

УДК 614.841.415

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2021.5.2-89-94>

*Сергій Стась*¹, канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0002-6139-6278)
*Артем Биченко*¹, канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0003-3788-3268)
*Денис Колесніков*¹, канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0002-4068-3454)
*Костянтин Мигаленко*¹, канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0002-7125-8442)
*Олексій Коваль*² канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0002-5771-7403)

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України,

²Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ПІРЕНА–1, СОФІР, АЛЬПЕН, MOUSSOL, STHAMEX, PIANOL

Поверхнево-активні речовини в практиці пожежогасіння використовуються як у вигляді змочувачів, для зміни поверхневого натягу водних розчинів, так і для створення повітряно-механічної піни різної кратності. Основним класом поверхнево-активних речовин, що застосовуються для пожежогасіння, є піноутворювачі загального та спеціального призначення. Додавання до води поверхнево-активних речовин суттєво впливає на гідравлічні характеристики потоку рідини в пожежно-технічному обладнанні та гідравлічні характеристики компактних та розпиленних струменів, що утворюються пристроями їх подавання і формування, такими як пожежні стволи, насадки, форсунки, зрошувачі тощо. Такий вплив на гідравлічні характеристики розчинів поверхнево-активних речовин визначається реологічними властивостями піноутворювачів. Зазвичай дані щодо реологічних властивостей сучасних піноутворювачів відсутні або недостатні. В роботі представлені результати досліджень сучасних піноутворювачів закордонного та вітчизняного виробництва та встановлено подібність їх основних реологічних характеристик до характеристик піноутворювачів, досліджених раніше.

Ключові слова: реологія, поверхнево-активні речовини, динамічна в'язкість, швидкість деформації.

Постановка проблеми. Застосування повітряно-механічної піни та розчинів поверхнево-активних речовин у деяких випадках є ефективним методом пожежогасіння. Їх отримання базується на використанні спеціальних речовин – піноутворювачів, які під час змішування з водою призводять до утворення так званих робочих розчинів піноутворювачів. Розробка нових рецептур піноутворювачів викликана передусім намаганням підвищити їх вогнегасну ефективність, стійкість піни та інші експлуатаційні властивості й забезпечити можливість генерування й подавання вогнегасних речовин при застосуванні протипожежної техніки та пожежно-технічного обладнання. Треба зауважити, що нині існує багато різних поглядів щодо способів та особливостей подавання водних вогнегасних речовин до осередку пожежі [1–6]. Використання водних розчинів поверхнево-активних речовин суттєво впливає на довжину суцільного струменя вогнегасної рідини і, як наслідок, на дальність подавання та її характеристики. Чи не найбільші суперечки в наукових колах останні 10–15 років, іноді із повністю протилежними висновками, стосуються отримання й застосування струменів тонкорозпиленних рідин. Іноді стверджується, що гасіння пожеж тонкорозпиленою водою є суттєво менш ефективним, аніж об'ємне гасіння інгібуючими горіння складами, іноді – навпаки – суттєво ефективнішим. Причому дискутується можливість реалізації саме об'ємного способу пожежогасіння розпиленою водою, яка полягає в рівномірному заповненні об'єму, що захищається, стійкою суспензією майже монодисперсного краплеподібного середовища. Не вдаючись у подробиці аргументованості тих чи інших поглядів, зазначимо, що складнощі полягають у визначенні можливості та особливостях генерування таких потоків вогнегасних речовин, що забезпечували б подавання до вогнища пожежі або охолодження зону вогнегасної рідини в потрібній кількості, у потрібному стані.

Отримання подібних струменів суттєво ускладнюється необхідністю застосування систем високого тиску, що найчастіше є економічно невиправданим. Часткове розв'язання зазначених

протиріч може базуватися на фізико-хімічному дослідженні або синтезі речовин і добавок до води, які покращують її властивості для пожежогасіння [7–9].

Окрім того, слід зазначити, що перелік піноутворювачів, які нині застосовуються підрозділами оперативно-рятувальної служби ДСНС України при пожежогасінні, останніми роками продовжує зростати. За таких умов доречно проводити порівняльний аналіз основних характеристик «нових» піноутворювачів як між собою, так і тих, що вже використовуються.

