

*І.Ф. Дадашов, к.т.н., докторант, НУЦЗУ*

## **МОДЕЛЮВАННЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ РІДИНИ, ЩО ГОРИТЬ, ГРАНУЛАМИ ПІНОСКЛА**

(представлено д.т.н. Басмановим О.Є.)

Побудовано модель охолоджувальної дії гранул піноскла на поверхню рідини, що горить в резервуарі. На першому етапі охолоджувальна дія забезпечується механічним перемішуванням поверхневого шару рідини, викликаного подачею гранул. На другому етапі відбувається теплообмін між гранулами піноскла і рідиною, яка їх оточує.

**Ключові слова:** резервуар з горючою рідиною, піноскло, охолодження поверхні рідини, ліквідація пожежі.

**Постановка проблеми.** Гасіння пожеж в резервуарах характеризується підвищеною небезпекою і складністю внаслідок скупчення значних об'ємів горючих і легкозаймистих рідин на відносно невеликій площі, що призводить до загрози каскадного розповсюдження пожежі на сусідні резервуари. Першочерговими діями підрозділів ДСНС при гасінні таких пожеж є охолодження резервуара, що горить, і сусідніх з ним, підготовка і подача вогнегасної речовини в резервуар, що горить. Однією з проблем при цьому є охолодження поверхні рідини до температури, при якій її горіння стає неможливим.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш поширеною вогнегасною речовиною є піна середньої кратності, що подається зверху на поверхню рідини, що горить [1]. Як альтернатива також використовується підшарова подача піни низької кратності або подача «легкої води» на поверхню рідини зверху [2]. Основним недоліком зазначених вогнегасник речовин є їх хімічна нестійкість в умовах високих температур. Такого недоліку позбавлено піноскло [3]. Його гранули не руйнуються під впливом температури полум'я і плавають на поверхні рідини внаслідок того, що густина піноскла менше, ніж густина горючих рідин. В роботі [4] розглянуто тепловий вплив пожежі на резервуар з нафтопродуктом; локалізації пожеж в резервуарах присвячено роботу [2]. В роботі [6] запропоновано використовувати піноскло як один з компонентів вогнегасної системи для гасіння горючих рідин. В роботах [7, 8] встановлено, що шар піноскла уповільнює випарування горючих рідин. Крім того піноскло призведе до охолодження рідин, що горять. Але оцінку зменшення температури рідини в такому випадку проведено не було.

**Постановка завдання та його вирішення.** Метою роботи є побудова моделі охолодження поверхневого шару рідини, що горить в резервуарі, гранулами піноскла. Розглянемо подачу гранул піноскла на поверхню рідини, що горить в резервуарі. Будемо вважати, що піноскло покриває поверхню рідини шаром однакової товщини (рис. 1). При цьому товщина шару піноскла над поверхнею рідини  $h_1$  і під поверхнею  $h_2$

будуть пов'язані співвідношенням

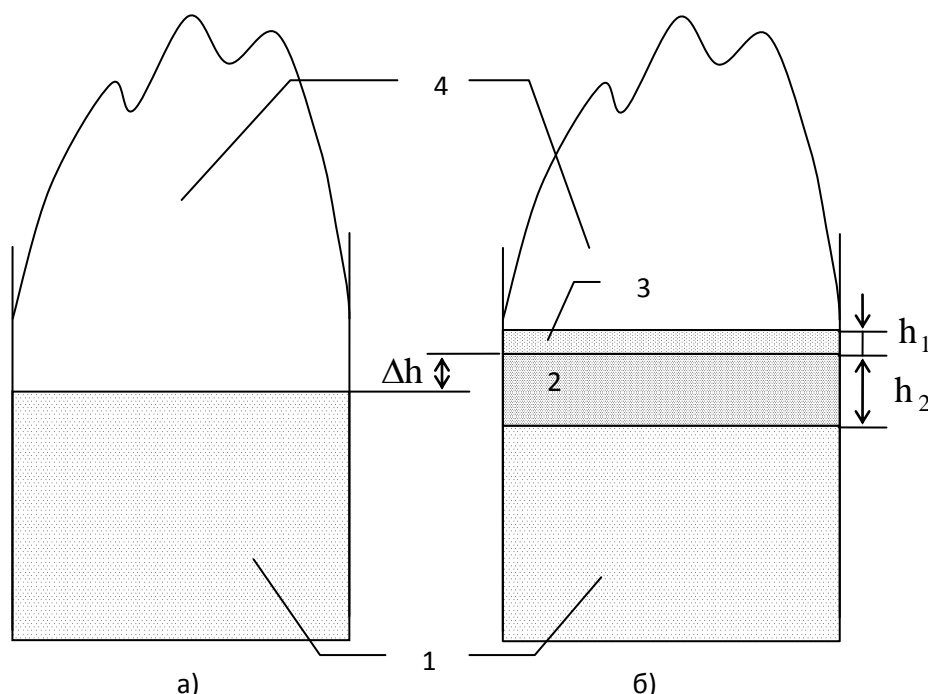
$$h_1 \rho_{\text{пс}} = h_2 (\rho_{\text{гр}} - \rho_{\text{пс}}), \quad (1)$$

