

УДК 536.1

А. А. Худенко, *докт. техн. наук, проф.*,
Київський національний університет
будівництва і архітектури

ТЕПЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТОСОВНО ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ

Вступ

Теплове моделювання стосовно живих організмів застосовують у медицині, радіобіології, пожежній техніці, санітарно-гігієнічному нормуванні мікроклімату приміщень та багатьох інших галузях науки і техніки. Головною метою теплового моделювання є визначення тепловтрат організму в залежності від факторів навколишнього середовища і нормування допустимого опромінювання різного виду енергіями.

У роботі [1] наведені результати теплового моделювання впливу на метаболізм птахів температурних параметрів навколишнього середовища. Аналіз результатів теплового моделювання теплоізоляційного покриття більше як 30 різновидів арктичних та тропічних птахів наведений у роботі [2]. Характеристика методів теплового моделювання у відношенні до людини у скафандрі космонавта наведена у роботі [3].

Методика теплового моделювання, за якою проводились дослідження, полягала у наступному: виготовляли геометричну модель об'єкта, який досліджується у вигляді сполучення сферичних та циліндричних форм (рис.1), аналітично визначались тепловтрати моделі і отримані результати порівнювались з експериментальними результатами, які були отримані з біологічних досліджень такого типу організмів. Розходження розрахункових та експериментальних даних складало 10–15% [4].

Крім не досить високої точності такий метод теплового моделювання стосовно живих організмів має інші суттєві недоліки: дуже складно визначати променистий теплообмін, особливо при направленому асиметричному опромінюванні моделі, теплопровідність ізоляційного покриття відповідає тільки тим умовам, за якими відбувались досліди, практично

неможливо визначити метаболізм організму в залежності від зміни параметрів навколишнього середовища.

Мета дослідження

Метою даної роботи є подальше вдосконалення теплового моделювання стосовно живих організмів шляхом застосування термографічного методу визначення теплових параметрів джерел та стоків теплоти.

Сутність вдосконалення методу

Сутність теплового моделювання з використанням термографічних засобів вимірювання полягає у наступному: виготовляють геометрично подібну порожнисту модель живого організму, порожнину моделі заповнюють водою, температуру якої регулюють з метою моделювання метаболізму, на зовнішню поверхню моделі наносять суцільний шар, або покриття у вигляді окремих точок рідинно-кристалічної речовини, яка змінює свій колір в залежності від температури. Точність, з якою реагують рідинні кристали на температурну дію наведена у таблиці [5].

Таблиця

Рідинний кристал	Кольоровий перехід		
	Червоний, °C	Зелений, °C	Синій, °C
№ 32	32,5	33,1	33,7
№ 34	34,7	35,1	35,7
№ 36	36,4	36,8	37,4
№ 38	38,6	39,1	39,7
№ 40	40,6	41,1	41,7
№ 43	43,3	43,9	44,6
№ 45	45,1	45,6	46,2
№ 49	49,8	50,0	51,2

Методика моделювання

Розглянемо методику термографічного теплового моделювання теплообміну людини стосовно такої ситуації: людина у приміщенні з температурою t_n асиметрично опромінюється джерелом променистої теплової енергії. Необхідно визначити коефіцієнт конвективного теплообміну тієї частини поверхні людини, яка опромінюється, площу по-

верхні опромінювання, її температуру та кількість променистої енергії, яка надходить на поверхню тіла людини.

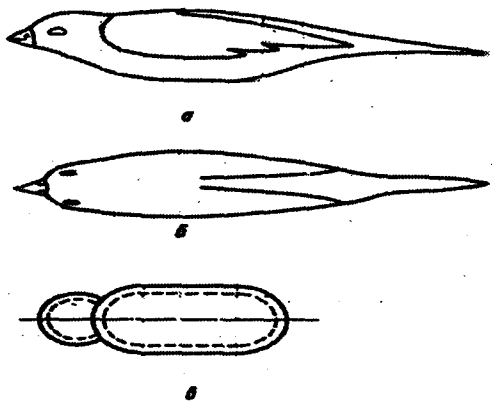


Рис. 1. Схема моделі тіла птаха

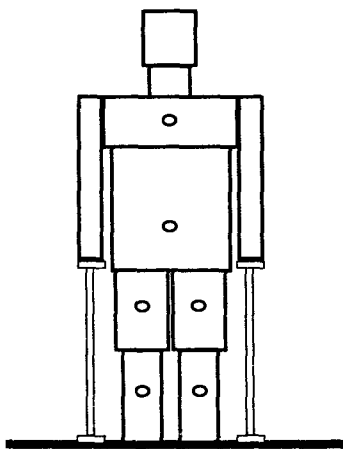


Рис. 2. Схема моделі поверхні людини

Для визначення зазначених параметрів виготовляють порожнистий макет людини (рис. 2).

