

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В ГАЗОТЕПЛОЗАХИСНОМУ КОСТЮМІ З ВОДОЛЬОДЯНИМИ АКУМУЛЯТОРАМИ ХОЛОДУ

© Гаврилко О.А., 2008

Наведено математичну модель динаміки температури й концентрації хімічних речовин в оболонці газотеплозахисного костюма залежно від їх утримання у навколишньому середовищі і площі, які займають водольодяні охолодні елементи у підкостюмному просторі. За результатами дослідження можна прогнозувати захисну здатність костюма мінімальної маси з урахуванням хіміко-фізичних властивостей матеріалу оболонки, потужності джерел шкідливих речовин і теплоти.

The mathematical model of dynamics of temperature and concentration of chemical matters is resulted in the shell of gas-warm protective suit depending on their maintenance in an environment and areas which occupy water-ice cooling elements in subsuit space. Research results allow to forecast protective ability of suit of minimum mass taking into account chemical –physical properties of material of shell, power of sources of harmful matters and warmth.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Пожежно-рятувальні підрозділи МНС України при веденні аварійно-рятувальних робіт в екстремальних мікрокліматичних умовах (вплив високих температур, рідких і газоподібних хімічних речовин, теплового випромінювання від вогнища пожежі, задимленості) використовують ізолюючі термостійкі, протитеплові й протихімічні костюми без активного теплознімання з поверхні шкіри людини. Це може привести до перегрівання тіла працівників пожежно-рятувальних підрозділів при гасінні пожеж, особливо у літній період.

Підтвердженням вищенаведеного є наслідки ліквідації аварій: перекинутих залізнодорожних цистерн на перегоні поблизу с. Ожидів, на шахтах «Олександр-Захід» ВО «Артемвугілля», у гірській виробленні якої з температурою повітря близько 40°C проникли з поверхні отруйні речовини: хлорбензол, ацетон, бензол, сірчана кислота та ін. Гірничорятувальники, які використовували газозахисні костюми типу “Трельчем” з повітряними дихальними апаратами, отримали теплові ураження й отруєння, тому що захисна здатність костюмів виявилася недостатньою внаслідок одношарової оболонки без системи охолодження [1].

У літературних джерелах відсутні теоретичні дослідження одночасного проникнення в підодяжний простір газоподібних отруйних речовин і температури навколишнього середовища, тому що захисна здатність хімічних костюмів визначається експериментальним шляхом, а розроблена математична модель теплообмінних процесів у протитепловому костюмі з водольодяною системою охолодження не враховує впливу проникаючої з навколишнього середовища в підодяжний простір теплоти на процес танення льоду в ОЕ й залежності температури від площі, яку займає ОЕ [3]. Це не дає можливості визначити залежність температури в підодяжному просторі від сумарної площі ОЕ, а відповідно мінімізувати його масу.

**Мета роботи.** У зв'язку з цим виникла необхідність у розробленні газотеплозахисного костюму з багатошаровою оболонкою і використання в ньому водольодяних охолоджувальних елементів (ОЕ), які застосовуються гірничорятувальниками у протитепловому одязі [2].

**Теоретичні дослідження.** Розглянемо процеси нестационарного тепломасоперееносу в багатошаровому костюмі, що складається з комбінезона із двома шарами, повітряного прошарку й

теплоізолюваної оболонки, які отримують тепловий й хімічний вплив з боку навколишнього середовища та тіла людини, з урахуванням фазового перетворення холодоагенту (льоду у воду) і подальшого його теплообміну, тепло- і фізико-хімічних характеристик шарів оболонки, а також площі, яку займає ОЕ в підкостюмному просторі, для визначення часу захисної дії костюму при мінімальній його масі.

Баланс концентрації хімічної речовини або переносу теплоти в костюмі можна описати диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial \Phi_{II}}{\partial t} = \frac{S_{II}}{d_{II}} (\Phi_D - \Phi_{II}) + q_{\Phi} + \frac{S_{\text{Э}}}{d_{\text{Э}}} (\Phi_{II} - \Phi_{\text{Э}}), \quad (1)$$

