

УДК 541.49:544.169:539.199

Д. Г. Трегубов¹, к.т.н., доцент, докторант (ORCID 0000-0003-1821-822X)

О. О. Кіреєв¹, д.т.н., професор, проф. каф. (ORCID 0000-0002-8819-3999)

Л.М. Трефілова¹, д.т.н., с.н.с., проф. каф. (ORCID 0000-0001-8939-6491)

М. А. Чиркіна¹, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-2060-9142)

І. Ф. Дадашов², д.т.н., доцент, декан фак. (ORCID 0000-0002-1533-1094)

¹*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

²*Академія Міністерства з надзвичайних ситуацій Азербайджанської
Республіки, Баку, Азербайджан*

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАЛАНСУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАВУЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ ГАЛЬМУВАННЯ ВИПАРОВУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ РІДИН

Встановлено баланс внесків властивостей засобів, призначених для гальмування випаровування рідин та забезпечення безпечних концентрацій пари, у залежності від значень характерних температур та водорозчинності. Доведено, що обмеження розмірів парогазової хмари досягається засобами ізоляції або охолодження поверхні рідини. Показано, що подовжену дію таких засобів можуть забезпечити лише закритопористі плавучі тверді матеріали (наприклад, піноскло) і піни, що тверднуть. Акцентовано увагу на таких недоліках вказаних засобів, як мала ізолююча здатність піноскла та незначна охолоджуюча здатність, а для твердіючої піни – горючість. Дослідним шляхом встановлено наявність менших коефіцієнтів гальмування випаровування гелем для рідин з більшою водорозчинністю. Дослідним шляхом встановлено наявність більшої охолоджуючої здатності у вологого піноскла, ніж у сухого, у 5–6 разів з близькою залежністю для охолодження полярних та неполярних рідин. Показано, що охолоджуючий ефект від подавання піноскла менший для рідин з більшою теплою випаровування, причому ця різниця приблизно однакова для випадків подавання як сухого, так і вологого піноскла. Встановлено, що для легкокиплячих неполярних рідин ізоляція випаровування більш ефективно досягається за використання ізолюючої системи на основі сухого піноскла з шаром гелю, а для важкокиплячих рідин – за умови подачі охолоджуючої системи у вигляді вологого піноскла. Визначено, що додатковий внесок у запобігання та припинення горіння за використання водовмісних засобів на основі піноскла надає флегматизація повітряного простору над поверхнею рідини водяною парою. Доведено, що зменшення масової швидкості вигорання та ефект пожежогасіння за нанесення на поверхню горючої рідини шару піноскла відбувається схожим чином для рідин з близькими молярними масами, а не температурами спалаху.

Ключові слова: випаровування, вигорання, масова швидкість, ізоляція, охолодження, плавучий засіб, піноскло, гель

1. Вступ

Великі кількості небезпечних рідин найчастіше зберігають на складах паливно-мастильних матеріалів. Також можлива наявність на промислових майданчиках виробництв значних кількостей горючих або токсичних рідин для

1. надійний ізоляційний ефект надає вогнегасна система, яка складається з зернистого піноскла фракції 1–1,5 см шаром 15 см та гелю з суцільним шаром 1,5 мм, який утворюється за інтенсивності подавання компонентів 0,8 г/см². Така система забезпечує для неполярних рідин показник $K=30$, для полярних рідин $K=4$, стабільний у часі. Розроблено формулу (1), яка прогнозує для ізоляції гелем показник K у діапазоні до 40 для рідин з різною водорозчинністю за температур середовища 15–25 °С та витрат утворення гелю до 0,45 г/см².

2. Досліджено особливості ефекту охолодження поверхні полярних та неполярних рідин за подавання плавучих систем на основі зернистого піноскла. Визначено, що гасіння легкокиплячих рідин ефективніше здійснювати шляхом подавання ізолюючих засобів, а важкокиплячих – шляхом подавання охолоджуючих засобів. Найбільш надійними засобами для цього виявились системи на основі зернистого піноскла. Встановлено, що однаковий ефект пожежогасіння важкокиплячих рідин сухим піносклом досягається для рідин з близькою молярною масою. Так, молярна маса гептанолу становить 116 г/моль, а октану – 114 г/моль, тому їх гасіння забезпечується шаром сухого піноскла – 10 см. Досягнуто спрощення гасіння важкокиплячих неполярних рідин та підвищення ефективності гасіння полярних рідин за рахунок подачі піноскла у змоченому вигляді, що інтенсифікує охолодження поверхневого шару та додає ефект флегматизації полум'я парою води. По відношенню до застосування сухого піноскла впровадження змочування збільшує охолоджуючий ефект у 5–6 разів та дозволяє зменшити вогнегасний шар піноскла на 2–3 см. Доведено, що найбільш тривалий та якісний ізоляційний ефект забезпечує система, яка складається з зернистого піноскла фракції 1–1,5 см шаром 15 см та гелю з суцільним шаром 1,5 мм за інтенсивності формування 0,8 г/см².

