

УДК 614.841

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2021.5.2-58-66>

Тетяна Магльована¹, д-р. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0002-6780-9045)

Тарас Нижник², канд. техн. наук (ORCID: 0000-0001-6499-0670)

Сергій Стась¹, канд. техн. наук, професор (ORCID: 0000-0002-6139-6278)

Денис Колесніков¹, канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0002-4068-3454)

Тетяна Стрікаленко³, д-р мед. наук, професор (ORCID: 0000-0002-5836-6887)

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

Національного університету цивільного захисту України,

²Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

³Одеська національна академія харчових технологій

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНО АКТИВНИХ ПОЛІМЕРІВ

Проведеними дослідженнями встановлено можливість отримання водних вогнегасних речовин, здатних знижувати гідравлічний опір (володіють ефектом Томса) шляхом використання гуанідинових полімерів. Для проведення експериментальних досліджень використовували катіонну поверхнево-активну речовину полігексаметиленгуанідин гідрохлорид молекулярною масою 10000–11000 а.о.м. Показано, що додавання незначних концентрацій (0,03–0,290 %) полігексаметиленгуанідин гідрохлориду, що належить до IV класу токсичності та є ефективним інгібітором біокорозії, збільшує витрати водної вогнегасної речовини у 1,20–1,78 раз під час використання пожежного ствола РСК-50. Експериментально встановлено збільшення витрат водної вогнегасної речовини полігексаметиленгуанідин гідрохлориду з дренчерних зрошувачів в діапазоні концентрацій (0,3–1,4 %) вздовж досліджуваного трубопроводу (1 м та 13 м) на 1,86–7,69 %. За цих умов можливим є підвищення величини тиску на 2–6 % в порівнянні з початковими значеннями. Використаний полімер володіє властивостями «біологічно м'якої» поверхнево-активної речовини та відповідає високим екологічним вимогам охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів. Може бути використаний для розробки рецептур екологічно прийнятних водних вогнегасних речовин як підґрунтя їх застосування в практиці пожежогасіння.

Таким чином, є підстави стверджувати про можливість спрямованого використання солей полігексаметиленгуанідин гідрохлориду для зменшення гідравлічних втрат в системах водяного пожежогасіння. Це може бути використано для удосконалення інженерно-технічних заходів попередження та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: полігексаметиленгуанідин гідрохлорид, водна вогнегасна речовина, пожежогасіння, гідродинамічна активність, ефект Томса.

Постановка проблеми. Системи водяного пожежогасіння є одними з найбільш ефективних, дозволяють оперативно реагувати на виникнення пожежі [1]. Рух рідини в трубопроводах таких систем має ряд особливостей. Важливим завданням є забезпечення таких умов руху водної вогнегасної речовини по трубопроводах, за яких мінімальними зусиллями можливо забезпечити максимальну витрату рідини, дальність струменів тощо [2].

Використання гідродинамічно активних речовин у потоках рідини дають можливість підвищити ефективність роботи систем пожежогасіння без використання додаткових засобів і суттєвої зміни їхньої конструкції [3].

Проте ефективність дії сучасних засобів водяного пожежогасіння є недостатньою для забезпечення відповідного рівня екологічної та пожежної безпеки [4]. Тому актуальними є дослідження, спрямовані на подальше удосконалення технології систем водяного пожежогасіння, зокрема з використанням екологічно прийнятних водних вогнегасних речовин.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В роботі [5] наведено результати досліджень, отриманих за останні сімдесят років стосовно зниження гідравлічного опору в трубопроводах під час введення невеликих кількостей полімеру. Всебічно висвітлено фундаментальні знання та класичні теорії. Крім того, автор намагається зосередити увагу на новому баченні класичних теорій у досліджуваній галузі. Авторами [6] показано, що зниження опору в горизонтальних турбулентних потоках у трубах спричинене полімерами. Вдалося встановити зв'язок між зниженням опору та

змінними турбулентного потоку [6]. Показано, що локальні величини деяких змінних турбулентного потоку корелюють з вимірними рівнями зменшення опору, незалежно від числа Рейнольдса. Разом із тим, залишаються невирішеними питання управління змінними турбулентного потоку задля отримання найнижчого рівня опору в горизонтальних турбулентних потоках.

У роботі [7] показано, що додавання полімерів знижує опір тертя, але не впливає на початковий ріст турбулентності, проте стабілізує первинну структуру вихрового потоку. Показано, що за великих значень числа Вайссенберга втрачає турбулентної кінетичної енергії (в результаті пружного перетворення полімеру) зрівняні із в'язкою дисипацією. Однак, оскільки ефект Вайссенберга має місце не тільки в розчинах високополімерних сполук, але й у будь-яких дисперсних системах, що володіють деякою пружністю форми, залишається питання, що саме стабілізує первинну структуру вихрового потоку. Авторами [8] зроблені кроки щодо розуміння турбулентної динаміки у випадку наявності полімерів, а також розробки нових стратегій управління потоками рідин для ефективного зниження тертя.

