

*Ю.В. Луценко, к.т.н., доцент, заст. нач. каф., НУЦЗУ,
О.Б. Васильєв, к.т.н., доцент каф., НУЦЗУ,
Є.А. Яровий, викладач, НУЦЗУ*

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕКТИВНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИ
ПРОЕКТУВАННІ СПЕЦОДЯГУ З АВТОНОМНОЮ
СИСТЕМОЮ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**
(представлено д-ром техн. наук Ключкою Ю.П.)

Розглянута можливість конвективного охолодження термозахисного спецодягу з автономною системою життєзабезпечення.

Ключові слова: час захисної дії, термозахисний одяг, висока температура.

Постановка проблеми. Пасивний тепловий захист людини від дії підвищених температур оточуючого середовища за допомогою теплоізолюючого одягу володіє досить обмеженими можливостями, в першу чергу за рахунок накопичення в організмі людини метаболічного тепла.

Вентиляція простору під одягом частково вирішує проблему, однак, при досить високих температурах середовища не справляється з зовнішніми теплонадходженнями, що приводить до розігрівання внутрішніх шарів одягу. По цій причині теплозахисні пневматичні костюми з звичайною схемою вентиляції рекомендуються для використання при температурі оточуючого середовища до 80°C, а з модифікованою схемою вентиляції, в якій застосовується додатковий циркуляційний контур – лише до температур 100°C.

Однак, температура зовнішніх шарів одягу, призначеного для захисту людини від впливу екстремальних мікрокліматичних факторів, досягає 150...200°C. Ця обставина висуває до теплоізоляції одягу, який використовується, особливі вимоги (для стійкого теплового захисту): його термічний опір повинен бути не менше 0,6...0,8 (м²·К)/Вт.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблему застосування костюмів для робіт в надвисоких теплових умовах вирішували на базі відомих схем в вентиляційному одязі [1, 2, 3]. Нами використовувався спосіб активного теплозахисту, який реалізує подання прохолодного повітря в підодяговий простір, омивання ним тіла людини та подальше спрямування рівномірного потоку в атмосферу використаного повітря крізь товщину пористого теплоізолюючого одягу. В результаті такої фільтрації, між повітрям і ізотермічними шарами

одягу проходить безперервний теплообмін при незначному температурному перепаді, що зводить його до мінімуму. Повітря залишає одяг при температурі, близької до температури його зовнішніх шарів, повністю вичерпавши свої потенційні можливості як холодоагент.

Постановка задачі та її рішення. Задачею дослідження є визначення ефективності конвекційного охолодження при проектуванні спецодягу з автономною системою життєзабезпечення.

Аналіз такого способу теплозахисту приводить до наступного. Уявимо теплоізолюючий шар одягу у вигляді плоскої безграничної пластини товщиною δ із матеріалу з наскрізною пористістю, який має постійний коефіцієнт теплопровідності λ .

З однієї сторони, пластина підтримується при температурі близької до температури тіла людини T_0 , з протилежної сторони – при підвищеній температурі T_1 (граничні умови першого роду). Задача теплопровідності в цьому випадку стає одномірною, а потік тепла крізь пластину рівним

$$q = \frac{\lambda}{\delta}(T_1 - T_0) = \frac{\Delta T}{R_T}, \quad (1)$$

де $R_T = \frac{\delta}{\lambda}$ – термічний опір системи.

Направимо тепер крізь пластину потік газу теплоємністю c_p . Нехай його вихідна температура рівна T_0 , а секундна витрата крізь одиничну поверхню j $кг/(м^2с)$. Очевидно, що в цьому випадку перенесення тепла всередині пластини буде визначатися двома складовими: теплопровідністю і конвективним теплообміном між пластиною і фільтруючим газом. Перша складова в перерізах x і $(x + dx)$ буде виражатися

$$q_x = -\lambda \frac{dT_c}{dx}, \quad (2)$$

$$q_{(x+dx)} = -\lambda \frac{d}{dx} \left(T_c + \frac{dT_c}{dx} dx \right). \quad (3)$$

