



DIGITAL TRANSFORMATION OF SOCIETY: THEORETICAL AND APPLIED APPROACHES

Katowice, 2021



DIGITAL TRANSFORMATION OF SOCIETY: THEORETICAL AND APPLIED APPROACHES

Edited by Magdalena Wierzbik-Strońska
and Oleksandr Nestorenko

Series of monographs
Faculty of Architecture,
Civil Engineering and Applied Arts
University of Technology, Katowice
Monograph 46

Publishing House of University of Technology, Katowice, 2021

| | |
|---|-----|
| Part 3. Innovative and Information Technologies in Economics and Management | 448 |
| 3.1. Innovative technologies of social work in the conditions of globalization | 448 |
| 3.2. Innovative technologies in the prevention of emergencies due to the ingress of protective masks for medical and non-medical purpose into the environment | 454 |
| 3.3. Degaussing device for flaw detection | 463 |
| 3.4. Medical and biological characteristics of the genus plants astragalus l. as a health-containing component in the development conditions of modern inclusive education | 472 |
| 3.5. Development of specific requirements for unloading vest with a set of bags and materials for their manufacture | 478 |
| 3.6. Coping-behavior in extreme conditions and provision of psychological assistance to seafarers | 487 |
| 3.7. Experimental studies of dynamic interactions in multi-cut fine boring | 496 |
| 3.8. Succession of Kyiv internal medicine school traditions | 509 |
| 3.9. Current trends of inclusive practices in persons suffering with pain syndromes and under the action of high stress loads | 524 |
| 3.10. Modern concepts of mechanisms of occurrence and development of pain syndromes of non-visceral origin in persons working in conditions of high psychophysical loads. Literature review | 535 |
| 3.11. The influence of nutrition and exercise on human health | 549 |
| 3.12. Use of metaphor in psychotherapeutic and psychocorrectional practice | 553 |
| 3.13. Rapid development of technological innovations in health care in the developed world | 559 |
| 3.14. Overcoming the signs of social exclusion in Ukraine in conditions of maintaining the balanced development of a state and its regions | 566 |
| 3.15. Development of new means of fire extinguishing of combustible liquids with enhanced environmental characteristics | 577 |
| 3.16. Social inclusion of the elderly in the conditions of Covid 19 | 586 |
| 3.17. Research of experience of introduction of innovative technologies of 3D-printing in construction | 593 |
| 3.18. Animation as a technology of socio-cultural and socio-pedagogical activity | 606 |
| 3.19. Computer simulation of the protective effect of ethyl silicate gel coating on textile materials in conditions of constant or dynamic heat | 616 |
| 3.20. Slopes stability research of sanitary solid waste landfill | 625 |
| Annotation | 631 |
| About the authors | 651 |

3.13. Nadiya Dubrovina – CSc, PhD., Associate Professor, School of Economics and Management in Public Administration in Bratislava, Bratislava, Slovakia

Tetiana Dubovyk – Doctor in Economics, Professor, Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine

Volodymyr Babienko – Doctor of Medical Sciences, Professor, Odesa National Medical University, Odesa, Ukraine

Oksana Bepalova – PhD of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko, Sumy, Ukraine

3.14. Maria Karpiak – PhD in Economics, Senior Researcher, Dolishniy Institute of Regional Research of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Nazariy Popadynets – Doctor in Economics, Associate Professor, Scientific-Educational Institute of Entrepreneurship and Perspective Technologies of Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Hanna Oleksyuk – PhD in Economics, Associate Professor, Scientific-Educational Institute of Entrepreneurship and Perspective Technologies of Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Nataliia Samotii – PhD in Economics, Senior Lecturer, Scientific-Educational Institute of Entrepreneurship and Perspective Technologies of Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

3.15. Oleksandr Kirieiev – Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Viktorija Makarenko – Adjunct, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Maryna Chyrkina – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

3.16. Inna Kovalchuk – PhD of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi, Ukraine

3.17. Mariia Leonenko – Student, Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odesa, Ukraine

3.18. Tetiana Lesina – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Izmail State University of Humanities, Izmail, Ukraine

Brahmi Mehdi Djamel – PhD Student, Izmail State University of Humanities, Izmail, Ukraine

Huang Ruiping – PhD Student, Izmail State University of Humanities, Izmail, Ukraine

3.19. Olena Tarakhno – Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Andriy Sharshanov – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Olga Skorodumova – Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

3.20. Yurii Yatchenko – National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Nina Rashkevich – National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Dmytro Krushelnytskyi – National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

3.15. DEVELOPMENT OF NEW MEANS OF FIRE EXTINGUISHING OF COMBUSTIBLE LIQUIDS WITH ENHANCED ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS

3.15. РОЗРОБКА НОВИХ ЗАСОБІВ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ГОРЮЧИХ РІДИН З ПІДВИЩЕНИМИ ЕКОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Господарська діяльність людства призведе до все більшого впливу на стан навколишнього середовища. В теперішній час людство зіткнулося з низькою екологічних проблем, які загрожують самому існуванню людей на планеті Земля. Свій внесок в наростання таких проблем вносять пожежі. Одним з видів пожеж є пожежі за участю горючих рідин (ГР). Крім забруднення атмосфери продуктами згоряння вони можуть приводити до забруднення ґрунту та ґрунтових вод вогнегасними речовинами.

