

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

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕРМОЗАХИСНОГО ОДЯГУ

(представлено д-ром техн. наук Ключкою Ю.П.)

Отримані залежності теоретично обумовлюють можливість проектування термозахисного спецодягу у відповідності з заданим часом захисної дії.

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

**Постановка проблеми.** Виконання робіт у несприятливих умовах, зокрема за високих температур навколишнього середовища потребує надійного термозахисного спеціального одягу (ТЗСО), насамперед у разі проведення аварійно-рятувальних робіт. За період 1998-2002 рр. в Україні у зв'язку з відсутністю засобів захисту відповідного призначення щороку було травмовано приблизно 2500 працівників, у тому числі близько 5% із смертельними наслідками. Досвід експлуатації спецодягу та статистика травмувань і загибелі працюючих свідчать, що існуючі види ТЗСО мають низькі показники надійності й ергономічності та не забезпечують достатнього рівня захисту від комплексу небезпечних та шкідливих чинників виробничого середовища, чим зумовлюється необхідність розроблення науково обґрунтованих підходів до його створення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В роботах [1, 2] вказується, що задовільною можна вважати тільки таку конструкцію спецодягу, яка, будучи надійною і ефективною в експлуатації, є разом з тим технологічною. Нехтування цим приводить до надмірного подорожчання виробу і є серйозною причиною того, що подібний спецодяг не знаходить свого практичного застосування.

**Постановка задачі та її рішення.** При проектуванні термозахисного одягу слід поставити головну вимогу до неї – збільшення часу захисної дії. На даний показник практично не впливає вид одягу, характер виконання робіт, але він суттєво залежить від умов експлуатації, способу захисту і його ефективності, а також маси одягу.

Особливе відношення до показника часу захисної дії складається при проектуванні аварійно-рятувального і аварійно-захисного

спецодягу, оскільки поряд з вимогою економії матеріальних засобів висувається найбільш вагоме і значиме – соціальне.

До недавнього часу показник часу захисної дії визначається шляхом лабораторних, камерних і натуральних досліджень, що часто не давало можливості по їх оптимізації. Остання обставина пов'язана з тим, що приходиться вирішувати не завжди коректну багатокритеріальну задачу по взаємозв'язках параметрів маси комплекту спецодягу, його економічних характеристик, характеристик ефективності теплозахисту (коефіцієнта теплопровідності, коефіцієнта теплообміну, термічного опору, і т.п.) Так при пасивному способі теплозахисту, час захисної дії напряму залежить від маси комплекту спецодягу з врахуванням показників температури оточуючого середовища і теплового випромінювання; важкості виконуваної роботи; кількості теплоти і поту, які виділяються організмом людини; властивостей матеріалів, що використовуються; кількості і товщини шарів тепло ізолюючої оболонки, та ін. При активному способі теплозахисту до перерахованих факторів слід додати вид холодоагенту і його масу з деталями системи охолодження; температури в підодяговому просторі; спосіб видалення метаболічного тепла; наявність (або відсутність) автономної дихальної апаратури, і тд.

Маса комплекту спецодягу включає в себе маси зовнішнього шару спецодягу (в подальшому – оболонка), одного або декількох об'ємних теплоізолюючих шарів із легкого нетканого матеріалу, підкладки (внутрішнього шару), холодоагенту, системи охолодження. Поверхнева щільність і товщина зовнішнього і внутрішнього шарів у різноманітних видів термозахисного спецодягу приблизно однакові, тобто їх тепловий опір і щільність можна рахувати постійними. Найбільший вплив на характеристики термозахисного спецодягу створює вид, товщини і кількість шарів тепло ізолюючих матеріалів, конструкція одягу, а також кількість (маса) холодоагенту і спосіб його подачі в під костюмний простір.

Система охолодження термозахисного спецодягу з автономною системою життєзабезпечення (АСЖЗ) оснований, як правило, на застосуванні холодоагенту, який поглинає теплоту при фазовому перетворенні: випаровуванні або таненні. Для розміщення холодоагенту в одязі потрібен ряд деталей і пристроїв, маса яких пропорційна масі холодоагенту (оболонки охолоджуючих елементів, кишені для їх розміщення, теплоізолюваний резервуар, і тп.), тому в подальшому будемо використовувати термін приведенного питомого ресурсу холодоагенту.

Таким чином, основне завдання зводиться до визначення оптимального співвідношення товщини шарів теплоізоляції і маси (або потужності) системи охолодження, що дасть можливість в кінцевому випадку отримати максимальний термін захисної дії термозахисного спецодягу при мінімальній масі комплекту.

Представимо баланс теплової енергії  $Q$ , Дж, в спрощеному вигляді

$$Q = Q_T + Q_n, \quad (1)$$

де  $Q$  – загальна кількість теплоти, накопичена в системі охолодження;  $Q_T$  – кількість теплоти, яка проникає крізь оболонку одягу в період дії системи охолодження;  $Q_n$  – сумарна кількість теплоти, яка утворюється за рахунок метаболізму організму людини, припливів повітря крізь шви і з'єднання конструкції одягу, утворення інею на деталях системи охолодження, теплопровідності людського тепла, втрат вологого повітря з під оболонки одягу, і т.п.

