

*Ю.В. Луценко, к.т.н., доцент, заст. нач. каф., НУЦЗУ,  
С.О. Тюнін, курсант, НУЦЗУ*

## **ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО-ПРИПУСТИМИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ЛЮДИНИ ПРИ РОБОТІ В ТЕРМОЗАХИСНОМУ СПЕЦІАЛЬНОМУ ОДЯЗІ**

(представлено д.т.н. Чубом І.А.)

Розглянуто процеси теплообміну поверхні спецодягу з оточуючим середовищем. Запропоновано рівняння теплового балансу і визначені температури поверхні термозахисного спеціального одягу та в підодяговому просторі з урахуванням еквівалентної температури випромінювання оточуючих предметів середовища в залежності від термічного опору пакету матеріалів.

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

**Постановка проблеми.** В тактико-технічних вимогах до засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) час захисної дії спеціального захисного одягу (СЗО) трактується як час роботи до вичерпування ресурсу будь-якої системи, що входить в конструкцію. Таке трактування є недостатньо повним, оскільки вичерпування ресурсу систем лише в окремих випадках співпадає з фактично можливим часом роботи в одязі.

Більш правильним і придатним для усіх типів термозахисного спеціального одягу (ТЗСО) є визначення часу захисної дії до моменту, коли ректальна температура  $T_R$  працюючого досягне гранично припустимого рівня.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [1-5] вказується, що верхня границя температури, при якій допускається робота в ТЗСО, повинна регламентуватися теплостійкістю матеріалу верху при його фактичній температурі.

Немає лінійної залежності між масою спецодягу і часом захисної дії. Найбільші резерви зменшення маси мають системи захисту органів дихання, світильники і апарати зв'язку.

**Постановка завдання та його вирішення.** На основі розгляду процесів теплообміну поверхні спецодягу з оточуючим середовищем, що відбувається за рахунок конвективної та радіаційної складових, необхідно визначити температури поверхні ТЗСО та в підодяговому просторі, з урахуванням еквівалентної температури випромінювання оточуючих предметів середовища в залежності від термічного опору пакету матеріалів.

Теплообмін поверхні спецодягу з оточуючим середовищем проходить за рахунок радіаційного обміну і конвекції, яка може бути звичайною (в нерухомій атмосфері), і примусовою, при обдуванні спецодягу струменем повітря. Для оцінки різниці температури середовища і повер-

хні одягу, необхідно знати складові коефіцієнту тепловіддачі  $\alpha_H$ , Вт/(м<sup>2</sup>К), від оточуючого середовища до поверхні

$$\alpha_H = \alpha_c + \alpha_R, \quad (1)$$

де  $\alpha_c$  – коефіцієнт тепловіддачі за рахунок конвекції;  $\alpha_R$  – коефіцієнт тепловіддачі за рахунок радіації.

Температура поверхні ТЗСО є результатом динамічного балансу теплових потоків. За рахунок теплопровідності повітря і його конвективного руху на поверхню поступає потік тепла  $Q_c$ , Дж. Теплове випромінювання оточуючих предметів або полум'я переносить на поверхню потік тепла  $Q_R$ . Частина тепла  $Q_0$ , яке поступає на поверхню в вигляді теплового випромінювання, відбивається від неї. Поверхня випромінює в навколишнє середовище потік тепла  $Q_H$ . За рахунок різниці температур зовнішньої і внутрішньої поверхонь ТЗСО, крізь неї проходить потік  $Q_\lambda$ . Тоді рівняння теплового балансу буде мати вигляд

$$Q_c + Q_R - Q_0 - Q_H - Q_\lambda = 0, \quad (2)$$

В свою чергу

$$Q_c = \alpha_c \cdot (T_o - T_{по}), \quad (3)$$

де  $T_o$  – температура оточуючого середовища, К;  $T_{по}$  – температура поверхні СЗО, К.