Література

1. Semichaevsky S., Yakimenko M., Osadchuk M. Regarding emergency spillage of flammable liquids. Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Технічні науки. 2021. Т. 32(71). № 3. Р. 219–225. doi: 10.32838/2663-5941/2021.3/33
2. Saravanan R., Karunanithi T., Govindarajan L. A Risk Assessment Methodology for Toxic Chemicals Evaporation from Circular Pools. J. Appl. Sci. Environ. Manage. 2007. Vol. 1. P. 91–100. doi: 10.4314/jasem.v1i1i.46841
3. Loboichenko V., Strelets V., Gurbanova M., Morozov A., Kovalov P., Shevchenko R., Kovalova T., Ponomarenko R. Review of Environmental Characteristics of Fire Extinguishing Substances of Different Composition used for Fires Extinguishing of Various Classes. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. Vol. 14. P. 5925–5941. doi: 10.36478/jeasci.2019.5925.5941
4. Kireev A., Tregubov D., Safronov S., Saveliev D. Study Insulating and Cooling Properties of the Material on the Basis of Crushed Foam Glass and Determination of its Extinguishing Characteristics with the Attitude to Alcohols. Materials Science Forum. 2020. Vol. 1006. P. 62–69. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.1006.62
5. Боровиков В. Гасіння пожеж у резервуарах для зберігання нафти та нафтопродуктів. Пожежна та техногенна безпека. 2015. № 11(26). С. 28–29. URL: <http://eom.com.ua/index.php/topic,16176.msg137533.html#msg137533>

6. Glassman I., Yetter R. A. *Combustion*. London: Elsevier, 2014. 757 p. Doi:10.1016/C2011-0-05402-9
7. Korolov R., Kovalyshyn V., Shtajn B. Analysis of methods for extinguishing fires in reservoirs with oil products by a combined method. *ScienceRise*. 2017. № 6(35). P. 41–50. doi: 0.15587/2313-8416.2017.104613
8. Balanyuk V. M., Kozyar N. M., Garasymuyk O. I. Study of fire-extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aerosol-nitrogen mixtures. *Eastern-european journal of enterprise technologies. Technical science*. 2016. № 3/10(71). P. 4–12. doi: 10.15587/1729-4061.2016.72399
9. Balanyuk, V., Kravchenko, A., Harasymyuk, O. Reducing the intensity of thermal radiation at the sublayer extinguishing of alcohols by ecologically acceptable aerosols. *Eastern-european journal of enterprise technologies. Technical science*. 2021. Vol. 1/10(109). P. 37–44. doi: 10.15587/1729-4061.2021.225216
10. Трегубов Д. Г., Тарахно О. В. Розбавлення пароповітряного простору парю негорючого компонента. *Проблеми пожежної безпеки*. 2013. № 33. С. 183–187. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3205>
11. Pietukhov R., Kireev A., Tregubov D., Hovalenkov S. Experimental Study of the Insulating Properties of a Lightweight Material Based on Fast-Hardening Highly Resistant Foams in Relation to Vapors of Toxic Organic Fluids. *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1038. P. 374–382. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.1038.374
12. Un procedimiento para la preparacion de un gel de poliacrilato sodico. Pat. ES 8901936: A62C 5/033, C09K 21/14. № 2 018 370; Fecha de presentacion: 02.06.89; Fecha de publicacion del folleto de patente: 01.04.91. URL: <https://patents.google.com/patent/ES2545370T3/es>
13. Dadashov I., Kireev A., Kirichenko I., Kovalev A., Sharshanov A. Simulation of the insulating properties of two-layer material. *Functional materials*. 2018. Vol. 25(4). С. 774–779. doi: 10.15407/fm25.04.774
14. Eom J. H., Kim Y. W., Raju S. Processing and properties of macroporous silicon carbide ceramics. *Journal of Asian Ceramic Societies*. 2013. Vol. 1(3). P. 220–242. doi: 10.1016/j.jascer.2013.07.003
15. Дадашов І., Кіреєв О., Трегубов Д., Тарахно О. Гасіння горючих рідин твердими пористими матеріалами та гелеутворюючими системами. Х.: НУЦЗУ, 2021. 240 с. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14033>
16. PubChem. Compound summary. URL: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>
17. Bubbico R., Mazzarotta B. Predicting Evaporation Rates from Pools. *Chemical engineering transactions. Servizi S.r.l*. 2016. Vol. 48. P. 49–54. doi: 10.3303/CET1648009
18. Tregubov D., Tarakhno O., Deineka V., Trehubova F. Oscillation and Stepwise of Hydrocarbon Melting Temperatures as a Marker of their Cluster Structure. *Solid State Phenomena*. 2022. Vol. 334. P. 124–130. doi: 10.4028/p-3751s3
19. Трегубов Д., Шаршанов А., Соколов Д., Трегубова Ф. Прогнозування найменших надмолекулярних структур алканів нормальної та ізомерної будови. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2022. № 35. С. 63–75. doi: 10.52363/2524-0226-2022-35-5
20. Doroshenko I. Yu. Spectroscopic study of cluster structure of n-hexanol