Аналіз останніх досягнень і

публікацій. Застосування поверхнево-активних речовин, дозволяє радикально змінювати поверхневі і міжфазні властивості водних розчинів, які вони утворюють. Вогнегасні піни різної кратності використовуються для поверхневого та об'ємного гасіння. Основним механізмом вогнегасної дії пін є ізоляція. Здебільшого в практиці пожежогасіння використовуються піни низької та середньої кратності. За деякими джерелами у таких випадках 75–97% об'єму пін складає повітря, тобто їх кратність становить від 4 до 33 [10].

Дослідження реологічних властивостей пін, що застосовуються для пожежогасіння, мають тривалу історію. Так, ще з середини 40-х років минулого століття проводилися дослідження й порівняння застосовуваних на той час пін [11, 12]. Було проведено порівняння значень в'язкості піни, отриманих спільною дослідницькою організацією пожежних досліджень та американською військово-морською лабораторією за допомогою лопатевого та кулькового віскозиметрів.

Дослідження добавок до води, що можуть призводити до виникнення аномалії в в'язкості, може здійснюватися шляхом визначення реологічних характеристик рідин на ротаційних віскозиметрах, зокрема на Rheotest–2.

Вплив добавок на дисперсність розпилення краплин водних вогнегасних речовин може позначатися на зменшенні кількості вогнегасної речовини без зниження ефективності пожежогасіння. Так, Жартовський С.В. та ін., досліджуючи реологічні властивості водної вогнегасної речовини ФСГ–2 встановив зменшення розмірів краплин в 4 рази при введенні до складу води 31,5% розчину даної вогнебіозахисної речовини [9, 13]. Були виявлені деякі фізико-хімічні властивості, які призвели до забезпечення високої вогнегасної здатності речовини ФСГ–2 під час гасіння макетних вогнищ класу А, досягнуто підвищення ефективності води у 4,6 разів при її використанні для активного протипожежного захисту об'єктів [14]. Разом із тим, практика застосування розчинів з поверхнево-активними речовинами, що використовуються для ліквідації горіння, найчастіше обмежується застосуванням суттєво нижчих концентрацій робочого розчину, найчастіше 3–6 %.

Деяко раніше до [9] були досліджені окремі піноутворювачі, що застосовувались на початку 2000-х в Україні [15, 16]. За вимірними напруженням зсуву τ та швидкості зсуву $\dot{\gamma}$ визначалась динамічна в'язкість $\mu = \tau / \dot{\gamma}$ та побудовані реологічні криві. Проте більшість із досліджених тоді піноутворювачів нині вже не застосовується пожежно-рятувальними підрозділами оперативно-рятувальної служби ДСНС України.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. На вітчизняному ринку збільшується кількість піноутворювачів загального й спеціального призначення, що пропонуються для застосування при пожежогасінні. Однак і закордонні, і вітчизняні розробники таких речовин не повністю вказують важливі для вогнеборців дані, що їх характеризують, зазначаючи серед них лише найбільш основні на їх думку. Використання підрозділами оперативно-рятувальної служби ДСНС України нових піноутворювачів має ґрунтуватися на детальному вивченні їх основних характеристик, оскільки при цьому має бути застосоване наявне пожежно-технічне обладнання та спеціальні технології пожежогасіння.

Постановка мети. Метою даної роботи є отримання реологічних кривих деяких нових для вітчизняного ринку піноутворювачів з метою подальшого встановлення можливості й доцільності їх застосування наявними у підрозділах оперативно-рятувальної служби ДСНС України технічними засобами.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. У в'язкому матеріалі (рідині) напруження пропорційне швидкості деформації й описується законом Ньютона

$$\tau = \mu \dot{\gamma},$$

де $\dot{\gamma}$ – швидкість деформації, 1/с;

μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с.

Рідини, плин яких починається одночасно (тобто без запізнювання, миттєво) при додаванні зусиль до їх руху, і коефіцієнт в'язкості яких не залежить від напрямку і швидкості зрушення,

називають ньютонівськими. У іншому випадку, коли закон плинину рідини відрізняється від закону Ньютона, їх називають неньютонівськими.

В'язкість неньютонівської рідини не залишається постійною при заданих температурі і тиску, а залежить від інших факторів, таких, як швидкість деформації, конструктивних особливостях апаратури, у якій знаходиться рідина тощо.

Якісна картина залежності дотичного напруження від швидкості деформації подана на рис.1.