$$Q_R = T_e^4 \cdot \sigma, \quad (4)$$

$$T_e^4 = \varepsilon T_o^4, \quad (5)$$

де  $T_e$  – еквівалентна температура випромінювання оточуючих предметів, тобто температура абсолютно чорного тіла, яке випромінює ту ж енергію, що і реальні тіла, які мають різну температуру і ступінь чорноти, К;  $\sigma$  – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>);  $\varepsilon$  – ступінь чорноти поверхні СЗО

$$Q_0 = (1 - \varepsilon) \cdot Q_R, \quad (6)$$

$$Q_H = T_o^4 \cdot \sigma \cdot \varepsilon, \quad (7)$$

$$Q_\lambda = \frac{T_{по} - T_{III}}{R}, \quad (8)$$

де  $T_{III}$  – температура підодягового простору;  $R$  – термічний опір пакету СЗО, (м<sup>2</sup> К)/Вт;

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}, \quad (9)$$

де  $\delta$  – товщина шару пакету, м;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності відповідного шару, Вт/(м·К).

Для практичних розрахунків рекомендується [1] застосовувати коефіцієнт тепловіддачі від одягу до оточуючого середовища  $\alpha_n = 10$  Вт/(м<sup>2</sup>К), що справедливо для діапазону температур, в якому використовується штатний одяг. При цьому, на долі конвекції і радіації приходяться майже рівні значення. Використання ТЗСО при температурах вище 150 °С різко змінює коефіцієнт тепловіддачі, оскільки змінюються умови конвективного теплообміну, а інтенсивність теплового випромінювання зростає в четвертому ступені температури. Тому, спецодяг повинен мати тепловідштовхуюче покриття, вплив якого необхідно враховувати при визначенні коефіцієнту тепловіддачі.

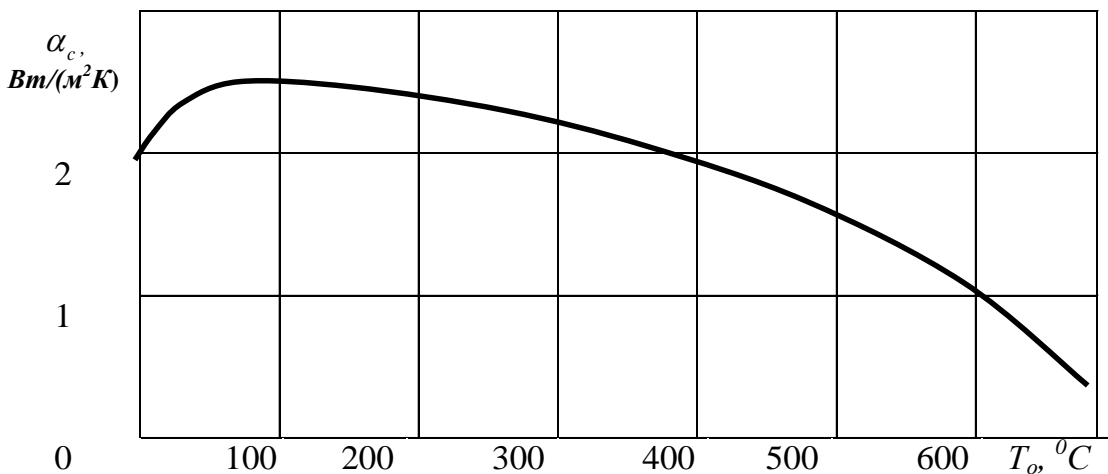
Якщо прийняти різницю температур поверхні ТЗСО і оточуючого його газу рівною 10 °С, а за характерний розмір прийняти горизонтальний циліндр діаметром  $d=0,3$ м, то залежність  $\alpha_c$  від температури буде така, як показано на графіку (рис. 1). Коефіцієнт тепловіддачі за рахунок примусового обтікання поверхні СЗО струменем газу знаходиться за рівнянням

$$\alpha_c = N_u \frac{\lambda}{d}, \quad (10)$$

де  $N_u$  – число Нуссельта, обирається в залежності від величини числа

Рейнольдса  $R_e = \frac{\omega d}{\nu}$ . Для  $10 \leq R_e \leq 1 \cdot 10^3$ ,  $N_u = 0,44 R_e^{0,5}$ ;

для  $1 \cdot 10^3 \leq R_e \leq 1 \cdot 10^5$   $N_u = 0,22 R_e^{0,6}$ .



