

композитного полімерного захисного матеріалу не перевищує $\lambda_k = 0,06$ Вт/(м·К), а температура зовнішнього середовища становить $T_{c1} = 200^\circ\text{C}$, то коефіцієнти теплообміну поверхневого шару спеодягу набувають наближених значень $\zeta_i = \zeta_j = 84$ Вт/(м²·К).

Встановлено числові закономірності зміни нелінійних взаємозалежностей між товщиною матеріалу спеодягу δ , інтенсивністю теплового потоку в матеріалі спеодягу q_x , а також температурою внутрішнього газового середовища T_{c2} , в якому перебуває пожежник при підвищеній (до 200°C) температурі зовнішнього середовища.

Наведені у даній праці модельні уявлення і відповідні результати табл. 1 дозволяють аналізувати складний процес прогорання композиційних матеріалів спеодягу пожежників від дії високих температур і контакту з розжареними елементами конструкцій та теоретично прогнозувати і обґрунтовувати вибір основних методик підвищення довговічності даного виду спеодягу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лыков Л.В. *Тепломассообмен. Справочник.* – М.: Энергия, 1972. – 560 с.
2. Асеева Р.М. *Горение полимерных материалов.* – М.: Наука, 1981. – 280 с.
3. Кочетов О. П. *Повышение долговечности средств индивидуальной защиты рук сварщиков с помощью полимерных покрытий/Автореферат диссерт. на соиск. ученой степени канд. техн. наук.* – Хмельницкий: ХТИБО, 1989. – 16 с.
4. Шленский О.А. *Теплофизика разлагающихся материалов.* – М.: Энергоиздат, 1995. – 144 с.
5. Юзевич В. Н. *Исследование температурного поля в слоистом цилиндре при периодически изменяющейся во времени температуре внешней среды//Материалы V-й конф. Львовского филиала мат. физики Института математики АН УССР.* – М., 1978. – С. 121–123

УДК 614.895.5:621.56

О.А.Гаврилко (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ТЕМПЕРАТУР У СИСТЕМАХ МІСЦЕВОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ЗАХИСНОГО ОДЯГУ ПОЖЕЖНИХ

Приведено математичну модель теплообмінних процесів у системах місцевого водольодяного охолодження найбільш уразливих ділянок тіла пожежного: кистей рук і стоп ніг, що дозволяє визначати температуру підодяжного простору протитеплого костюма, а отже часу його захисної дії

Однією з основних причин високого травматизму пожежних при проведенні аварійно-рятувальних робіт, особливо при гасінні пожеж і в літній період часу, є відсутність в оснащенні підрозділів пожежної охорони протитеплого одягу з активним теплозабором і науково обґрунтованих нормативів безпечної тривалості цих робіт, що приводить до термічних уражень шкіри або до перегрівання організму.

В останні роки на оснащення пожежних надходять протитеплові костюми без активного теплозабору, що виготовляються підприємством «МРІЯ-ІНВЕСТ» з термостійких тепловідбивних матеріалів з високими теплофізичними характеристиками. Стійкість цих костюмів до високих температур навколишнього середовища і теплових променевих потоків визначена без обліку теплового стану пожежного, які регламентовані санітарними нормами [1] значень температур підодягового простору, або частоти серцевих скорочень, ректальної і шкірної температур. При випробуваннях костюмів у літній період з температурою навколишнього середовища $+35\dots+40^\circ\text{C}$ і імітації закриття заслінки у вогнищі пожежі в м.

Севєродонецьку, Луганську для теплозабору з тіла двох випробувачів були використані воднольодяні охолоджувальні елементи ОЕ-2, які розроблені в НДІГС «Респіратор», що забезпечило виконання завдання і збереження здоров'я випробувачів. Тому в роботах [2, 3] наведено пристрої і принцип дії воднольодяної системи охолодження різних ділянок тіла пожежного в костюмі, уперше розроблені математичні моделі нестационарних теплообмінних процесів у системі «навколишнє середовище-захисний одяг з воднольодяним охолодженням-людина». Відповідно до санітарних норм, як критерій теплового стану пожежного обрана температура підодягового простору.

