

ПОКРАЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІ НА ТЕРИТОРІЯХ НАФТОГАЗОВИХ ОБ'ЄКТІВ ПІДВИЩЕННЯМ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ

О. М. Волошенко, В. Г. Погребняк, М. П. Кулик, А. В. Погребняк, М. П. Школьний, І. В. Перкун

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. +38 050 1351545,
e-mail: pogrebnyak.av@gmail.com

Проаналізовано умови праці співробітників рятувальних служб та оперативного персоналу під час пожежі, коли відкритий вогонь є одним із небезпечних факторів, особливо на територіях нафтогазових об'єктів. Він вважається також досить важливим екологічним чинником, який за певних умов призводить до погіршення умов праці не тільки оперативного персоналу конкретного об'єкту, а також до сильного забруднення довкілля. Особливо це стосується пожежників, рятувальників та інших працівників служби цивільного захисту, які піддаються в процесі ліквідації аварійних ситуацій шкідливій дії високої температури, теплового випромінювання, а також небезпечних легких продуктів горіння. Поліпшення умов праці під час аварійно-рятувальних робіт можливо досягти шляхом скорочення часу їх проведення, а також збільшення відстані від рятувальника до осередку займання. Досягти цього можна використанням в системах пожежогасіння вогнегасних розчинів додаванням поверхнево-активних речовин та полімерів. Ці речовини вводяться в пожежні рукави та трубопроводи, що дає змогу збільшити витрату вогнегасного розчину, дальність вихідного струменя із пожежного ствола та зменшити час проведення операції по гасінню пожежі. Проведені експерименти в лабораторних умовах дозволили підібрати найбільш ефективний полімер – поліетиленоксид, його молекулярну масу та концентрацію розчину, при яких забезпечується максимально можливе зменшення гідродинамічного опору пожежного рукава та пожежного ствола.

Ключові слова: поліетиленоксид, поверхнево-активні речовини, зменшення гідралічного опору, збільшення витрати вогнегасної речовини, дальність вихідного струменя, пожежний ствол.

Проведен анализ условий труда сотрудников спасательных служб и оперативного персонала при тушении пожара, когда открытый огонь является одним из опасных факторов, особенно на территориях нефтегазовых объектов. Он считается также довольно важным экологическим показателем, который при определенных условиях приводит к ухудшению условий труда не только оперативного персонала определенного объекта, но и к существенному загрязнению окружающей среды. Особенно это касается пожарников, спасателей и других работников службы гражданской защиты, которые подвергаются в процессе ликвидации аварийных ситуаций вредному воздействию высокой температуры, тепловому излучению, а также вредных продуктов горения. Улучшения условий труда при аварийно-спасательных работах можно достичь путем сокращения времени их проведения, а также увеличения расстояния от спасателя к очагу загорания. Это достигается при использовании в системах пожаротушения водных растворов поверхностно-активных веществ и полимеров. Эти вещества вводятся в пожарные рукава и трубопроводы, что позволяет увеличить расход огнегасящего вещества, дальность выходной струи из пожарного ствола, а также уменьшит время проведения операции тушения. Проведенные эксперименты в лабораторных условиях позволили подобрать наиболее эффективный полимер – полиэтиленоксид, его молекулярную массу и концентрацию раствора, при которых обеспечивается максимально возможное снижение гидродинамического сопротивления пожарного рукава и пожарного ствола.

Ключевые слова: полиэтиленоксид, поверхностно-активные вещества, снижение гидравлического сопротивления, увеличение расхода огнегасящего вещества, дальность выходной струи, пожарный ствол.

An analysis of working conditions of rescue service and operational personnel during a fire has been conducted, when open fire is one of the dangerous factors, especially at the oil and gas object territories. It is also considered to be quite an important environmental factor, which under certain circumstances leads not only to deterioration of working conditions of operational personnel at a particular facility, but also to severe environmental pollution. This is especially true of firefighters, rescuers and other civil protection workers who are subjected to harmful effects of high temperature, thermal radiation, as well as hazardous combustion products while eliminating emergency situations. Improvement of working conditions during emergency rescue operations can be achieved by reducing their conduct time, as well as by increasing a distance between a rescuer and ignition point. This can be achieved by using fire extinguishing solutions with additives of surface active agents and polymers in fire suppression systems. These substances are introduced into fire hoses and pipelines, which allows to increase the expense of extinguishing solution, flow range from the jet nozzle and reduce duration of fire suppression operation. The laboratory conducted experiments allowed to select a specific polymer - polyethylene oxide, its molecular weight and solution concentration, which provides the maximum possible reduction of hydraulic resistance in a fire hose and a jet nozzle.

Key words: polyethylene oxide, surface active agents, reduction of hydraulic resistance, increase of extinguishing agent's expense, range of jet flow.