де  $\Phi = \Phi(h, t)$  – фізична змінна, що характеризує температуру  $T$ , К, або концентрацію  $C$  хімічних речовин,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t$  – поточний час, с;  $s_{II} = (a_{II} S_{II}) / (rc_p)$  і  $s_{\text{Э}} = (a_{\text{Э}} S_{\text{Э}}) / (rc_p)$  – відносні значення коефіцієнтів теплообміну,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $q_{\Phi} = Q_{\Phi} / (rc_p V_{II})$  – відносне значення фонові потужності теплового потоку від тіла людини,  $\text{К}/\text{с}$ ;  $d_{II} = V_{II} / S_{II}$  і  $d_{\text{Э}} = V_{\text{Э}} / S_{\text{Э}}$  – товщина підкостюмного простору (ПП) і ОЕ, м;  $\Phi_D = \Phi|_{h=D}$  – концентрація субстанції на внутрішній поверхні оболонки костюма;  $h$  – сумарна товщина шарів і повітряних прошарків оболонки, м;  $a_{II}, a_{\text{Э}}$  – сумарні коефіцієнти конвективного і променистого теплообміну між внутрішньою поверхнею оболонки й ПП, поверхнею оболонки ОЕ й ПП,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $S_{II}, V_{II}$  – площа й об'єм внутрішньої поверхні оболонки,  $\text{м}^2$  і  $\text{м}^3$ ;  $S_{\text{Э}}$  – сумарна площа ОЕ,  $\text{м}^2$ ;  $r$  – щільність середовища ПП,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $C_p$  – питома теплоємність середовища ПП,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Рівняння для визначення концентрації хімічних речовин у ПП залежно від концентрацій на внутрішній поверхні оболонки  $\Phi_{II}$  і у зовнішньому середовищі  $\Phi_0$  одержимо з урахуванням сталості початкової концентрації у зовнішньому середовищі, моделювання проникнення хімічних речовин у ПП відповідно до закону Ньютона, що відповідає умовам третього роду, а їхній обмін на границях повітряного прошарку відбувається за законом Фур'є, тобто відповідає граничним умовам четвертого роду.

$$\Phi_{II} = \frac{\Phi_{II}}{s_{II\text{Э}}} - \left( \frac{\Phi_{II}}{s_{II\text{Э}}} - \Phi_0 \right) e^{-s_{II\text{Э}} t}, \quad (2)$$

де уведені позначення

$$s_{II\text{Э}} = \frac{s_{II}}{d_{II}} - \frac{s_{\text{Э}}}{d_{\text{Э}}}; \quad \Phi_{II} = \frac{s_{II}}{d_{II}} \Phi_D - \frac{s_{\text{Э}}}{d_{\text{Э}}} \Phi_{\text{Э}} + q_{\Phi}. \quad (3)$$

Розподіл концентрації хлорбензолу по товщині шарів оболонки комбінезону костюма при її значенні, вимірювали в гірському виробленні шахти "Олександр-Захід"  $C_C = 18 \text{ г}/\text{м}^3$  (припустима концентрація  $0,05 \text{ г}/\text{м}^3$ ), товщина шарів 30 мм, провідність зовнішнього шару  $D = 10^{-11} \text{ мм}^2/\text{с}$ , критеріях  $Bi = 0,06$ ,  $For = 0,14$  і необхідний час захисної дії 180 хв наведено на рис. 1.

Використовуючи рівняння (1), після деяких перетворень одержимо диференціальне рівняння щодо температури в підкостюмному просторі,  $T_{II}$ , К:

$$t_D \frac{\partial T_{II}}{\partial t} = (T_D - T_{II}) - as(T_{II} - T_{\text{Э}}) + DT_{\Phi}; \quad (4)$$

$$t_D = \frac{rc_p V_{II}}{a_{II} S_{II}}, \quad DT_{\Phi} = \frac{Q_{\Phi}}{a_{II} S_{II}}, \quad s = \frac{s_{\text{Э}}}{S_{II}}, \quad a = \frac{a_{\text{Э}}}{a_{II}}. \quad (5)$$

Увівши безрозмірні

$$t = t / t_D; \quad t = (T - T_{\text{Э}}) / (T_D - T_{\text{Э}}),$$

одержимо рівняння для визначення температури в ПП

$$t_n = \frac{1 + Dt_{\phi}}{1 + as} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{1 + as}{1 + Dt_{\phi}} \cdot t_0 \right) \cdot e^{-(1+as) \cdot t} \right], \quad (6)$$

де  $t_0$  визначаємо із залежності для  $t$  при заміні  $\tau$  на  $T_0$ .

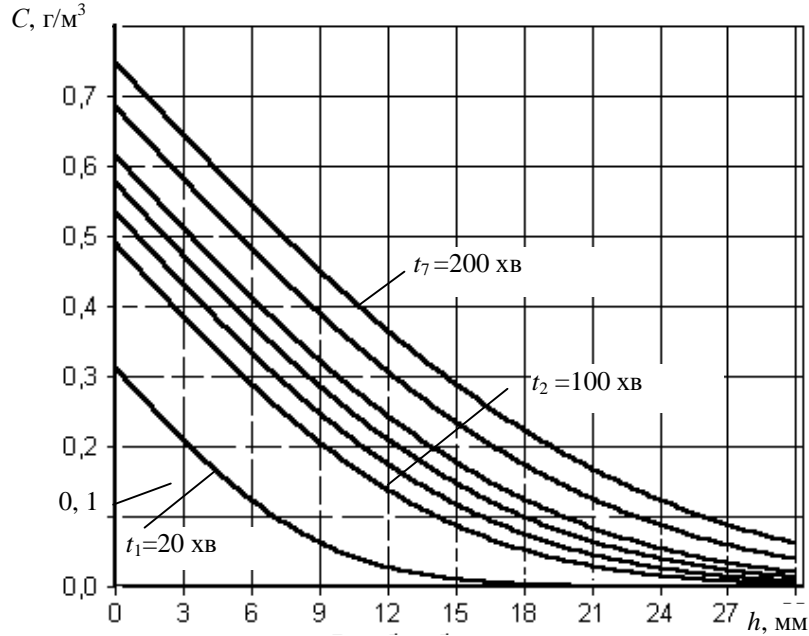


Рис. 1. Динаміка концентрації хлорбензолу у прошарках оболонки костюму з інтервалом 20 хв

Граничний (сталий) розподіл температури в ПП після закінчення тривалого проміжку часу визначаємо при  $t \rightarrow \infty$ .