Авторами [9] проведено аналіз ламінарно-турбулентного переходу й зменшення опору в результаті додавання полімерів в ньютонівську рідину. Максимальне зниження опору тертя досягається в ньютонівському потоці поблизу границі ламінарного режиму. Для відповідного вибору параметрів полімерів запропоновано асимптотичну межу, за якої усувається турбулентність, що поступається ламінарному потоку. Однак за більш високих концентрацій полімеру ламінарний стан стає нестабільним, що призводить до коливання потоку. Крім того, незрозумілим є механізм ламінарно-турбулентного переходу та зменшення опору при додаванні полімерів у неньютонівську рідину. В огляді [10] розглянуті дослідження, присвячені зниженню опору й пружної турбулентності, а також модифікації теплопередачі у природній конвекції. Автори зробили спробу висвітлити основні механізми, що діють в системі зменшення опору та описані іншими авторами різних теоретичних підходів і пояснень у даній галузі.

Показано [11], що серед перспективних сполук останнього десятиліття, для розробки протитурбулентних агентів ефективними є водорозчинні макромолекули як природних, так і синтетичних полімерів, зокрема, поліетиленоксид, поліакрилова кислота, поліакриламід та полі N-вінілформамід.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.

Питання, пов'язані з проблемою дозування полімерів в пожежні рукава, приготування розчинів відповідної концентрації із порошків та зниження гідродинамічної активності під час зберігання однорідних розчинів, зокрема поліетиленоксиду та поліакриламідів залишились невирішеними [12].

Причиною цього можуть бути об'єктивні труднощі, пов'язані з потребою завчасного приготування однорідних розчинів із порошків, що потребує громіздкого обладнання, а процес розчинення є довготривалим в часі. Крім того, під час перемішування порошку може відбуватися злипання частин, які не розчинилися, а отримання розчинів з концентрацією більше 0,2 % є технічно складним через гігроскопічність поліакриламідів [11]. Однак не зрозуміло, що розуміється під ефективним змішуванням компонентів розчину високомолекулярного полімеру та яким чином забезпечити таке змішування.

Варіантом подолання відповідних труднощів може бути використання гелів, концентрованих розчинів. Саме такий підхід використаний в роботі [14].

Все це дозволяє стверджувати на доцільність проведення досліджень присвячених пошуку зручних у використанні концентрованих розчинів гідродинамічно активних полімерів, здатних зберігати свої властивості протягом тривалого часу. Аналізуючи дану проблему, нашу увагу було зосереджено на гуанідинових полімерах (у вигляді сольової форми), оскільки можливості їх застосування для зниження гідравлічного опору можуть поєднуватися з іншими відомими властивостями цих полімерів, а саме: антикорозійними властивостями, стабільністю під час використання та зберігання протягом більше 1 року, дані речовини володіють вираженою антибактеріальною та віруліцидною активністю [15]. Солі полігексаметиленгуанідину здатні впливати на процес горіння і відповідають визначеним вимогам екологічно прийнятних речовин, до яких відносять такі речовини або однорідні суміші, які за своїми фізико-хімічними властивостями придатні до застосування в технічних засобах задля припинення горіння, а за ступенем дії на організм відносяться до помірно небезпечних або малонебезпечних, та під час взаємодії з полум'ям або термічного розкладу не утворюють шкідливих речовин у концентраціях, небезпечних для живих істот і довкілля.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою дослідження є визначення оптимальних умов для зниження гідравлічних втрат при подачі по трубопроводах і рукавних лініях водних вогнегасних речовин на основі полімерів гуанідинового ряду (у вигляді сольової форми - полігексаметиленгуанідин гідрохлориду (ПГМГ-ГХ) під час гасіння пожеж та ліквідацій надзвичайних ситуацій.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– дослідити наявність гідродинамічної активності водних розчинів ПГМГ-ГХ;

- дослідити залежності зміни тиску в дренчерних зрошувачах за фіксованої витрати з них вздовж трубопроводу водопровідної води та водної вогнегасної речовини ПГМГ-ГХ;
- дослідити витрати водопровідної води та водної вогнегасної речовини ПГМГ-ГХ з насадок (дренчерів) в досліджуваному діапазоні концентрацій;
- дослідити концентраційний діапазон наявності гідродинамічної активності водних розчинів ПГМГ-ГХ гідрохлориду під час використання пожежного ствола РСК-50.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.

В роботі використовували водопровідну воду (загальної твердості 3,70 мгекв/дм³) та водні розчини ПГМГ-ГХ молекулярною масою 10000–11000 а.о.м. Для проведення експериментальних досліджень був синтезований зразок ПГМГ-ГХ за методикою [15], який характеризується низьким вмістом залишкової кількості мономеру. Експериментальні водні розчини готували розчиненням точних наважок ПГМГ-ГХ у дистильованій воді, розчини залишали на 24 години за температури 25±5 °С до повного розчинення.

Визначення показників водної вогнегасної речовини проводили з використанням установки, схема якої представлена на рис. 1.