Охолодження основної частини тіла пожежного здійснюється в системі завдяки локальному розташуванню в ґратчастих поліетиленових кишнях у підодяговому просторі ОЕ-2, стоп ніг – циркуляції води, що надходить зі спеціальної кишені з льодом по поліетиленових трубах в устілки і назад, при його русі, а кистей рук – циркуляції води з гумових рукавиць у рукава з ОЕ-2 і назад при русі рук униз з різної частотою в залежності від температури навколишнього середовища.

Однак, таку систему місцевого охолодження найбільш уразливих ділянок тіла пожежного не завжди можна ефективно використовувати, зокрема при переносі потерпілого, гасінні пожеж водою або піною в одному з напрямків, русі по сходах і т.п. У зв'язку з цим пропонується попередньо заморожувати воду в устілках, виконаних із прогумованих ампул, і після танення льоду використовувати охолодження стоп ніг аналогічно вищевикладеному, а охолодження тильної сторони льодом відповідно до схеми, розглянутої нижче.

Особливістю охолодження тильної сторони є розміщення в герметичній ампулі 8 в області пальців частини ОЕ-2, у безпосередній близькості від неї – цілих ОЕ-2, а потім рукавиці герметично кріпляться до рукавів костюма. Після танення льоду вода в малих негерметичних охолоджуючих елементах (МОЕ) охолоджується завдяки контакту з ОЕ-2 при незначних рухах рук, а після використання МОЕ та ОЕ-2 замінюються новими.

Метою даної роботи є дослідження динаміки температур у шарах теплоізолюючої оболонки та у підодяговому просторі (в області поверхні тильної сторони долонь і стоп ніг), на підставі результатів яких можна визначити час захисної дії цих ділянок тіла пожежного.

Надалі розглядається система охолодження кистей рук (СОКР), тому що передбачається, що отримані результати рівною мірою можуть бути використані для системи охолодження стіп ніг, причому завдяки наявності льоду СОКР почне функціонувати після його танення, а до цього принципи теплообміну МОЕ та ОЕ-2 нічим не відрізняються.

При математичному моделюванні температура $T = T(x, \tau)$, К, в оболонці рукавиці розглядається в залежності від часу τ , с, і відстані x , м, від зовнішньої поверхні по нормалі (рис.1). Враховується, що оболонка складається з чотирьох частин: зовнішнього шару, товщиною $\delta_n, м$; повітряного, водяного або крижаного прошарку, товщиною $\delta, м$; внутрішнього шару, товщиною $\delta_b, м$, і повітряного прошарку підодяжного простору, товщиною $\delta_n, м$.

Просторова координата оболонки x , м, відраховується від зовнішньої поверхні по нормалі до внутрішньої поверхні. За початок системи координат обрана серединна поверхня МОЕ. При цьому зовнішня поверхня оболонки має координату $x_n = -(\delta_n + \delta/2)$, а внутрішня $x_b = \delta_b + \delta/2$. Границі МОЕ: $x_{zn} = -\delta/2$ і $x_{zb} = \delta/2$, а поверхня тіла людини задана координатою $x_c = \delta_b + \delta/2 + \delta_n$.

З урахуванням прийнятих допущень динаміка температури по товщині МОЕ моделюється рівнянням теплопровідності [4]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

де $a = a(x, \tau)$ – температуропровідність оболонки костюма, $м^2 / с$, що залежить від теплофізичних властивостей окремих шарів або прошарків.

