

О. Б. Ступін , О. П. Симоненко , П. В. Асланов  
Донецький національний університет,  
кафедра фізики нерівноважних процесів, метрології і екології

## ГІДРОДИНАМІЧНО-АКТИВНІ ВОДОРОЗЧИННІ ПОЛІМЕРНІ КОМПОЗИЦІЇ І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННІ Й ЕКОЛОГІЇ

© Ступін О. Б., Симоненко О. П., Асланов П. В., 2013

Стаття присвячена систематизації відомих сьогодні і розроблених в Донецькому національному університеті полімерних матеріалів на основі високомолекулярних поліетиленоксиду (ПЕО) і поліакриламід (ПАА). Обґрунтовані галузі переважного практичного застосування однорідних розчинів, висококонцентрованих полімерних гелей, рідких (суспензії, пасти) і твердих полімерних композицій (покривів і брикетів) на основі ПЕО і ПАА в енергозбереженні й екології.

**Ключові слова:** композиція, поліетиленоксид, ефект Томса, енергозбереження, екологія, техногенна безпека.

This paper is devoted to the systematization of known to date and developed at the Donetsk National University polymeric materials based on high-molecular polyethylene oxide (PEO) and polyacrylamide (PAA). Areas for the practical application of homogeneous solutions, highly concentrated polymeric gels, liquids (suspensions, pastes) and solid polymer compositions (coating and pellets) based on PEO and PAA in energy saving and environmental protection are reasonable.

**Key words:** polymeric composition, polyethyleneoxide, Toms' effect, energy-saving, ecology, antropogenic safety.

### Вступ

Природні стихійні лиха і великі аварії техногенного характеру є причиною загибелі великої кількості людей, завдають значних матеріальних збитків, істотно забруднюють довкілля. Зазвичай, вони супроводжуються великими затопленнями водою територій промислових підприємств і житлових масивів, сильними пожежами, порушенням нормальної роботи, а іноді і руйнуванням інженерних споруд підвищеної екологічної небезпеки, до яких, передусім, належать атомні електростанції (АЕС), підприємства хімічної і нафтопереробної промисловості, каналізаційні системи, системи скидання сильнозабруднених стічних вод хімічних, нафтохімічних і нафтопереробних підприємств, гальванічних виробництв тощо.

Аналіз результатів роботи оперативних підрозділів Міністерства з надзвичайних ситуацій показує, що здебільшого під час ліквідації аварій вони використовують централізовані і мобільні установки для гасіння пожеж і відкачування води, які характеризуються наявністю трубопроводів великої довжини, підвищеною матеріаломісткістю і значним споживанням електроенергії. При цьому встановлено, що устаткування, яке використовується, особливо у разі великих масштабів аварій, малоефективне, оскільки воно не дає можливості в найкоротші терміни локалізувати і нейтралізувати джерело аварійної ситуації, а отже, і зменшити масштаби її наслідків.

У зв'язку з вищевикладеним, у всьому світі інтенсивно ведуться роботи з створення високо-ефективних екологічно-чистих технологій і технічних засобів для їх реалізації, які дозволять оперативно брати під контроль надзвичайні ситуації, ліквідовувати джерела їх виникнення, а також ефективно і в найкоротші терміни відновити нормальну роботу пошкоджених, або повністю зруйнованих інженерних комунікацій, які можуть нанести значний екологічний збиток довкіллю, забруднюючи атмосферне повітря, водні джерела і навколишні території.

Численними дослідженнями, виконаними в Україні і за кордоном, встановлено, що додатки розчинних високомолекулярних полімерів з лінійною структурою макромолекул приводять до істотного (до 80%) зниження гідродинамічного опору тертя при турбулентному режимі руху рідин в трубах.

Використання цього явища дає можливість підвищити ефективність роботи різних гідравлічних систем по одному з показників: зменшення використовуваної насосами потужності, збільшення довжини прямолінійних ділянок трубопроводів, застосування труб меншого діаметра, або збільшення витрати рідини (табл. 1).

Таблиця 1

**Варіанти можливого використання явища зменшення гідродинамічного опору тертя**

№ з/п	Величина ефекту зниж. опору, %	Збільшення довжини трубопроводів, к-ть разів	Зменшення внутрішнього діаметру труб, %	Збільшення витрати рідини, к-ть разів	Зменшення потужності що витрач. насосом на перекачування, %
1.	10	1,11	2	1,05	10
2.	20	1,25	4	1,12	20
3.	30	1,43	7	1,20	30
4.	40	1,43	10	1,29	40
5.	50	2,0	13	1,41	50
6.	60	2,5	17	1,58	60
7.	70	3,33	21	1,82	70
8.	80	5	28	2,24	80

У роботах [ 1–4 ] розглянуті перспективи практичного використання явища зниження гідродинамічного опору тертя із застосуванням мікродобавок високомолекулярних полімерів (ефект Томса).

На великий жаль, в цих публікаціях практично усі дослідження проведені з використанням заздалегідь приготовлених однорідних розчинів. Це значною мірою знижує практичну цінність цих робіт, оскільки здебільшого застосування розчинів в промислових масштабах пов'язане з трудомістким процесом їх приготування, оскільки потребує використання громіздкого устаткування, а іноді, наприклад, на автономних об'єктах, реалізувати переваги ефекту Томса за такою схемою практично неможливо.

У патентній літературі є патенти на винаходи, які присвячені створенню на основі високомолекулярних поліетиленоксиду (ПЕО) і поліакриламід (ПАА) водорозчинних полімерних композицій для застосування в енергозбереженні і екології. Проте, ця інформація не систематична, застаріла, а іноді суперечлива.