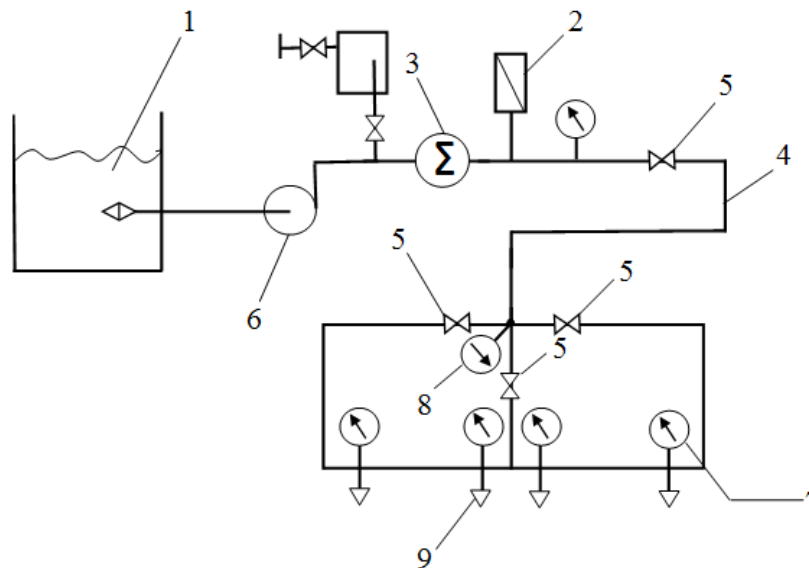


Рисунок 1 – Схема насосної установки: 1 – мірна ємність для забору води (водної вогнегасної речовини) об'ємом 1 м³; 2 – аналоговий перетворювач тиску; 3 – перетворювач витрати рідини; 4 – труба водопровідна ПЕ 80 Ø35; 5 – вентиль Ø50 мм; 6 – насос центробіжний; 7, 8 – манометри; 9 – дренчер (дренчерний зрошувач) Ø8–10 мм

Насосна установка складається із силового модуля (1–6), модуля позиціонування ствола, системи трубопроводів із зрошувачами, живильних та розподільчих рукавів, ємності для води та водних розчинів. Насосна установка включає в себе асинхронний трифазний електричний двигун потужністю 18 кВт та відцентровий рідинний насос, що може забезпечити витрати до 800 л/хв з напором до 100 м. Установка дозволяє проводити дослідження пов'язані з течією в'язких рідин в насадках різного типу та пожежних стволах.

Установка складається з системи пластикових трубопроводів з розміщеними на ній дренчерними зрошувачами. Подачу води до зрошувачів забезпечує відцентровий насос з ємності місткістю 1 м³. Вода подається в кільцеву мережу до встановлених на ній зрошувачів. Умовний прохід зрошувачів може змінюватись і становить 8 або 10 мм.

Насосна установка, через гідравлічну систему (витратомір, датчик тиску, напірні трубопроводи) зв'язана із насадками (пожежними стволами), які можуть бути встановлені під різними кутами нахилу, по відношенню до горизонту, за допомогою спеціальної системи точного позиціонування пожежного ствола.

Приладна техніка, що використовувалася в системі керування насосною установкою, дозволила провести вимірювання основних параметрів потоку в живильному трубопроводі в залежності від параметрів отриманих струменів (коефіцієнти швидкості і витрати) [16].

Дослідження проводились в два етапи. На першому етапі досліджували зміни тиску в насадках від фіксованих витрат вздовж трубопроводу, що відтворює гідравлічні розгалужені системи водяного автоматичного пожежогасіння.

Величину тиску визначали за допомогою манометрів, що встановлені навпроти насадок (дренчерів). Витрати водної вогнегасної речовини з дренчерних зрошувачів вимірювали об'ємним методом з використанням насосної установки.

На другому етапі визначали витрати водної вогнегасної речовини з використанням ручного пожежного ствола РСК-50.

Водні вогнегасні речовини готували шляхом змішування водопровідної води із задалегідь приготовленими концентрованими водними розчинами ПГМГ-ГХ відомої концентрації у ємності для забору води насосної установки.

Вода та водні вогнегасні речовини подавалися насосом з ємності для забору води по рукавній лінії діаметром 125 мм, яка була зібрана з напірно-всмоктуючих пожежних рукавів до дренчерних зрошувачів встановлених на відстані 1, 5, 9, 13 м.

На основі експериментальних даних отримано залежності зміни тиску в дренчерних зрошувачах від фіксованої витрати з них вздовж трубопроводу табл. 1. Провівши статистичну обробку даних, отримали залежність у вигляді поліному. Достовірність апроксимації експериментальних даних в залежності від порядку полінома становить 93,47–99,98 %.

Оскільки отримана точність апроксимації складає 99,98 %, то можна стверджувати про підвищення величини тиску за фіксованої витрати речовини ПГМГ-ГХ в порівнянні з водопровідною водою на 2–6 %.

Таблиця 1 – Залежності зміни тиску в насадках від фіксованої витрати водопровідної води та водної вогнегасної речовини 0,3 % розчин ПГМГ-ГХ

Порядок полінома	Залежності зміни тиску в насадках від фіксованої витрати водопровідної води	R^2 (%)	Залежності зміни тиску в насадках від фіксованої витрати водної вогнегасної речовини 0,3 % розчин ПГМГ-ГХ	R^2 (%)
2	$y=0,003x^2-0,0873x+1,1038$	95,87	$y=0,0019x^2-0,0693x+1,0904$	93,47
3	$y=0,001x^3-0,0184x^2+0,0287x+0,9887$	99,98	$y=0,0012x^3-0,0233x^2+0,0676x+0,9545$	99,98

Проведеними дослідженнями з дискретними витратами встановлено, що мінімальна концентрація полімеру, за якої фіксується наявність гідродинамічної активності, складає 0,3 %. Нижче цієї концентрації підвищення значення тиску та дискретних витрат на досліджуваній установці не було встановлено.

Дослідження наявності гідродинамічної активності водних розчинів полігексаметиленгуанідин гідрохлориду шляхом встановлення витрати з дренчерних зрошувачів.