trapped in an argon matrix. *Low Temperature Physics*. 2017. № 3(6). P. 919–926. doi: 10.1063/1.4985983

21. Pietukhov, R., Kireev, A., Slepuzhnikov, E., Chyrkina, M., Savchenko, A. Lifetime research of rapid-hardening foams. *Problems of Emergency Situations*. 2020. № 1(31). C. 226–223. doi: 10.5281/zenodo.3901986

D. Tregubov¹, PhD, Associate Professor, Doctoral Student

O. Kireev¹, DSc, Professor, Professor of the Department

L. Trefilova¹, DSc, Senior Researcher, Professor of the Department

M. Chyrkina¹, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

I. Dadashov², DSc, Head of the Faculty

¹National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

²Academy of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

ENSURING THE BALANCE OF PROPERTIES OF FLOATING SYSTEMS TO SLOW DOWN THE EVAPORATION OF HAZARDOUS LIQUIDS

The means properties contributions ratio designed to prevent the liquids evaporation and ensure safe vapor concentrations, depending on the values of characteristic temperatures and water solubility, was established. It is proven that limiting the vapor-gas cloud size is achieved by means of the liquid surface insulation or cooling. It is shown that only floating closed-pore solid materials (f.e., foam glass) and solidifying foams can provide a prolonged effect of such means. Attention is focused on specified means disadvantages, such as the low insulating ability of the foam glass and insignificant cooling ability, and for foam that hardens – also the flammability. The existence of lower coefficients of the evaporation retardation by the gel for liquids with greater water solubility was established experimentally. Experimentally, it was established that wet foam glass has a greater cooling capacity than dry foam glass by 5–6 times, with a close dependence for cooling polar and non-polar liquids. It is shown that the cooling effect of the feeding foam glass is smaller for liquids with a vaporization higher heat, and this difference is approximately the same for the cases of the feeding both dry and wet foam glass. It was found that for low-boiling non-polar liquids, the evaporation insulation is more effectively achieved by using an insulating system based on dry foam glass with a gel layer, and for hard-boiling liquids – provided that the cooling system is supplied in the form of the wet foam glass with an additional effect in the form of the air space phlegmatization above the liquid surface with water vapor. It has been proven that reduction of the burning mass rate and the fire extinguishing effect achievement by applying the foam glass layer on the combustible liquid surface occurs in a similar way for liquids with close molar masses and not flash temperatures.

Keywords: evaporation, burnout, mass burnup rate, insulation, cooling, buoyant agent, foam glass, gel

References

1. Semichaevsky, S., Yakimenko, M., Osadchuk, M. (2021). Regarding emergency

spillage of flammable liquids. *Vcheni zapysky TNU im. V.I. Vernads'koho. Tekhnichni nauky*, 32(71), 3, 219–225. doi: 10.32838/2663-5941/2021.3/33

2. Saravanan, R., Karunanithi, T., Govindarajan, L. (2007). A Risk Assessment Methodology for Toxic Chemicals Evaporation from Circular Pools. *J. Appl. Sci. Environ. Manage*, 1, 91–100. doi: 10.4314/jasem.v11i1.46841

3. Loboichenko, V., Strelets, V., Gurbanova, M., Morozov, A., Kovalov, P., Shevchenko, R., Kovalova, T., Ponomarenko, R. (2019). Review of Environmental Characteristics of Fire Extinguishing Substances of Different Composition used for Fires Extinguishing of Various Classes. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14, 5925–5941. doi: 10.36478/jeasci.2019.5925.5941