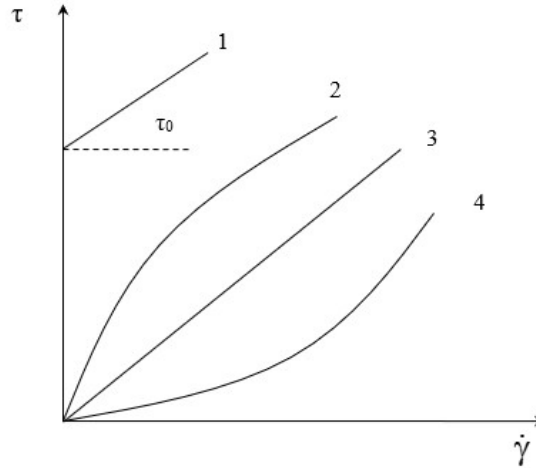


Рисунок 1 – Реологічні криві для різних типів рідин:

- 1 – бінгамівський пластик
- (τ_0 – початкова межа текучості);
- 2 – псевдопластична рідина ($n < 1$);
- 3 – ньютонівська рідина ($n = 1$);
- 4 – дилатантна рідина ($n > 1$).

Псевдопластичні рідини (псевдопластики) не виявляють межю плинності. Для них було встановлено залежність в вигляді ступеневого закону, яку вперше запропонував Освальд де Віль й згодом удосконалив Рейнер. Вона має вигляд

$$\tau = k \dot{\gamma}^n,$$

де k – міра консистенції рідини;

n – величина, що характеризує ступінь неньютонівської поведінки матеріалів.

Зазначимо, що чим вище значення в'язкості, тим більше k , а чим більше n відрізняється від одиниці, тим більше виявляються неньютонівські властивості.

Дилатантні рідини, дещо подібні до псевдопластичних рідин, оскільки у них також відсутня межа плинності (текучості). Дилатантні рідини можна також описати за допомогою рівняння Освальда де Віля, проте для них величина $n > 1$.

Для проведення реологічних досліджень піноутворювачів було використано віскозиметр ротаційного типу Rheotest-2.

Серед досліджуваних піноутворювачів були піноутворювачі вітчизняного виробництва Пірена-1, а також Альпен й Софір.

Реологічні криві, з метою отримання реологічних констант k і n , були побудовані в логарифмічних координатах. Це дозволило визначити ступінь аномалії в'язкості (табл.1). Вісь ординат відображає напруження зсуву τ (Па), а вісь абсцис – швидкість деформації $\dot{\gamma}$ (1/с). Дослідження проводились за допомогою двох різних приладів, один з яких був спеціальним чином модернізований з метою збільшення чутливості вимірювального пристрою. В табл. 1 номер приладу відповідає індексу реологічних констант.

Отримання реологічних кривих піноутворювачів Пірена-1, Софір, Sthamex(F15), Альпен, Moussol, SthamexAFFF, Pianol дало можливість порівняти результати із проведеними раніше подібними дослідженнями для піноутворювачів, що нині вже не застосовуються підрозділами оперативно-рятувальної служби ДСНС України [15].

Дослідження реологічних властивостей піноутворювачів дає можливість в подальшому перейти до вивчення впливу розчинів піноутворювачів стандартних концентрацій (3-6 %).