Порожнину макета заповнюють водою з можливістю підтримувати за допомогою електронагрівника її температуру на рівні 37°C , що відповідає стану спокою людини, коли вона продукує приблизно 100 Вт енергії. Зовнішня поверхня моделі за своїми теплофізичними характеристиками повинна відповідати теплофізичним характеристикам легкого кімнатного одягу. На зовнішню поверхню моделі наносять відповідно підібраний за температурним інтервалом шар рідиннокристалічної речовини. Після включення джерела променистої теплоти і виведення його на стаціонарний режим проводять заміри характеристик температурного поля моделі, за якими визначають параметри, зазначені вище.

Конвективний теплообмін. Коефіцієнт конвективного теплообміну поверхні моделі, яка опромінюється визначають наступним чином. Заміряють площу поверхні опромінювання F_i (вона має інший колір у порівнянні з поверхнею моделі, яка не опромінюється) і вираховують за кольоровими показниками термограми її середню температуру t_i . За значеннями t_i і t_n визначають критеріальну залежність $(Gr \cdot Pr)_m$,

$$(Nu)_m \text{ і коефіцієнт конвективного теплообміну } \alpha_k = \frac{Nu_m \cdot \lambda_m}{\ell}.$$

Кількість теплоти, яка надходить у приміщення з площі опромінюваної поверхні моделі внаслідок конвективного її теплообміну буде складати $Q_k = \alpha_k \cdot F_i (t_i - t_n)$.

Променистий теплообмін. Кількість променистої теплоти (результуючий тепловий потік), який надходить з джерела теплоти F_d на поверхню моделі F_i визначається за відомою формулою:

$$Q_{\text{рез}, F_d - F_i} = F_d \cdot \epsilon_{\text{пр}} \cdot C_s \left[\left(\frac{T_d}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right] \cdot \Phi_{F_d - F_i}.$$

У наведеній формулі невідомим є кутовий коефіцієнт у системі “джерело теплоти – поверхня опромінювання моделі”. Значення кутового коефіцієнта можна визначити як співвідношення ефективних теплових потоків, який надходить з джерела теплоти на поверхню опромінювання F_i і який випромінює у навколишній напівпростір джерело теплоти F_d .

Ефективний тепловий потік, який надходить з джерела теплоти F_d на поверхню опромінювання моделі F_i (її площа визначена за термограмою) з температурою T_i (її значення визначене за термограмою) буде дорівнювати власному і відбитому випромінюванню поверхні F_i , тобто:

$$Q_{\text{эф}, F_d - F_i} = F_i \cdot \epsilon_i \cdot C_s \left(\frac{T_i}{100} \right)^4.$$

Ефективне випромінювання джерела теплоти у напівпростір складає:

$$Q_{\text{эф}, F_d} = F_d \cdot \epsilon_d \cdot C_s \left(\frac{T_d}{100} \right)^4.$$

Кутовий коефіцієнт в системі “джерело теплоти – поверхня опромінювання моделі” дорівнює:

$$\Phi_{F_d - F_i} = \frac{Q_{\text{эф}, F_d - F_i}}{Q_{\text{эф}, F_d}}.$$

За значеннями кутового коефіцієнта визначають кількість променистої теплоти $Q_{F_d - F_i}$, яка надходить з джерела теплоти на поверхню людини.

Значення кутових коефіцієнтів для простих за конфігурацією поверхонь опромінювання можна визначити також аналітично.

Висновки

За результатами досліджень можна зробити такі висновки.

Вдосконалений метод термографічного теплового моделювання може бути ефективно застосований для отримання точної кількісної інформації при дослідженнях теплообміну людини в умовах приміщення і навколишнього середовища, при визначенні нормативів промислового опалення та охолодження, при дослідженні геліосистем та при вирішенні багатьох інших проблем опалювально-вентиляційної техніки.

Окрім кількісної інформації, за допомогою термографічного теплового моделювання можна отримувати також якісну інформацію щодо процесів теплообміну, зокрема щодо ламінарних та турбулентних течій повітря в умовах природної та вимушеної конвекції. При обтіканні тіла, поверхня якого покрита шаром рідиннокристалічної речовини, потоком повітря буде спостерігатись різкий кольоровий перехід ламінарної течії у турбулентну: в місцях переходу суцільне кольорове забарвлення буде переходити в краплинне забарвлення, яке характерне для турбулентного потоку повітря.

Використана література

1. *J. R. King and D. S. Farner* "Energy Metabolism, Thermoregulation and Body Temperature", vol. 2. Comparative Physiology of Birds, edited by Marshall, 1981. – P. 215–287.

2. *R. S. Birkebak and E. A. Lefebvre* "A Review of Insulative Properties of Animal Fur", submitted to Bioenergetics of Animals Conference, AIBS, 1985.

3. *J. D. Hardy*, editor, Physiological Problems in Space Exploration, Charles C Thomas, Publisher, Springfield, Ill., 1964.

4. *Биребак, Криммерс, Лефевр*. Тепловое моделирование в применении к живым организмам. – Труды Америк. общ-ва инж.-мех. Серия С. Теплопередача, № 1, 1966. – С. 137–144.

4. *Купер Т., Филд Р., Мейер Я.* Жидкокристаллическая термография и ее применение для исследования конвективного теплообмена. – Труды Америк. общ-ва инж.-мех. Серия С. Теплопередача, № 3, 1975. – С. 79–81.