Вода та водні вогнегасні речовини подавалися насосом з ємності для забору води по рукавній лінії. Витрати води в рукавній лінії з першого дренчерного зрошувача (встановленого на відстані 1 м) під час випробування складала 0,52083 л/с. Для водних розчинів досліджуваного полімеру за рахунок зниження гідродинамічного опору тертя в рукавній лінії спостерігалось збільшення витрат вогнегасних рідин що складала: 0,53055; 0,54955; 0,56085; 0,55859; 0,55866; 0,5586; 0,55863 л/с. Витрати води в рукавній лінії з дренчерного зрошувача встановленого на відстані 13 м під час випробування складала 0,36458 л/с. Для водних розчинів ПГМГ-ГХ вона складала 0,37135; 0,38462; 0,3926; 0,39257; 0,3922; 0,39254; 0,39106 л/с. Отримане збільшення витрати вогнегасних рідин з полімерними добавками (рис. 2) вказує на той факт, що рукавна лінія та дренчерні зрошувачі працювали в режимі зниження гідродинамічного опору.

За цих умов максимальна величина ефекту зниження гідродинамічного опору за оптимальних умов за концентрації полімеру 0,7 % складала 7 %.

Провівши статистичну обробку даних, отримали залежність у вигляді поліному. Вона дозволяє розраховувати залежність витрати від концентрації полімеру.

Достовірність апроксимації експериментальних даних в залежності від порядку полінома становить 94–99 %. В табл. 2 наведено залежність витрати від концентрації полімеру та достовірність апроксимації експериментальних даних в залежності від порядку полінома.

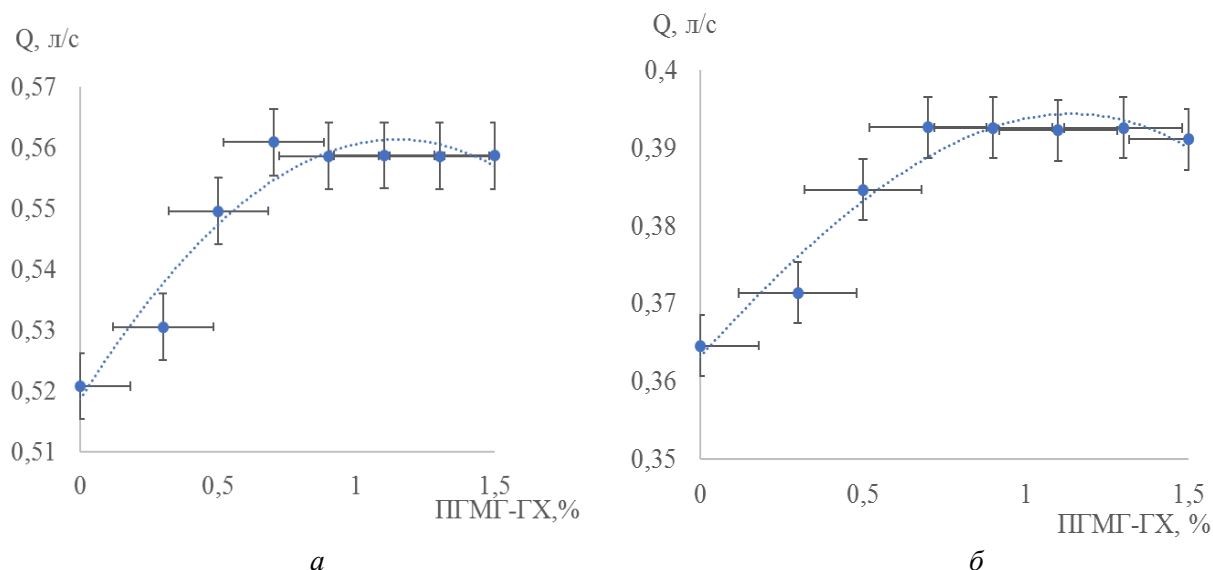


Рисунок 2 – Витрати водної вогнегасної речовини полігексаметиленгуанідину гідрохлориду: *a* – трубопровід довжиною 1 м; *б* – трубопровід довжиною 13 м

Таблиця 2 – Залежність витрати від концентрації полімеру та достовірність апроксимації експериментальних даних в залежності від порядку полінома

Порядок полінома	Залежність витрати від концентрації полімеру	R^2 (%)	Залежність витрати від концентрації полімеру	R^2 (%)
	трубопровід довжиною 1 м		трубопровід довжиною 13 м	
2	$y = -0,0324x^2 + 0,0744x + 0,5185$	93,12	$y = -0,0237x^2 + 0,0543x + 0,3625$	94,28
3	$y = -0,0017x^3 - 0,0287x^2 + 0,0723x + 0,5186$	93,12	$y = -0,0065x^3 - 0,009x^2 + 0,0461x + 0,3632$	94,57
4	$y = 0,1018x^4 - 0,3088x^3 + 0,2586x^2 - 0,0105x + 0,5204$	97,71	$y = 0,0658x^4 - 0,205x^3 + 0,1766x^2 - 0,0074x + 0,3643$	98,22
5	$y = -0,2221x^5 + 0,9539x^4 - 1,4572x^3 + 0,8915x^2 - 0,1283x + 0,5208$	99,75	$y = -0,1481x^5 + 0,634x^4 - 0,9708x^3 + 0,5987x^2 - 0,086x + 0,3646$	99,94

Проаналізувавши дані рис. 2, *a, б* та залежність витрати від концентрації та довжини трубопроводу, можна стверджувати, що позитивний ефект зниження гідродинамічного опору спостерігається одразу на початковій ділянці трубопроводу. Надалі цей ефект зберігається і навіть несуттєво посилюється.