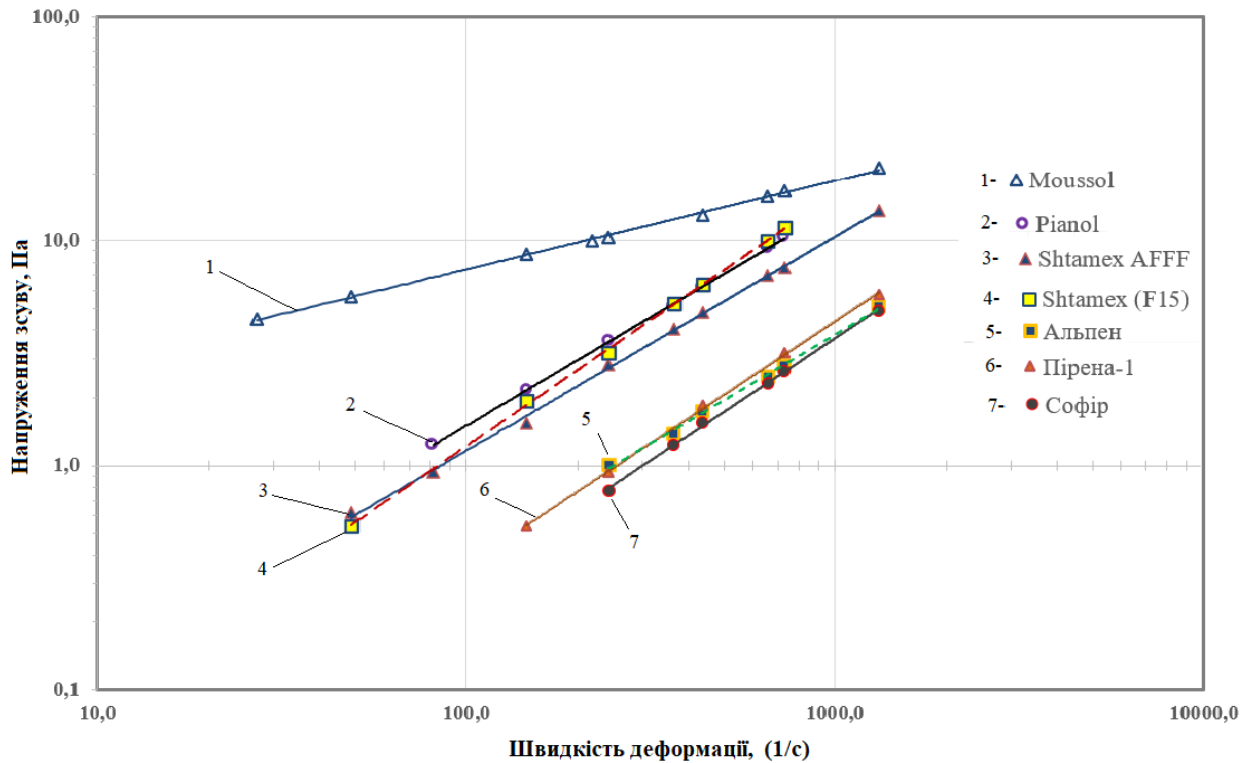


Рисунок 2 – Реологічні криві досліджуваних рідин: 1 – Moussol; 2 – Pianol; 3 – ShtamexAFFF; 4 – Shtamex(F15); 5 – Альпен; 6 – Пірена–1; 7 – Софір

Таблиця 1 – Значення n та k для досліджуваних піноутворювачів

Альпен	Moussol	Shtamex AFFF	Пірена–1	Pianol	Софір	Shtamex (F15)
$k_1=0,0055$ $n_1=0,955$	$k_1=2,9467$ $n_1=0,3715$	$k_1=0,0147$ $n_1=0,9501$	$k_1=0,0025$ $n_1=1,0824$	$k_1=0,0178$ $n_1=0,9636$	$k_1=0,002$ $n_1=1,0852$	$k_1=0,0071$ $n_1=1,1187$
$k_2=0,0048$ $n_2=0,9674$	$k_2=1,2009$ $n_2=0,3964$	$k_2=0,0102$ $n_2=0,9409$		$k_2=0,0115$ $n_2=0,9542$		

Висновки. За результатами даної роботи встановлено наступне:

1. Досліджувані піноутворювачі проявляють властивості у відповідності до закону де Віля як дилатантні (Пірена–1, Софір, Shtamex(F15)), так і псевдопластичні рідини (Альпен, Moussol, ShtamexAFFF, Pianol).

2. Порівняльний аналіз отриманих реологічних характеристик піноутворювачів дає право стверджувати про їх принципову подібність з раніше досліджуваними піноутворювачами [15-16], що вказує на можливість їх застосування наявним пожежно-технічним обладнанням за подібних умов пожежогасіння.

3. Перспективами подальших досліджень вбачається вивчення впливу реологічних характеристик піноутворювачів на гідравлічні характеристики компактних та розпилених струменів їх водних розчинів, вплив реологічних характеристик піноутворювачів на дисперсність крапель тонкорозпилених струменів тощо.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гергель В. И., Мешалкин Е. А. Пожаротушение тонкораспыленной водой высокого давления // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 3. – С. 45–49. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.45–49.

2. Мешалкин Е. Состояние и перспективы разработок изделий для тушения пожаров тонкораспыленной водой. [Електронний ресурс] // НПО “Пульс”. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: http://www.npopuls.ru/projectandexpert/publications/tushenie_tonkorasp_water.php.

3. Абдурагимов И. М. Несостоятельность идеи применения тонкораспылённой и "термоактивированной" (перегретой) воды для пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность. 2011. № 6. С. 54–58.