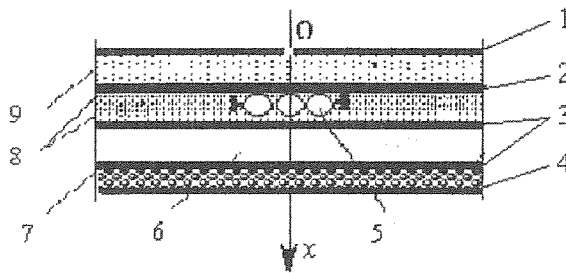


Рис. 1 Структура рукавиці костюма в поперечному розрізі

- 1 – термостійка і тепловідбивна тканина;
 2 – підкладка сатинова; 3 – рукавиця внутрішня, тонка, сатинова;
 4 – термостійка тканина; 5 – охолоджуючий елемент;
 6 – простір внутрішньої рукавиці для кисті руки;
 7 – повстяна прокладка теплоізолююча;
 8 – ампула герметична; 9 – об'ємний теплоізолюючий шар

Прийнято, що до початку застосування захисного костюма температура оболонки й у підодяжному просторі усюди однаковий і складає деяку величину T_k, K :

$$T = T_k, x_n \leq x \leq x_{zn}; \quad x_{zv} \leq x < x_q, \quad (2)$$

а температура ОЕ-2 дорівнює T_0, K :

$$T = T_0, x_{zn} \leq x \leq x_{zv}. \quad (3)$$

У період застосування костюма температура біля його зовнішньої поверхні дорівнює температурі навколишнього середовища T_c, K , а температура на внутрішній границі підодягового простору, якою є поверхня тіла (руки) людини дорівнює T_q, K

$$T(x_n - \varepsilon, \tau) = T_c; \quad T(x_q, \tau) = T_q, \quad (4)$$

де ε – нескінченно мале позитивне число.

Теплообмін на зовнішній і внутрішній поверхнях моделюється відповідно до закону Ньютона у виді граничних умов третього роду [5]:

$$\lambda_n \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_n [T(0, \tau) - T_c], \quad (5)$$

$$\lambda_v \frac{\partial T(x_v, \tau)}{\partial x} = \alpha_v [T(x_v, \tau) - T(x_v + \varepsilon, \tau)], \quad (6)$$

де $\lambda = \lambda(x)$ – теплопровідність шару (прошарку) оболонки, $Вт/(м \cdot K)$, що залежить від теплофізичних властивостей шарів і прошарків оболонки; індекси "н" і "в" указують на значення фізичної перемінної відповідно для зовнішньої і внутрішньої поверхонь оболонки; α – коефіцієнт конвективно-променевого теплообміну між шаром і зовнішнім середовищем або підкостюмним простором, $Вт/(м^2 \cdot K)$.

Вважається, що температури і щільності теплових потоків на границях МОЕ із шарами збігаються. Це відповідає умові нерозривності температурного поля і граничній умові четвертого роду для щільності теплових потоків за законом теплопередачі Фур'є [6]:

$$T(x_{\text{зн}} - \varepsilon, \tau) = T(x_{\text{зн}} + \varepsilon, \tau); \quad T(x_{\text{зв}} - \varepsilon, \tau) = T(x_{\text{зв}} + \varepsilon, \tau); \quad (7)$$

$$\lambda_n \frac{\partial T(x_{\text{зн}} - \varepsilon, \tau)}{\partial x} = \lambda_3 \frac{\partial T(x_{\text{зн}} + \varepsilon, \tau)}{\partial x}; \quad \lambda_3 \frac{\partial T(x_{\text{зв}} - \varepsilon, \tau)}{\partial x} = \lambda_b \frac{\partial T(x_{\text{зв}} + \varepsilon, \tau)}{\partial x}, \quad (8)$$

де індекси "н", "з" і "у" указують на теплопровідність зовнішньої оболонки, МОЕ і внутрішньої оболонки відповідно.