Оскільки:

$$Q = \psi_{np} \cdot m_x; \quad \psi_{np} = \frac{\psi}{1 + \frac{m_0}{m_x}}, \quad (2)$$

$$Q_T = \frac{(T - T_k)S\tau}{\left(\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}\right)}; \quad m_T = \rho h S, \quad (3)$$

де  $m_x$  – маса холодоагенту, кг;  $m_0$  – маса деталей і пристроїв системи охолодження, кг;  $\psi_{np}$  – приведений питомий ресурс холодоагенту, Дж/кг;  $\psi$  – питомий ресурс холодоагенту, Дж/кг;  $T$  – температура оточуючого середовища, К;  $T_k$  – середня температура в просторі під одягом, К;  $S$  – площа поверхні теплоізолюючої оболонки, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – час захисної дії системи охолодження або одягу, с;  $\delta$  – товщина шарів теплоізоляції, м;  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності шарів теплоізоляції, Вт/(м·К);  $\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнти тепловіддачі зовнішнього і внутрішнього шарів оболонки, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $m_T$  – маса шарів теплоізоляції, кг;  $\rho$  – щільність шарів теплоізоляції, кг/м<sup>3</sup>, то після підстановки виразів (2) і (3) в (1) отримаємо

$$m_x = \frac{\left[ \frac{(T - T_k)S\tau}{\left(\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}\right)} + Q_n \right]}{\psi_{np}}, \quad (4)$$

Враховуючи той факт, що  $Q_n$  і  $\psi_{np}$  в даному випадку можна прийняти сталим, оскільки відношення  $\frac{m_0}{m_x}$  практично стале, цільову функцію представимо у вигляді

$$Z = m_x(\delta) + m_0(\delta) \rightarrow \min, \text{ при обмеженні (4)}. \quad (5)$$

Підставивши вираз  $m_x$  із (4),  $m_0$  із (3) в (5) отримаємо

$$Z(\delta) = \frac{\left[ \frac{(T - T_k)S\tau}{\left( \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)} + Q_n \right]}{\psi_{np} + \rho\delta S}. \quad (6)$$

Відповідно (6), збільшення товщини шарів теплоізоляції знижує масу холодоагенту, і навпаки. Так, при безмежно великому  $\delta$  ( $\delta \rightarrow \infty$ ), для поглинання теплоти необхідним  $Q_n$ , а при ( $\delta \rightarrow 0$ ) маса холодоагенту буде дорівнювати  $m_x^*$

$$m_x^* = \frac{\left[ \frac{(T - T_k)S\tau}{\left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)} + Q_n \right]}{\psi_{np}}. \quad (7)$$

Диференціюємо вираз (6) по  $\delta$  і прирівнюючи його до нуля, отримуємо:

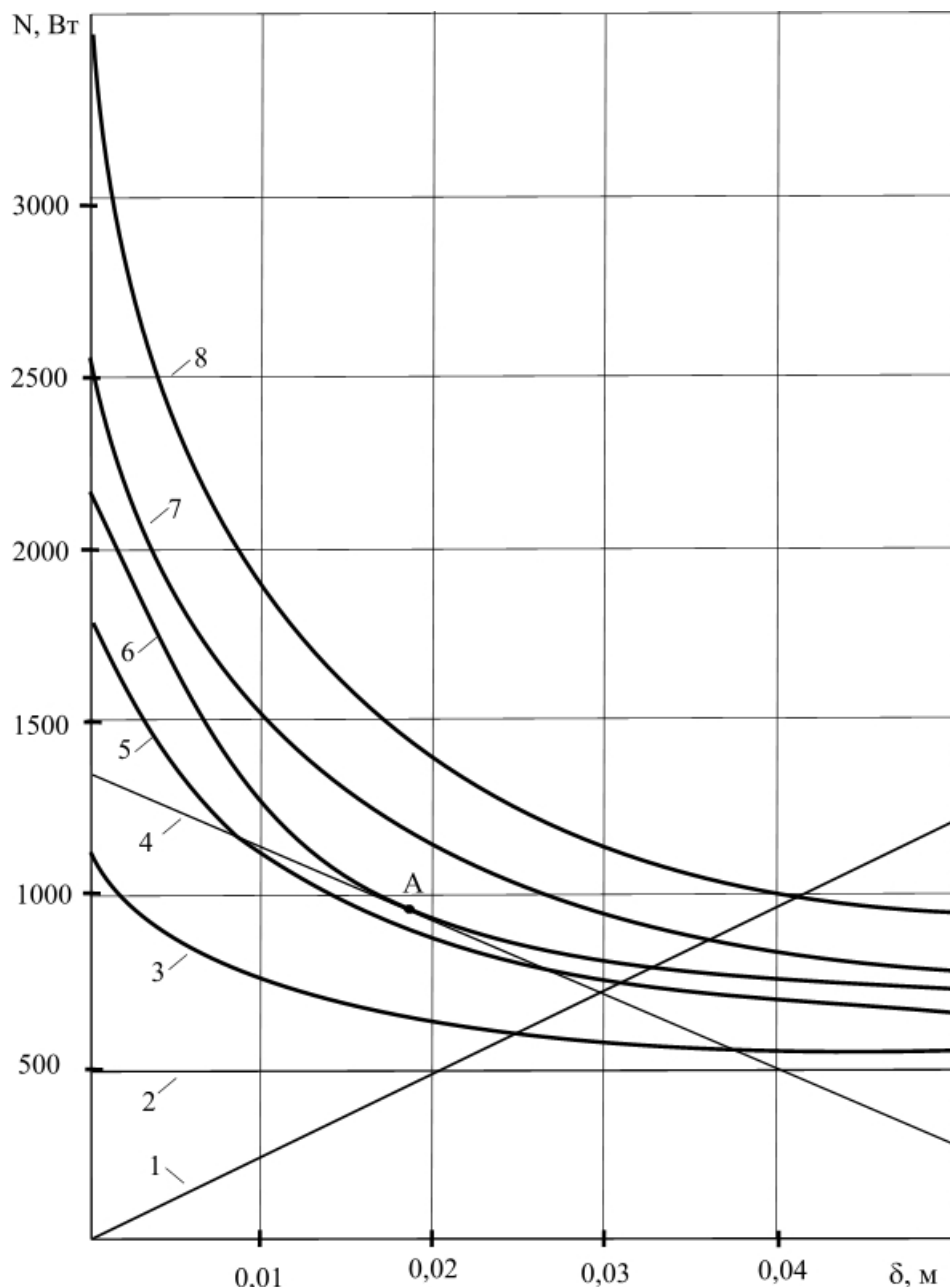
$$\frac{(T - T_k)\tau}{\left( \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2} - \rho = 0, \quad (8)$$