Вступ. Згідно з діючою на даний момент загальнодержавною соціальною програмою поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на 2014-2018 роки, яка прийнята Верховною Радою України (див. ЗУ від 4 квітня 2013 року № 178-VII), передбачено комплексне розв'язання проблем охорони праці, забезпечення безпечних і здорових умов праці на виробництві. Особливо це стосується пожежників, рятувальників та інших працівників служби цивільного захисту, які піддаються в процесі ліквідації аварійних ситуацій шкідливій дії відкритого вогню, особливо на територіях нафтогазових об'єктів. Концептуальні положення стану охорони праці ґрунтуються на аналізі сучасних тенденцій науково-технічного прогресу. Одним із методів покращення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на територіях нафтогазових об'єктів є підвищення ефективності роботи різних технологічних систем, які забезпечують охорону праці. Все це, в першу чергу, повинно відноситися до систем (установок) гасіння пожеж.

Відкритий вогонь, як небезпечний фактор пожежі, вважається також найважливішим екологічним чинником, який при поєднанні певних умов призводить до сильного забруднення довкілля і є важливою проблемою при вирішенні цілого ряду завдань з цивільного захисту. Тому підвищення ефективності роботи систем пожежогашіння є найважливішим інженерно-технологічним заходом, що дозволяє зменшити забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння та підвищити рівень безпеки на об'єктах нафтогазової галузі. Підвищити ефективність роботи систем водяного пожежогашіння, яке є найпоширенішим та легко реалізується на територіях нафтогазових об'єктів, можна за рахунок зменшення гідродинамічного опору пожежних рукавів або стаціонарних трубопроводів пожежних систем.

Аналіз публікацій та висвітлення невирішених раніше проблем. Експериментально виявлено [1–7], що дуже малі концентрації розчиненого полімеру (декілька ppm), можуть понизити опір тертя в турбулентному потоці до однієї четвертої величини опору чистого розчинника. Оскільки в'язкість цих розчинів практично не відрізняється від в'язкості чистого розчинника, то факт зниження турбулентного тертя здається дивним гідромеханіку.

При турбулентній течії в трубах зниження опору досягає свого максимального значення для даної труби і швидкості течії при певній оптимальній концентрації для даної молекулярної маси полімеру. Максимальні величини зниження опору для розчинів більшості високомолекулярних полімерів виявляються приблизно однаковими, проте, чим більша молекулярна маса полімеру, тим менша величина оптимальної концентрації, при якій спостерігається максимальне зниження опору. Максимально можлива величина зниження гідродинамічного опору – близько 80 % [3, 6].

Вивчення значної кількості речовин, здатних знижувати опір, показало, що опір знижується у випадку таких умов: потік турбулентний, молекулярна маса полімеру – не менше $5 \cdot 10^4$, полімер гнучколанцюговий та розчинний у воді. Багато природних та синтетичних полімерів задовольняють цим умовам і ефективно знижують опір. Наприклад, поліетиленоксид, поліакриламід, гуарова смола, різні полісахариди та багато інших полімерів. Як показують наявні дані, поліетиленоксид є у цьому відношенні найбільш ефективним полімером [3–7]. Щоб понизити гідродинамічний опір води на 65 % за критерію Рейнольдса $Re = 2 \cdot 10^4$ досить мати концентрацію 0,002 % поліетиленоксиду молекулярною масою $6 \cdot 10^6$ [6]. Це означає, що для перекачування 300 м^3 води із зниженим опором на 65 % трубами протипожежного водопостачання знадобиться полімеру близько 2 кг. У той же час, якщо використовувати поліетиленоксид молекулярною масою $5 \cdot 10^5$, то для тих же цілей знадобиться полімеру у 25 разів більше.

Гасіння пожеж – один із найбільш важливих прикладів використання ефекту зниження гідродинамічного опору при течії розбавлених розчинів полімерів. У США [7] і колишньому СРСР [8] є досвід роботи пожежних машин і систем, забезпечених устаткуванням для введення готових розчинів полімерів у пожежні рукави та протипожежні трубопроводи. Є інші відносно ефективні методи введення полімерних добавок у потік, наприклад, у вигляді суспензій або спеціальних патронів [9].

Проаналізуємо можливі переваги використання зниження опору тертя при течії розчинів полімерів у гідравлічних системах протипожежної техніки при гасінні пожеж на територіях нафтогазових об'єктів. З цією метою розглянемо загальний опис максимально можливого зниження опору при течії розбавлених розчинів полімерів і пов'язаних з цим переваг. До останніх відноситься зниження потужності привода насосів, можливість подачі води на великі відстані, використання довгих пожежних шлангів або шлангів меншого діаметра і маси, а також збільшення швидкості подачі води. Крім того, струмין розчину полімеру концентрується у меншому поперечному перерізі і, відповідно, зменшується його вітрове руйнування. Всі ці чинники дуже важливі при гасінні пожеж на складних об'єктах, в тому числі на об'єктах нафтогазового комплексу.