**Рис. 1.** Залежність конвективної складової коефіцієнту тепловіддачі від температури оточуючого повітря

На рис. 2 показана залежність конвективної складової коефіцієнту тепловіддачі від швидкості потоку при примусовому обтіканні вертикальної стінки при температурі 400 К. Радіаційна складова коефіцієнту тепловіддачі залежить від температур оточуючих тіл і ступеня їх чорноти (рис. 3)

$$\alpha_R = \varepsilon \sigma \left[ \left( \frac{T_{cp}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_o - T_{по}}{100} \right)^4 \right], \quad (11)$$

де

$$T_{cp} = \frac{T_o + T_{по}}{2}. \quad (12)$$

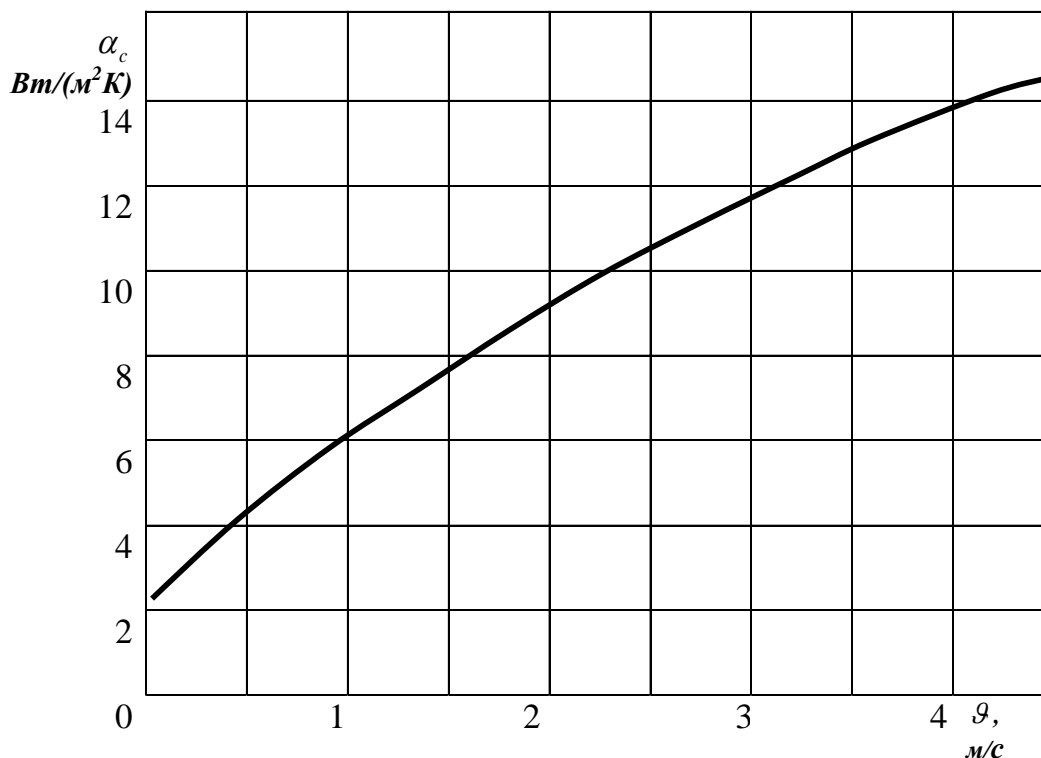


Рис. 2. Залежності конвективної складової коефіцієнту тепловіддачі від швидкості потоку газу при обтіканні поверхні ТЗСО

Температура поверхні СЗО визначається з рівняння (12) і дорівнює

$$T_{по} = \frac{(\alpha_c T_o R - T_o^4 R \varepsilon \sigma (\varepsilon + 1))}{(\alpha_c R + 1)} + T_{пл}. \quad (13)$$

Її також можна розрахувати методом послідовних наближень, або графоаналітичним способом.