Швидке гасіння пожеж дозволяє мінімізувати зазначені негативні наслідки. Однак при гасінні пожеж використовуються різні вогнегасні речовини (ВР), які можуть вносити свій внесок у забруднення навколишнього середовища. Питання екологічної складової у сфері боротьби з пожежами та їх наслідками залишається актуальною проблемою і вимагає постійного науково-технічного прогресу в цій сфері.

Основні методи гасіння горючих рідин. Для гасіння пожеж за участю ГР використовуються різні вогнегасні речовини (ВР). Для гасіння ГР застосовують розпилену і тонкорозпилену воду, порошкові засоби, хладони, газоподібну, рідку і тверду вуглекислоту. У разі води домінуючим механізмом припинення горіння є охолодження. Для порошкових засобів і хладонів основний внесок в гасіння рідин вносить ефект інгібування. Вуглекислота в основному реалізує охолоджуюче-розбавляючий механізм припинення горіння. Розглянуті вище засоби пожежогасіння можуть забезпечити позитивний результат у разі невеликих за розмірами вогнищ пожежі. При цьому є можливість створити аерозольну хмару води або порошку над усією поверхнею рідини, що горить у разі гасіння водою і вогнегасним порошком. У разі застосування вуглекислого газу і хладонів можна створити вогнегасну концентрацію відповідних газів над усім дзеркалом горючої рідини. Якщо над частиною поверхні горючої рідини не створюється вогнегасна концентрація аерозолів або вогнегасного газу, то над цією ділянкою горіння триває. Після зменшення концентрації вогнегасних речовин нижче вогнегасної над поверхнями рідини, де горіння припинилося, горіння поновлюється знову. Для забезпечення одночасного досягнення вогнегасної концентрації над усім дзеркалом рідини, що горить необхідно подавати вогнегасну речовину з високою інтенсивністю протягом деякого часу. Цю умову важко забезпечити для вогнищ великого розміру.

З перерахованих вище ВР найбільш екологічно безпечною та економічно привабливою є вода. Але вона малоефективна в разі гасіння високо летких рідин (низко киплячих). Крім того її треба подавати до вогнища в розпиленому або тонко розпиленому вигляді з високою інтенсивністю. Ще однією обов'язковою умовою успішного гасіння ГР водою є одночасне розпилення її над усією поверхнею ГР на час достатній для охолодження стінок резервуара, що горить. Ще одним недоліком води, як вогнегасної речовини, для ГР є можливість утворення емульсії типу вода – масло в разі водонерозчинних рідин, або утворення гомогенного розчину вода – ГР у разі водорозчинних ГР. Це призведе в більшості випадків до неможливості цільового використання ГР, що погашена, або до труднощів з її подальшої переробки. З перерахованих вище причин воду використовують тільки для гасіння важколетучих ГР (дизельне палене, важки нафти).

Більшою вогнегасною здатністю ніж вода при гасінні пожеж ГР, мають водні розчини різних речовин. Це, в основному, розчини піноутворювачів і різних солей. У довіднику керівника гасіння пожежі¹¹⁷² наведені дані з вогнегасної ефективності більше 50 водних

¹¹⁷² Сенчихін Ю. М., Сировий В. В., Тарахно О. В. та ін. (2016). Довідник керівника гасіння пожеж. с. 320.

розчинів. Цей показник змінюється від 1,4 до 4,5. Концентрація розчинених у воді речовин змінюється від часток відсотка до 25%. Серед наведених речовин зустрічаються токсичні, екологічно небезпечні та дорогі ($K_2Fe(CN)_6$, KJ, KBr, $KMnO_4$, $K_2Cr_2O_7$, фторсинтетичні піноутворювачі). Крім цих недоліків водних розчинів, їм властиві і всі вищенаведені недоліки чистої води.

В деяких випадках¹¹⁷³ для гасіння ГР допускається застосування вогнегасних порошків. Але відмічається, що завдяки малої охолоджуючої дії порошкових засобів пожежогасіння після припинення полум'яного горіння рідин виникає потреба в додатковому залученню пінних засобів пожежогасіння.

У газовому пожежогасінні, в основному, реалізується ефект розведення газового горючого середовища. До вогнегасних речовин, що діють переважно за рахунок розведення газового горючого середовища відносять: азот, вуглекислий газ, водяну пару, інерген (азот – 52 об. %, аргон – 40 об. %, вуглекислий газ – 8 об. %), гелій, і гексафторид сірки (елегаз). Перші два гази та водяна пара є екологічно безпечними і легкодоступними. Але завдяки великим втратам за рахунок конвекції та дифузії для газового пожежогасіння характерні дуже низькі коефіцієнти використання. Відмічається, що одна з переваг газоподібних ВР полягає в тому, що при їх використанні не забруднюється ГР, яка зберігається в резервуарі.

Раніш широко розрекламований елегаз (SF_6) через високу вартість і токсичність продуктів термодеструкції (F_2 , HF, SO_2) не знайшов помітного застосування при гасінні загорянь ГР¹¹⁷⁴.