де  $\rho_{\text{пс}}$  – густина піноскла;  $\rho_{\text{гр}}$  – густина горючої рідини,  $\rho_{\text{пс}} < \rho_{\text{гр}}$ .

Позначаючи  $h = h_1 + h_2$  – загальну товщину шару піноскла, і підставляючи її в (1), отримаємо

$$h_1 = h \frac{\rho_{\text{гр}} - \rho_{\text{пс}}}{\rho_{\text{гр}}}; \quad (2)$$

$$h_2 = h \frac{\rho_{\text{пс}}}{\rho_{\text{гр}}}. \quad (3)$$



**Рис. 1.** Горіння рідини в резервуарі: а) до подачі гранул піноскла; б) після подачі гранул піноскла; 1 – горюча рідина; 2 – шар піноскла під поверхню рідини; 3 – шар піноскла над поверхню рідини; 4 – полум'я

Внаслідок витіснення рідини піносклом, її рівень піднімається на величину  $\Delta h$  (рис. 1), значення якої визначається співвідношенням

$$V_{2\text{гр}} = S(h_2 - \Delta h), \quad (4)$$

де  $S$  – площа дзеркала рідини в резервуарі;  $V_{2\text{гр}}$  – об'єм горючої рідини в шарі піноскла, тобто загальний об'єм вільного простору між частинками піноскла, зануреного під поверхню рідини

$$V_{2\text{гр}} = V_2 - V_{2\text{пс}}, \quad (5)$$

де  $V_2 = Sh_2$  – загальний об’єм шару піноскла під поверхнею рідини;  
 $V_{2\text{пс}}$  – сума об’ємів окремих гранул піноскла під поверхнею рідини.

Відзначимо, що мають місце рівності

$$V_2 = \frac{m_2}{\rho_{\text{псн}}}; V_{2\text{пс}} = \frac{m_2}{\rho_{\text{пс}}}, \quad (6)$$

де  $m_2$  – маса піноскла під поверхнею рідини;  $\rho_{\text{псн}}$  – насипна густина піноскла. Із рівностей (6) випливає, що

$$V_{2\text{пс}} = V_2 \frac{\rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{пс}}}. \quad (7)$$

Об’єднуючи (5) і (7), отримаємо

$$V_{2\text{гр}} = V_2 \left( 1 - \frac{\rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{пс}}} \right). \quad (8)$$

Підстановка (8) в (3), (4) дає

$$\Delta h = h_2 \frac{\rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{пс}}} = h \frac{\rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{гр}}}.$$

Таким чином, подача гранул піноскла призводить до того, що поверхневий шар рідини товщиною

$$h_2 - \Delta h = h \frac{\rho_{\text{пс}}}{\rho_{\text{гр}}} - h \frac{\rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{гр}}} = h \frac{\rho_{\text{пс}} - \rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{гр}}} \quad (9)$$

