

**О. Н. КУЗЬ, С. П. СТАСЕВИЧ (УКРАЇНА, ЛЬВІВ)**  
**ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОВУЗЛОВИХ ТЕПЛОВИХ МОДЕЛЕЙ**  
**ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ КОМФОРТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ**  
**ЛЮДИНИ**

*Національний університет "Львівська політехніка"*

9013, м. Львів. вул. Степана Бандери, 12 *olyakuzon@gmail.com, stasevych@ukr.net*

Global climate change on Earth is one of the main challenges that is facing humanity. Providing a thermal comfort for a person, as a complex thermophysiological system, in these changing climatic conditions requires significant material resources. The house construction, the workplace arrangement, the development of overalls for firefighters, divers, astronauts, pilots, etc. should ensure a human thermal comfort. Therefore, it is urgent to develop a thermophysiological model of a human body under the influence of the environment.

Глобальна зміна клімату на земній кулі – одна із головних проблем, що стоять перед людством. Забезпечення теплового комфорту людини, як складної термофізіологічної системи, у цих змінних кліматичних умовах вимагає значних матеріальних та енергетичних ресурсів. Будівництво житла, облаштування робочого місця, розробка спецодягу для пожежників, водолазів, космонавтів, пілотів і т. п. повинне враховувати тепловий комфорт людини. Саме тому є актуальною розробка термофізіологічної моделі організму людини під дією різних факторів навколишнього середовища.

Організм людини є складною термодинамічною системою, яка підтримує температуру тіла в межах 32-37°C (для різних частин тіла). В результаті метаболізму виділяється тепло, яке за рахунок кровообігу розноситься по всьому організму. У свою чергу організм нагрівається (або охолоджується) під дією навколишнього середовища. В умовах нагріваючого мікроклімату терморегуляція відбувається за рахунок тепловіддачі, а в умовах охолодження теплоутворення використовується для захисту організму від переохолодження.

Тіло людини перебуває у постійному теплообміні із навколишнім середовищем через теплопровідність – віддача тепла предметам, що безпосередньо торкаються людини (одяг, взуття), конвекцію – віддача тепла у навколишнє повітряне середовище, випромінювання тіла з відкритих частин і через одяг, випаровування з поверхні шкіри і дихання. А система терморегуляції організму людини підтримує температуру своїх частин постійною, незважаючи на стан організму (температура, емоційний стан, рухливість і т.п.), стан навколишнього середовища (температура, вологість, рух повітря тощо), одяг (матеріал, форма, колір, товщина).

Система терморегуляції людини, запропонована Dusan Fiala, геометрично описує тіло людини як систему циліндрів: шия, тулуб (грудна клітка, черевна порожнина), дві верхні кінцівки (передпліччя, лікоть, кисть), дві нижні кінцівки (стегно, гомілка, стопа) та голову як сферу.

Кінцівки та шия представлені як чотиришарові структури: ядро – кістка, м'язова тканина, жирова тканина та шкіра. Грудна клітка та черевна порожнина описані як п'ятишарові структури: ядро – легені або нутрощі відповідно, кістка, м'язова тканина, жирова тканина та шкіра. Голова – як чотиришарова сфера: ядро – мозок, кістка, жирова тканина, шкіра.

Теплова модель описана рівнянням Penne:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{n}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + q_m + w_{bl} \rho_{bl} c_{bl} (T_{bl,a} - T),$$

де –  $\rho$ ,  $c$ ,  $\rho_{bl}$ ,  $c_{bl}$  – густина і теплоємність біотканини і артеріальної крові відповідно;  $r$  – радіус апроксимованого циліндра (сфери);  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності біотканини;  $n$  – безрозмірний коефіцієнт ( $n = 1$  для полярних координат і  $n = 2$  для сферичних);  $w_{bl}$  – швидкість перфузії крові;  $T$ ,  $T_{bl,a}$  – температура біотканини і артеріальної крові відповідно;  $q_m$  – метаболічна теплопродукція (основна швидкість обміну речовин).

Запропонована модель дає можливість передбачити температуру тіла як у середині ядра, так і на поверхні шкіри в залежності від різних зовнішніх кліматичних умов.