До одних з перших публікацій, присвячених практичному застосуванню водорозчинних гідродинамічно-активних полімерних композицій в енергозбереженні й екології, належать монографії [5–7], в яких показані переваги застосування композицій порівняно із заздалегідь приготовленими полімерними розчинами. На превеликий жаль, у межах цих робіт авторам не вдалося повною мірою розкрити потенційні можливості застосування полімерних матеріалів (композицій) на основі високомолекулярних ПЕО і ПАА в цілях енергозбереження, підвищення ефективності роботи гідравлічних систем і машин, а також для вирішення деяких проблем екології і техногенно-екологічної безпеки.

**Мета цієї роботи** полягає в проведенні систематизації відомих сьогодні полімерних композицій на основі ПЕО і ПАА (однорідних розчинів, висококонцентрованих полімерних гелів, рідких і твердих водорозчинних композицій, брикетів тощо), а також у визначенні переважних галузей їх застосування в енергозбереженні й екології з конкретними прикладами реалізації.

**Основна частина**

У табл. 2 (з додатком) наведено перелік відомих і розроблених в Донецькому національному університеті (ДонНУ) полімерних матеріалів, які можна використовувати у вигляді:

Таблиця 2

**Однорідні концентровані розчини полімерів (ОКРП), висококонцентровані полімерні гелі (ВКПП), рідкі й тверді водорозчинні полімерні композиції (РВПК, ТВПК) і рекомендовані гаузузі їх практичного застосування в енергозбереженні й екології**

№ з/п	Назва полімерного матеріалу (композиції)	Умовне скорочення назви композиції	Вміст полімеру, % ваг.	Порядковий номер рекомендованих гаузузей застосування згідно з додатком до таблиці
1	2	3	4	5
Однорідні розчини і полімерні гелі.				
1	Однорідні концентровані розчини полімерів приготовлені за класичною схемою	ОКРП	0,05-1,0	1.3, 1.6, 1.10, 2.1, 2.2, 2.3, 2.5, 2.6, 2.7.
2	Висококонцентровані полімерні гелі	ВКПП	до 8,0	1.6, 1.10, 2.3, 2.5, 2.6.
Рідкі водорозчинні полімерні композиції (РВПК)				
3	Рівнощільні тонкодисперсні полімерні суспензії й емульсії	РТПС	до 15,0	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.7, 2.4, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11.
4	Тонкодисперсні водорозчинні полімерні пасти	РТПЕ	до 34,0	1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.7, 1.9, 2.4, 2.6, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11.
5	Рідкі композиції (суспензії) з підвищеним вмістом полімеру	ТВВП	35,0-60,0	1.1, 1.2, 1.5, 1.7, 1.9, 2.4, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11.
Рідкі водорозчинні полімерні композиції (РВПК)				
Тверді водорозчинні полімерні композиції (ТВПК)				
Полімерні покриття				
6	Ультраслабкі полімерні покриття, приготовлені нанесенням лакофарбних матеріалів	УПП (ЛФМ)	30,0-65,0	1.3, 1.6, 1.9, 2.1, 2.2, 2.3, 2.5.
7	Ультраслабкі полімерні покриття на армуючих вставках, приготовлені нагріванням полімерних суспензій	УПП (НПС)	30,0-60,0	1.3, 1.6, 1.8, 1.9.
8	Флокові покриття з водорозчинним полімерним наповнювачем	ФПП (ВН)	25,0-30,0	1.3, 1.6, 1.8, 1.9.
Полімерні брикети				
9	Тверді водорозчинні полімерні композиції – брикети, приготовлені шляхом холодного пресування суміші тонкодисперсного полімерного порошку і наповнювача	ТВПБ	90,0-95,0	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.7, 1.9, 2.4, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11

**Рекомендовані галузі застосування водорозчинних полімерних композицій  
в енергозбереженні й екології**

***1. Енергозбереження і підвищення ефективності роботи гідравлічних систем і машин за рахунок зниження в них гідродинамічного опору тертя***

- 1.1. Підвищення ефективності роботи централізованих систем водяного пожежогасіння, аварійного відкачування води і збільшення пропускної здатності трубопроводів каналізаційних систем в період “пікових навантажень” [5-7].
- 1.2. Збільшення пропускної здатності магістральних трубопроводів систем тепло- і холодозабезпечення в період “пікових навантажень”.
- 1.3. Підвищення ефективності роботи мобільних установок пожежогасіння й аварійного відкачування води короткочасної дії [5-7].
- 1.4. Поліпшення віброакустичних характеристик гідравлічних систем [8].
- 1.5. Зменшення гідравлічних втрат в магістральних трубопроводах при гідротранспорті сипких матеріалів.
- 1.6. Підвищення ефективності роботи зрощувальних систем [9].
- 1.7. Вдосконалення способів регулювання тиску і витрат води по трубопроводах в складних гідравлічних системах [10].
- 1.8. Підвищення ефективності роботи пристроїв і машин, що використовують високошвидкісні струмені води (гідроруйнування і гідророзрізання твердих матеріалів в т.ч. і тих, що знаходяться в рідині) [5,7].
- 1.9. Зниження гідродинамічного опору тертя рухомих у воді автономних об'єктів [3].
- 1.10. Підвищення ефективності роботи устаткування, яке використовується для ізоляції пожеж у вугільних шахтах з використанням гіпсових розчинів [5-7].