Для типових умов при гасінні пожежі на територіях нафтогазових об'єктів ефективність подачі води визначається такими основними змінними: довжина пожежного шланга, середня швидкість потоку, внутрішній діаметр шланга, витрата вогнегасного агента, втрати напору внаслідок тертя:

– економія потужності привода насоса при фіксованих довжині, внутрішньому діаметрі пожежного рукава та витраті. Опускаючи теоретичні і напівемпіричні викладення, вкажемо лише основні кінцеві результати. Виходить, що продуктивність насоса, яка втрачається унаслідок

док тертя, для $Re = 10^5 - 10^6$ може бути понижена приблизно на 80 %. При сталій продуктивності насоса зменшення гідродинамічного опору брендспойта можна використати для подачі води на значну висоту і більшу відстань. Так, наприклад, при діаметрі рукава $5 \cdot 10^{-2}$ м та витраті $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$ (для $Re = 5 \cdot 10^5$) зниження опору тертя в рукаві завдовжки 30 м складе близько 30 %. Відповідно, при цьому відбуватиметься збільшення максимальної відстані подачі полімерного розчину, яка у горизонтальному напрямі може виявитися удвічі більшою ніж для води.

– збільшення довжини рукава при фіксованих витраті, втраті напору унаслідок тертя та діаметрі рукава. Якщо числа Рейнольдса більші за 10^5 , то довжина рукава може бути збільшена приблизно на 500 %.

– збільшення витрати рідини, що використовується під час вогнегасіння, при фіксованих втратах напору, довжині та діаметрі рукава. Розрахунок, підтверджений експериментом, показує, що витрата рідини може збільшитися в 1,8–2 рази.

– зменшення діаметра рукава при фіксованих витраті, втраті напору та довжині рукава. Виходить, що діаметр рукава може бути зменшений на 30 %, а маса рукава на одиницю довжини – приблизно на 50 %, якщо товщина стінки рукава визначається розтягуючим напруженням в стінці.

Подібний розрахунок можна провести і для можливості зменшення діаметра труб пожежного трубопроводу. Розрахунок також показує, що введення полімерних домішок в трубопровід протипожежного водозабезпечення при пожежах може бути істотним методом збільшення об'єму рідини, що подається в осередок пожежі.

Серед відомих методів штучної дії на приграничний шар пожежних рукавів і трубопроводів протипожежного водопостачання з метою зниження гідродинамічного опору метод подачі розчинів полімерів є майже єдиним, в області розробки якого досягнутий певний практичний прогрес. Дослідження показали, що введення у вогнегасну рідину (вода, водні розчини поверхнево-активних речовин) незначних домішок поліетиленоксиду і поліакриламідів дозволяє значно (~75%) знизити гідродинамічний опір [6, 10, 11].

Згадане зниження гідродинамічного опору дозволяє при збереженні решти параметрів гідравлічних систем, або збільшити в 1,5–2 рази витрату рідини, що використовується при пожежогасінні або збільшити в 3–5 разів довжину пожежних рукавів (трубопроводів), або на 60–75 % зменшити споживану насосами потужність, або на 15–20 % зменшити діаметр пожежних рукавів і трубопроводів. Окрім цього, встановлено, що додавання полімерів у воду і розчини ПАР істотно покращують вогнегасну їх здатність [11].

Проведені у цьому напрямі дослідження стосувалися гідродинаміки розчинів полімерів у трубопроводах та питань вдосконалення конструкції змішувачів, тоді як питанням гід-

родинаміки полімерних розчинів в елементах систем введення полімерів у пограничний шар пожежних рукавів (трубопроводів) не приділялося належної уваги. Вважається, що при протіканні розчинів полімерів крізь щілини та інші елементи систем введення істотні “аномалії”, які могли б значно вплинути на ефект Томса, не можуть спостерігатися. Такий вивід виходить з аналізу даних, отримуваних при дослідженні зсувних ламінарних течій, для яких ефекти пружних деформацій незначні. У системах же введення, як правило, реалізується складна течія, що складається з суперпозиції зсувного і переважно повздовжнього (з розтягуванням) течій. При такій складній течії ефекти пружних деформацій стають настільки великі, що нехтування ними у більшості випадків призводить до того, що потенційні можливості полімерних домішок використовуються неповністю, особливо це повинно проявлятися при великих швидкостях течії рідини з полімерними домішками, що використовується у пожежогасінні.

Нерозуміння процесів, що відбуваються в системах введення полімерного розчину в пограничний шар трубопроводів чи пожежних рукавів, викликаних наявністю пружних деформацій, часто породжує масу непорозумінь та помилок при інтерпретації експериментальних результатів.

Мета дослідження. Встановити закономірності прояву пружних деформацій при течії розчинів полімерів в умовах, характерних для внутрішньої задачі стосовно пожежного рукава та трубопроводу протипожежного водопостачання, необхідних для розробки високоефективних пристроїв подачі розчинів полімерів в рідину, що використовується у пожежогасінні на територіях нафтогазових об'єктів.