Окрім газоподібного вуглекислого газу для гасіння ГР можна використовувати тверду вуглекислоту¹¹⁷⁵. Вона в гранульованому вигляді подається під шар горючої рідини або на її поверхню. Завдяки інтенсивному процесу сублімації при температурі мінус $57^\circ C$ виділяються бульбашки газоподібного вуглекислого газу, які піднімаються до поверхні рідини. Самі гранули вуглекислоти в залежності від їх розмірів і властивостей ГР можуть знаходитись на дні резервуару або спливати на поверхню рідини. При спливанні бульбашки перемішують рідину, що дозволяє охолодити поверхневий шар вуглеводневих рідин. Це забезпечує можливість охолодження ГР до температур нижче температур спалаху. За такої температури можуть охолодитися як легко летучі, так і важко летучі ГР. Крім охолоджуючої дії подібне використання твердого CO_2 виявляє і механізм розбавлення газового горючого середовища. Недоліком такого методу гасіння є необхідність постійно тривалої підтримки низької температури в ємностях, в яких зберігаються гранули твердої вуглекислоти. Перевагами методу гасіння твердою вуглекислою є екологічна безпека та відсутність забруднення рідини, яку гасять.

Домінуючим механізмом вогнегасної дії газоподібних інгібіторів горіння є гальмування реакцій горіння в газовій фазі. Однак вони проявляють низькі охолоджуючі і ізолюючі властивості, які є визначальними при гасінні ГР. Незважаючи на те, що газоподібні інгібітори горіння значно перевищують за вогнегасною дією інші гази, їх використання суттєво обмежено. Вони потрапили під дію Монреальського протоколу, що обмежує використання озоноруйнівних речовин^{1176, 1177}. При цьому необхідно врахувати, що екологічна безпека ВР визначається не тільки токсичністю самої речовини, а й продуктами її розкладання в умовах пожежі. Так при контакті з відкритим полум'ям і розігрітими поверхнями резервуару можливе утворення високотоксичних речовин: фтороводня, діфторфосгену, молекулярного фтору¹¹⁷⁸. Ще одним істотним недоліком газоподібних

¹¹⁷³ Кривіницький В. С. (2004). Інструкція щодо гасіння пожеж в резервуарах із нафтою та нафтопродуктами. с. 79.

¹¹⁷⁴ Иличкин В. С. (2003). Оценка токсической опасности фторосодержащих газов, применяемых для объемного пожаротушения. Пожаровзрывобезопасность. № 3. с. 47.

¹¹⁷⁵ Стецюк В. Ф. (1991). Способ тушения горящих жидкостей. АС 1687266 SU. Бюл. № 40. с. 6.

¹¹⁷⁶ Решения IX совещания сторон Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой. (1997). Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv.

¹¹⁷⁷ Production and consumption of ozone depleting substances. UNEP, Ozone Secretariat (2005), p. 74.

¹¹⁷⁸ Корольченко А. Я. (2016). Газовое пожаротушение. Пожаровзрывобезопасность. Т. 25. № 5, с. 57.

інгібіторів горіння є їх висока вартість і великі витрати на встановлення обладнання для подачі ВР. На підставі вище сказаного можна зробити висновок, що газоподібні інгібітори горіння не можуть бути універсальними та ефективними ВР при гасінні пожеж ГР.

Найкращі результати при гасінні горючих рідин забезпечують засоби гасіння, в яких реалізується ізолюючий механізм припинення горіння. Таким засобом гасіння є повітряно-механічні піни. Вони дозволяють надійно створити умови згасання над усією поверхнею рідини на час достатній для охолодження нагрітих конструкцій до температури нижче температури самоспалахування. У всьому світі в нормативних документах вогнегасні піни позначаються як основний засіб гасіння ГР^{1179, 1180, 1181}.

Для отримання вогнегасних пін використовуються робочі розчини піноутворювачів (ПУ). Основним компонентом ПУ є поверхнево активні речовини (ПАР), які в більшості випадків є екологічно небезпечними. Токсичності та екологічній небезпеці ПАР присвячена велика кількість досліджень^{1182, 1183, 1184, 1185, 1186}.

До вогнегасних речовин пред'являються вимоги за токсичністю 3-4 клас небезпеки, а до органічних – ще і вимога за їх здатністю до біорозкладання – вони повинні бути “біологічно м'якими”. Довгий час вважалося, що ПАР, які використовуються в якості компонентів піноутворювачів, відповідають цим вимогам. Однак у зв'язку зі залученням великої кількості розчинів піноутворювачів на гасіння палаючих резервуарів (десятки тонн) і попадання їх в навколишнє середовище можливе перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) їх у повітрі та в ґрунтових водах.

Застосування ж більш екологічно безпечних ПАР в складі піноутворювачів (протеїнових, рослинного та тваринного походження) призводить до суттєвого погіршення їх вогнегасних характеристик. Мабуть через це запропоновані екологічно безпечні піноутворювачі на основі екстрактів хмелю не спричинили інтерес у дослідників і практиків пожежогасіння.

Особливо необхідно відзначити перегляд останнім часом екологічних та токсикологічних характеристик плівкоутворюючих піноутворювачів. Раніше за заявами фірм, що постачають такі піноутворювачі декларували їх як нетоксичні і “біологічно м'які”. Однак проведені дослідження цих піноутворювачів поставили під сумнів ці заяви. Так за даними роботи¹¹⁸⁷ фторсинтетичні піноутворювачі виявилися в 150 разів більш токсичними “біологічно жорсткого” піноутворювача ПО-6К і в 2500 разів більш стійкими до біодеградації в навколишньому середовищі. Відзначається також, що поверхнево-активні компоненти цих ПУ – перфтороктан сульфокислоти легко акумулюються в жирових тканинах і серозних оболонках тварин і людини^{1188, 1189, 1190, 1191}.