4. Kireev, A., Tregubov, D., Safronov, S., Saveliev, D. (2020). Study Insulating and Cooling Properties of the Material on the Basis of Crushed Foam Glass and Determination of its Extinguishing Characteristics with the Attitude to Alcohols. *Materials Science Forum*, 1006, 62–69. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.1006.62

5. Borovykov, V. (2015). Hasinnya pozhezh u rezervuarakh dlya zberihannya nafty ta naftoproduktiv. *Pozhezhna ta tekhnohenna bezpeka*, 11(26), 28–29. URL: <http://eom.com.ua/index.php/topic,16176.msg137533.html#msg137533>

6. Glassman, I., Yetter, R. A. (2014). *Combustion*. London: Elsevier. Doi:10.1016/C2011-0-05402-9

7. Korolov, R., Kovalyshyn, V., Shtajn, B. (2017). Analysis of methods for extinguishing fires in reservoirs with oil products by a combined method. *ScienceRise*, 6(35), 41–50. doi: 10.15587/2313-8416.2017.104613

8. Balanyuk, V. M., Kozyar, N. M., Garasymuyk, O. I. (2016). Study of fire-extinguishing efficiency of environmentally friendly binary aerosol-nitrogen mixtures. *Eastern-european journal of enterprise technologies. Technical science*, 3/10(71), 4–12. doi: 10.15587/1729-4061.2016.72399

9. Balanyuk, V., Kravchenko, A., Harasymyuk, O. (2021). Reducing the thermal radiation intensity at the sublayer extinguishing of alcohols by ecologically acceptable aerosols. *Eastern-european journal of enterprise technologies. Technical science*, 1/10(109), 37–44. doi: 10.15587/1729-4061.2021.225216

10. Trehubov, D. H., Tarakhno, O. V. (2013). Rozbavlennya paropovitryanoho prostoru paroyu nehoryuchoho komponentu. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, 33, 183–187. Retrieved from: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/3205>

11. Pietukhov, R., Kireev, A., Tregubov, D., Hovalenkov, S. (2021). Experimental Study of the Insulating Properties of a Lightweight Material Based on Fast-Hardening Highly Resistant Foams in Relation to Vapors of Toxic Organic Fluids. *Materials Science Forum*, 1038, 374–382. doi: 10.4028/www.scientific.net/msf.1038.374

12. Un procedimiento para la preparacion de un gel de poliacrilato sodico. Pat. ES 8901936: A62C 5/033, C09K 21/14, 2 018 370; Fecha de presentacion: 02.06.89; Fecha de publicacion del folleto de patente: 01.04.91. Retrieved from: <https://patents.google.com/patent/ES2545370T3/es>

13. Dadashov, I., Kireev, A., Kirichenko, I., Kovalev, A., Sharshanov, A. (2018). Simulation of the insulating properties of two-layer material. *Functional materials*, 25(4), 774–779. doi: 10.15407/fm25.04.774

14. Eom, J. H., Kim, Y. W., Raju, S. (2013). Processing and properties of

macroporous silicon carbide ceramics. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 1(3), 220–242. doi: 10.1016/j.jascer.2013.07.003

15. Dadashov, I. F., Kiryeyev, O. O., Trehubov, D. H., Tarakhno, O. V. (2021). Hasinnya horyuchykh ridyn tverdymy porystymy materialamy ta helevtoryuyuchymy systemamy. Kh.: NUTSZU. Retrieved from: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/14033>

16. PubChem. Compound summary. Retrieved from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

17. Bubbico, R., Mazzarotta, B. (2016). Predicting Evaporation Rates from Pools. *Chemical engineering transactions*, 48, 49–54. doi: 10.3303/CET1648009

18. Tregubov, D., Tarakhno, O., Deineka, V., Trehubova, F. (2022). Oscillation and Stepwise of Hydrocarbon Melting Temperatures as a Marker of their Cluster Structure. *Solid State Phenomena*, 334, 124–130. doi: 10.4028/p-3751s3

19. Trehubov, D., Sharshanov, A., Sokolov, D., Trehubova, F. (2022). Forecasting the smallest super molecular formations for alkanes of normal and isomeric structure. *Problems of Emergency Situations*, 35, 63–75. doi: 10.52363/2524-0226-2022-35-5

20. Doroshenko, I. Yu. (2017). Spectroscopic study of cluster structure of n-hexanol trapped in an argon matrix. *Low Temperature Physics*, 3(6), 919–926. doi: 10.1063/1.4985983

21. Pietukhov, R., Kireev, A., Slepuzhnikov, E., Chyrkina, M., Savchenko, A. (2020). Lifetime research of rapid-hardening foams. *Problems of Emergency Situations*, 1(31), 226–223. doi: 10.5281/zenodo.3901986