збільшується до товщини

$$h_2 = h \frac{\rho_{\text{пс}}}{\rho_{\text{гр}}}$$

внаслідок розбавлення рідини гранулами піноскла. При цьому в горизонтальному перерізі, що проходить через шар піноскла під поверхнею рідини, площа, зайнята рідиною  $S_{\text{гр}}$ , буде складати

$$S_{\text{гр}} = S \frac{h_2 - \Delta h}{h_2}.$$

На гранули піноскла буде припадати площа  $S_{\text{пс}}$  :

$$S_{\text{пс}} = S - S_{\text{гр}} = S \frac{\Delta h}{h_2}.$$

Тоді відношення площ, що припадають на рідину і піноскло в горизонтальному перерізі, дорівнює

$$\frac{S_{\text{гр}}}{S_{\text{пс}}} = \frac{h_2 - \Delta h}{\Delta h} = \frac{\rho_{\text{пс}} - \rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{псн}}}. \quad (10)$$

Розглянемо випадок, коли горюча рідина не змочує поверхню піноскла. Тоді зменшення площі поверхні рідини, з якої надходять пари в зону горіння, призводить до пропорційного зменшення інтенсивності її вигорання. Таким чином, коефіцієнт послаблення інтенсивності вигорання рідини дорівнює

$$k = \frac{S_{\text{гр}}}{S} = \frac{h_2 - \Delta h}{h_2} = \frac{\rho_{\text{пс}} - \rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{пс}}}.$$

З формули (10) впливає оцінка відношення лінійних розмірів областей, зайнятими рідиною  $\ell_{\text{гр}}$  і піносклом  $\ell_{\text{пс}}$ :

$$\frac{\ell_{\text{гр}}}{\ell_{\text{пс}}} = \sqrt{\frac{S_{\text{гр}}}{S_{\text{пс}}}} = \sqrt{\frac{\rho_{\text{пс}} - \rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{псн}}}}. \quad (11)$$

З метою спрощення, замість тривимірної задачі про теплообмін рідини і гранул піноскла в поверхневому шарі товщиною  $h_2$ , розглянемо двовимірну задачу про теплообмін вертикального шару піноскла висотою  $h_2$  і товщиною  $\delta_{\text{пс}} = D/2$  і шару рідини тієї ж висоти і товщиною  $\delta_{\text{гр}} = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{\rho_{\text{пс}} - \rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{псн}}}}$ ;  $D$  – середній діаметр гранул. Товщини шарів рідини і піноскла підібрано таким чином, щоб задовольняти виразу (11). Всі сторони утвореної прямокутної області (рис. 2) будемо вважати теплоізольованими.

Подача піноскла викликає перемішування верхнього шару рідини. Будемо вважати, що по всій товщині шару рідини, що знаходиться між гранулами піноскла, відбувається осереднення температури

$$\bar{T} = \frac{1}{h_2 - \Delta h} \int_0^{h_2 - \Delta h} T(z) dz, \quad (12)$$

де  $T(z)$  – температура рідини на глибині  $z$ . В цьому випадку задача перетворюється на одновимірну задачу розповсюдження тепла у скінченному стрижні, який складається з двох матеріалів:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_{\text{пс}} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad -\delta_{\text{пс}} < x < 0, \quad (13)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a_{\text{гр}} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad 0 < x < \delta_{\text{гр}}, \quad (14)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=-\delta_{\text{пс}}} = 0, \quad \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=\delta_{\text{гр}}} = 0, \quad (15)$$

$$T|_{x=-0} = T|_{x=+0}, \quad \lambda_{\text{пс}} \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=-0} = \lambda_{\text{гр}} \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=+0}, \quad (16)$$

$$T|_{t=0} = \begin{cases} T_0, & -\delta_{\text{пс}} < x < 0, \\ \bar{T}, & 0 < x < \delta_{\text{гр}}, \end{cases} \quad (17)$$

де  $a_{\text{пс}}$ ,  $a_{\text{гр}}$  – коефіцієнти температуропровідності піноскла і горючої рідини відповідно;  $\lambda_{\text{пс}}$ ,  $\lambda_{\text{гр}}$  – коефіцієнти їх теплопровідності.