Встановивши початкові (мінімальні) концентрації полімеру за яких спостерігається зменшення гідравлічних втрат на дренчерних зрошувачах подальші дослідження проводили із використанням пожежного ствола РСК-50 за концентрації полімеру менше 0,3 %.

Дослідження наявності гідродинамічної активності водних розчинів полігексаметиленгуанідину гідрохлориду шляхом встановлення витрати із використанням пожежного ствола РСК-50.

Вода та водні вогнегасні речовини подавалися насосом з ємності для забору води по рукавній лінії. Пожежний ствол РСК-50 під'єднували до насосної установки та ємності для забору води (водної вогнегасної речовини) об'ємом 1 м³.

Результати визначення витрат водопровідної води та водної вогнегасної речовини ПГМГ-ГХ з використанням пожежного ствола РСК-50 (діаметр насадки – 13 мм, кут факела розпиленого струменя – 30°, робочий тиск – 3 bar) наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Витрати водної вогнегасної речовини з використанням пожежного ствола РСК-50

Вид вогнегасної речовини	Витрати водної вогнегасної речовини, л/с	Коефіцієнт витрат рідини, <i>k</i>
Вода	2,80	1
ПГМГ-ГХ 0,290 %	4,99	1,78
ПГМГ-ГХ 0,035 %	3,37	1,20

Проведеними експериментальними дослідженнями встановлено, що додавання полімеру за концентрацій нижче 0,3 % приводить до підвищення витрат досліджуваних розчинів водної вогнегасної речовини. Прийнявши коефіцієнт витрат води за 1, розрахували коефіцієнти витрат водної вогнегасної речовини ПГМГ-ГХ, що дорівнює 1,20 та 1,78 за концентрації ПГМГ-ГХ 0,035 % та 0,29 % відповідно.

Отримане збільшення витрати розчинів на основі ПГМГ-ГХ вказує на той факт, що рукавна лінія та пожежний ствол працювали в режимі зниження гідродинамічного опору майже в 2 рази.

Відомо, що одним із резервів підвищення ефективності роботи систем водяного пожежогасіння є використання явища зниження гідродинамічного опору за рахунок використання невеликих кількостей розчинних високомолекулярних полімерів. В даній роботі досліджено можливість зменшення гідравлічних втрат з використанням гуанідинових полімерів, які мають тривалий термін зберігання (5 років), на відміну від розчинів поліетиленоксиду та поліакриламиду, використання яких широко описано в літературі. Передумовами для використання досліджуваних полімерів в пожежогасінні, крім тривалого терміну зберігання, є безпечність гуанідинових препаратів, які широко використовуються у медицині, харчовій промисловості у якості антисептичних, антибактеріальних та лікувальних засобів і належать до IV класу токсичності [16]. Суттєвою перевагою гуанідинових полімерів є відсутність летючості, добра розчинність у воді, відсутність запаху, кольору, не агресивність до різних матеріалів та здатність проявляти інгібуючі властивості біокорозії [16, 17].

Чинниками зниження гідродинамічного опору гуанідиновими полімерами, можуть бути наявність поліелектролітного ефекту в розведених розчинах та/або адсорбція макромолекул полімеру на стінках, що призводить до зменшення тертя. Обґрунтування вірогідності таких механізмів дії полягає у наступному.

Використаний ПГМГ-ГХ є лінійним полімером, відноситься до класу сильних поліоснов та є поліелектролітом, внаслідок електролітичної дисоціації якого утворюються макроїони та контрйони. Йоногенні гуанідинові групи ПГМГ-ГХ надають полімеру властивості катіонного поліелектроліту, що має поліелектролітний ефект в розведених розчинах – ефект розбухання макро клубків під дією на ланцюгу макромолекули позитивних зарядів (рис. 3).

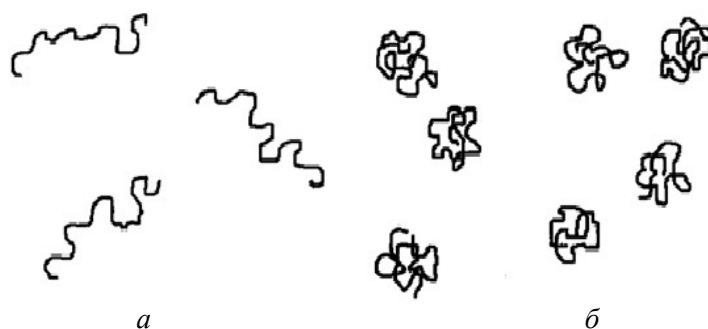


Рисунок 3 – Конформація макромолекул ПГМГ-ГХ: *а* – розгорнута в розведеному розчині; *б* – згорнута в концентрованому розчині

Молекули полімеру за концентрації менше 1 % сильно розбухають у воді та мають ниткоподібну будову, внаслідок чого під дією потоку рідини вони витягуються вздовж потоку, що посилює плинність в пристінних ділянках і, ймовірно, здатне зменшити гідравлічні втрати під час використання водних розчинів ПГМГ-ГХ (рис. 2, табл. 3).