¹¹⁷⁹ Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках. (2000). ВНИИПО, с. 79.

¹¹⁸⁰ Інструкція щодо гасіння пожеж в резервуарах із нафтою та нафтопродуктами. (2004), с. 79.

¹¹⁸¹ Fire extinguishing media. Foam concentrates – Part 1, 2, 3. Specification for medium expansion foam concentrates for urface application to water-immiscible liquids. (2018), с. 19.

¹¹⁸² Ivanković T. (2010). Surfactants in the environment. Arh. Hig. Rad. Toksikol. Vol. 61. № 1. p. 95.

¹¹⁸³ Olkowska E., (2011). Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges. Chem. Rev.. Vol. 111. № 9, p. 5667.

¹¹⁸⁴ Scott M. J. (2000). The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochim. Biophys. Acta*. Vol. 158. № 1-2, p. 235.

¹¹⁸⁵ Ying G. G. (2006). Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment. *Environ. Int.*. Vol. 32. № 3, p. 417-431.

¹¹⁸⁶ Щербань Н. Г. (2012). Биохимические механизмы нарушений в организме теплокровных под воздействием химических соединений. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. № 5/6 (59), с. 29-33.

¹¹⁸⁷ Бочаров В. В., Раевская М. В. (2013). Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях – «второе пришествие». *Галогенорганика с наихудшим сценарием развития для обитателей земли. Пожаровзрывобезопасность*. Т. 22. № 10, с. 75-82.

¹¹⁸⁸ Buck R. C., Franklin J., Berger U. et al. (2011). Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integrated Environmental Assessment and Management*. № 4. V. 7. P. 513-541.

¹¹⁸⁹ Giesy J. P., Naile J. E., Khim J. S. et al. (2010). Aquatic toxicology of perfluorinated chemicals. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. № 202, p. 1-52.

¹¹⁹⁰ Martin J. W., Smithwick M. M., Braune B. M. et al. (2004). Identification of long-chain perfluorinated acids in biota

Непрямим підтвердженням екологічної небезпеки таких піноутворювачів стало рішення агенції з охорони навколишнього середовища США оголосити програму добровільного вилучення з обігу таких речовин. Одночасно фірма “ЗМ”, що випускає плівкоутворюючі ПУ, добровільно відмовилася від їх випуску. На підставі цих фактів робиться висновок¹¹⁹², що використання перфторованих ПАР для цілей пожежогасіння можливо лише на об’єктах, що дозволяють проводити збір і утилізацію речовин, що використовуються при пожежогасінні. Ще одним фактором екологічної небезпеки перфторованих ПАР є утворення при термодеструкції фторовмісних речовин високотоксичних фтороводню і фтору.

Одночасно з цим необхідно відзначити, що нещодавно проведені експериментальні дослідження традиційних синтетичних безфторних ПУ показали, що раніше встановлені деякі характеристики їх токсичності та екологічної безпеки сильно завищені. У роботі, не відкидаючи факт екологічної небезпеки піноутворювачів, що містять фторовані ПАР, стверджується, що ще більшу небезпеку проявляють деякі ПУ, які не містять фтор. З урахуванням відомого факту низької ефективності традиційних піноутворювачів при гасінні горючих рідин в резервуарах можна зробити висновок, що існуючі пінні засоби пожежогасіння в значній мірі не задовольняють висунутим до них вимогам за ефективністю, економічними та екологічними показниками.

Загальним висновком з використання пін для гасіння пожеж ГР є невисока ефективність існуючих засобів пінного пожежогасіння. Це підтверджується значною кількістю пожеж, які не зважаючи на велику кількість задіяних сил та засобів, не було погашено. Так в 2015 році на нафтобазі у Васильківському районі пожежа тривала 8 днів. До її ліквідації було залучено близько 300 рятувальників та 45 одиниць техніки. Внаслідок цієї надзвичайної ситуації на нафтобазі загинуло шестеро осіб, із них четверо пожежники. Витрати на гасіння пожежі оцінили у 50 мільйонів гривень.

В Таблиці 1 наведено основні якісні характеристики існуючих і вогнегасних засобів, які використовуються для гасіння ГР, а також для нових засобів, що розробляються (виділено жирним).

Таблиця 1. Основні складові вогнегасних характеристик різних видів засобів пожежогасіння для пожеж за участю ГР.

| Тип ВР | Характеристики ВР | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-----------|-------------|-------------|-----------------|------------------|-------------|-----------|
| | охолодження | ізоляція | розбавлення | інгібування | еколог. безпека | економ. параметр | екранування | час дії |
| вода | ++ | – | ± | – | ++ | ++ | – | – |
| розчини | ++ | – | + | ++ | ± | + | – | – |
| піни | ± | ++ | ± | – | – | – | ++ | + |
| порошки | – | – | – | ++ | ± | ± | – | – |
| гази розріджувачі | – | – | + | – | + | ± | – | – |
| гази інгібітори | – | – | + | ++ | – | ± | – | – |
| легкий матеріал +ГУС | ++ | ++ | ± | – | + | + | ++ | ++ |
| Легкий матеріал + гранули | ++ | + | ± | – | ++ | ++ | ++ | ++ |

де “++” – дуже висока, “+” – висока, “±” – середня, “–” – низька.

from the Canadian Arctic. *Environ Sci. Technol.* № 38, p. 373-380.