***2. Вирішення проблем екології і техногенно-екологічної безпеки***

- 2.1. Поліпшення екологічної ситуації на великих тваринницьких комплексах за рахунок зменшення виділення з гною шкідливих газів [7].
- 2.2. Підвищення ефективності очищення гнойових стоків тваринницьких комплексів від твердих домішок [7].
- 2.3. Флокуляційне очищення природних і стічних вод.
- 2.4. Локалізація джерел забруднення ґрунту нафтою, нафтопродуктами і сильнозабрудненими стічними водами шляхом створення в ґрунті ізолюючих шарів.
- 2.5. Зменшення забруднення атмосфери пилом на великих тваринницьких комплексах, при видобутку корисних копалин, ліквідації аварій на АЕС і т.д.
- 2.6. Створення захисних плівок для зменшення вивітрювання тонкодисперсних фракцій з сипких матеріалів при їх транспортуванні.
- 2.7. Реагентне очищення відпрацьованих технічних мастил. Використання розчину ПЕО як складового компонента композиційного реагента-флокулянта [11].
- 2.8. Експрес-приготування великої кількості однорідних розчинів високомолекулярних полімерів з максимальними збереженнями молекулярної маси для різних технологічних, в т.ч. і природоохоронних процесів.
- 2.9. Підвищення ефективності гасіння великомасштабних пожеж [6].
- 2.10. Попередження виникнення аварійних ситуацій в каналізаційних системах при їх перенаповненні [5,7].
- 2.11. Ліквідація наслідків техногенних аварій, пов'язаних із затопленням територій промислових підприємств, житлових масивів водою і сильнозабрудненими стічними водами [5,7].

однорідних концентрованих розчинів, приготовлених за класичною схемою; висококонцентрованих полімерних гелів; рідких водорозчинних полімерних композицій – РВПК (рівнощільних тонкодисперсних суспензій, тонкодисперсних паст, рідких композицій з підвищеним вмістом полімеру); твердих водорозчинних полімерних композицій –ТВПК (ультраслабких-легко розчинних у воді полімерних покриттів, які отримують шляхом нагрівання полімерних суспензій в литних формах, або нанесенням на тверду поверхню об'єкта, що рухається у воді, а також на армуючі вставки проточного генератора приготування розчинів лакофарбних матеріалів; флокових покриттів з водорозчинними полімерним наповнювачами) і твердих брикетів, які готуються шляхом холодного пресування суміші тонкодисперсного порошку і наповнювача.

У колонках 3,4 таблиці 2 приведені прийняті в ДонНУ умовні позначення цих композицій і вміст в них гідродинамічно-активного полімеру, у ваг.%, а в колонці 5 -порядкові номери з переліку рекомендованих галузей їх застосування, згідно з Додатком до таблиці 2.

В якості прикладів ефективного використання на практиці в цій роботі будуть розглянуті результати лабораторних, полігонних і натурних випробувань деяких полімерних композицій в пожежогасінні, для збільшення пропускної здатності каналізаційних систем, а також для підвищення ефективності роботи гідроімпульсних машин при руйнуванні твердих матеріалів.

### **Застосування полімерних композицій в пожежогасінні**

Пожежі, як неконтрольовані процеси горіння різних матеріалів, знищують значні матеріальні цінності, створюють загрозу для життя людей, завдають значного збитку довкіллю. Щорічно в Україні відбувається близько 50 тисяч пожеж, в яких гине близько 1,5 тисяч людей, десятки тисяч отримують травми. Велика зношеність основних фондів підприємств, недостатня увага комунальних служб до протипожежних заходів в житловому секторі обумовлюють постійну загрозу виникнення пожеж і аварій, масштаби і наслідки яких можуть негативно вплинути на стан національної безпеки держави і довкілля. Динаміка щорічних економічних втрат від пожеж, на думку фахівців, дозволяє зробити прогноз, що вони в 2012 році досягнуть 1 млрд. грн.

Здебільшого під час гасіння пожеж використовують звичайну воду, або водні розчини спеціально підібраних поверхнево-активних речовин (ПАР), які покращують змочуваність поверхні матеріалу, що горить, або утворюють велику кількість піни.

Однією з найскладніших проблем, що виникають під час експлуатації централізованого і мобільного протипожежного устаткування, є зниження гідравлічних втрат при подачі в осередок пожежі вогнегасних рідин по трубопроводах і рукавних лініях. Окрім цього вважається доцільним розробити і впровадити досконаліші склади вогнегасних рідин, з метою поліпшення їх властивостей.

Одним з резервів підвищення ефективності роботи систем водяного пожежогасіння може бути використання явища зниження гідродинамічного опору при подачі рідин для гасіння пожеж по трубопроводах, а також поліпшення їх вогнегасних властивостей за рахунок застосування мікродобавок розчинних високомолекулярних полімерів, поверхнево-активних речовин і їх сумішей.

### **Зменшення гідравлічних втрат і збільшення далекобійності струменів**

Використання рідких полімерних композицій, які пропонуються для підвищення ефективності роботи мобільних установок пожежогасіння пов'язано з необхідністю їх дооснащення генераторами приготування полімерних розчинів. У деяких випадках, наприклад, під час гасіння пожеж, або аварійному відкачуванні води у вугільних шахтах з використанням пожежних рукавів великої довжини (іноді вона досягає 1000 м і більше) виникає необхідність для отримання максимального ефекту зниження гідродинамічного опору тертя встановлювати по довжині трубопроводу декілька генераторів. Це робить таку схему введення полімерних добавок громіздкою і дорогою.

У подібних випадках вважається доцільним використовувати проточні касети, з ТВПК при розчиненні яких утворюються розчини, що мають знижений гідродинамічний опір тертя. При цьому склад ТВПК вибирається таким способом, щоб вміст полімеру в розчині, що утворюється, був більшим від оптимальної концентрації, при якій проявляється максимальний ефект, оскільки в та-

ких розчинах процес механічної деструкції, що зменшує ефект зниження динамічного опору, відбувається значно повільніше.