При підвищенні концентрації (приблизно від 1,0 до 3,0–5,0 мас. %) можуть відбуватися конформаційні зміни в макромолекулах ПГМГ-ГХ, а саме: макромолекули приймають все більш згорнуту конформацію: спочатку – рихлих розпушених статистичних клубків (рис. 3, *а*), а з підвищенням концентрації статистичні клубки макромолекул починають перекриватись та ущільнюватись (рис. 3, *б*), зменшуючись в розмірах та утворюючи більш згорнуті щільні макромолекулярні клубки. Внаслідок цього за концентрації більше 1,4 % відбувається поступове зменшення гідродинамічної активності (рис. 2, *а*, *б*). За концентрації ПГМГ-ГХ менше 1 % експериментально встановлено збільшення витрат водної вогнегасної речовини з використанням пожежного ствола РСК-50 (табл. 3). За цих умов досягається зниження гідродинамічного опору майже в 2 рази.

В досліджуваному діапазоні концентрацій ПГМГ-ГХ (0,035–0,29 %) з використанням пожежного ствола РСК-50 не було виявлено суттєвого збільшення дальності подачі водних розчинів

ПГМГ-ГХ. Ймовірно, це пов'язано із зменшенням значення поверхневого натягу й отриманням краплин рідини меншого діаметру, які мають меншу кінетичну енергію. Це може бути використано для осадження пилоподібних продуктів згорання, зниження теплового випромінення, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище під час гасіння пожеж.

Суттєвий вплив на зниження гідродинамічного опору гуанідиновими полімерами може мати і адсорбція на стінках трубопроводу солей ПГМГ – за наявності вторинної аміногрупи у гуанідиновому угрупованні – з утворенням достатньо стійкого адсорбційного шару. Таким чином, макромолекули полімеру збільшують на внутрішній поверхні труб пристінний (ламінарний) шар [18, 19]. І, оскільки кожна макромолекула ПГМГ вкрита тетрамерами води (внаслідок асоціації), їх взаємодія з утворенням водневих зв'язків може призводити до структурування води і також посилення плинності (табл. 3) в пристінних ділянках. Основним регулятором процесу є кількість полімеру та особливості формування пристінного шару (дренчерні установки, пожежні стволи, первинні засоби пожежогасіння). Тому суттєвий вплив на зниження гідродинамічного опору тертя має вибір способу подачі водної вогнегасної речовини (первинні засоби пожежогасіння, вогнегасники, пожежні стволи, тощо), оскільки оптимальне зниження гідравлічних втрат з використанням пожежного ствола РСК-50 (табл. 3), дренчерних зрошувачів (рис. 2), вогнегасників [16] досягається в певному діапазоні концентрацій. Тому необхідно обґрунтовано підходити до визначення необхідної кількості полімеру та способу подачі в залежності від поставлених завдань (зменшення гідравлічних втрат, дальність подачі, поліпшення вогнегасних властивостей тощо).

Така невизначеність накладає певні обмеження на використання отриманих результатів, що може по-різному трактуватися в рамках даного дослідження та породжує потенційно цікавий напрям подальших досліджень. Вони, зокрема, можуть бути орієнтовані на виявлення концентраційного параметру ПГМГ-ГХ, з якого починається падіння гідродинамічної активності їхніх розчинів. Таке виявлення дозволить дослідити перетворення, що починають відбуватися в цей час, та визначити концентраційні межі, за яких спостерігається «негативний» вплив ПГМГ-ГХ на гідродинамічну активність водних розчинів.

Крім того, для кожного конкретного випадку використання необхідно підібрати оптимальні концентрації гідродинамічно активного полімеру. В залежності від сфери використання необхідно враховувати інші параметри: величину поверхневого натягу, піноутворення, стійкість та кратність піни, рН розчину тощо.

Висновки. Встановлено, що водні розчини полігексаметиленгуанідину гідрохлориду проявляють гідродинамічну активність в досліджуваному діапазоні концентрацій ПГМГ-ГХ (0,3–1,4 %).

Експериментально встановлено підвищення величини тиску водної вогнегасної речовини полігексаметиленгуанідину гідрохлориду на 2–6 % в порівнянні з водопровідною водою за фіксованої витрати з дренчерних зрошувачів. Показано, що максимальне збільшення витрати вогнегасних рідин з полімерними добавками через дренчерні зрошувачі досягається за концентрації полімеру 0,7 %.

Експериментально встановлено збільшення витрат водної вогнегасної речовини полігексаметиленгуанідину гідрохлориду з дренчерних зрошувачів в досліджуваному діапазоні концентрацій вздовж трубопроводу 1–13 м на 1,86–7,69 % в залежності від концентрації та довжини трубопроводу. Показано, що введення незначних концентрацій (0,035–0,290 %) полігексаметиленгуанідину гідрохлориду збільшує витрати водної вогнегасної речовини у 1,20–1,78 раз під час використання пожежного ствола РСК-50. Встановлено, що рукавна лінія та пожежний ствол за концентрацій полігексаметиленгуанідину гідрохлориду 0,290 % працювали в режимі зниження гідродинамічного опору майже в 2 рази.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Симоненко А. П. Повышение эффективности работы противопожарной техники путем применения гидродинамически активных водорастворимых композиций // Сб. научн. трудов Национального университета гражданской защиты Украины «Проблемы пожарной безопасности». 2012. Вып. 32. С. 195-206.
2. Гидродинамически-активные композиции в пожаротушении /Ступин А. Б., Симоненко А. П., Асланов П. В., Быковская Н.В. // Донецк: ДонГУ. 2007. С.173.
3. Применение гидродинамически активных композиций для увеличения пропускной способности канализационных коллекторов и систем водоотведения в чрезвычайных ситуациях / Симоненко А. П., Собко А. Ю., Быковская Н. В., Прохоренко С. Ф. // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. 2012. № 2(15). С. 189-194.