4. Тагиров Р. М. Тонкораспыленная вода: правда и вымысел / Р. М. Тагиров. // Пожарная безопасность в строительстве. – 2009. – №5. – С. 50–52.
5. Баратов А. Н. Пожарная опасность строительных материалов. / А. Н. Баратов, Р. А. Андрианов, А. Я. Король-ченко, Д. С. Михайлов, В. А. Ушков, Л. Г. Филин // М.: Стройиздат, 1988. – 380 с.
6. Пахомов В. П. Особенности применения АУПТ тонкораспыленной воды // Пожарное дело в строительстве. – 2009. – № 5. – С. 59–65.
7. Антонов А. В. Вогнегасні речовини./ А. В. Антонов, В. О. Боровіков; В. П. Орел, В. М. Жартовський, В. В. Ковалишин // Посібник. – Київ: Пожінформтехніка. 2004. – 176 с.
8. Тарахно О. В. Фізико-хімічні основи використання води в пожежній справі. / О. В. Тарахно, А. Я. Шаршанов // Нав-чальний посібник.– Харків. 2004. 252 с.
9. Жартовський С. В. Дослідження реологічних властивостей водної вогнегасної речовини ФСГ–2 / С. В. Жартовський, О. Д. Коваль, І. Г. Маладика, В. М. Кришталь // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011. № 9. – С. 53–60.
10. Schramm, Laurier & Stasiuk, Elaine & Marangoni, Gerrard. (2003). Surfactants and their Applications. Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C: Phys. Chem.. 99. 3–48. 10.1039/B208499F.
11. Clark, N. O., “A Study of Mechanically Produced Foam for Combating Petrol Fires,” Chemistry Research – Special Report No. 6, Department of Scientific and Industrial Research, London, England (1947).
12. French, R. J., “Comparison of American and British Foam Viscosity Measurements.” Internal Note No. 38, Department of Scientific and Industrial Research and Fire Offices’ Committee Joint Fire Research Organization, Boreham Wood, Hertford-shire, England (1959).
13. Магльована Т. В. Фізико-хімічні властивості вогнегасних речовин на основі полігексаметиленгуанідину / Т. В. Магльована // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2014. – № 17. – С. 67–72.
14. Ніжник В. В. Обґрунтування застосування деяких водних вогнегасних речовин для систем пожежогасіння підкупольних дерев’яних конструкцій культових споруд / В. В. Ніжник, О. М. Тимошенко, С. В. Жартовський, І. А. Рихліцький, О. П. Гутник // Науковий вісник УкрНДІ ПБ: Науковий журнал. – 2010. № 2 (22). С. 131 – 134.
15. Шкарабура М. Г. Реологічні особливості розчинів з поверхнево-активними речовинами, що використовуються для ліквідації горіння / М. Г. Шкарабура, С. В. Стась, Д. М. Деревинський // Вестник НТУУ «КПІ». Машиностроение. – 2004. – №45. – С.152–154.
16. Стась С. В. Реологічні особливості поверхнево-активних добавок, що використовуються для піноутворення / С. В. Стась // Вісн. Нац. техн. ун-ту України "КПІ". Сер. Машинобудування. – 2013. – Вип. 2. – С. 19–24.

REFERENCES

1. Gergel' V. I., Meshalkin E. A. Pozharotushenie tonkoraspylennoj vodoj vysokogo davleniya // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2017. – Т. 26, № 3. – С. 45–49. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.03.45–49.
2. Meshalkin E. Sostoyanie i perspektivy razrabotok izdelij dlya tusheniya pozharov tonkoraspylennoj vodoj. [Elektronij resurs] // NPO “Pul'S”. – 2008. http://www.npopuls.ru/projctandexpert/publications/tushenie_tonkorasp_water.php.
3. Abduragimov I. M. Nesostoyatel'nost' idei primeneniya tonkoraspylonnoj i "termoaktivirovannoj" (peregretaj) vody dlya pozharotusheniya // Pozharovzryvobezopasnost'. 2011. № 6. С. 54–58.
4. Tagiev R. M. Tonkoraspylennaya voda: pravda i vymysel / R. M. Tagiev. // Pozharnaya bezopasnost' v stroitel'stve. – 2009. – №5. – С. 50–52.
5. Baratov A. N. Pozharnaya opasnost' stroitel'nykh materialov. / A. N. Baratov, R. A. Andrianov, A. Ya. Korolchenko, D. S. Mikhajlov, V. A. Ushkov, L. G. Filin // М.: Strojizdat, 1988. – 380 s.
6. Pakhomov V. P. Osobennosti prime-neniya AUPT tonkoraspylonnoj vody // Pozharnoe delo v stroitel'stve. – 2009. – № 5. – С. 59–65.
7. Antonov A. V. Vohnehasni rechovyny. / A. V. Antonov, V. O. Borovikov; V. P. Orel, V. M. Zhartovskiy, V. V. Kovalyshyn // Posibnyk. – Kyiv: Pozhinformtekhnika. 2004. – 176 s.
8. Tarakhno O. V. Fizyko-khimichni osnovy vykorystannia vody v pozhezhnii spravi. / O. V. Tarakhno, A. Ya. Shar-shanov // Navchalnyi posibnyk.– Kharkiv. 2004. 252 s.