Матеріали і методи. Були досліджені водні розчини ПЕО з молекулярною масою $2 \cdot 10^6$ та $4 \cdot 10^6$. Концентрація полімеру змінювалася від 0 до 0,3 %, температура – від 4 до 95 °С (основна частина експериментів проведена при 25°С). Розчини з полімером, що повністю розчинився, готували в темному посуді, розчиняючи наважки спирто-полімерної суспензії у дистильованій воді, при кімнатній температурі протягом 2–3 діб, періодично перемішуючи їх шляхом похитування посудини або шляхом розбавлення раніше приготованих розчинів полімеру (0,1 %, 0,2 % і 0,5 %) протягом 7–8 діб до потрібної концентрації. Оскільки водні розчини ПЕО і ПАА (а також і інших полімерів) значно міняють свої властивості при тривалому зберіганні, заздалегідь були вивчені закономірності процесу старіння їх у воді і підібрані стабілізатори, що його виключають. Як стабілізатор використовували 0,05 % домішку йодистого калію в розчини ПЕО і ПАА, який істотно повністю виключає старіння цих полімерів у воді при зберіганні і не впливає на їх гідродинамічну активність [12].

Значення молекулярних мас зразків ПЕО були оцінені методом віскозиметрії з викорис-

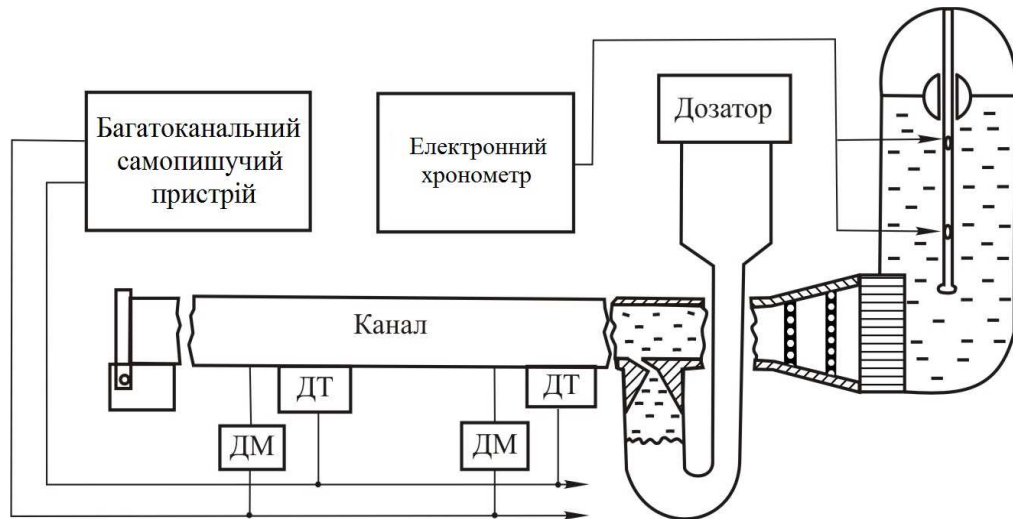
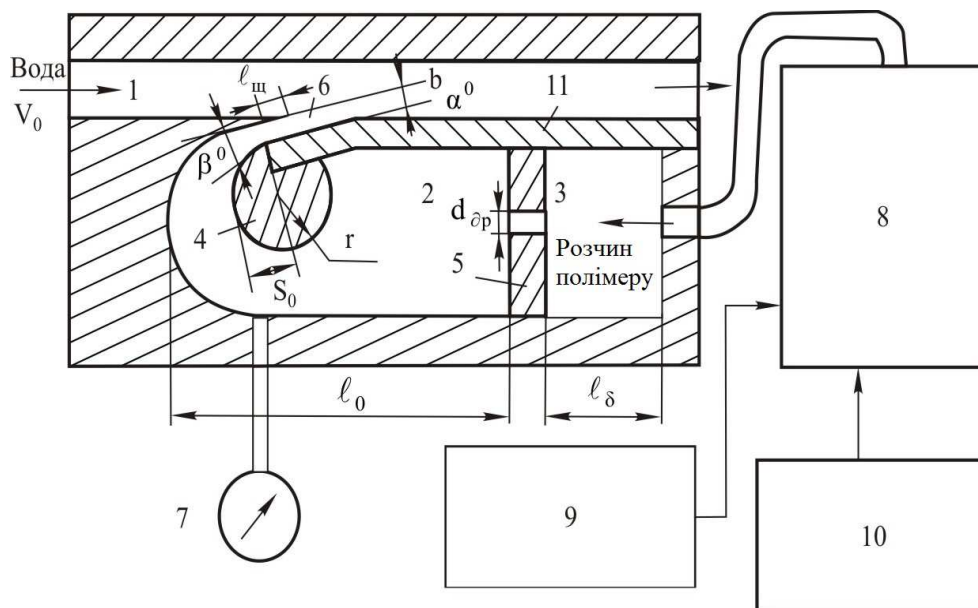


Рисунок 1 – Схема гідростенда



1 – проточна ділянка каналу, в який інjektується розчин полімера, 2 – підцилінна камера, 3 – буферна камера, 4 – вставка для зміни геометрії входної області (кута входу) щілини, 5 – пластина із дросельними отворами, 6 – вихідна щілина, 7 – манометр, 8 – ємність для розчину полімера, 9 – пристрій для визначення часу витікання заданого об'єму рідини (водного розчину полімера), 10 – моностат, 11 – пластина