При вихідних даних  $a_n \approx 2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $S_n \approx 4 \text{ м}^2$ ;  $V_n \approx 0,04 \text{ м}^3$ ;  $Q_{\phi} = 276 \text{ Вт}$  (робота середньої ваги) одержимо залежності температури ПП від  $s$  і  $a$ , результати якої наведено на рис. 2.

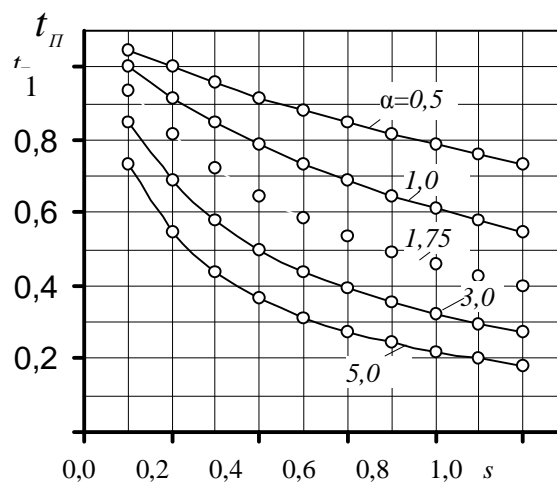


Рис. 2. Залежність температури підкостюмного простору від сумарної площини ОЕ

Отже, є можливість по фактичній площі поверхні всіх ОЕ й інтенсивності теплообміну між зовнішнім середовищем, ПП, ОЕ і тілом людини визначати граничну температуру в ПП. Крім цього, можна розв'язати зворотну задачу: якою повинна бути ця площа, а отже, і маса холодоагенту, щоб температура в ПП не перевищувала припустимої температури відповідно до фізіологічних вимог до ізолюючих засобів індивідуального захисту.

Розроблена математична модель й отримані результати досліджень використані при проектуванні газотеплозахисних костюмів, які перебувають на оснащенні підрозділів ДВГРС і можуть бути використані пожежно-рятувальними підрозділами МНС України для забезпечення безпечного й ефективного ведення аварійно-рятувальних робіт в екстремальних мікрокліматичних умовах.

1. Чумак А.С., Грядущий Б.А., Недавний А.Г. Загазирование шахт центрального района Донбаса продуктами химических производств // Уголь Украины. – 1991. – № 1. – С. 31–33.
2. Клименко Ю.В., Марийчук И.Ф., Карпекин В.В. Определение параметров водоледяного аккумулятора холода для противотепловой одежды горноспасателей // Науковий Вісник НГАУ України. – Дніпропетровськ, 2002. – С. 62–68.
3. Гаврилко О.А. Математичне моделювання нестационарного переносу тепла в захисному одязі пожежних і гірничорятувальників з водольодяною системою охолодження // Пожежна безпека: Зб. наук. праць, ЛПБ; УкрНДПБ МНС України. – № 3. – С. 76–82.

УДК 666.32

М.М. Гивлюд, І.В. Маргаль, В.Б. Назаревич\*  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельного виробництва,  
\* кафедра хімічної технології силікатів

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ КИСЛОТОСТІЙКОСТІ КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ

© Гивлюд М.М., Маргаль І.В., Назаревич В.Б., 2008

**Наведено удосконалену методику визначення кислотостійкості керамічних виробів та результати досліджень її використання.**

**In this article the presented is improved method of determination of acid proofness of ceramic wares, and results of researches of its use.**

**Постановка проблеми.** Потенційні споживачі, обираючи той чи інший предмет, замислюються про довговічність, гігієнічність, зручність користування та експлуатаційні можливості. Проте основними досі вважаються для фарфорового посуду його естетичні якості, оскільки споживач бажає тривалий час насолоджуватись красою оздоблення, білістю черепка, блиском. А для посуду, своєю чергою, збереження якості залежить від багатьох зовнішніх чинників, яких має зокрема кислотостійкість та лугостійкість.

Посуд постійно перебуває в контакті з харчовими продуктами, які містять кислоти; крім того, під час приготування часто використовують підкислювачі. Ступінь кислотності та концентрації солей здатні при багаторазовому використанні руйнувати оздоблення та поливу фарфорового посуду.

Згідно із стандартною методикою, поданою в ГОСТ 24970-88 “Посуда фарфоровая и фаянсовая. Метод определения кислотостойкости”, встановлений метод визначення кислотостійкості поливи і надполивного декоративного покриття побутового посуду із фарфору та фаянсу. Метод ґрунтується на визначенні стійкості поливи і декоративного покриття посуду до дії оцтової кислоти, оскільки в їжі і напоях переважно містяться оцтова, лимонна, винна і яблучна кислоти.