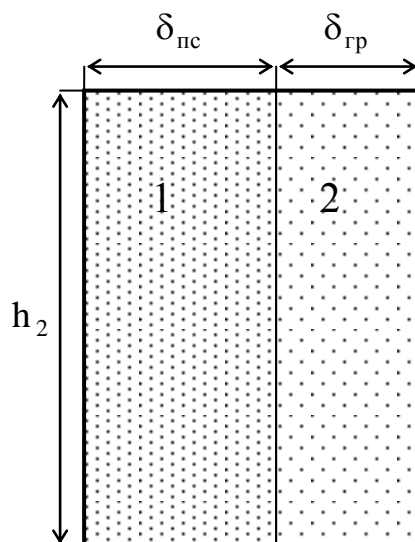


Рис. 2. Теплообмін шарів піноскла і рідини: 1 – піноскло; 2 – рідина

Крайові умови (15) відповідають теплоізолюваним кінцям, а умови (16) описують температуру на границі розділу піноскла і рідини. Задача (13)-(17) може бути розв'язана методом скінчених різниць. З цією метою розіб'ємо відрізок  $[-\delta_{\text{пс}}, 0]$  точками  $x_{-N} = -\delta_{\text{пс}}$ ,  $x_{-N+1}, \dots, x_0 = 0$  на  $N$  рівних відрізків довжиною  $\Delta x_{\text{пс}} = \frac{\delta_{\text{пс}}}{N}$ , а відрізок  $[0, \delta_{\text{гр}}]$  точками  $x_0 = 0$ ,  $x_1, \dots, x_M = \delta_{\text{гр}}$  на  $M$  рівних відрізків довжиною  $\Delta x_{\text{гр}} = \frac{\delta_{\text{гр}}}{M}$ . Вісь часу також розіб'ємо на відрізки довжиною  $\Delta t$ . Тоді рівняння (13) і (14) перетворяться на

$$T(x_i, t + \Delta t) = T(x_i, t) + a_{\text{пс}} \frac{T(x_{i+1}, t) - 2T(x_i, t) + T(x_{i-1}, t))}{\Delta x_{\text{пс}}^2} \Delta t,$$

$$T(x_i, t + \Delta t) = T(x_i, t) + a_{\text{гр}} \frac{T(x_{i+1}, t) - 2T(x_i, t) + T(x_{i-1}, t))}{\Delta x_{\text{гр}}^2} \Delta t,$$

$$-N < i < 0,$$

$$-0 < i < M.$$

Значення температури в точці контакту рідини і піноскла:

$$T(x_0, t) = \frac{\frac{\lambda_{\text{пс}}}{\Delta x_{\text{пс}}} T(x_{-1}, t) + \frac{\lambda_{\text{гр}}}{\Delta x_{\text{гр}}} T(x_1, t)}{\frac{\lambda_{\text{пс}}}{\Delta x_{\text{пс}}} + \frac{\lambda_{\text{гр}}}{\Delta x_{\text{гр}}}}.$$

Крайові умови (15) набудуть вигляду:

$$T(x_{-N}, t) = T(x_{-N+1}, t), \quad T(x_M, t) = T(x_{M-1}, t).$$

Початкова умова (17) перетворюється на

$$T(x_i, 0) = \begin{cases} T_0, & -N \leq i < 0, \\ \frac{\frac{\lambda_{\text{пс}}}{\Delta x_{\text{пс}}} T_0 + \frac{\lambda_{\text{гр}}}{\Delta x_{\text{гр}}} \bar{T}}{\frac{\lambda_{\text{пс}}}{\Delta x_{\text{пс}}} + \frac{\lambda_{\text{гр}}}{\Delta x_{\text{гр}}}}, & i = 0, \\ \bar{T}, & 0 < i \leq M. \end{cases}$$

Застосовуючи схему скінчених різниць, послідовно знайдемо розподіли температур в піносклі та горючій рідині в моменти часу  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ , ...

Початкова умова (17) містить значення початкової температури рідини  $\bar{T}$ , яка визначається формулою (12) і залежить від розподілу температури по глибині рідини, що горить. Характер розподілу температури визначається типом рідини. Існують два типи горючих рідин:

- рідини, що горять з утворенням гомотермічного шару;
- рідин, що горять без утворення гомотермічного шару.

Розглянемо кожну з можливостей.