¹¹⁹¹ Kannan K., Corsolini S., Falandysz J. et al. (2004). Perfluorooctanesulfonate and related fluoro-chemicals in human blood from several countries. *Environ Sci. Technol.* № 38, p. 89-95.

¹¹⁹² Безродный И. Ф. (2013). Экология пожаротушения – пока это только слова. *Пожаровзрывобезопасность.* Т. 22. № 6, с. 85-90.

Як видно з цих даних, всім комплексом необхідних властивостей не володіє жоден тип ВР. Найбільш універсальними та ефективними ВР при гасінні пожеж за участю ГР є засоби з високою ізолюючою дією (піни). Одночасно для них характерні більш високі в порівнянні з іншими ВР коефіцієнти використання (помірні втрати). Також, за ознакою охолоджуючої дії вони перевершують всі інші засоби пожежогасіння, крім води і водних розчинів. Але існуючі пінні засоби пожежогасіння мають низькі екологічні та економічні характеристики.

Розглянемо шляхи підвищення вогнегасних властивостей засобів гасіння пожеж за участю горючих рідин. Основними механізмами припинення горіння є: охолодження зони горіння або палаючої речовини, розбавлення речовин, що беруть участь у процесі горіння, ізоляція горючих речовин від зони горіння, інгібування хімічної реакції окислення. Крім цього, під час пожежогасіння велике значення має ефект екранування поверхні речовини, яка горить, від теплового випромінювання факела полум'я, що можна віднести до різновидів реалізації механізму припинення горіння ізоляцією. В разі гасіння пожежі за участю ГР шляхом екранування поверхні рідини від випромінювання полум'я суттєво зменшує процес передачі тепла до рідини, а ендотермічний процес її випаровування продовжується. Таким чином, навіть окреме застосування екранування в процесі пожежогасіння призводить до зменшення температури поверхні рідини та до її поступового охолодження в цілому. Внаслідок таких процесів зменшуються інтенсивність випаровування і швидкість горіння, та може бути досягнута умова, за якої горіння рідини припиняється.

На основі аналізу робіт^{1193, 1194, 1195}, можна зробити висновки, що до розробки ефективних засобів для гасіння ГР:

- методи гасіння пожеж ГР, які не базуються на механізмі ізоляції поверхні рідини, в більшості випадків, важко реалізувати в разі для пожеж великих розмірів;
- ефективний вогнегасний засіб повинен забезпечити створення умови загасання одночасно над всією поверхнею на час достатній для охолодження навколишніх об'єктів до температури нижче температури самоспалахування;
- умова надійного загасання ГР полягає в зниженні концентрації пари рідин нижче нижньої концентраційної межі поширення полум'я (НКМПП);
- основними шляхами зниження концентрації пари рідин у зоні горіння нижче НКМПП є ізоляція та охолодження їх поверхні;
- засоби гасіння ГР повинні мати прийнятні економічні та екологічні параметри.

На підставі цього можна зробити висновок, що найважливішим фактором при гасінні ГР є ізолюючі та охолоджуючі властивості ВР. З існуючих ВР найбільшою мірою такі властивості притаманні пінам. Але вони мають суттєві недоліки. Основними з них є низька стійкість пін (малий час дії) і низькі екологічні параметри.

З відомих ВР високу стійкість мають й ізолюючі властивості виявляють гелеутворюючі системи (ГУС). ГУС були раніше запропоновані для гасіння твердих горючих матеріалів¹¹⁹⁶. ГУС являють собою бінарну систему, що складається з двох рідин, які окремо зберігаються та окремо-одночасно подаються у вогнище пожежі. Обидві складові є водними розчинами, що полегшує їх зберігання і подачу в зону горіння, та водночас забезпечує високу охолоджуючу дію завдяки наявності у їх складі води – речовини з найбільшою охолоджуючою здатністю серед існуючих ВР. Склади розчинів підібрані так, що за умови їх

¹¹⁹³ Дадашов И. Ф., Киреев А. А. (2016). Повышение эффективности тушения горючих жидкостей в резервуарах путем использования гелеобразующих средств. *Proceedings of Azerbaijan state marine academy*. № 2. с. 72-76.

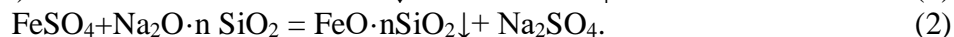
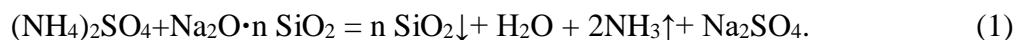
¹¹⁹⁴ Дадашов И. Ф., Трегубов Д. Г., Сенчихин Ю. М., Киреев О. О. (2018) Напрямки вдосконалення гасіння пожеж нафтопродуктів / *Науковий вісник будівництва*. Т. 94, № 4, с. 238-249.

¹¹⁹⁵ Дадашов И. Ф., Киреев А. А., Трегубов Д. Г. (2018). Экспериментальное исследование скорости выгорания и условий тушения модельного очага пожара класса В при поочередном применении гранулированного пеностекла и гелеобразующего огнетушащего вещества. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. № 2 (6), с. 70-78.

¹¹⁹⁶ Абрамов Ю. А., Киреев А. А. (2015) Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А. Харьков: НУГЗУ, с. 254.

