 кг/м^3 довжиною 5 м, висотою 3 м і товщиною δ=250 мм та

щільність теплового потоку для неї, якщо на поверхнях стінки підтримується температура $t_{ст1}$ = 17°С і $t_{ст2}$ = -20°С. Визначити величину термічного опору теплопровідності.

Розв'язок.

1) Визначаємо за даними додатку А ДСТУ БВ2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будинків» коефіцієнт теплопровідності цегли λ=0,58Вт/(м К) за умов експлуатації Б.

2) Згідно рівняння (17) визначаємо щільність теплового потоку через стінку:

$q=\lambda/\delta(t_{ст1} - t_{ст2})=0,58/0,25[17-(-20)]=85,8$ Вт/м^2.

3) Втрати теплоти визначаємо за рівнянням (20):

$Q=q\cdot F=85.8\cdot 5\cdot 3=1287.6$ Вт.

4) Термічний опір теплопровідності стінки визначаємо за формулою (18):

$R=\delta/\lambda=0.25/0.58=0.43$ м^{2}К/Вт.

Задача 7. Визначити розрахункові втрати теплоти для аудиторії ХНУ. Приміщення має дві зовнішні стіни. Одна з них південно-західна, має розмір 15 м, інша північно-західна, має розмір 10 м, площа скління 10 м^2 дерев'яні спарені віконні рами, площа укосів 1,56 м^2. Висота приміщення 4,5м. Стіни виконано з цегли δ=51 см. Аудиторія розміщена на останньому поверсі. Перекриття над аудиторією суміщене.

Під час проведення аудиту визначено коефіцієнти термічного опору: стіни $R_{ст}$ = 1,05 м^{2}К/Вт; перекриття $R_{пер}$ = 0,91 м^{2}К/Вт; вікон $R_в$ = 0,37 м^{2}К/Вт.

Кліматичні умови Хмельницького: tсер= -0,1°С, $n_{оп}$=183 доби, $t_в$ = 18°С.

Розв'язок.

1) Визначаємо трансмісійні втрати теплоти через огороджуючи конструкції згідно з рівнянням (29):

– для зовнішньої стіни орієнтованої на південний-захід

$Q_{транс\ 1} = k\cdot F\cdot(t_в - t_з)\ n_s\ (1+\sum\beta i)=(1/1,05)\cdot 13,98\cdot 4,5\cdot(18+0,1)\cdot 1\cdot(1+0+0,05+0,01)=1750$ Вт.

– для зовнішньої стіни орієнтованої на північний-захід

$Q_{транс\ 2} = (1/1,05)\cdot[(9,49\cdot 4,5-10)+1,56]\cdot\ (18+0,1)\cdot 1\cdot(1+0.1+0,05+0,01)=685$ Вт.

– для скління орієнтованого на північний-захід

$Q_{транс\ 3} = (1/0,37)\cdot 10\ \cdot\ (18+0,1)\cdot 1\cdot(1+0.1+0,05)=562$ Вт.

– для перекриття

$Q_{транс\ 4} =1/0,91\cdot 13,98\cdot 9,49\cdot(18+0,1)\cdot 1=2639$ Вт.

2) Втрати теплоти з інфільтрацією:

2.1) Середня густина повітря, що надходить до приміщення за рахунок інфільтрації визначаємо за формулою:

$$\gamma = \frac{353}{[273 + 0.5(t_в + t_з)]} = \frac{353}{[273 + 0.5(18 + 0,1)]} = 1,25\ \text{кг/м}^3.$$

2.2) Втрати теплоти з інфільтрацією визначаємо за формулою (30):

$Q_{інф} =0,278\cdot 3\cdot 1,25\cdot 1\cdot 0,85\cdot 0,76\cdot(18+0,1)\cdot[(13,98+9,49)\cdot 4,5+13,98\cdot 9,49] = 2904$ Вт.

3) Надходження теплоти:

3.1) Побутові теплові надходження визначаємо згідно з (31)

$Q_{вн.п} =q_{вн.п}\cdot F_р=10\cdot 13,98\cdot 9,49 =1326$ Вт.

3.2) Надходження тепла через вікна згідно формули (32)

$Q_s=0,278\cdot 0,65\cdot 0,6\cdot 192\cdot 10 = 208$ Вт.

4) Розрахункові втрати визначаємо за формулою (34):
Q_p=1150+685+567+2639+2904–(1326+208)·0,8·0,7=4182 Вт.