Отже, для моделювання динаміки температури в оболонці рукавиці костюма після попереднього заморожування МОЕ побудована математична модель, представлена диференціальним рівнянням (1), початковими умовами (2), (3) і граничними умовами (4)-(8). Для проведення подальших досліджень рівняння (1) і крайових умов записуються в безрозмірних перемінних

$$\xi = x/\delta; \quad \text{Fo} = \tau \cdot \tilde{\alpha} / \delta^2; \quad t = T/T_c, \quad (9)$$

де Fo – число Фур'є.

В результаті задача зводиться до такої системи рівнянь:

$$\frac{\partial t}{\partial \text{Fo}} = \frac{\partial^2 t}{\partial \xi^2}, \quad (10)$$

$$t(\xi, 0) = t_0, \quad -1/2 \leq \xi \leq 1/2; \quad t(\xi, 0) = t_k, \quad \xi_n \leq \xi \leq -1/2; \quad 1/2 \leq \xi < \xi_u; \quad (11)$$

$$t(\xi_n - \varepsilon, \text{Fo}) = 1; \quad t(\xi_u, \text{Fo}) = t_u; \quad (12)$$

$$\frac{\partial t(0, \text{Fo})}{\partial \xi} = \text{Nu}_n [t(0, \text{Fo}) - 1]; \quad \frac{\partial t(\xi_b, \text{Fo})}{\partial \xi} = \text{Nu}_b [T(\xi_b, \text{Fo}) - T(\xi_b + \varepsilon, \text{Fo})]; \quad (13)$$

$$t(-1/2 - \varepsilon, \text{Fo}) = t(-1/2 + \varepsilon, \text{Fo}); \quad t(1/2 - \varepsilon, \text{Fo}) = t(1/2 + \varepsilon, \text{Fo}); \quad (14)$$

$$\bar{\lambda}_n \frac{\partial t(-1/2 - \varepsilon, \text{Fo})}{\partial \xi} = \frac{\partial t(-1/2 + \varepsilon, \text{Fo})}{\partial \xi}; \quad \bar{\lambda}_b \frac{\partial t(1/2 - \varepsilon, \text{Fo})}{\partial \xi} = \frac{\partial t(1/2 + \varepsilon, \text{Fo})}{\partial \xi}, \quad (15)$$

де $\bar{\lambda}_n = \lambda_n \lambda_3$; $\bar{\lambda}_b = \lambda_b \lambda_3$; $\text{Nu} = \alpha \delta / \lambda$ – число Нусельта.

Рівняння (10) із крайовими умовами (11)-(15) вирішувалося числовим методом [7] за явною схемою. Розрахункова сітка представлена вузлами $i = i_n \dots i_u$, отриманими шляхом умовного поділу оболонки на шари, із кроком $\Delta \xi = 0,1$. Числа Фур'є і Нусельта замінялися сітковими аналогами $F = a \Delta \text{Fo} / \Delta \xi^2$; $N = \alpha \Delta \xi / \lambda$. Стійкість розрахункової схеми забезпечувалася виконанням умови $\beta = \alpha \Delta \text{Fo} / \Delta \xi^2 = 1/6$ за рахунок відповідного вибору кроку ΔFo . При розрахунках використовувався 4-точковий шаблон виду:

$$t_i^{n+1} = \frac{1}{6} (t_{i+1}^n + 4 \cdot t_i^n + t_{i-1}^n), \quad (16)$$

де n – крок за часом.

Варіанти моделювання динаміки температури в окремих шарах оболонки рукавиці костюма і по всій її товщині представлені на рис.2 і 3.