Рідини, що горять з утворенням гомотермічного шару. Для такого класу рідин розподіл температури по глибині задається виразом

$$T(z) = \begin{cases} T_{\text{гом}}, & 0 \leq z \leq vt, \\ T_0, & z > vt, \end{cases} \quad (18)$$

де  $T_{\text{гом}}$  – температура гомотермічного шару;  $T_0$  – початкова температура рідини в резервуарі, що дорівнює температури навколишнього середо-

вища;  $v$  – швидкість утворення гомотермічного шару;  $t$  – час вільного горіння рідини.

Підстановка (18) в (12) дозволяє отримати температуру рідини в шарі між гранулами піноскла

$$\bar{T} = \begin{cases} T_{\text{ГОМ}}, & h_2 - \Delta h \leq vt, \\ \frac{T_{\text{ГОМ}}vt + T_0(h_2 - \Delta h - vt)}{h_2 - \Delta h}, & h_2 - \Delta h > vt. \end{cases} \quad (19)$$

Позначимо безрозмірну товщину шару піноскла через

$$H_1 = \frac{h_2 - \Delta h}{vt} = \frac{h}{vt} \frac{\rho_{\text{пс}} - \rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{гр}}}. \quad (20)$$

Тоді (19) перетвориться на

$$\bar{T} = \begin{cases} T_{\text{ГОМ}}, & H_1 \leq 1, \\ T_0 + \frac{T_{\text{ГОМ}} - T_0}{H_1}, & H_1 > 1. \end{cases}$$

Переходячи до безрозмірної температури

$$\theta_1 = \frac{T - T_0}{T_{\text{ГОМ}} - T_0},$$

отримаємо

$$\bar{\theta}_1 = \begin{cases} 1, & H_1 \leq 1, \\ \frac{1}{H_1}, & H_1 > 1. \end{cases} \quad (21)$$

Аналіз виразу (21) показує, що в інтервалі  $H_1 > 1$  температура верхнього шару рідини монотонно зменшується зі збільшенням товщини шару піноскла і асимптотично наближується до температури навколишнього середовища. Отже, за умови того, що температура гасіння рідини (за яку приймемо її температуру спалаху) вище ніж температура навколишнього середовища, достатня товщина шару піноскла забезпечує гасіння рідини внаслідок охолодження її поверхневого шару шляхом його перемішування.

Рідини, що горять без утворення гомотермічного шару. Будемо вважати, що температура поверхні такої рідини дорівнює температурі кипіння  $T_{\text{кип}}$ .

Розподіл температури по глибині рідини наближено приймемо таким, як і в напівнескінченному стрижні [9]

$$T(z) = T_{\text{кип}} - (T_{\text{кип}} - T_0) \operatorname{erf} \left( \frac{z}{2\sqrt{a_{\text{гр}} t}} \right), \quad z \geq 0. \quad (22)$$

Підстановка (22) в (12) дає

$$\begin{aligned} \bar{T} &= \frac{1}{h_2 - \Delta h} \int_0^{h_2 - \Delta h} \left[ T_{\text{кип}} - (T_{\text{кип}} - T_0) \operatorname{erf} \left( \frac{z}{2\sqrt{a_{\text{гр}} t}} \right) \right] dz = \\ &= T_{\text{кип}} - \frac{T_{\text{кип}} - T_0}{h_2 - \Delta h} \int_0^{h_2 - \Delta h} \operatorname{erf} \left( \frac{z}{2\sqrt{a_{\text{гр}} t}} \right) dz = \\ &= T_{\text{кип}} - (T_{\text{кип}} - T_0) \operatorname{erf}(H_2) + \frac{T_{\text{кип}} - T_0}{H_2 \sqrt{\pi}} (1 - \exp[-H_2^2]), \end{aligned} \quad (23)$$

де  $H_2$  – безрозмірна товщина шару піноскла

$$H_2 = \frac{h_2 - \Delta h}{2\sqrt{a_{\text{гр}} t}} = \frac{h}{2\sqrt{a_{\text{гр}} t}} \frac{\rho_{\text{пс}} - \rho_{\text{псн}}}{\rho_{\text{гр}}}. \quad (24)$$

