

Ю.В. Луценко, к.т.н., доцент, заст. нач. каф., НУЦЗУ,
Т.М. Курська, к.т.н., доцент, доцент каф., НУЦЗУ

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ В ЗАХИСНОМУ СПЕЦІАЛЬНОМУ ОДЯЗІ РЯТІВНИКА

(представлено д.т.н. Росохою С.В.)

Виконані теоретичні дослідження теплофізичних процесів в системі “на-вколишнє середовище – захисний одяг – людина”. Визначенні параметри системи охолодження кистей рук і стоп ніг рятувальника. Вибрана система конвективно-радіаційного охолодження і параметри її потужності.

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

Постановка проблеми. Для кожного температурного діапазону необхідний захисний спеціальний одяг з різними захисними властивостями, і, як наслідок, системами охолодження. В комплектах захисного спецодягу для температур від 150 до 300°C охолодження, що конструктивно передбачене для умов нижчих температур, явно недостатньо, оскільки необхідно здійснювати теплоснімання з кистей рук і стоп ніг.

Доцільно провести теоретичні дослідження з визначення параметрів системи охолодження кистей рук і стоп ніг, в результаті чого повинна виконуватись умова адекватності часу захисної дії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах [1, 2] вказується, що для ефективного охолодження тіла людини і оперативної готовності до виконання рятувальних робіт, необхідно дотримуватись таких основних вимог: забезпечення розміщення складових систем охолодження пропорційно і у відповідності з теплосніманням ділянок тіла людини; забезпечення використання складових систем охолодження для оперативного спорядження і переспорядження. Виконання цих вимог в кінцевому випадку надасть можливість забезпечити раціональні параметри аварійно-захисного одягу: максимальний термін захисної дії і мінімальну масу.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є вибір системи охолодження кистей рук і стоп ніг рятувальника і визначення параметрів її потужності.

Теплоізоляція тильної сторони кисті руки не викликає проблем і може бути виконана за аналогією з усім костюмом. Кисті рук складають приблизно 4 % площі поверхні тіла людини і, відповідно для їх охолодження вимагається така ж сама частка потужності в системі охолодження комплекту. Як вже відмічалось, застосовується охолодження водою, яка знаходиться в гумових рукавичках і періодично переливається в рукав з льодяними охолоджуючими елементами при підніманні кисті вище ліктя.

Для розрахунку необхідно визначити періодичність рухів руками τ_p , с, рятувальників, а також кількість (масу) охолоджуючих елементів, яка необхідна для охолодження кистей протягом часу захисної дії спеціального захисного комплекту, визначається залежністю [3]

$$\tau_p = \frac{cm(T_k - T_n)}{N_k}, \quad (1)$$

де c – питома теплоємність води, Дж/(кг·К); m – маса води в рукавиці, кг; T_k , T_n – кінцева і початкова температура води в рукавиці, К; N_k – потужність охолодження, Вт.

Маса льоду на охолодження кінцівки $m_{л'}$, кг, визначається

$$m_{л'} = \frac{N_k \tau}{h_0 - h_{л'}}, \quad (2)$$

де τ – час захисної дії, с; h_0 – ентальпія води в охолоджуючому елементі рукава по закінченню встановленого часу захисної дії комплекту, кДж/кг; $h_{л'}$ – тепловміст (ентальпія) льоду, Дж/кг.

При визначенні параметрів системи охолодження ніг, опираємося на вищеприведені умови ефективного охолодження стоп. Виконання першої умови вимагає, щоб тиск на устілку з водою був вище, ніж висота рівня води в системі (гідростатичний тиск), а другої – час заповнення водою об'єму устілки в кількості, достатній для ефективного охолодження, не повинен перевищувати час відриву ноги від ґрунту. Перша умова виконується автоматично, оскільки тиск на устілку з водою при значній масі працюючого в оснащеному спецодязі (більше 100 кг) практично на порядок перевищує гідростатичний тиск води в системі охолодження. Виконання другої умови залежить, в основному, від діаметру трубки і місцевих опорів в місцях з'єднання охолоджуючої кишені з трубкою і трубки зі стрілкою (при цьому, довжина трубки залишається практично незмінною). Дослідимо режим руху води із охолоджуючої кишені в устілки.

Витрати води q_v , м³/с, через трубку при встановленому потоці дорівнює [4]

$$q_v = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2g(H - H_T)}, \quad (3)$$

де d – внутрішній діаметр трубки, м; H – п'єзометричний напір, м; H_T – гідравлічний опір трубки, м; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Гідравлічний опір трубки складається із втрат напору на тертя по довжині і місцевих опорів [4]

$$H_T = \lambda \frac{g^2 l_1}{2g d} + k_c \frac{g^2}{2g}, \quad (4)$$

де λ – коефіцієнт опору по довжині трубки; g – швидкість руху води, м/с; l_1 – довжина трубки, м; k_c – сумарний коефіцієнт місцевих опорів.

Визначимо швидкість руху води, приріст якої дорівнює

$$d g = a d \tau_1, \text{ тоді } a = \frac{g}{l_1} \left[H - \frac{g^2}{2g} \left(\lambda \frac{l_1}{d} - k_c \right) \right], \quad (5)$$

де a – прискорення, м/с²; τ_1 – час руху води, с.