Рисунок 2 – Система інжекції полімера в приграничний шар

танням при розрахунках рівняння Марка-Куна-Хаувінка [5]:

$$[\eta]_0 = 1,25 \cdot 10^{-4} M^{0,78} \quad \text{для } M > 3000.$$

В експериментах використовували спеціальний гідродинамічний (рис. 1) стенд [1, 6], що має наступні основні характеристики: діапазон швидкостей витікання води через канал – 5–35 м/с; діапазон чисел Рейнольдса 10^5 – 10^6 ; максимальне дотичне напруження, що реалізується, на стінці – 850 н/м^2 . Канал мав поперечний переріз $(4 \times 4) \cdot 10^{-2} \text{ м}$ та довжину 8,5 м. Відстань між конфузorzом та щілиною, розташованою впоперек нижньої горизонтальної стінки каналу, складала 0,56 м. Отвори діаметром $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ для вимірювання тиску та давачі сили тертя розташовувалися на нижній стінці каналу.

Система інжекції (рис. 2) складалася з дозатора, підцилінної камери з різними вставками. Вставки призначені для зміни умов деформації полімерного розчину (кута входу) у входній області щілини.

Виклад основного матеріалу. Досліди, описані нижче, були поставлені з метою встановлення закономірностей прояву пружних деформацій при течії розчинів полімерів в умовах, характерних для внутрішньої задачі стосовно пожежних рукавів і трубопроводів.

На рис. 3 наведено експериментальні дані, що характеризують особливості течії водних розчинів поліетиленоксиду в підцилінній камері. Видно, що для таких течій характерні явища, не властиві чисто в'язким середовищам.

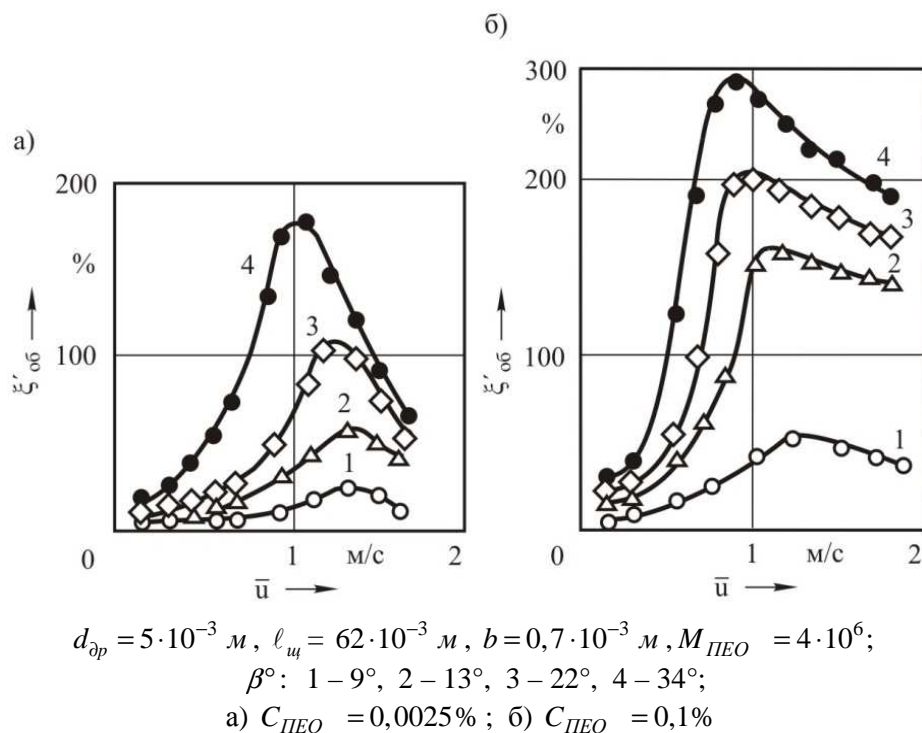


Рисунок 3 – Вплив швидкості витікання та кута входу у щілину на відносний перепад тиску при інжекції водних розчинів ПЕО

При деяких критичних (порогових) значеннях середньої швидкості витікання $u_{кр}$ відносний перепад тиску ξ починає значно зростати, причому тим більше, чим вища концентрація полімеру в розчині. Відмічений характер залежності $\xi = f(u)$ свідчить про високу дисипацію енергії при протіканні розчинів полімерів через інжектор, тобто спостерігається підвищений гідродинамічний опір на надкритичних швидкостях течії.

Розглянуті експериментальні дані узгоджуються з результатами, отриманими при дослідженні течії полімерних розчинів у модельних умовах елементів систем вводу (через короткі капіляри і щілини). Такі течії детально вивчені в роботах [1,13]. Тут же відзначимо найважливіші моменти прояву ефектів пружних деформацій при течії з розтягом розчинів полімерів. Перехід до режиму течії з підвищеною дисипацією енергії супроводиться утворенням вхідного затопленого струменя у вигляді “шнур” або “стрічки”, який оточений вторинними течіями у вигляді тороподібного вихора. При надкритичному режимі течії для області концентрацій, що знаходяться між дуже розбавленими і помірно концентрованими розчинами полімерів, відбувається вельми сильна деформаційна дія гідродинамічного поля на молекулярні ланцюги. Ступінь розгорнутості полімерного ланцюга досягає 60–65 %. У напіврозбавлених і помірно концентрованих розчинах полімерів час релаксації розгорнутих ланцюгів і слабдеформованих індивідуальних ланцюгів розрізняється більш ніж на 2 порядки. Причиною настільки довгого часу згортання є генерування під дією гідродинамічного поля в