Ефективність приготування водних розчинів ТВПК, із застосуванням проточних касет, визначалася в ході проведення лабораторно-стендових і полігонних випробувань. При цьому випробуванням ТВПК піддавалися у вигляді УПП (НПС), які були приготовлені на основі ПЕО з молекулярною масою  $4,8 \cdot 10^6$ .

Полігонні випробування покриттів з УПП(НПС), заздалегідь нанесених на армуючі вставки проточного генератора приготування розчинів, проводилися з використанням пожежного автомобіля АЦ спільно з підрозділом воєнізованої пожежної охорони Донецької залізниці (м. Ясинувата, Донецька обл.). Випробування проводилися в два етапи. На першому етапі в якості вогнегасної рідини використовувалася водопровідна вода, на другому – водний розчин УПП(НПС), на основі ПЕО ( далі по тексту ТВПК ). В ході випробувань контролювалися: витрата пожежогасної рідини по рукавній лінії довжиною 260 м і внутрішнім діаметром 51 мм,  $Q$ , л/с; тиск на початку рукавної лінії  $P$ ,  $\text{кГ/см}^2$ ; тиск у стволі (з діаметром насадки 13 мм)  $P_c$ ,  $\text{кГ/см}^2$ ; далекобійність струменя  $L$ , м. Результати випробувань наведені в табл. 3.

Таблиця 3

### Результати випробувань вогнегасних рідин

№ з/п	$P$ , $\text{кГ/см}^2$	$P_c$ , $\text{кГ/см}^2$	$Q$ , л/с	$L$ , м
Вогнегасна рідина – вода				
1	2	1,4	1,3	19
2	4	3,0	2,7	21
3	6	4,8	3,3	25
4	8	6,6	4,4	31
Вогнегасна рідина - водний розчин ТВПК				
5	4	3,0	3,60	27
6	6	5,0	4,55	32
8	8	7,8	4,60	33

З наведених в табл. 3 даних видно, що використання в якості вогнегасної рідини водного розчину ТВПК дозволяє значно збільшити її витрату по рукавній лінії і підвищити далекобійність струменя.

Так, наприклад, при тиску на початку рукавної лінії  $6 \text{ кГ/см}^2$ , за рахунок застосування проточної касети з ТВПК, витрата полімерного розчину збільшується на 39%, а далекобійність струменя – на 28 %, (порівняно з водою). При цьому втрати тиску в рукавній лінії знижуються на 17%.

Отже, застосування гідродинамічно-активних полімерних композицій у перспективі дозволяє підвищити ефективність протипожежних систем за рахунок: збільшення кількості рідини, що подається в осередок пожежі (в 1,5–2,0 разу) і збільшення далекобійності струменів на 30–40%.

### Поліпшення вогнегасних властивостей

Вогневі випробування ефективності застосування розчинів індивідуальних полімерів і їх сумішей з поверхнево-активними речовинами (ПАР) в пожежогасінні проводилися на полігоні 3-го взводу Державної воєнізованої рятувальної служби Мінвуглепрому України (м. Макіївка, Донецька обл.). Вогнегасні рідини з добавками готувалися шляхом змішування водопровідної води із заздалегідь приготовленими концентрованими водними розчинами полімерних композицій ПК-1, або ПК-2 і їх сумішшю з фтор – ПАР “Кубоксалім”. При цьому вода подавалася насосом з резервуару по ру-

кавній лінії діаметром 66 мм і довжиною 180 м, яка була зібрана з пожежних рукавів (ГОСТ 7877-75), до ручного пожежного ствола з діаметром насадки 16 мм.

В ході випробувань контролювалися такі параметри: тиск води на початку рукавної лінії, кількість вогнегасної рідини, яка була подана в осередок пожежі для його повної ліквідації, час гасіння вогнища. Гасіння модельних осередків пожежі проводили з відстані 10 метрів. В ході випробувань температура води і випробовуваних вогнегасних рідин дорівнювала 15 °С, температура повітря – 10 °С. Тиск на початку рукавної лінії, який характеризує його втрати при русі вогнегасильних рідин, підтримувався постійним і дорівнював 1,2 кг/см<sup>2</sup>.

Під час випробувань в якості матеріалів, які спалювалися (СМ), використовували: шахтна транспортерна стрічка шириною 1 м, армована металевим тросом і згорнута рулоном з внутрішнім діаметром 0,8 м(СМ-1); скат від автомобіля “Москвич”(СМ-2); відпрацьоване індустріальне мастило И-40 з площею горіння 0,5 м<sup>2</sup> (СМ-3); дрова(гілки акації), зібрані в купу діаметром 2,6 м і заввишки 1,2 м(СМ-4).

В якості вогнегасних рідин (ВР) були випробувані: водопровідна вода(ВВ); водний розчин полімерної композиції ПК-1, що містить 0,012 ваг.% ПЕО(ВР-1); водний розчин полімерної композиції ПК-2, що містить 0,012 ваг.% ПАА(ВР-2); водний розчин суміші ПК-1 з “Кубоксалімом”(ВР-3); водний розчин суміші ПК-2 з “Кубоксалімом”(ВР-4); водний розчин 0,02 ваг.% фтор – ПАР

” Кубоксалім”(ВР-5). Вміст ПЕО в ВР-3 і ПАА в ВР-4, після розчинення композицій ПК-1 і ПК-2, дорівнював 0,012 ваг.%, а фтор - ПАР “Кубоксалім” - 0,02 ваг. %.