Максимальна швидкість руху води в трубі в момент торкання ноги з ґрунтом

$$g_{\max} = \frac{g}{l_1} \int_0^{\tau_{ш}} \left[H - \frac{g^2}{2g} \left(\lambda \frac{l_1}{d} - k_c \right) \right] d\tau_1, \quad (6)$$

де $\tau_{ш}$ – час руху води по трубі протягом одного кроку рятувальника, с.

Кількість води, яка поступила із охолоджуючого елемента в устілку, кг [4]

$$m = \frac{\pi d^2}{4} \rho_1 \int_0^{\tau_{ш}} (g d \tau_1 - \partial l_1), \quad (7)$$

де ρ_1 – густина води, кг/м³.

Час $\tau_{ш}$, с, протягом якого рятувальник виконує один крок ногою

$$\tau_{ш} = \frac{60L_{ш}}{g_c}, \quad (8)$$

де $L_{ш}$ – довжина кроку рятувальника, м; g_p – швидкість руху рятувальника, м/с.

Для забезпечення тепловідведення від ступні ноги, необхідно, щоб в устілку поступило води m , кг

$$m = \frac{P_1 \tau_{ш}}{h_c - h_k} + \frac{\pi d^2}{4} l_1 \rho_1, \quad (9)$$

де h_c – ентальпія води в устілці, Дж/кг; h_k – ентальпія води в охолоджуючій кишені, Дж/кг; P_1 – потужність теплового потоку, що проникає у взуття, Вт.

У зв'язку з тим, що спочатку вода рухається в ламінарному режимі, а при досягненні критичної швидкості $v_{кр}$ рух переходить в турбулентний, тобто при числі Рейнольдса $Re_{кр}$

$$Re_{кр} = \frac{g_{кр} d}{v}, \quad g_{кр} = \frac{2300v}{d}, \quad (10)$$

де v – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с.

Для визначення коефіцієнтів опору при ламінарному і турбулентному русі води відповідно скористуємося залежностями [4]:

$$\lambda_l = \frac{64}{Re}, \quad \lambda_T = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}. \quad (11)$$

Тоді вираз для визначення швидкості води приймає вид

$$g = \frac{g}{l_1} \left\{ \int_0^{\tau_{\text{шп}}} \left[H - \frac{v^2}{2g} \left(\frac{64vl_1}{d^2v} + k_c \right) \right] d\tau_1 \right\} + \frac{g}{l_1} \left\{ \int_{\tau_{\text{шп}}}^{\tau_{ш}} \left[H - \frac{v^2}{2g} \left(\frac{0,3164l_1}{d^4\sqrt{vd/v}} + k_c \right) \right] d\tau_1 \right\}. \quad (12)$$

Потужність охолодження ступні визначається залежністю

$$P_c = \frac{m(h_c - h_k)}{2\tau_{ш}}. \quad (13)$$

Для його розв'язання використані чисельні методи [5].

Висновки. Визначенні параметри системи охолодження кистей рук і стоп ніг рятувника. Вибрана система конвективно-радіаційного охолодження і параметри її потужності можуть стати основою для розрахунку часу захисної дії, що дозволить в подальшому обґрунтовано підходити до проектування нових видів захисного спеціального одягу з високим ступенем надійності.

ЛІТЕРАТУРА

1. Луценко Ю.В. Дослідження конвективного охолодження при проектуванні спецодягу з автономною системою життєзабезпечення / Ю.В. Луценко, О.Б. Васильєв, Є.А. Яровий // Проблеми пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2014. – Вып. 35. – С. 146-150. <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol35/lucenko.pdf>.
2. Луценко Ю.В. Визначення гранично-припустимих показників теплового стану людини при роботі в термозахисному спеціальному одязі / Ю.В. Луценко, С.О. Тюпін // Проблеми пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ, 2016. – Вып. 40. – С. 142-146. <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol40/lutsenko.pdf>.
3. Клименко Ю.В. Теоретические основы тепловых расчетов противогазотепловой одежды для горноспасателей / Ю.В. Клименко // Научный вестник НГАУ. – 2001. – №3. – С. 70-73.
4. Чугаев Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1975. – 660 с.
5. Ракитин Ю.В. Численные методы решения частных систем / Ю.В. Ракитин, С.М. Устинов, И.Г. Черноруцкий. – М.: Наука, 1979. – 324 с.

Отримано редколлегією 06.03.2017

Ю.В. Луценко, Т.Н. Курская

Определение параметров системы охлаждения в защитной специальной одежде спасателя

Выполнены теоретические исследования теплофизических процессов в системе «окружающая среда – защитная одежда – человек». Определены параметры системы охлаждения кистей рук и стоп ног спасателя. Вибрана система конвективно-радиационного охлаждения и параметры ее мощности.

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

Yu. Lutsenko, T. Kurskaya

Determination of the parameters of the cooling system in protective special clothing of the rescuer

Theoretical studies of thermophysical processes in the system "environment – protective clothing – a person" are performed. The parameters of the system for cooling hands and feet of the rescuer are determined. A system of convective-radiative cooling and parameters of its power are chosen.

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