звідки

$$\delta = \lambda \left\{ \left[ \frac{(T - T_k)\tau}{\rho\psi_{np}\lambda} \right]^{1/2} - \frac{1}{\alpha_1} - \frac{1}{\alpha_2} \right\}. \quad (9)$$

З іншого боку, задаючи значення  $h$  і інших вхідних величин, отримаємо значення часу захисної дії  $\tau$  системи охолодження або одягу.

Результати досліджень по визначенню оптимального співвідношення потужності системи охолодження  $N$ , маси шарів теплоізоляції  $m_T$  і товщини шарів теплоізоляції при зміні температури оточуючого середовища від 60 до 200 °С приведені на рис. 1.



**Рис.1. Графік залежності потужності системи охолодження від товщини шарів теплоізоляції термозахисного одягу**

Оскільки  $Q_n$  є сталою величиною, то на рисунку вона представлена горизонтальною прямою 2. Потужність системи охолодження представлена сімейством кривих 3, 5-8, кожна з яких в залежності від темпе-

ратури оточуючого середовища асимптотично наближуються до прямої 2 при  $(\delta \rightarrow \infty)$ . Точки перетину прямої 1 з сімейством кривих 3, 5-8 визначають раціональну масу шарів теплоізоляції при відповідному значенні  $\delta$ . Провівши на рис.1 пряму 4 для  $m_r = -\rho\delta S$  і переміщуючи її паралельно самій собі до перетину однієї із кривих 3, 5-8 (точка А), отримуємо в кінцевому випадку оптимальне співвідношення товщини шарів ізоляції і потужності системи охолодження для даної температури оточуючого середовища [3].

**Висновок.** Отримані залежності теоретично обумовлюють можливість проектування термозахисного спецодягу у відповідності з заданим часом захисної дії. Крім того, різноманітні варіації вищевказаних параметрів дозволяють щільно підійти до проектування термозахисного спецодягу з врахуванням маси комплексу спецодягу, що в першу чергу, покращить його ергономічні показники і підвищить ефективність при виконанні аварійно-рятувальних робіт.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Романов В.Е. Системный подход к проектированию специальной одежды. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 128с.
2. Клименко Ю.В. Теоретические основы тепловых расчетов противогазотепловой одежды для горноспасателей // Науковий вісник НГАУ. – 2001. – №3. – С. 70-73.
3. Колосніченко М.В., Марійчук І.Ф. Теоретичне обґрунтування взаємозв'язків при проектуванні термозахисного спецодягу // Вісник Технологічного університету Поділля. – 1999. – №6. – С. 121-123.

nuczu.edu.ua

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

**Теоретическое обоснование взаимосвязей параметров при проектировании термозащитной одежды**

Полученные зависимости теоретически обуславливают возможность проектирования термозащитной спецодежды в соответствии с заданным временем защитного действия.

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

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

**Theoretical study of design parameters interconnection termozahysnoho clothing**

The dependences theoretically lead to the possibility of designing termozahysnoho inspection in accordance with the specified time, the protective effect.

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