змішування на поверхні горюча речовина-повітря між компонентами відбувалась хімічна взаємодія, яка призводить до швидкого утворення не текучого гелеподібного шару.

Всього було запропоновано 35 гелеутворюючих систем. Найкращі вогнезахисні характеристики показали ГУС з гелеутворювачем рідким склом ($\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$). У якості каталізаторів гелеутворення в таких системах були запропоновані деякі солі



У Таблиці 2 наведені основні продукти реакції між гелеутворювачем і каталізатором гелеутворення та мінімальні концентрації компонентів ГУС, які забезпечують швидке гелеутворення і найбільшою мірою відповідають сформульованим вимогам.

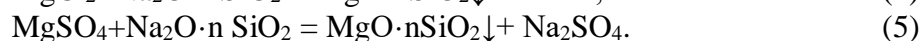
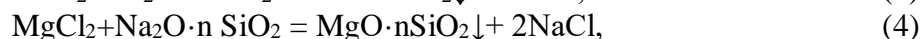
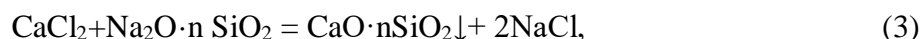
У всіх випадках у якості гелеутворювача використовуються водні розчини рідкого скла, яке відноситься до III класу небезпеки (помірно небезпечно). Рідке скло випускається промисловістю у великих кількостях. Воно використовується в якості в'язучого, інгібітору корозії сплавів заліза, як основний компонент силікатного клею, сировину для отримання інших силікатів і силікагелю.

Таблиця 2. Значення мінімальних концентрацій компонентів деяких гелеутворюючих систем – полісилікат натрію (ω_1) і каталізаторів гелеутворення (ω_2), що викликають швидке гелеутворення і склад основного продукту їх взаємодії

| № | Каталізатор гелеутворення | Основний продукт реакції | ω_1 , % | ω_2 , % |
|-----|------------------------------------|--|----------------|----------------|
| 1. | CaCl_2 | $\text{CaO}\cdot n\text{SiO}_2$ | 3 | 3 |
| 2. | MgCl_2 | $\text{MgO}\cdot n\text{SiO}_2$ | 5 | 4 |
| 3. | MgSO_4 | $\text{MgO}\cdot n\text{SiO}_2$ | 5 | 4 |
| 4. | FeSO_4 | $\text{FeO}\cdot n\text{SiO}_2$ | 5 | 4 |
| 5. | K_2CO_3 | H_2SiO_3 | 25 | 40 |
| 6. | AlCl_3 | $2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3n\text{SiO}_2$ | 3,5 | 3 |
| 7. | $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ | $2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3n\text{SiO}_2$ | 4 | 3 |
| 8. | NH_4Cl | H_2SiO_3 | 8 | 8 |
| 9. | NH_4Br | H_2SiO_3 | 8 | 10 |
| 10. | $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | H_2SiO_3 | 8 | 12 |
| 11. | $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ | H_2SiO_3 | 12 | 13 |

Раніше були вивчені властивості міцності гелеподібних шарів, що отримані з використанням різних каталізаторів гелеутворення. За цією характеристикою найкращі результати показали ГУС № 1-3. У них в якості каталізаторів гелеутворення використовуються водні розчини солей кальцію і магнію CaCl_2 MgCl_2 MgSO_4 з концентраціями (3-4) мас.%. Характер середовища цих компонентів слабокислий ($\text{pH} \approx 5$), а самі солі відносяться до 3 і 4 класів небезпеки.

Для оцінки екологічної безпеки вогнегасної системи важливими є характеристики продуктів взаємодії компонентів ГУС. Нижче наведені відповідні рівняння хімічних реакцій:



Як видно з рівнянь 3-5 продуктами реакцій є нерозчинні у воді силікати кальцію і магнію, сульфат магнію та хлорид натрію. Ці речовини відносяться до 3 і 4 класів небезпеки, а їх сумарний вміст в гідрогелі не перевищує 4 мас.%. З трьох розглянутих каталізаторів гелеутворення з екологічних і економічних міркувань було обрано CaCl_2 (3 клас небезпеки – помірно небезпечна речовина) із-за його мінімального значення концентрації каталізатора гелеутворення в ГУС. Таким чином, у запропонованій вогнегасній системі використовуються тільки речовини 3 класу небезпеки з концентрацією 3 мас.%. Також необхідно зазначити, що

всі компоненти ГУС є речовинами нерозчинними у вуглеводневих горючих рідинах. Цей факт важливий для процесу подальшої переробки нафти і нафтопродуктів, тому що компоненти запропонованої вогнегасної системи не забруднюють відповідні рідини.

Суцільний шар гелю виявляє високі ізолюючі властивості по відношенню до парів вуглеводневих ГР. Для суцільного шару гелю товщиною 1,3 мм ГУС $\text{CaCl}_2(3\%)^{\circ} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 2,7\text{SiO}_2(3\%)$ коефіцієнт сповільнення випарування бензину склав 28, а для бензену 34. Високі охолоджуючі властивості забезпечує гелю наявність в ньому 90% води.