Витрата води і 0,02 % -го водного розчину фтор - ПАР “Кубоксалім” в рукавній лінії в ході випробувань складала (3,6-3,7) л/с. Для водних розчинів композицій ПК-1, ПК-2(ВР-1, ВР-2) і їх сумішей з фтор - ПАР “Кубоксалім”(ВР-3, ВР-4) за рахунок зниження гідродинамічного опору тертя в рукавній лінії спостерігалось збільшення витрати вогнегасних рідин, величина якого для ВР-1, ВР-2, ВР-3 і ВР-4 в середньому дорівнювала 4,5; 4,36; 4,36 і 4,39 л/с. Отримане збільшення витрати(у 1,2-1,24 разу) вогнегасних рідин з полімерними добавками вказує на той факт, що рукавна лінія працювала в режимі зниження гідродинамічного опору. При цьому величина ефекту зниження гідродинамічного опору дорівнювала (30-37)%.

З урахуванням вищевикладеного, ефект гасіння матеріалів, необхідно розглядати як суму двох чинників : підвищеної подачі вогнегасних рідин в осередок пожежі (за рахунок зниження гідродинамічного опору) і покращення фізико-хімічних(вогнегасних) властивостей води і водних розчинів ПАР за рахунок введення в них високомолекулярних ПЕО і ПАА.

З випробовуваних вогнегасних рідин найменша ефективність гасіння матеріалів, що горіли, була отримана на воді. Для гасіння транспортерної стрічки, автомобільного ската, відпрацьованого індустріального мастила і гілок акації час гасіння водою відповідно дорівнював 14,6; 5,0; 6,5 і 6,0 секунд. При цьому в осередок модельованої пожежі відповідно було подано 53,4; 18,5; 23,7 і 21,8 літрів води.

Використання в якості вогнегасної рідини водного розчину фтор - ПАР “Кубоксаліма”(ВР-5), водних розчинів полімерів(ВР-1 і ВР-2) і сумішей полімер - ПАР(ВР-1 і ВР-4) приводить до різкого зменшення часу гасіння модельних осередків пожежі. Так наприклад, у порівнянні з водою час гасіння транспортерної стрічки при використанні в якості вогнегасних рідин ВР-1, ВР-2, ВР-3, ВР- 4 і ВР-5 зменшується в 2,75; 2,75; 3,17; 3,24 і 2,09 рази. При цьому для ліквідації осередка пожежі було подано меншу кількість вогнегасних рідин в 2,3; 2,3; 2,58; 2,7 і 2,06 рази відповідно. Аналогічні результати були отримані при гасінні автомобільного ската. Використання в якості вогнегасної рідини ВР-3 дає змогу зменшити час гасіння скату в порівнянні з водою, в 1,25 рази.

Порівняння вогнегасних властивостей води і рідини ВР-4 (при гасінні відпрацьованого мастила) показує, що наявність в ВР-4 0,012% ПЕО і 0,02% фтор - ПАР “Кубоксалім” зменшує час гасіння в 1,7 разу. При цьому об'єм вогнегасної рідини, яка була використана для повної ліквідації осередка пожежі, зменшився в 1,4 разу. При гасінні деревини(гілок акації) рідиною ВР-4 був отриманий такий результат: час гасіння осередка пожежі зменшився в 1,87 разу, а кількість необхідної для ліквідації осередка пожежі рідини в 1,54 разу.

### Підвищення пропускної здатності систем каналізації й аварійного відкачування води

Системи аварійного відкачування води і каналізації, в період пікових навантажень, як буде показано нижче, являються яскравим прикладом застосування ефективного використання мікродобавок високомолекулярних полімерів, які знижують гідродинамічний опір тертя.

У цій роботі в якості систем аварійного відкачування води розглядаються водовідливні шахтні установки і комунальні каналізаційні системи.

Спочатку в лабораторних умовах були проведені дослідження з метою оцінки гідродинамічної ефективності ПЕО в шахтній і каналізаційній водах. Проби були відібрані з системи водовідливу шахти ім. М.І.Калініна ДП “Донецьквугілля” і каналізаційного колектора м. Донецька. Результати експериментів показали (див. табл. 4), що максимальна величина зниження гідродинамічного опору тертя (75%), досягається в шахтній і стічній водах при вмісті ПЕО з молекулярною масою  $M=4,8 \cdot 10^6$  (виробництва НДІ хімічної технології, м.Новосибірск, Росія) рівному 0,001-0,007 ваг. %.

Така ж величина ефекту отримана при використанні в якості добавки поліакриламід, - ПАА з молекулярною масою  $4,2 \cdot 10^6$ , який був синтезований в дослідному виробництві НІФХІ ім. Л. Я. Карпова (м. Москва).

Промислові випробування гідродинамічної ефективності полімерних добавок проводилися з використанням РВПК, яка містила 5 мас. % ПЕО і 95% мас.суміші гліцерину з водою, що має щільність 1,23 г/см<sup>3</sup>. Випробування проводилися на ділянці трубопроводу системи пожежогасіння (водовідливу) шахти ім. М.І.Калініна ДП “Донецьквугілля” загальною довжиною 710 м. Вибрана ділянка складалася з труб діаметром 150 і 100 мм, довжина яких відповідно була рівною 230 і 480 метрів. Для збільшення швидкості розчинення ПЕО полімерну суспензію нагрівали до температури 550С, витримували при цій температурі одну годину, а потім охолоджували до кімнатної температури.

Таблиця 4

**Залежність величини ефекту зменшення гідродинамічного опору тертя  $\mathcal{E}$ ,% від вмісту ПЕО  $C_{\text{PEO}}$ ,% мас. у шахтній воді(1) і у воді каналізаційного колектора(2). Дані отримані на капілярному віскозиметрі з діаметром капіляра  $d=1,2$  мм і його довжиною  $L= 0,5$  м. Температура досліджуваних розчинів  $t, ^\circ\text{C} = 22$**

п/п	$C_{\text{PEO}},\%$	$5 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$
1	$\mathcal{E},\%$	40	47	52	66	71	75	76	75	69
2	$\mathcal{E},\%$	38	44	47	62	70	74	75	75	70

Результати випробувань показали (дані експерименту наведені в табл. 5), що через 5 хв з початку подавання полімерної композиції у трубопровід гідравлічні втрати на усій випробовуваній ділянці зменшилися на 12 %, а через 15 хв – на 55 % при рівних витратах води і розчину полімерної композиції).

