

*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; ψ_{np} – приведений питомий ресурс холодоагенту, Дж/кг; ψ – питомий ресурс холодоагенту, Дж/кг; T – температура оточуючого середовища, К; T_k – середня температура в просторі під одягом, К; S – площа поверхні теплоізолюючої оболонки, м²; τ – час захисної дії системи охолодження або одягу, с; δ – товщина шарів теплоізоляції, м; λ – коефіцієнт теплопровідності шарів теплоізоляції, Вт/(м·К); α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі зовнішнього і внутрішнього шарів оболонки, Вт/(м²·К); m_T – маса шарів теплоізоляції, кг; ρ – щільність шарів теплоізоляції, кг/м³, 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 ψ_{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 δ ($\delta \rightarrow \infty$), 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 δ 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 τ 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.

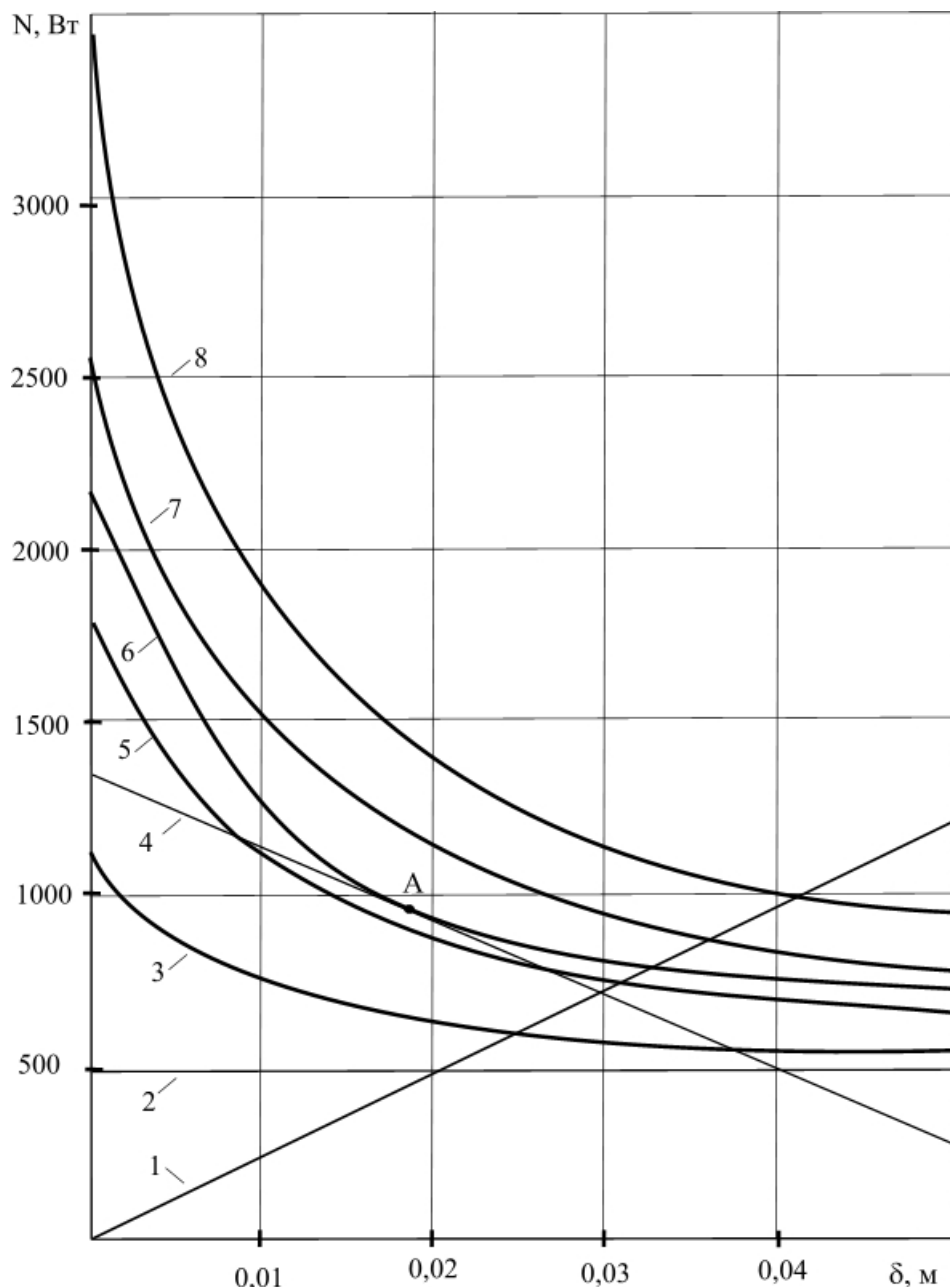


Рис.1. Графік залежності потужності системи охолодження від товщини шарів теплоізоляції термозахисного одягу

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 δ . 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.

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.