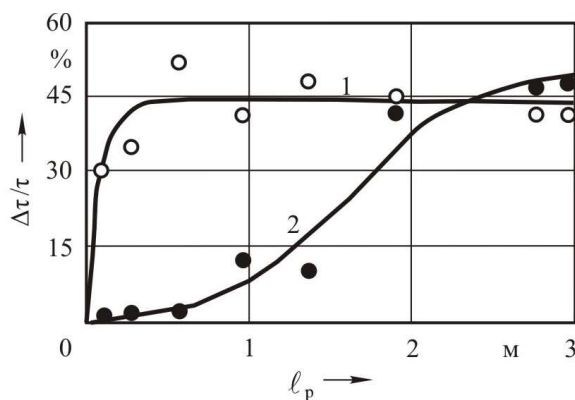
полімерному розчині надмолекулярних структур [13]. Остання обставина повинна істотним чином відбитися на зниженні турбулентного тертя, якщо час існування надмолекулярних утворень, що виникають в полімерному розчині у момент підведення його в приграничний шар, відповідає часу перебування (в обтічній поверхні) в пожежному рукаві.

Результати стосовно інжекції з використанням підщілинної камери зі змінним кутом входу (рисунок 3) свідчать, що найефективнішим є підведення полімерного розчину з мінімальним кутом входу $7,8^\circ$ на внутрішню поверхню пожежного рукава. У цьому випадку величина ефекту зниження гідродинамічного опору у 2 рази перевищує величину, отриману при такій же витраті полімеру ($Q > Q_{кр} = 7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$) на щілині з кутом розкриття 165° . А при швидкості інжекції нижче $Q_{кр}$ загальні втрати тиску практично не залежать від кута входу.

На рис.4 наведено результати, що відображають зменшення дотичного напруження тертя по довжині каналу за місцем введення полімеру. Для випадку, коли полімерний розчин підводився в пожежний рукав на докритичних режимах течії ($\beta^\circ = 7,8^\circ$), зниження дотичного напруження тертя виявляється практично відразу ж за місцем введення полімеру в потік, про що свідчить крива 1. На надкритичних режимах протікання полімерного розчину крізь підщілинну камеру ($\beta^\circ = 165^\circ$) відбувається запізнювання прояву гідродинамічної активності полімеру (крива 2).

Слід зазначити, що розподіли дотичного напруження та відносних втрат тиску по довжині каналу корелюються між собою.

З рисунка 4 видно, що зміна режиму протікання полімерного розчину крізь підщілинну камеру від слабодисипативного до сильнодисипативного за рахунок змін умов входу призводить до пониження загального ефекту зниження опору тертя (на триметровій ділянці обтічної поверхні) майже у 2 рази. Ці дані дозволяють також стверджувати, що роль області із зниженою гідродинамічною активністю введеного в приграничний шар полімеру тим значніша, чим менша довжина пожежного рукава. Візуалізація течій полімерного розчину в підщілинній камері свідчить, що умови входу впливають на зниження гідродинамічного опору лише у тому випадку, коли спостерігається втрата стійкості течії, обумовлена, як було показано [13], утворенням динамічних надмолекулярних структур, що призводять до різкого збільшення дисипативності течії.



$M_{ПЕО} = 2 \cdot 10^6$, $C_{ПЕО} = 0,3\%$, $V_0 = 16,5$ м/с,
 $Q = 5 \cdot 10^{-5}$ м³/с;
 $\beta^\circ: 1 - 7,8^\circ, 2 - 165^\circ$

Рисунок 4 – Вплив кута входу в щілину на розподіл дотичних напружень вздовж нижньої стінки каналу при інжекції водних розчинів ПЕО

Збільшення швидкості течії V_0 води, як і слід було чекати, призводить до розширення області із зниженою гідродинамічною активністю полімеру. Це легко пояснити, якщо пригадати, що час існування структур, що утворилися, в умовах розтягуваної течії складає 0,1–0,2 с і більше [1, 13]. Це час, протягом якого полімер, що вийшов з щілини, характеризується пониженою активністю, обумовленою його пам'яттю. Очевидно, що, чим більша буде швидкість основного потоку, тим більша область за щілиною заповниться полімерним розчином у цьому стані, а її розміри можна оцінити як $l_\lambda = \theta_{св} \cdot V_0$, де $\theta_{св}$ – час структурної релаксації надмолекулярних утворень. Тоді, наприклад, для швидкості течії води (набігаючого потоку) 25 м/с ця область повинна поширитися вниз по потоку до 2,5 м, якщо $\theta_{св}$ рівне 0,1 с. Оцінні розміри області зниженої гідродинамічної активності полімеру цілком узгоджуються з отриманими експериментально результатами.