Однак безпосередньо використовувати ГУС для гасіння горючих рідин неможливо, оскільки гель тоне в більшості горючих рідин. Для вирішення проблеми відсутності плавучості гелеподібних шарів необхідно підібрати легкий носій для шару гелю, на якому його можна сформувавати. В якості легкого носія, що забезпечує плавучість гелеутворюючого шару, було обрано піноскло (ПС). Є декілька різновидів ПС. Основними з них є гранульоване ПС і подрібнене піноскло (Рис. 1). Гранульоване ПС має закриті пори, що забезпечує його велику плавучість. Подрібнене ПС має відкриті зовнішні пори та закриті внутрішні пори, що забезпечує його високе водоутримання. Це забезпечує його високу охолоджуючу дію.



Рис. 1. Зовнішній вигляд гранульованого і подрібненого піноскла.

Під час вибору легкого носія для шару гелю крім пожежних характеристик матеріалу було прийнято до уваги його високі екологічні характеристики. Піноскло є інертним негорючим матеріалом, який не розчиняється у воді та ГР. Під дією теплового впливу полум'я не виділяє токсичних газів. Гранули ПС мають розміри не менше 1 см, що забезпечує відсутність їх унесення конвекційними потоками. Останній факт забезпечує відсутність забруднення повітря аерозолем ПС.

Вогнегасні властивості системи ПС + ГУС були досліджені попередніх роботах. Наведені в них данні дозволяють зробити висновок, що запропонована вогнегасна система має переваги по зрівнянню з пінними засобами пожежогасіння за вогнегасними властивостями, за економічними та екологічними параметрами.

У роботі ¹¹⁹⁷ запропоновано для ще більшого підвищення екологічної безпеки засобів пожежогасіння на основі ПС наносити на його шар замість гелю інші легкі пористі матеріали. В якості таких матеріалів обрані гранули спучених перліту або вермікуліту (Рис. 2). На відміну від компонентів ГУС спучені перліт і вермікуліт є твердими інертними матеріалами нерозчинними у воді. Ці дослідження вказали, що за вогнегасною здатністю системи в яких

¹¹⁹⁷ В. С. Макаренко, О. О. Кіреєв, Д. Г. Трегубов, М. А. Чиркіна. (2021). Дослідження вогнегасних властивостей бінарних шарів легких пористих матеріалів. *Problems of Emergency Situations (Ukraine)*. № 1 (33), p. 234-244.

використовуються бінарні шари гранульоване піноскло + інший легкий пористий матеріал не поступають засобам гасіння пожеж ГР на основі ГУС. Це вказує на доцільність проведення подальших досліджень вогнегасних та екологічних властивостей таких систем.

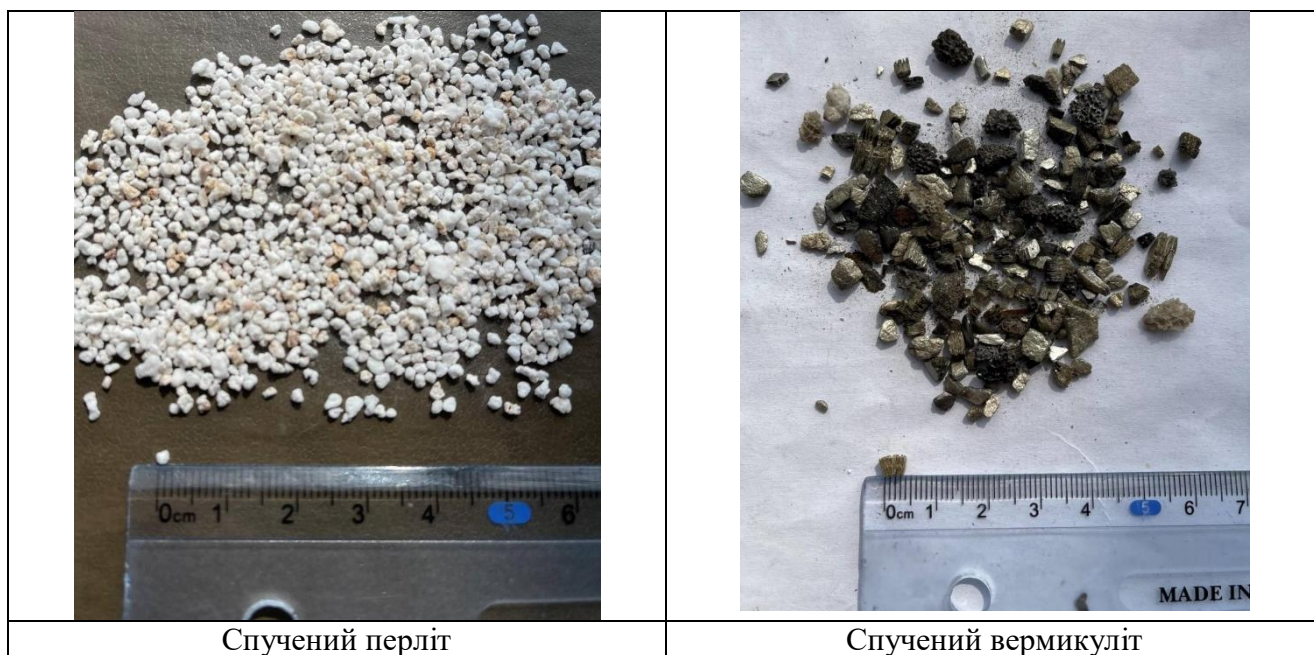


Рис. 2. Зовнішній вигляд спучених перліту та вермикуліту.