Введемо в розгляд безрозмірну температуру  $\theta_2$ :

$$\theta_2 = \frac{T - T_0}{T_{\text{кип}} - T_0}.$$

Тоді (23) набуває вигляду (рис. 3)

$$\bar{\theta}_2 = 1 - \operatorname{erf}(H_2) + \frac{1}{H_2 \sqrt{\pi}} (1 - \exp[-H_2^2]).$$

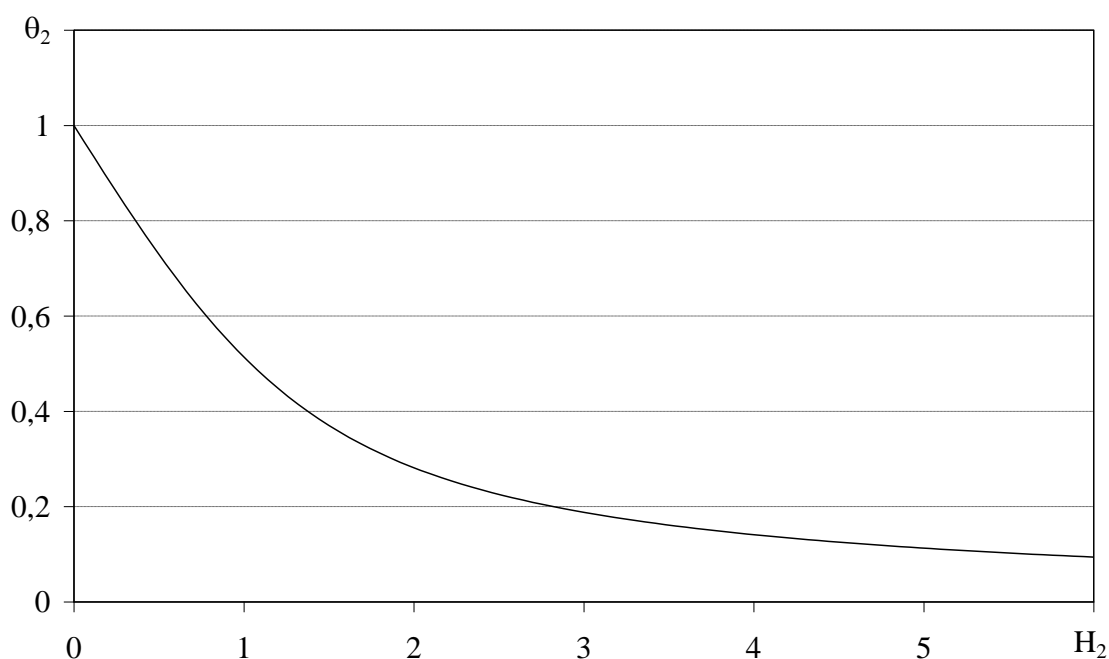
Аналіз залежності, наведеної на рис. 3, свідчить, що зі збільшенням шару піноскла температура верхнього шару рідини монотонно спадає, асимптотично наближуючись до температури навколишнього середовища  $T_0$ . Якщо температура гасіння рідини  $T_r$  більше температури навколишнього середовища, то при достатній товщині шару піноскла, гасіння рідини відбувається внаслідок охолодження верхнього шару рідини за рахунок перемішування рідини.

Із виразів (20), (24) випливає, що із збільшенням густини піноскла  $\rho_{\text{пс}}$  збільшується охолоджувальний ефект від перемішування поверхнього шару рідини, оскільки в цьому випадку в перемішуванні приймають участь більш глибокі і холодні шари рідини.

В якості прикладу розглянемо горіння ємності з деканом



( $C_{10}H_{22}$ ) – легкозаймистою рідиною, що горить без утворення гомотермічного шару;  $\rho_{гр} = 734 \text{ кг/м}^3$ ,  $T_{кип} = 174 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $T_r = 47 \text{ }^\circ\text{C}$  [10]; коефіцієнт температуропровідності  $a_{гр} = 0,87 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ . Прийmemo час вільного горіння рідини  $t_1 = 120 \text{ с}$ . Параметри піноскла:  $\rho_{пс} = 200 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{псн} = 105 \text{ кг/м}^3$ ,  $a_{пс} = 7,9 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ ; середній діаметр гранул  $D = 1 \text{ см}$ ; загальна товщина шару піноскла після подачі в ємність з рідиною, що горить,  $h = 15 \text{ см}$ . Початкова температура піноскла дорівнює температурі навколишнього середовища  $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .