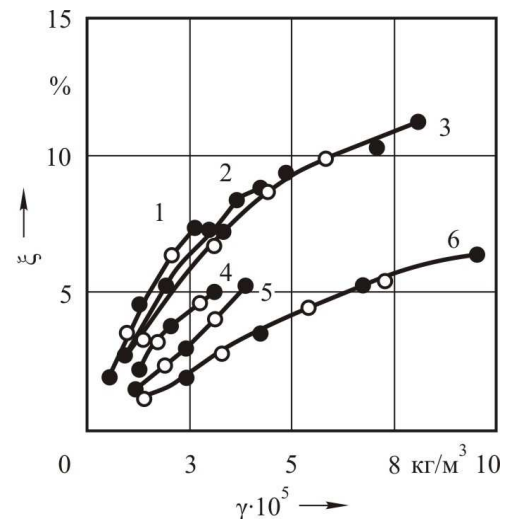
Дослідження залежності загальних втрат тиску в каналі від швидкості основного потоку показали, що зміна кута входу підщілинної камери з $14,5^\circ$ до 165° при незмінній витраті полімеру на одиницю довжини щілини, що дорівнює $7,5 \cdot 10^{-4}$ кг/мс, призводить до зниження ефективності полімеру у 1,2 рази при $V_0 = 12,2$ м/с та у 6 разів при $V_0 = 25$ м/с.

Із зіставлення результатів дослідів при інжекції полімерних розчинів різних концентрацій крізь підщілинну камеру з кутом входу, що змінюється (рис. 5):

$$\gamma = Q \cdot \frac{C_{ПЕО}}{\Omega \cdot V_0}, \quad (1)$$

де Q – швидкість інжекції,
 $C_{ПЕО}$ – концентрація полімерного розчину, що інжектуюється,
 Ω – змочена поверхня,

V_0 – швидкість основного потоку, впливає, що при заданій середній концентрації полімеру в пограничний шар ефективність зменшення опору знижується із зростанням концентрації полімерного розчину, що інжектуюється, і тим сильніше, чим вище кут входу.



$V_0: \bullet = 16,5$ м/с, $\circ = 25$ м/с;
 $\beta^\circ: 1, 2, 3 - 7,8^\circ, 4, 5, 6 - 165^\circ$
 $C_{ПЕО}: 1$ і $4 - 0,05\%$, 2 і $5 - 0,1\%$, 3 і $6 - 0,3\%$

Рисунок 5 – Залежність загальних втрат тиску в каналі від приведеної концентрації ПЕО

У роботі [14] була висунута гіпотеза про те, що в'язкопружні ефекти (розбухання струменя) поблизу щілини підсилюють захоплення розчину полімеру зовнішнім пограничним шаром і призводять до швидшого зниження концентрації полімеру на поверхні обтікаючої поверхні. Результати робіт [15,16] заставляють переглянути цю гіпотезу, оскільки візуалізація течії за щілиною [15] і вимір концентрації полімеру в пограничний шар [16] не показали посилення дифузії полімеру. Найприйнятнішим є пояснення, що ґрунтується на впливі ефективної в'язкості (якщо розуміти її в широкому сенсі), яке не протирічить результатам, що харак-

теризують залежність гідродинамічної активності полімеру від умов підведення полімерного розчину на поверхню обтікаючої поверхні. Адаптивна динамічна структура, що утворюється під дією гідродинамічного поля в полімерному розчині, викликають його загушення [1–4,13], а це, природно, повинно призвести до зменшення дифузії полімеру в пограничний шар.

Виявлені закономірності прояву пружних деформацій при підводі розчину полімеру в пожежний рукав дозволяють запропонувати спосіб оцінки опору течії рідини, що використовується у пожежогасінні з домішками полімеру. Опір течії рідини при підводі в приграничний шар полімерного розчину з урахуванням ефектів пружних деформацій, що виникають при цьому, може бути визначений за допомогою виразу

$$X = \int_0^{\ell_\lambda} \chi(x) \tau_{wo} dx + \int_{\ell_\lambda}^{\ell_p - \ell_\lambda} \chi(x) \tau_{wc} dx, \quad (2)$$

де χ - периметр перерізу пожежного рукава (трубопроводу),

τ_{wc} , τ_{wo} - дотичні напруження з подачею та без подачі полімеру в пограничний шар,

ℓ_p - довжина пожежного рукава (трубопроводу), $\ell_\lambda = \theta_{св} \cdot V_0$.

Отже, наведені дані свідчать, що у випадку зменшення гідродинамічного опору пожежних рукавів або стаціонарних трубопроводів пожежних систем за допомогою інжекції полімерних розчинів в приграничний шар в частині розробки оптимальних варіантів систем підведення необхідно враховувати можливість утворення надмолекулярних структур в розчинах полімерів під час їх інжектування. Зниження ефекту Томса при підведенні полімерного розчину в приграничний шар пожежного рукава є результатом поєднання деформаційної дії повздовжнього гідродинамічного поля, що реалізується в системі підведення, та молекулярно-концентраційних характеристик полімерного розчину.