Таблиця 5

**Залежність величини ефекту зниження гідродинамічного опору  $\mathcal{E}$ ,% , від часу введення добавок (Т, хв) у трубопровід. Дані отримані на ділянці труби діаметром  $d=100$  мм і довжиною  $L=200$  м. Температура випробовуваних рідин  $t, ^\circ\text{C} = 28,5$**

T, хв	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$\mathcal{E}, \%$	12	37	55	57	60	59	58	60	59	60	60	60	60	60	59	60

Очевидно, що аналогічні результати можна отримати і при використанні гідродинамічно-активних полімерних композицій в напірних каналізаційних системах, які (порівняно з системами водовідливу шахт) відрізняються значно більшою довжиною прямолінійних ділянок трубопроводу і меншою мінералізацією стічних вод. Тому варто очікувати, що ефективність застосування добавок у цих системах буде вища.



Попередні оцінки техніко-економічної ефективності практичного застосування добавок, що знижують гідродинамічний опір, були проведені для каналізаційної мережі м.Донецька, яка забезпечує перекачування понад 360000 куб. м стічних вод за добу. При цьому в розрахунках приймали, що за рахунок застосування полімерних добавок величина ефекту зниження гідродинамічного опору тертя в трубопроводах дорівнюватиме 50%. Результати розрахунку показали, що гідродинамічно-активні добавки дозволяють: або заощадити за годину близько 85 тис.кВт електроенергії (за рахунок зменшення енерговитрат на перекачування стічних вод), або збільшити витрату стічних вод в існуючих трубопроводах в середньому на 144 тис.м<sup>3</sup> за добу. Останнє доцільно використати в період пікових навантажень на каналізаційну мережу. Інші варіанти оптимального використання добавок, що знижують гідродинамічний опір тертя, наведені в табл. 1.

Отже, застосування гідродинамічно-активних полімерних композицій на основі ПЕО і ПАА відкриває широкі перспективи підвищення ефективності роботи каналізаційних систем, мереж аварійного відкачування води без залучення додаткових потужностей і зміни їх конструкції. При цьому для кожного конкретного випадку застосування необхідно підібрати найефективнішу гідродинамічно-активну полімерну композицію, яка забезпечить максимальне зниження гідравлічних втрат у трубопроводах.

### **Гідроруйнування твердих порід**

Один з найпрогресивніших способів руйнування твердих матеріалів (гірських порід, вугілля тощо), полягає у використанні струменя рідини, що витікає під великим тиском з отвору (сопла) малого діаметра. Гідроруйнування виключає з технологічного циклу різальний інструмент, робочі кромки якого постійно піддаються зносу.

На принципі гідроруйнування працюють імпульсні гідромонітори комбінованої дії - генератори імпульсних струменів(ГІС). У ГІС в якості робочої рідини використовується звичайна водопровідна вода. Під час роботи в шахтах – очищена від твердих домішок шахтна вода. На цьому принципі розроблена гідроімпульсна машина (ГІМ) для добування вугілля.

Ефективність роботи ГІМ, виконавчим(що руйнує) органом якого є імпульсний струмінь рідини, безпосередньо залежить від його геометричних і гідродинамічних параметрів. Інакше кажучи, однією з основних умов ефективної роботи ГІМ буде отримання струменя з такими гідродинамічними параметрами, які забезпечують доволі високу ефективність процесу гідроруйнування твердого матеріалу. Загальноприйнятим критерієм оцінки гідродинамічних властивостей струменя і його структури є поняття компактності, тобто здатності зберігати свою кінетичну енергію на певній відстані від сопла.

На компактність струменів рідини істотний вплив мають турбулентні пульсації всередині струменя, які приводять до утворення на її поверхні нерівностей у вигляді хвиль і, зрештою, до появи розривів в структурі струменя і збільшення його діаметра. Отже, впливаючи на процеси турбулентного переносу в струмені, можна управляти його компактністю, що зрештою підвищить ефективність роботи ГІМ. При цьому для поліпшення компактності струменя, а, відповідно, і для підвищення ефективності роботи гідроімпульсної техніки, турбулентність в струмені необхідно зменшувати. Окрім того, при промисловому використанні гідроімпульсних машин виникає необхідність зменшення гідравлічних втрат при подачі робочих рідин по трубопроводах і підвищення руйнівної дії струменя в “ глухих ” отворах глибиною 0,2–0,3 м, оскільки їх взаємодія з масивом набуває характеру “затопленого струменя”, яка різко зменшує ефективність роботи ГІМ.

Для підвищення ефективності роботи гідроімпульсної машини для добування вугілля були використані тверді водорозчинні полімерні композиції -(ТВПК) у вигляді УПП(НПС), які наносилися шляхом нагрівання полімерної суспензії в литних формах на армуючі вставки проточного генератора приготування полімерних розчинів.

В ході випробувань перевірялася ефективність використання струменів (з полімерними добавками і без них) для руйнування блоків з гіпсу і вуглецементної суміші. Результати цих досліджень наведені на рис. 1 і 2.