**Рис. 3. Залежність безрозмірної температури шару рідини між гранулами піноскла в залежності від безрозмірної товщини шару піноскла**

Розрахунки за формулами (2), (3) дають товщину шару піноскла над поверхнею рідини  $h_1 = 11 \text{ см}$ , під поверхнею рідини –  $h_2 = 4 \text{ см}$ . При цьому переміщується поверхневий шар рідини товщиною  $2 \text{ см}$ , а його середня температура складає  $\bar{T} = 49 \text{ }^\circ\text{C}$ , що вище температури гасіння  $T_r = 47 \text{ }^\circ\text{C}$ . Подальше охолодження цього шару рідини відбувається за рахунок теплообміну з гранулами піноскла (рис 4).

Аналіз залежностей на рис. 4 свідчить, що протягом  $80 \text{ с}$  поверхневий шар горючої рідини охолоджується до температури  $T = 46 \text{ }^\circ\text{C}$ , що менше температури гасіння. Внаслідок цього відбувається гасіння рідини.

Відзначимо, що наявність піноскла над поверхнею рідини зменшує тепловий потік до неї від зони горіння, що також призводить до зменшення інтенсивності горіння.

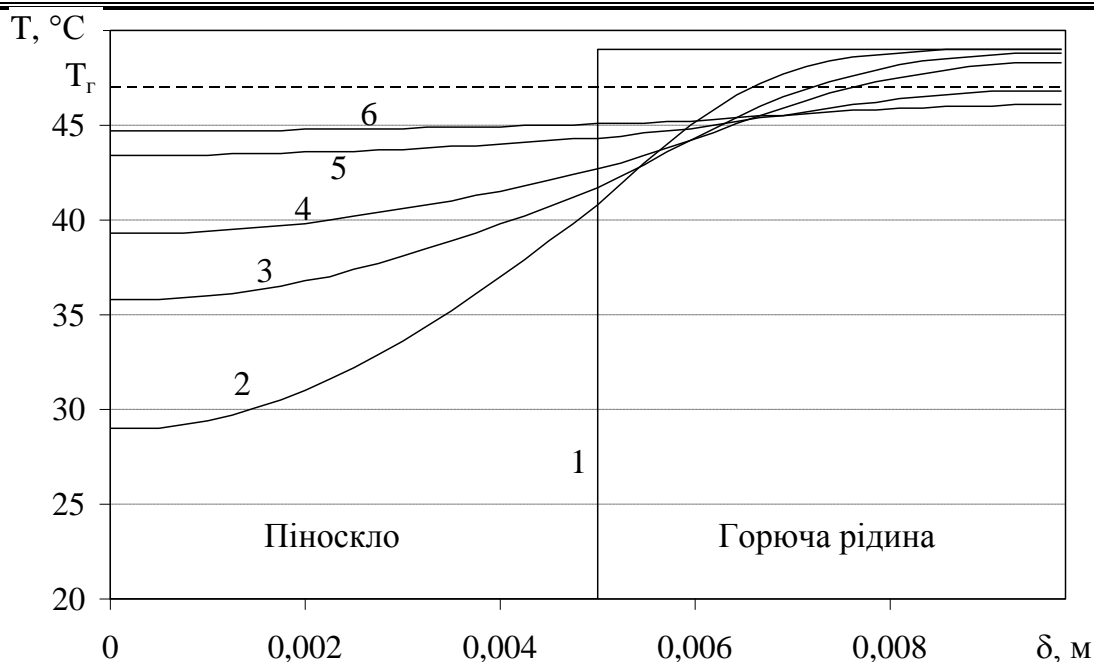


Рис. 4. Зміна розподілу температури в піносклі і поверхневому шарі рідини з часом: 1 –  $t=0$ ; 2 –  $t=10$  с; 3 –  $t=20$  с; 4 –  $t=30$  с; 5 –  $t=60$  с; 6 –  $t=80$  с