Висновки. Основний в теперішній час засіб гасіння горючих рідин – вогнегасні піни мають незадовільні екологічні характеристики. Запропонований новий вогнегасний засіб для гасіння такого виду пожеж на основі легких пористих матеріалів і гелеутворюючих систем має переваги за вогнегасними, економічними та екологічними характеристиками по зрівнянню з вогнегасними пінами. Для підвищення екологічної безпеки пожежогасіння горючих рідин запропоновано використовувати бінарні шари гранульоване піноскло + інший легкий гранульований ізолюючий матеріал. В якості ізолюючого матеріалу обґрунтовано вибір спучених перліту та вермикуліту.

Література

1. Абрамов Ю. А., Киреев А. А. Гелеобразующие огнетушащие и огнезащитные средства повышенной эффективности применительно к пожарам класса А. Харьков: НУГЗУ, 2015. 254 с.
2. Безродный И. Ф. Экология пожаротушения – пока это только слова. *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. Т. 22. № 6. С. 85-90.
3. Бочаров В. В., Раевская М. В. Использование перфторированных ПАВ в пенообразователях – «второе пришествие». Галогенорганика с наихудшим сценарием развития для обитателей земли. *Пожаровзрывобезопасность*. 2013. Т. 22. № 10. С. 75-82.
4. Дадашов И. Ф., Киреев А. А. Повышение эффективности тушения горючих жидкостей в резервуарах путем использования гелеобразующих средств. *Proceedings of Azerbaijan state marine academy*. 2016. № 2. – С. 72-76.
5. Дадашов И. Ф., Трегубов Д. Г., Сенчихин Ю. М., Киреев О. О. Напряжки вдосконалення гасіння пожеж нафтопродуктів / *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 94, № 4. С. 238-249.
6. Дадашов И. Ф., Киреев А. А., Трегубов Д. Г. Экспериментальное исследование скорости выгорания и условий тушения модельного очага пожара класса В при поочередном применении гранулированного пеностекла и гелеобразующего огнетушащего вещества. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2018. № 2 (6). С. 70-78.

7. Иличкин В. С., Потанин Б. В., Елисеев Ю. Н. Оценка токсической опасности фторосодержащих газов, применяемых для объемного пожаротушения. *Пожаровзрывобезопасность*. 2003. № 3. С. 47-52.
8. Корольченко А. Я., Шилина Е. Н. Газовое пожаротушение. *Пожаровзрывобезопасность*. 2016. Т. 25. № 5. С. 57-67.
9. В. С. Макаренко, О. О. Кіреєв, Д. Г. Трегубов, М. А. Чиркіна, Дослідження вогнегасних властивостей бінарних шарів легких пористих матеріалів. *Problems of Emergency Situations (Ukraine)*. 2021. № 1 (33), p. 234-244.
10. НАПБ 05.035-2004. Інструкція щодо гасіння пожеж в резервуарах із нафтою та нафтопродуктами. Київ: УНДПБ. 2004. 79 с.
11. Решения IX совещания сторон Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой. Монреаль, 1997. URL: <http://www.un.org/ru/documents/declconv> (дата звернення: 14. 08. 2015).
12. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарных парках. М.: ВНИИПО, 2000. 79 с.
13. Сенчихін Ю. М., Сировий В. В., Тарахно О. В. та ін. Довідник керівника гасіння пожеж, під ред. Кропивницького В. С. Київ: Літера-Друк, 2016. 320 с.
14. Способ тушения горящих жидкостей. АС 1687266 SU. Стецюк В. Ф., Аблязис Р. А. и др.; заяв. № 4710559, 16. 05. 89; опубл. 30. 10. 91, Бюл. № 40.
15. Щербань Н. Г. Биохимические механизмы нарушений в организме теплокровных под воздействием химических соединений. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 5/6 (59). С. 29-33.
16. Buck R. C., Franklin J., Berger U. et al. Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2011. № 4. V. 7. P. 513-541.
17. EN 1568-1:2018. Fire extinguishing media. Foam concentrates – Part 1, 2, 3: Specification for medium expansion foam concentrates for urface application to water-immiscible liquids.
18. Giesy J. P., Naile J. E., Khim J. S. et al. Aquatic toxicology of perfluorinated chemicals. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 2010. № 202. P. 1-52.
19. Ivanković T., Hrenović J. Surfactants in the environment. *Arh. Hig. Rad. Toksikol*. 2010. Vol. 61. № 1. P. 95-110.
20. Kannan K., Corsolini S., Falandysz J. et al. Perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in human blood from several countries. *Environ Sci. Technol*. 2004. № 38. P. 89-95.
21. Martin J. W., Smithwick M. M., Braune B. M. et al. Identification of long-chain perfluorinated acids in biota from the Canadian Arctic. *Environ Sci. Technol*. 2004. № 38. P. 373-380.
22. Olkowska E., Polkowska Ż., Namieśnik J. Analytics of surfactants in the environment: problems and challenges. *Chem. Rev*. 2011. Vol. 111. № 9. P. 5667-5700.
23. Production and consumption of ozone depleting substances: 1986-2004. UNEP, Ozone Secretariat, 2005. 74 p.
24. Scott M. J., Jones M. N. The biodegradation of surfactants in the environment. *Biochim. Biophys. Acta*. 2000. Vol. 1508. № 1-2. P. 235-251.
25. Ying G. G. Fate, behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment. *Environ. Int*. 2006. Vol. 32. № 3. P.417-431.