**УДК 614.841**

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСУ ВПЛИВУ ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ТІЛО**

*Яна ЗМАГА кандидат технічних наук, доцент, Микола ЗМАГА доктор філософії ЧІПБ імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України*

Аналітичне розв’язання задачі нестаціонарної теплопровідності за нелінійних граничних умов є досить важким завданням, тому було застосовано чисельний метод розрахунку теплопередачі через пакет багатошарової ізоляції, а саме метод елементарних теплових балансів. Чисельні методи розв'язання подібних завдань припускають розбиття тіла (системи тіл) на кінцеве число вузлів, перетворення рівняння теплопровідності з диференціальної в кінцево-різницеву форму і запис такого рівняння для кожного вузла. З урахуванням лінійної постановки завдання кожен шар ізоляції розбивали на кінцеве число вузлів, що також мають форму шару. Зміна теплоізоляції *j*-го вузла для *i*-го шару ізоляції за час$ ∆τ$ визначається з рівняння теплового балансу

$ C\_{i}g\_{i}ΔS\_{i}\left(t\_{ij}^{''}-t\_{ij}^{'}\right)=\sum\_{}^{}q\_{ij}∆τ$ (1)

Умови правильного вибору лінійного розміру вузла$ ΔS\_{i}$і кроку інтегрування в часі$ ∆τ $має вигляд:

 $\frac{ α\_{i}∆τ}{∆S\_{i}^{2}} \leq \frac{1}{2}$ $ α\_{i}=\frac{λ\_{i}}{C\_{i}g\_{i}}$ . (2)

Крок інтегрування за часом є ідентичною величиною для всіх шарів ізоляції. Лінійний розмір вузла в межах одного шару ізоляції має постійну величину. У кожному шарі ізоляції виділено по 3 вузли.

Система теплообміну для першого шару ізоляції включає рівняння теплового балансу кожного з шарів. Статті приходу тепла записані без знаку, витрати – зі знаком "мінус".

Для першого вузла статті приходу та витрати тепла мають вигляд:

 $C\_{1}g\_{1}ΔS\_{1}\left(t\_{1,1}^{''}-t\_{1,1}^{'}\right)=\left(q\_{∧}+q\_{k}+q\_{T}\right)\*∆τ$ . (3)

Щільність теплового потоку випромінюванням $q\_{∧}$, що характеризує надходження тепла, виражається формулою

 $q\_{∧}=ᴤC\_{пр}\left[(\frac{Т\_{ф}}{100})^{4}-(\frac{Т\_{1,1}^{'}}{100})^{4}\right]\*\overbar{Ψ\_{1,2}}$ ., (4)

де наведений коефіцієнт випромінювання $C\_{пр}$ визначається

$ C\_{пр}$=$\frac{C\_{о}}{1+\overbar{Ψ\_{1,2}}\*\left(\frac{1}{E\_{ф}}-1\right)+\overbar{Ψ\_{1,2}}\*\left(\frac{1}{E\_{об}}-1\right)}$ (5)

Щільність теплового потоку вільною конвекцією на зовнішній поверхні, що характеризується витратою тепла в навколишнє середовище, виходить із рівняння

$Nu=0,508\*Pr^{0,5}\*(0,925+Pr)^{-0,25}\*Gr^{0,25}$ *,* (6)

де

$Nu=\frac{α\*L}{λ}$;$Pr=\frac{ν}{а}$ ;$Gr=\frac{gβ(Т\_{1,1}^{'}-Т\_{в})L^{3}}{ν^{2}}$; $β=\frac{g\left(Т\_{1,1}^{'}\right)-g(Т\_{в})}{g\left(Т\_{1,1}^{'}\right)-g(Т\_{в}-Т\_{1,1}^{'})}$ . (7)

Теплофізичні властивості повітря приймаються для середньої температури, дорівнюють$(Т\_{1,1}^{'}+Т\_{в})$. Визначивши коефіцієнт тепловіддачі вільною конвекцією на зовнішній поверхні$α$, щільність теплового потоку $q\_{к}$знаходять за формулою:

 $q\_{к}=-α(Т\_{1,1}^{'}+Т\_{в})$ (8)

Щільність теплового потоку випромінюванням із внутрішньої поверхні

I-го шару ізоляції на зовнішню поверхню 2-го шару (витрата тепла) з урахуванням особливостей теплообміну шляхом випромінювання між двома нескінченними пластинами

$ q\_{∧}=-С\_{пр1}\left[(\frac{Т\_{1,3}^{'}}{100})^{4}-(\frac{Т\_{2,1}}{100})^{4}\right],$ (9)

де $С\_{пр1}=\frac{С\_{0}}{1/E\_{1,3}+1/E\_{2,1}-1}$ (10)

Щільність теплового потоку $q\_{в}$що витрачається на нагрівання повітря в зазорі, наближено визначається

$q\_{в}=\frac{С\_{в}g\_{в}δ\_{1}}{Δτ}\left(\frac{Т^{''}\_{1,3}^{}-Т\_{2,1}^{'}}{2}- \frac{Т^{''}\_{1,3}^{}+Т\_{2,1}^{'}}{2}\right)=-С\_{в}g\_{в}δ\_{1}(Т^{''}\_{1,3}^{}-Т\_{1,3}^{'})/2Δτ$*.* (11)

Величина $q\_{в}$ є аналогом густини теплового потоку вільної конвекціїв повітряному проміжку. Щільність результуючого теплового потоку безпосередньо на поверхню тіла людини визначається з рівняння

 $q\_{в}=С\_{пр3}\left[(\frac{Т\_{3,3}}{100})^{4}-(\frac{Т\_{т}}{100})^{4}\right]+\frac{λ\_{єфф3}}{δ\_{3}}\left(Т\_{3,3}-Т\_{п}\right)$ . (12)

Знаючи щільність результуючого теплового потоку на поверхню тіла, максимальну та інтегральну щільність потоку теплового впливу (навантаження) знаходять за формулою :

$ q\_{в}=\frac{\sum\_{τ=0}^{t}q\_{pΔτ}}{\sum\_{τ=0}^{t}Δτ}$, (13)

де інтервал підсумовування за часом *t* для максимального навантаження становить 1с., а для інтегрального - відповідно до ступеня переносимості людиною теплової радіації.

Алгоритм розрахунку безпечного часу теплового впливу на тіло. У момент часу $τ=0$ вважається, що тіло починає рух з вихідних позицій, віддалених від фронту полум'я на безпечні відстані, у напрямку до осередку пожежі з відомою швидкістю. При цьому через інтервал часу$Δτ$, проводили розрахунок нестаціонарного температурного поля багатошарової теплової ізоляції та щільність потоку теплового впливу на поверхню тіла людини. Після досягнення оперативних позицій, віддалених від фронту полум'я на визначені відстані, тіло припиняє рух, в процесі чого проводиться розрахунок нестаціонарного температурного поля та теплового впливу.

На кожному етапі розрахунку перевіряються умови обмеження за максимальним та інтегральним тепловим навантаженням, а також за гранично допустимою температурою короткочасного нагрівання елементів.

Фіксується момент часу, у якому спрацьовує одне з обмежувальних умов. Віднімаючи від знайденого часу тривалість руху з вихідних позицій на оперативні позиції з 50% запасом, отримують безпечний ча сроботи .

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд. Зміна № 1: ДБН В.1.2-14:2018. - - [Чинний від 2022-09-01]. -К. Український науково-дослідний та проектний інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського (УкрНДІпроектстальконструкція), 2021. 44с.