4. Применение водорастворимых полимеров для снижения гидравлического сопротивления трения / Т. И. Яснюк, Е.А. Вязкова, Е. Ю. Анисимова и др. // Вестник Евразийской науки, 2018 №3, Том 10.
5. Xi, L. (2019) Turbulent drag reduction by polymer additives: Fundamentals and recent advances. *Physics of Fluids*. 31. 10.1063/1.5129619.
6. Voulgaropoulos, V., Zadrazil, I., Brun, N. Le, Bismarck, A. and Markides, C. N. (2019) On the link between experimentally-measured turbulence quantities and polymer-induced drag reduction in pipe flows, *AIChE J.* 65, 16662.
7. Zhu, L., Bai, X., Krushelnycky, E. and Xi, L. (2019) Transient dynamics of turbulence growth and bursting: effects of drag-reducing polymers, *J. Non-Newton. Fluid Mech*, 266, 127–142.
8. Zhu, L., Schrobsdorff, H., Schneider, T. and Xi, L. (2018) Distinct transition in flow statistics and vortex dynamics between low- and high-extent turbulent drag reduction in polymer fluids, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* 262, 115–130.
9. Pereira, S., Thompson, R. and Mompean, G. (2019) Common features between the Newtonian laminar-turbulent transition and the viscoelastic drag-reducing turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*, 877, 405-428.
10. Benzi R., Ching, E. (2018) Polymers in fluid flows. *Annu. Rev. Condens. Matter Phys*, 9, 163–181.
11. Валиев М. И., Жолобов В. В., Тарновский Е. И. К вопросу о механизме действия высокомолекулярных полимерных противотурбулентных присадок // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2013. №3(11). С. 18-26.
12. Орлов О.П. Физическая природа явления уменьшения сопротивления трения в слабых водных растворах полимеров. // Труды Крыловского государственного науч. Центра, 2016., В 92 С. 59-91.
13. Hydroquick System. AEG & Union Carbide (German & USA)
14. Kostiuk D. Research into cavitation processes in the trapped volume of the gear pump / D. Kostiuk, D. Kolesnikov, S. Stas, O. Yakhno // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. - 2018. - № 4(7). - P. 61-66.
15. Нижник Ю.В. Способ получения полигуанидинов. Патент Украины №79720/ Баранова А.И., Мариевский В.Ф. Федорова Л.Н., Надтока О.Н., Нижник Т.Ю. - Оpubл. 10.07.2007 р. в Бюл. № 10, 2007 г.
16. Магльована Т.В. Екологічні аспекти використання гуанідинових полімерів в умовах надзвичайних ситуацій: [Монографія] Видання друге/ Т. В. Магльована, Т. Ю. Нижник, С. В. Жартовський – Черкаси: видавець ФОП Гордієнко Є.І., 2017–210 с.
17. Антикоррозионные свойства обеззараживающих реагентов на основе полигексаметиленгуанидина гидрохлорида / Воинцева И. И., Нижник Т. Ю., Стрикаленко Т. В., Баранова А.И. // *Вода: химия и экология*. 2018. № 10-12. С. 99-108.
18. Структура турбулентного пограничного слоя при совместном использовании деформирующейся поверхности и полимерных добавок слабой концентрации Г. А. Воропаев, Н. Ф. Димитриева, Я. В. Загуменный - *Прикладна гідромеханіка*. 2013. Том 15, N 2. С. 3 – 12
19. Tsukahara T. PIV and DNS analyses of viscoelastic turbulent flows behind a rectangular orifice / T. Tsukahara, M. Motozawa, D. Tsurumi, Y. Kawaguchi. // *International Journal of Heat and Fluid Flow*. – 2013, V. 41. - P. 66-79.

REFERENCES

1. Simonenko, A. P. (2012) Povysheniye effektivnosti raboty protivopozharnoy tekhniki putem primeneniya gidrodinamicheskii aktivnykh vodorastvorimykh. *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, 32, 195– 206.
2. Stupin, A. B., Simonenko, A. P., Aslanov, P. V., Bykovskaya, N.V. (2007) *Gidrodinamicheskii-aktivnyye kompozitsii v pozharotushennii*. DonSU, 173.
3. Simonenko, A. P., Sobko, A. Yu., Bykovskaya, N. V., Prokhorenko, S. F. (2012) *Primeneniye gidrodinamicheskii aktivnykh kompozitsiy dlya uvelicheniya propusknoy sposobnosti kanalizatsionnykh kollektorov i sistem vodootvedeniya v chrezvychaynykh situatsiyakh*. *Vístí Avtomobil'no-dorozhn'ogo institutu*, 2 (15), 189–194.
4. Yasnyuk, T., Vyazkova, E., Anisimova, E., Tsyrendashiev, N., Panasenko, N., Tsybulya, I. (2018) *Primeneniye vodorastvorimykh polimerov dlya snizheniya gidravlicheskogo soprotivleniya treniya*, *Vestnik Yevraziyskoy nauki*, 3, 10.
5. Xi, L. (2019) Turbulent drag reduction by polymer additives: Fundamentals and recent advances. *Physics of Fluids*. 31. 10.1063/1.5129619.
6. Voulgaropoulos, V., Zadrazil, I., Brun, N. Le, Bismarck, A. and Markides, C. N. (2019) On the link between experimentally-measured turbulence quantities and polymer-induced drag reduction in pipe flows, *AIChE J.* 65, 16662.
7. Zhu, L., Bai, X., Krushelnycky, E. and Xi, L. (2019) Transient dynamics of turbulence growth and bursting: effects of drag-reducing polymers, *J. Non-Newton. Fluid Mech*, 266, 127–142.