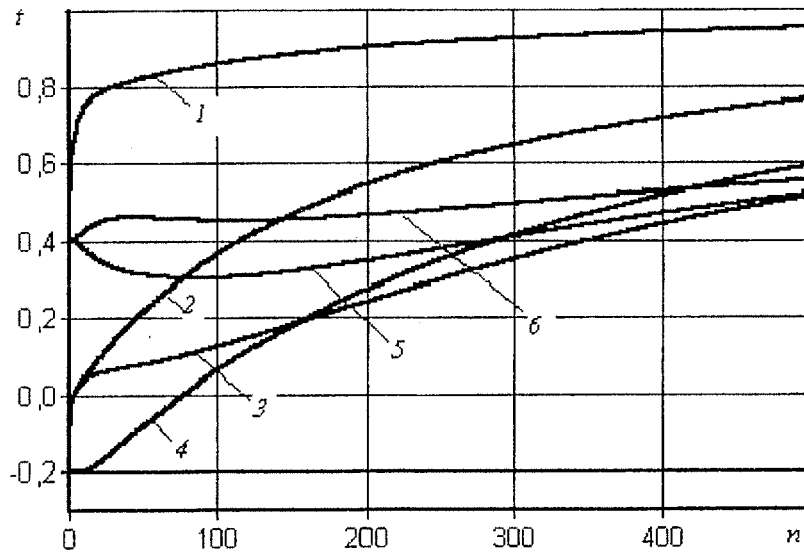


Рис. 2. Динаміка температури в різних шарах оболонки костюма при таненні льоду в системі місцевого охолодження:
 1- зовнішня поверхня костюма; 2 - зовнішня поверхня МОЕ; 3 - серединна поверхня МОЕ; 4 - внутрішня поверхня МОЕ; 5 - внутрішня поверхня оболонки костюма; 6 - серединна поверхня під костюмного простору.

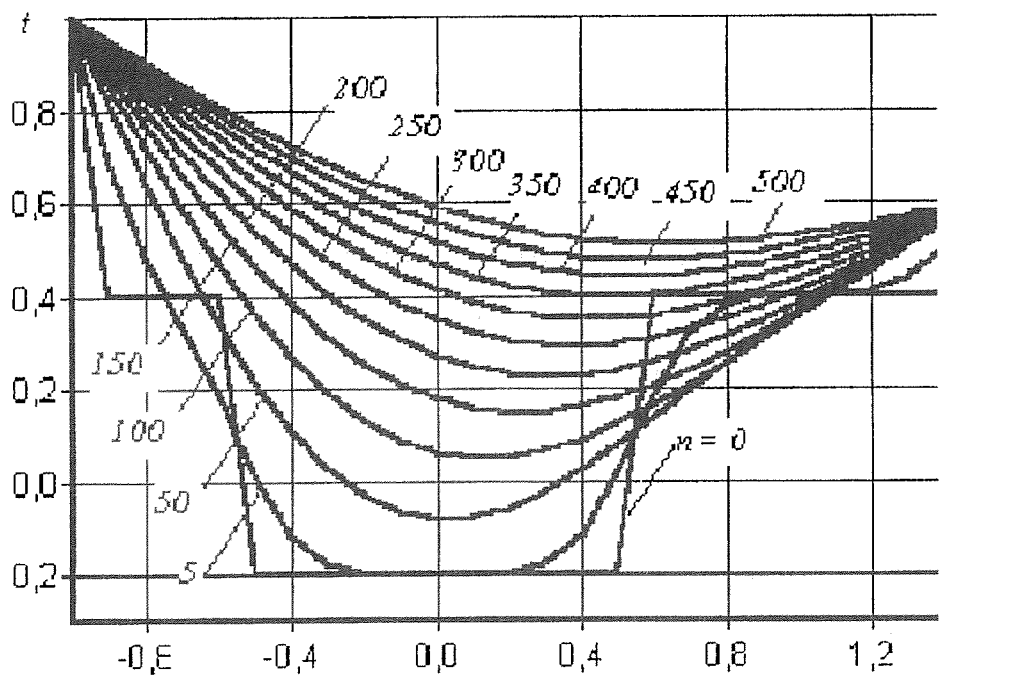


Рис. 3 Динаміка температури по товщині оболонки костюма в системі місцевого охолодження