Наведені залежності дозволяють визначити, при яких температурах оточуючого повітря і оточуючих предметів можлива експлуатація відповідного ТЗСО.

**Висновки.** Запропоновані основні параметри комплектів ТЗСО з визначенням гранично-припустимих показників теплового стану людини при роботі в термозахисному спецодязі. Розглянуто процеси теплообміну поверхні спецодягу з оточуючим середовищем, що проходить за рахунок конвективної та радіаційної складових. Запропоновано рівняння теплового балансу і визначені температури поверхні ТЗСО та в підодяговому просторі з урахуванням еквівалентної температури випромінювання оточуючих предметів середовища в залежності від термічного опору пакету матеріалів.

Теоретично обґрунтовані, визначені та побудовані залежності конвективної складової коефіцієнту тепловіддачі  $\alpha_c$  від температури довкілля  $T$  та рухливості повітря  $\vartheta$ , радіаційної складової коефіцієнту тепловіддачі  $\alpha_R$  в еквівалентних температурах випромінювання  $T_e$  поверхні оточуючих предметів. Доведено, що застосування металізованого тепловідбиваючого покриття суттєво зменшує температуру по верхні ТЗСО і комплекту спецодягу в цілому.

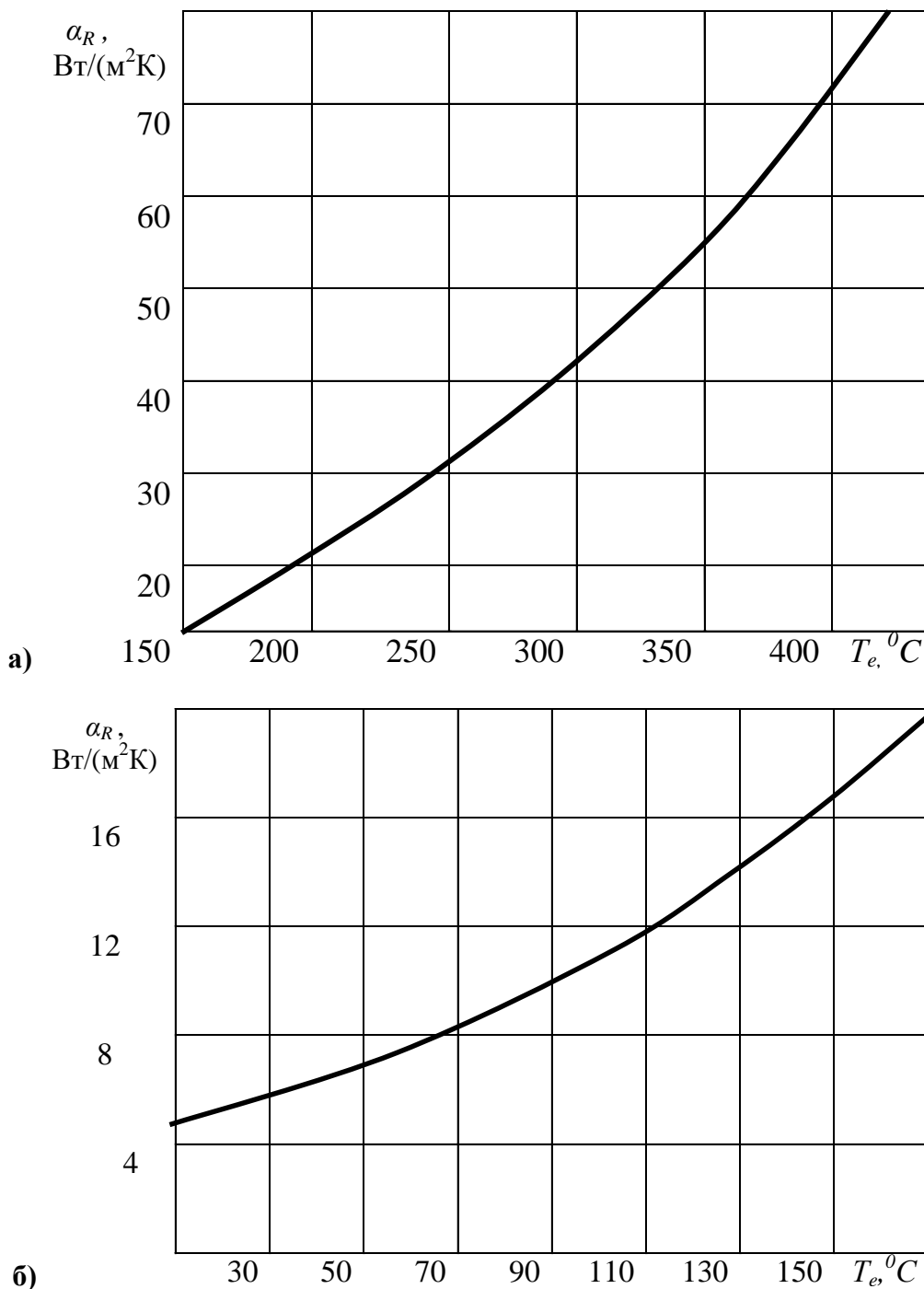


Рис. 3. Залежності радіаційної складової коефіцієнту тепловіддачі системи “оточуюче середовище – підодяговий простір” в еквівалентних температурах випромінювання поверхні оточуючих предметів: а) 150-400 °С; б) до 150 °С

## ЛІТЕРАТУРА

1. Делль Р.А. Гигиена одежды / Р.А. Делль, Р.Ф. Афанасьева, З.С. Чубарова // М.: Легкая индустрия, 1979. – 144 с.
2. Колосніченко М.В. Дослідження пакетів термозахисного спецодягу в умовах надвисоких теплових впливів / М.В. Колосніченко, Н.В. Цесельська // Вісник КДУТД. – 2001. – №1. – С. 55-58.