Різниця вказаних величин із умови енергетичного балансу буде дорівнювати другій складовій, яка визначається зміною ентальпії газу між цими перерізами

$$dq = q_x - q_{(x+dx)} = dh = h_x - h_{(x+dx)}. \quad (4)$$

Якщо вважати, що в результаті повільного безперервного просочення газу крізь пористий матеріал пластини, між ними встановлюється локальна температурна рівновага, то

$$\lambda \frac{d^2 T}{dx^2} = j c_p \cdot dT. \quad (5)$$

Звідси випливає, що розподіл температури в пластині описується диференціальним рівнянням

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \chi \frac{dT}{dx} = 0, \quad (6)$$

де $\chi = \frac{j c_p}{\lambda}$.

Рішення рівняння (6) має вигляд

$$T = c_1 e^{\chi x} + c_2. \quad (7)$$

З врахуванням граничних умов:

$$\begin{aligned} T &= T_0 \text{ при } x=0, \\ T &= T_1 \text{ при } x=\delta, \end{aligned}$$

з рівняння (7) витікає

$$c_1 = \frac{T_1 - T_0}{e^{\chi \delta} - 1}; \quad c_2 = T_0 - \frac{T_1 - T_0}{e^{\chi \delta} - 1}. \quad (8)$$

Тепер рівняння (7) має вигляд

$$T = T_0 + \frac{T_1 - T_0}{e^{\chi \delta} - 1} (e^{\chi x} - 1). \quad (9)$$

Профіль розподілу температур всередині пластини, відповідно рівняння (9), зображено на рис. 1.

Кількість теплоти, проникаючого крізь пластину з повітрям, яке фільтрується до тіла людини, можна розрахувати за рівнянням

$$q' = -\lambda \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = -\frac{\lambda}{\delta} (T_1 - T_0) \frac{\chi \delta}{e^{\chi \delta} - 1} = \frac{\Delta T}{R_T^*}, \quad (10)$$

де $R_T^* = \frac{\delta}{\lambda} \frac{e^{\chi \delta} - 1}{\chi \delta}$ – термічний опір активного теплового захисту пластини.

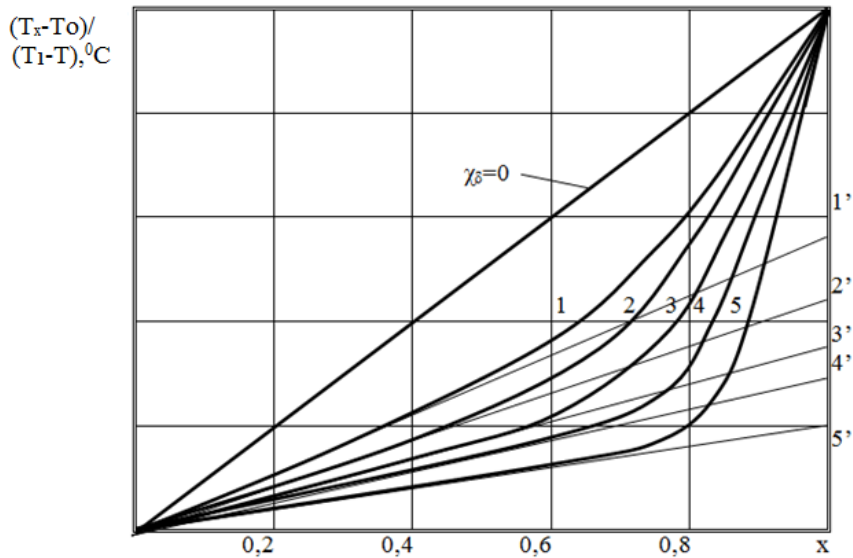


Рис. 1. Залежність температури пластини T для різних значень параметра χ_δ (0' – 5' – дотичні до температурних кривих 0 – 5)

Зіставлення цього виразу з виразом, який описує звичайну теплопровідність пластини (1), дозволяє оцінити ефективність теплового захисту. Так, термічний опір пластини в останньому випадку збільшується в n раз

$$n = \frac{R_T^*}{R_T} = \frac{e^{\chi_\delta} - 1}{\chi_\delta}. \quad (11)$$

Величину n можна назвати коефіцієнтом ефективності активного теплового захисту (рис. 2).