**Висновки.** Побудовано модель охолодження поверхневого шару рідини, що горить в резервуарі, гранулами піноскла. Показано, що охолоджувальна дія забезпечується двома механізмами. Спочатку відбувається механічне перемішування поверхневого шару рідини з менш гарячими нижніми шарами, викликане подачею гранул піноскла на поверхню рідини. Далі відбувається теплообмін між гранулами і рідиною, що їх оточує, що призводить до відбору тепла від поверхневого шару рідини.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Шароварников А.Ф. Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов [Текст] / А.Ф. Шароварников, В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шароварников. – М.: Калан. 2002. – 448 с.

2. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою і нафтопродуктами. НАПБ 05.02: Офіц. вид. – К.: М-во з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. 2003. – 81 с. – (нормативний документ МНС України. Інструкція). Режим доступу: [http://univer.nuczu.edu.ua/tmp\\_metod/950/Nafta-Instrukcia8S.pdf](http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/950/Nafta-Instrukcia8S.pdf).

3. Дадашов И.Ф. Замедление испарения жидкости слоем гранулированного материала, нанесённого на её поверхность / И.Ф. Дадашов, А.Я. Шаршанов, А.А. Киреев // Проблемы пожарной безопасности, 2017, вып. 41. – С. 53-58. Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5946>.

4. Абрамов Ю.А. Моделирование нагрева резервуара под действием излучения пожара [Текст] / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов // Вісник міжнародного слов'янського університету, 2004, т. 7, № 2. – С. Режим

доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/1078>.

5. Басманов А.Е. Локализация пожаров в резервуарах с нефтепродуктами [Текст] / А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк. – Харьков: НУГЗУ. 2011. – 108 с. Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/261>.

6. Пат. 123563 Україна, МПК А 62 С 3/06, А 62 D 1/00. Спосіб гасіння резервуарів з горючими та легкозаймистими рідинами / Дадашов І.Ф., Кіреєв О.О., Тарадуда Д.В., заявник і патентовласник Національний університет цивільного захисту України. – № 201710836. Заявл. 06.11.2017; надр. 26.02.2018; Бл. № 4. – 4 с.

7. Дадашов И.Ф. Замедление испарения жидкости слоем гранулированного материала, нанесённого на её поверхность / И.Ф. Дадашов, А.А. Киреев, А.Я. Шаршанов, // Проблемы пожарной безопасности. – 2017. – Вып. 41. – С. 53 – 58. Режим доступа: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5946>.

8. Дадашов И.Ф. Экспериментальное исследование испарения бензина через слой гранулированного пеностекла / И.Ф. Дадашов // Проблемы пожарной безопасности. – 2017. – Вып.42. – С. 27-32. Режим доступа: [http://nuczu.edu.ua/rus/science/y\\_ppb/archive/v42](http://nuczu.edu.ua/rus/science/y_ppb/archive/v42).

9. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики / Д.А. Полянин. – Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2001, 576 с.

10. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения: кн. 1 / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – Москва, Химия, 1990. – 496 с.

*Отримано редколегією 27.09.2018*

И.Ф. Дадашов

**Моделирование охлаждения поверхностного слоя горячей жидкости гранулами пеностекла**

Построена модель охлаждающего действия гранул пеностекла на поверхность жидкости, горячей в резервуаре. На первом этапе охлаждающее действие обеспечивается механическим перемешиванием поверхностного слоя жидкости, вызванным подачей гранул. На втором этапе происходит теплообмен между гранулами пеностекла и окружающей их жидкостью.

**Ключевые слова:** резервуар с горючей жидкостью, пеностекло, охлаждение поверхности жидкости, ликвидация пожара.

I. Dadashov

**Modelling the cooling the surface layer of burning liquid by foam glass granules**

The model of cooling the surface layer of burning liquid in fuel tank by foam glass granules is built. At the first stage the cooling effect is provided by mechanically mixing the surface layer of the liquid caused by the feeding the granules. At the second stage heat exchange occurs between the foam glass granules and the surrounding liquid.

**Keywords:** fuel tank, foam glass, cooling the liquid surface, liquidation of a fire.