3. Луценко Ю.В. Теоретичне обґрунтування взаємозв'язків параметрів при проектуванні термозахисного одягу / Ю.В. Луценко, О.Б. Васильєв, Є.А. Яровий // Проблеми пожежної безпеки. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 34. – С. 120-125.
4. Луценко Ю.В. Дослідження конвективного охолодження при проектуванні спецодягу з автономною системою життєзабезпечення / Ю.В. Луценко, О.Б. Васильєв, Є.А. Яровий // Проблеми пожежної безпеки. – Х.: НУЦЗУ, 2013. – Вип. 35. – С. 146-150.
5. Луценко Ю.В. Математична модель пасивного теплового захисту людини в умовах пожежі / Ю.В. Луценко, О.Б. Васильєв, Є.А. Яровий // Проблеми пожежної безпеки. – Х.: НУЦЗУ, 2014. – Вип. 36. – С. 150-154.

*Отримано редколегією 20.10.2016*

Ю.В. Луценко, С.О. Тюпин

### **Определение предельно-допустимых показателей теплового состояния человека при работе в термозащитной специальной одежде**

Рассмотрены процессы теплообмена поверхности спецодежды с окружающей средой. Предложено уравнение теплового баланса и определены температуры поверхности термозащитной специальной одежды и в пододежном пространстве с учетом эквивалентной температуры излучения окружающих предметов среды в зависимости от термического сопротивления пакета материалов.

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

U.V. Lutsenko, S.O. Tyupin

### **Determination of maximum permissible rates of human thermal state of heat protection when working in the special clothing.**

The processes of heat exchange surface of the overalls with the environment. An equation of the heat balance and defines the surface temperature of heat protection special clothes and pododezhnom space given the equivalent radiation temperature of surrounding objects in the environment, depending on the thermal resistance of the package materials.

**Keywords:** time of protective action, special clothing heat protection, high temperature.