9. Zhartovskyi S. V. Doslidzhennia reolohichnykh vlastyvostei vodnoi vohnehasnoi rehovyny FSH-2 / S. V. Zhartovskyi, O. D. Koval, I. H. Maladyka, V. M. Kryshstal // Pozhezhna bezpeka: teoriia i praktyka: Zbirnyk naukovykh prats. Cherkasy: APB im. Heroiv Chornobylia, 2011. № 9. – S. 53–60.
10. Schramm, Laurier & Stasiuk, Elaine & Marangoni, Gerrard. (2003). Surfactants and their Applications. Annu. Rep. Prog. Chem., Sect. C: Phys. Chem. 99. 3–48. 10.1039/B208499F.
11. Clark, N. O., “A Study of Mechanically Produced Foam for Combating Petrol Fires,” Chemistry Research – Special Report No. 6, Department of Scientific and Industrial Research, London, England (1947).
12. French, R. J., “Comparison of American and British Foam Viscosity Measurements.” Internal Note No. 38, Department of Scientific and Industrial Research and Fire Offices’ Committee Joint Fire Research Organization, Boreham Wood, Hertford-shire, England (1959).
13. Mahlovana T. V. Fyzyko-khimichni vlastyvosti vohnehasnykh rehovyn na osnovi poliheksametylenhuanidynu / T. V. Mahlovana // Pozhezhna bezpeka: teoriia i praktyka. – 2014. – № 17. – S. 67–72.
14. Nizhnyk V. V. Obruntuvannia zastosu-vannia deiakykh vodnykh vohnehasnykh rehovyn dlia system pozhezhohasinnia pidkupalnykh derevianykh konstruksii kultovykh sporud / V. V. Nizhnyk, O. M. Tymoshenko, S. V. Zhartovskyi, I. A. Rykhlitskyi, O. P. Hutnyk // Naukovyi visnyk UkrNDI PB: Naukovyi zhurnal. – 2010. № 2 (22). S. 131 – 134.
15. Shkarabura M. H. Reolohichni osoblyvosti rozchyniv z poverkhnevo-aktyvnymy rehovynamy, shcho vykorystovuiutsia dlia likvidatsii horinnia / M. H. Shkarabura, S. V. Stas, D. M. Derevynskyi // Visnyk NTUU «KPI». Mashynobuduvannia. – 2004. – №45. – S.152–154.
16. Stas S. V. Reolohichni osoblyvosti poverkhnevo-aktyvnykh dobavok, shcho vykorystovuiutsia dlia pinoutvorennia / S. V. Stas // Visn. Nats. tekhn. un-tu Ukrainy "KPI". Ser. Mashynobudu-vannia. – 2013. – Vyp. 2. – S. 19–24.

Serhii Stas¹, candidate of technical science, docent,

Arten Bychenko¹, candidate of technical science, docent,

Denys Kolesnikov¹, candidate of technical science, docent,

Kostiantyn Myhalenko¹, candidate of technical science, docent,

Oleksii Koval² candidate of technical science, docent,

*¹ Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Defence of Ukraine,*

²National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF FOAM FORMERS LIKE PIRENA-1, SOFIR, ALPEN, MOUSSOL, STHAMEX, PIANOL

Firefighters uses surfactants in the form of wetting agents, to change the surface tension of aqueous solutions and to create special firefighting foam of various multiplicity. The main classes of surfactants that firefighters use are surfactants general purpose and surfactants special purpose. Adding to water surfactants have a special affect on a hydraulic characteristics of the fluid flow inside the firefighting equipment, hydraulic characteristics of compact and sprayed jets which were creating by devices for their supply like branch pipes, nozzles, sprinklers, etc. Rheological properties have such affect on hydraulic characteristics of surfactants solutions. Often, data about rheological properties of modern firefighting foam absent or insufficient. There are research results of modern foam formers of foreign and domestic production in our article. Also we studied the similarity of the main rheological characteristics to the characteristics of foaming agents that were established earlier.

Key words: *rheology, surfactants, dynamic quality, deformation speed.*