Отримана числова модель дозволяє досліджувати динаміку температури в зовнішньому і внутрішньому шарах оболонки рукавиці, температури МОЕ і у підодяговому просторі залежно від температури навколишнього середовища, теплофізичних параметрів матеріалу оболонки і МОЕ, а по другій залежності (9) – визначити припустимий або граничний час захисної дії костюма або припустиму тривалість роботи пожежних.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фізіолого-гігієнічні вимоги до ізолюючих засобів індивідуального захисту: Утв. Мінздравом СРСР 23.06.80/М., 1981. – 28 с.
2. Гаврилко О.А. Математичне моделювання нестационарного переносі тепла в захисному одязі пожежних і гірничих рятувальників з воднольодяною системою охолодження// Пожежна безпека – 2002: Зб.наук.праць.– Львів: 2002.– № 2.– С. 76-82.
3. Гаврилко А.А., Марійчук І.Ф., Ревякін А.В. Торетичні дослідження динаміки витрати рідини в системі охолодження ніг пожежного// Науковий вісник УкрДНІПБ.– № 2.– С. 217-222.
4. Лыков А.В. Теплообмен. Справочник.–М.: Энергия, 1972.– 560 с.
5. Теплотехніка: Підручник для вузів/ А.П. Баскаків, О.К. Витт і ін.; Під ред. А.П. Баскакова. – М.: Энергиздат, 1982. – 264 с.
6. Шорин С.И. Теплопередача. – М.: Вища школа, 1964. – 481 с.
7. Патанкар С. Числовые методы решения задач теплообмена и динамики жидкостей – М.: – Энергоатомиздат, 1993. – 150 с.

УДК 614.843(075.32)

Е.М.Гуліда, д.т.н., професор, Я.В.Панів, І.О.Мовчан (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)

РОЗРАХУНОК ПЛОСКИХ ПРУЖНИХ В'ЯЗЕЙ ЛАФЕТНОГО ВІБРАЦІЙНОГО СТВОЛА

Розглянуто методику розрахунку пружних плоских в'язей підвіски лафетного вібраційного ствола. Отримано залежності для визначення товщини та ширини сталеві ресори в залежності від амплітуди коливань. Результати роботи можуть бути використанні при розробленні конструкції лафетного вібраційного ствола для заданих тактико-технічних вимог.

Сучасний стан проблеми. Для подачі компактного або розпиленого струменя рідини у вогнище пожежі в більшості випадків використовують пожежні ручні та лафетні стволи, які приєднуються до напірного патрубку. Наприклад, довжина водяного компактного струменя для ручних пожежних стволів коливається в межах від 28 м до 32 м, а розпиленого з кутом факела 60° - до 12 м [1]. Для лафетних стволів, внаслідок збільшення діаметра насадки, ці довжини приблизно збільшуються в 2...2,5 рази. Але це не підвищує в більшості випадків значної ефективності пожежогасіння, тому що компактий струмінь одноструменевий і його дія на вогнище пожежі представляється у вигляді точкового гасіння, а розпилений факел в більшості випадків використовується для осадження продуктів горіння. Тому, з метою удосконалення та підвищення ефективності процесу гасіння пожежі і на підставі аналізу існуючих методів [2] і технічних засобів пожежогасіння, у Львівському інституті пожежної безпеки була розроблена конструкція лафетного вібраційного ствола [3], яка набагато збільшує ефективність пожежогасіння завдяки збільшенню площі покриву вогнища при значній силі напору компактного струменя. Наприклад, при встановленні ствола під кутом 10...15°, довжина кологовинтового струменя досягає 30...35 м з площею покриву 28 м² [4].

На рис. 1 зображено загальний конструктивно-кінематичний вид лафетного вібраційного ствола з механізмом регулювання форми компактного струменя [5].

Механізм регулювання вертикальної та горизонтальної жорсткостей ресорної підвіски складається з чотирьох вертикальних притисних подушок 15 (по дві під кожну ресору), які за допомогою гнучких пластин 16, що мають малу горизонтальну та значну вертикальну