Висновки

1. Робота демонструє шляхи підвищення ефективності систем введення полімерів в пожежні рукави і трубопроводи з метою зниження гідродинамічного опору течії вогнегасної рідини, а, отже, систем пожежогасіння водою і розчинами поверхнево-активних речовин.

2. Використання високоефективних систем введення полімерів в пожежні трубопроводи та рукави при течії вогнегасних агентів сприятиме покращенню різноманітних характеристик процесу гасіння пожеж, а це забезпечить підвищенню рівня охорони праці та безпеки технологічного та оперативного персоналу, особливо працівників служби цивільного захисту, під час ліквідації аварійних ситуацій на пожежонебезпечних, зокрема нафтогазових об'єктах.

1 Погребняк В. Г. Энергобережения і ефект Томса / В. Г. Погребняк, В. С. Волошин; за ред. Ю. Ф. Іванюти. – Київ : Освіта України, 2017. – 440 с.

2 Pogrebnyak V. G. Solutions of Polymers under the Conditions of Wall Turbulence. Mechanism of Drag Reduction / Pogrebnyak V. G. // Intern. J. of Fluid Mech. Research. – 2002. – Vol. 29, № 6. – С. 130–138.

3 Lunley J. L. The Toms phenomenon: anomalous effect in turbulent flow of dilute solutions of high molecular weight linear polymer / Lunley J. L. // Appl. Mech. Revs. – 1967. – Vol. 20, № 12. – P. 1139–1149.

4 Petterson G. K. Drag reduction polymer solutions, soap solutions and solid particle suspension in pipe flow / Petterson G. K., Zakin J. L., Rodrigues J. H. // Theor. and Eng. Chem. – 1969. – Vol. 61, No 1. – P. 22–30.

5 Hoyt J. W. Polymer drag reduction – a literature review / Hoyt J. W. // Drag Reduction.: Pap. 2-nd Int. Conf., Cambridge, 1974. – Cranfield, s.a. A 1.1 – A 1.19.

6 Повх И. Л. Связь между молекулярным строением растворов ПЭО и эффектом снижения гидродинамического сопротивления / Повх И. Л., Погребняк В. Г., Торьяник А. И. // Инж.-физ. журн. – 1979. – Т. 37, № 4. – С. 581–588.

7 Fabula A. G. The Phenomenon in the Turbulent Flow of Very Dilute Polymer Solutions / Fabula A. G. // Proceeding of the Fourth International Congress on Rheology / ed. Lee E.H.– New York, Interscience, 1969. – pt. 3. – P. 455–460.

8 Симоненко А. П. Применение гидродинамически-активных полимерных композиций в пожаротушении / Симоненко А. П., Ступин А. Б., Быковская Н. В. // Бюллетень пожежної безпеки (науково-технічні проблеми та рішення). – 2001. – № 2 (7) – С. 4 – 5.

9 Симоненко А. П. Гидродинамически-активные полимерные композиции в пожаротушении / Симоненко А. П., Асланов П. В., Ступин А. Б.– Донецк: ДонГУ, 2001. – 174 с.

10 Повх И. Л. Сопротивление при турбулентном течении растворов полимеров и мицеллообразующих ПАВ / Повх И. Л., Погребняк В. Г., Торьяник А. И. // Инж.-физ. журн. – 1979. – Т. 37, № 5. – С. 793–797.

11 Повх И. Л. Снижение турбулентного трения в водных растворах смесей полимеров и ПАВ / Повх И. Л., Сердюк А. И., Павелко М. М., Лебедев Н. М. // Инж.-физ. журн. – 1988. – Т. 54, № 5. – С. 759–764.

12 Pogrebnyak A. V. Degradation of Polymer Solutions in a Hydrodynamic Field with a Longitudinal Velocity Gradient / Pogrebnyak A.V., Perkun I. V, Pogrebnyak V. G. // Journal of Engineering Physics and Thermophysics.– 2017. – Vol. 90. – No 5. – pp. 1219–1224.

13 Pogrebnyak A. V. Structure formation in polyethyleneoxide solution streaming through jet-shaping head / Pogrebnyak A.V., Ivanyuta Yu.F. //

Scientific journal NRU ITMO Series "Processes and equipment". 2015. No 3. P. 6–13.

14 Wu J. Drag reduction by polymer diffusion at high Reynolds numbers / Wu J., Fruman D. H., Tulin M. P. // J. of Hydronautics. – 1978. – Vol. 12, Juli. – P. 134–136.

15 Фруман Г. Д. Аномальные эффекты, связанные с эжекцией полимера, уменьшающего сопротивление, в турбулентные пограничные слои чистой воды / Фруман Г. Д., Галивел П. // Снижение вязкого трения / под ред. Хью Г. Р. – М., 1984. – С. 342–359.

16 Вдовин А. В. Диффузия растворов в турбулентном пограничном слое / Вдовин А. В., Смольяков А. В. // Журн. прикл. механики и техн. физики. – 1978. – № 2. – С. 66–73.

Стаття надійшла до редакційної колегії

01.11.18

*Рекомендована до друку
професором **Паневником О.В.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Чернюком В.В.**
(Національний університет
«Львівська Політехніка», м. Львів)*