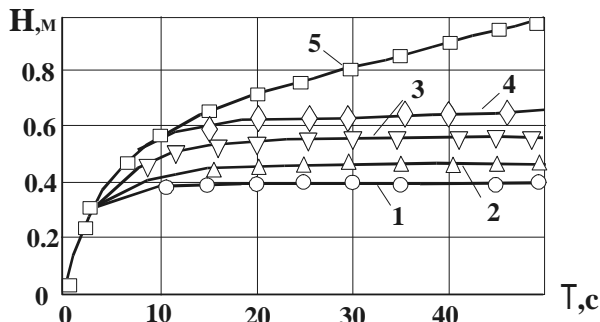


Рис. 1 Залежність глибини отвору  $H$ , м, який пробивався в гіпсовому блоці, від часу дії гідроструменя  $T$ , с: 1 – вода; 2, 3 – 0,002 і 0,004 %- ні водні розчини ПЕО; 4 і 5 – розчини, які були приготовлені з ТВПК в касетах

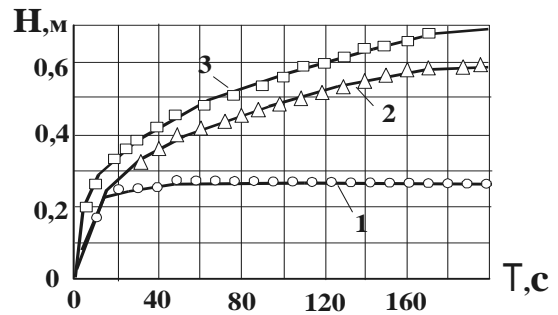


Рис. 2. Залежність глибини отвору  $H$ , м, який пробивався у вуглецементному блоці, від часу дії струменя  $T$ , с. 1 – вода, 2 і 3 – розчини з ТВПК, які були приготовлені в проточних касетах

На рис. 1 наведені залежності глибини отвору  $H$ , м, який пробивався в гіпсовому блоці від часу дії струменя  $T$ , с. Крива 1 отримана для водяного струменя; криві 2 і 3 – при застосуванні струменів, сформованих із заздалегідь приготовлених однорідних розчинів ТВПК з вмістом ПЕО відповідно 0,002% і 0,004% ваг.; криві 4 і 5 відповідають струменям з розчину ТВПК, який був приготовлений в касетах, коли з моменту першого контакту матеріалу ТВПК з водою пройшло 25 хвилин і 4 години відповідно. Початкова відстань від зрізу сопла до поверхні гіпсового блока в процесі випробувань була постійною і дорівнювала 0,14 м.

З рис. 1 видно, що імпульсні струмені, які були сформовані ГІМ із заздалегідь приготовлених однорідних розчинів ТВПК мають вищу руйнівну здатність порівняно з водним струменем. Проте глибина отвору  $H$ , який пробивався у гіпсовому блоці при цьому збільшується на незначну величину.

Очевидно, що це пов'язано з механічною деструкцією (руйнуванням) макромолекул ПЕО в насосній установці високого тиску. Отже, використання заздалегідь приготовлених розчинів ТВПК вважається не доцільним, а касети з брикетами, з метою збереження якості розчину, необхідно встановлювати на ділянці високого тиску між насосом високого тиску і ГІС. Збільшення часу контакту матеріалу ТВПК з водою підвищує ефективність руйнування гіпсового блока (порівняйте криві 4 і 5 на рис. 1). Це пов'язано з підвищеною масовіддачею ПЕО з ТВПК, що приводить до збільшення вмісту гідродинамічно-активної речовини в розчині.

Подальші дослідження руйнівної здатності водних струменів і струменів з розчинів ТВПК проводилися з використанням двох вуглецементних блоків, виготовлених з суміші цементу (марка 400) і антрациту (розмір часток вугілля 6-10 мм) в різних співвідношеннях. Такі блоки дозволяють моделювати вугільні пласти з різною міцністю та які традиційно використовуються в експериментальних дослідженнях. Початкова відстань від зрізу сопла до поверхні вуглецементного блока дорівнювала 0,14 м.

На рис. 2 наведена залежність глибини отвору ( $H$ ), який пробивався у вуглецементном блоці (з коефіцієнтом міцності за шкалою М.М. Протод'яконова, що дорівнює 1,6) від часу дії струменя  $T$ . Крива 1 відповідає руйнуванню блока струменем води; криві 2 і 3 – струменями з розчинів ТВПК, які були приготовлені в двох касетах. При цьому крива 3 стосується випадку, коли центр отвору, який пробивався у блоці, знаходиться на відстані 0,35 м від бокового і верхнього ребер куба, а крива 2 – на 0,5 м.

З наведених на рисунку даних видно, що якщо в якості робочої рідини використовуються водні розчини ТВПК, то глибина отвору, який пробивається у блоці, в 1,5–3,5 разу (залежно від тривалості роботи ГІС) більша від глибини отвору, який пробивається струменем води.

Особливий інтерес становлять результати експерименту з руйнування вуглецементного блока, у якого коефіцієнт міцності дорівнює 2,5 при збільшеному до 0,22 м початковій відстані від сопла до поверхні блока. Цей блок моделює вугільний пласт підвищеної міцності. Руйнування блока

проводили до моменту припинення зростання глибини отвору. Найбільша глибина отвору, яка була пробита імпульсним струменем води, дорівнювала 0,22 м, а струменем водного розчину ТВПК - 0,71 м.

Подальші випробування були спрямовані на визначення залежності глибини  $H$  і діаметра  $d$  отворів, які пробивались у блоках, від часу роботи ГІС. Результати експерименту наведені в табл. 6, з якої видно, що струменем води до 20-ї секунди у блоці пробивається отвір глибиною 0,22 м і подальша дія струменю ефекту не дає. У той же час при руйнуванні блока імпульсним струменем розчину ТВПК глибина отвору збільшилася до 0,56 м.