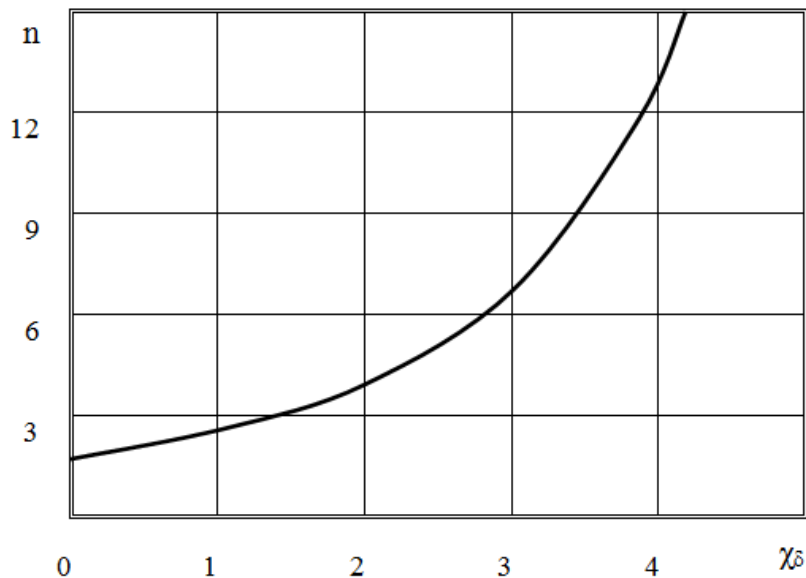


Рис. 2. Залежність коефіцієнта ефективності активного теплового захисту від величини параметру χ_δ

Висновок. При безперечних перевагах вентиляційних систем (відносна простота конструкції і можливість використання повітря із повітряних систем промислових підприємств; забезпечення кисневого постачання людини; достатня психофізіологічна відповідність для людини; можливість створення високої ефективності потовиділення; можливість видалення токсинів (антропотоксинів) із підкостюмного простору), системи конвективного захисту містять ряд визначених недоліків. До них відносяться: недостатня загальна ефективність захисту від високих реальних теплових навантажень; можливість виникнення больових відчуттів при граничних значеннях температурах повітря і підвищеній швидкості його руху; значне сприяння загальній втраті води з організму, що ставить задачу необхідності створення теплозахисного спецодягу з іншими способами активного теплового захисту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кощеев В.С. Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека в условиях высоких температур / Кощеев В.С., Кузнец Е.И. – М.: Медицина, 1986. – 255 с.

2. Кощеев В.С. О роли радиационного охлаждения в профилактике перегревания организма человека при воздействии на него высокой температуры и источников инфракрасного излучения / Кощеев В.С., Саливон С.Г., Стихарев А.А. – Медико-технические проблемы индивидуальной защиты человека. – 1969. – № 3. – С. 74-80.

3. Жуков Н.И. Механизмы терморегуляции при конвекционном и радиационном охлаждении / Жуков Н.И. – Автореф. дис. канд. мед. наук. – Петрозаводск, 1965. – 20 с.

Ю.В. Луценко, А.Б. Васильев, Е.А. Яровой

Исследование конвективного охлаждения при проектировании спец-одежды с автономной системой жизнеобеспечения

Рассмотрена возможность конвективного охлаждения термозащитной спецодежды с автономной системой жизнеобеспечения.

Ключевые слова: время защитного действия, термозащитная одежда, высокая температура.

U.V. Lutsenko, A.B. Vasiliev, E.A. Yarovoy

The study convective cooling when designing clothes with autonomous life support system

The possibility of convective cooling of the thermal protective clothing with autonomous life support system.

Keywords: a protective effect, termozahysnyy wear, high temperature.