8. Zhu, L., Schrobsdorff, H., Schneider, T. and Xi, L. (2018) Distinct transition in flow statistics and vortex dynamics between low- and high-extent turbulent drag reduction in polymer fluids, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.* 262, 115–130.
9. Pereira, S., Thompson, R. and Mompean, G. (2019) Common features between the Newtonian laminar-turbulent transition and the viscoelastic drag-reducing turbulence. *Journal of Fluid Mechanics*, 877, 405-428.
10. Benzi R., Ching, E. (2018) Polymers in fluid flows. *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.* 9, 163–181.
11. Valiev, M. I., Zholobov, V. V., Tarnovsky, E. I. (2013) К вопросу о механизме действия высокомолекулярных полимерных противотурбулентных присадок. *Наука і технології трубопроводного транспорту нафти і нафтопродуктів*, 3 (11), 18–26.
12. Orlov O.P. (2016) The physical nature of the phenomenon of a decrease in friction resistance in weak aqueous solutions of polymers. // *Proceedings of the Krylov State Scientific. Centere*, 92, 59-91.
13. Hydroquick System. AEG & Union Carbide (German & USA).
14. Kostiuk, D., Kolesnikov, D., Stas, S., Yakhno, O. (2018) Research into cavitation processes in the trapped volume of the gear pump. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7), 61-66.
15. Nizhnik, Yu.V., Baranova, A.I., Marievsky, V.F. Fedorova, L.N., Nadtoka, O.N., Nizhnik, T.Yu. Sposob polucheniya poliguanidinov, Patent UA, N 9720; 2007 (in Ukraine).
16. Maglyovana, T.V., Nyzhnyk, Y.U., Zhartovsiy S. V. (2017), [Monohrafiya] Vydannya druhe Environmental aspects of the use of guanidine polymers in emergency situations, Cherkassy, 210.
17. Voropayev, G., Dimitriyeva, N., Zagumenny, Y. (2013) Структура турбулентного пограничного слоя при совместном использовании деформирующихся поверхностей и полимерных добавок слабой концентрации, *Прикладна гидромеханіка*, 15, 2, 3–12.
18. Tsukahara, T., Motozawa, M., Tsurumi, D., Kawaguchi, Y. (2013) PIV and DNS analyses of viscoelastic turbulent flows behind a rectangular orifice. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 41, 66-79.
19. Marievsky, V. F., Baranova, A. I., Nizhnik, Yu. V., Strikalenko, T. V., Nizhnik, T. Yu., Maglyovana T. V. (2011) Metodicheskiye i ekologo-gigiyenicheskiye aspekty analiza bezopasnosti vody pri ispol'zovanii nekotorykh reagentov dlya yeye. *Voda: Khimiya i ekologiya*, 4, 58–65.

Tatyana Maglyovana¹, Doctor of Technical Sciences, Docent

Taras Nyzhnyk², Candidate of Technical Sciences,

Serhiy Stas¹, Candidate of Technical Sciences, Professor

Denis Kolesnikov¹, Candidate of Technical Sciences, Docent

³Tatyana Strikalenko, Doctor of Medical Sciences, Professor

¹Cherkassy Institute of Fire Safety named by Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine

²National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute"

³Odessa National Academy of Food Technologies

INCREASING EFFICIENCY OF WATER FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS BY USING HYDRODYNAMIC ACTIVE POLYMERS

It has been established that water solutions of polyhexamethyleneguanidine hydrochloride exhibit hydrodynamic activity in the studied range of concentrations of PHMG-HC (0.3–1.4 %). We have determined experimentally the increase in pressure of polyhexamethyleneguanidine hydrochloride water extinguishing agent by 2–6 % in comparison with tap water at the fixed flow rate from the drencher distributors. It has been shown that the maximum increase in the flow rate of extinguishing liquids with polymer additives through drencher distributors occurs at a polymer concentration of 0.7 %.

It has been established experimentally that the flow rate of the water-extinguishing agent of polyhexamethyleneguanidine hydrochloride from drencher distributors in the studied concentration range along the pipeline of 1–13 m increased by 1.86–7.69 % depending on the concentration and length of the pipeline. Showed that the addition of insignificant concentrations (0.035–0.290 %) of polyhexamethyleneguanidine hydrochloride increased the flow rate of water extinguishing agent by 1.20–1.78 times when using the RSK-50 fire barrel. It was found that the hose line and fire barrel worked under the mode of reduction of the hydrodynamic resistance almost by 2 times at polyhexamethyleneguanidine hydrochloride concentrations of 0.290 %.

Key words: *polyhexamethyleneguanidine hydrochloride, water extinguishing agent, firefighting, hydrodynamic activity, polymer turbulence drag reduction.*