Таблиця 6

**Залежність глибини  $H$  і діаметра  $d$  отвору, який пробивався у вуглецементному блоці струменями води і водного розчину ТВПК від часу роботи ГІС  $\tau$**

Вода			Водний розчин ТВПК		
$T$ , сек	$H$ , м	$d$ , мм	$T$ , сек	$H$ , м	$d$ , мм
10	0,19	75	10	0,34	45
20	0,22	75	20	0,37	45
30	0,22	75	30	0,49	48
40	0,22	75	40	0,56	48

Результати проведеного експерименту, що імітує процес гідровидобутку вугілля (руйнування вуглецементного блока імпульсними струменями, що переміщуються із заданою швидкістю уздовж грані блоку), підтвердили підвищену ефективність струменів з розчинів ТВПК. Так, наприклад, глибина щілини, що утворюється у блоці після одноразового проходження водяного струменя, дорівнює 0,19 м, а після проходження струменя розчину ТВПК – 0,34 м.

Експериментально також встановлено, що при використанні в якості робочої рідини розчинів ТВПК зменшується діаметр отвору, який пробивався у вуглецементному і гіпсовому блоках. Так, водяний струмінь утворює в гіпсовому блоці отвір з середнім діаметром 77 мм, а струмінь з розчину ТВПК - 52 мм. Аналогічні показники для вуглецементного блока з коефіцієнтом міцності 2,5 відповідно дорівнюють 75 і 48 мм. Це пов'язано з тим, що гідродинамічно-активний поліетиленоксид підвищує не лише ефективну дальність струменів, але і їх компактність.

Отже, використання в якості робочої рідини водних розчинів гідродинамічно-активного поліетиленоксиду, які були приготовлені з ТВПК в проточних касетах, істотно підвищує ефективність роботи ГІС шляхом збільшення глибини отвору, який пробивається у твердому матеріалі (за рахунок значного зниження гідродинамічного опору тертя в проточних частинах основних вузлів ГІС і в трубопроводах), а також в результаті поліпшення геометричних і динамічних параметрів струменя.

Окрім розглянутих вище варіантів можливого застосування, водорозчинні полімерні композиції можуть також ефективно використовуватися: в якості флокулянтів при очищенні природних і стічних вод, при створенні захисних екранів для локалізації джерел забруднення ґрунту нафтою і нафтопродуктами (РТПС, РТПП, РКПП, ТВПБ), для зменшення вивітрювання тонкодисперсних фракцій при транспортуванні сипких матеріалів (ОКРП, ВКПГ, РТПС, ТВПП), підвищення пропускної здатності трубопроводів систем тепло- і холодопостачання в період пікових навантажень (РТПС, ТВПП, РКПП, ТВПБ) і т.д.

### Висновки

На основі результатів лабораторного дослідження, стендових і промислових випробувань показана перевага застосування в енергозбереженні й екології полімерних композицій перед заздалегідь приготовленими однорідними розчинами полімерів. При цьому для кожного конкретного випадку застосування необхідно використовувати спеціально розроблені склади композицій.

*1 .Singh R.P. Characteristics of so polymer – polymer, polymer – fibre combinations and grafted polymers as drag reducing agents and their industrial applications / R.P. Singh, P. Chang, G.V.Reddy, etc.*

// *Drag Reduct. 3rd Int. Conf. Bristol, 1984. – P. D4/1- D4/5.* 2. *Liberanore M.W. Shear – induced structure formation is solutions of drag reducing polymers / M.W. Liberanore, E.J. Pollauf, A.J.J. McHugh // Non – Newton. Fluid Mech, 2003.- Vol.113.- №2 – 3. – P.193 – 208.* 3. *Корнилов В.И. Проблемы снижения турбулентного трения активными и пассивными методами (обзор) / В.И. Корнилов // Теплофизика и аэромеханика. -2005. – Т.12, №2. С.183 – 208.* 4. *Козлов Л.П. Гідродінамічний ефект Томса і його можливі технічні застосування / Л.П. Козлов // Вісн. АН УРСР. – 1987. – №1. – С.23–33.* 5. *Ступин А. Б. Гидродинамически - активные композиции в пожаротушении / Ступин А. Б., Симоненко А. П., Асланов П. В., Быковская Н.В. – Донецк : ДонГУ, 1999. – 240 с.* 6. *Ступин А. Б. Гидродинамически - активные композиции в энерго-сбережении и экологии / Ступин А. Б., Симоненко А. П., Асланов П. В. – Донецк : ДонГУ, 2001. – 173 с.* 7. *Проблемы экологии и техногенно - экологической безопасности: Монография / Под общ. ред. д.т.н., проф. Ступина А. Б. – Донецк: ДонНУ, 2010. – 503 с.* 8. *Пилипенко В.Н. Влияние добавок на пристенные турбулентные течения / В.Н.Пилепенко // Итоги науки и техн. ВИНИТИ. Мех.жидкости и газа. – 1980. – Т.15. – С.156–257.* 9. *Козловская И. А. Натурные исследования гидравлических сопротивлений напорных оросительных трубопровоов при введении в воду полимерных добавок / И.А.Козловская // Гидравлика и гидротехника. – 1981. – № 32. – С. 103–106.* 10. *Чернюк В. В Застосування гідродинамічно-активних додатків для керування напірними потоками рідин / В.В.Чернюк // Вісн.Сумського держ. університету. Серія технічні науки. №12 (58). – Суми: Сум.ДУ. – 2003. – С.31–36.* 11. *А.П. Симоненко. Эффективный способ очистки отработанных дизельных масел М14В2 / А.П. Симоненко, Н.Б. Узденников // Вісн. держ. академ. будівництва і архітектури. Інженерні системи та техногенна безпека у будівництві. № 2(27). – Макіївка: ДонДАБА, 2001. – С. 52–54.*