

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Слуцька Оксана Михайлівна

УДК 614.841.45

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ
ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ**

Спеціальність - 21.06.02 «Пожежна безпека»

Галузь знань – 261 «Пожежна безпека»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії)
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ О.М. Слуцька

Науковий керівник: **Боровиков Володимир Олександрович**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Львів – 2019

АНОТАЦІЯ

Слуцька О.М. Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.02 “Пожежна безпека” (261 - Пожежна безпека) підготовлена в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів – 2019.

Аналіз міжнародних та європейських стандартів на піноутворювачі для гасіння пожеж, а також результатів експериментів, проведених після введення в дію національних стандартів, показав необхідність перегляду переліку нормованих показників якості піноутворювачів і методик їх визначення. Виявлено ймовірні причини одержання недостовірних (невідтворених) результатів випробувань і обґрунтовано необхідність проведення відповідних досліджень.

Метою досліджень є розкриття особливостей впливу чинників на достовірність результатів випробувань у системі оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж як наукового підґрунтя підвищення ефективності пінного пожежогасіння.

Об’єктом досліджень є процеси взаємодії піни з паливом, а предметом досліджень – вплив чинників на процеси взаємодії піни з полум’ям під час гасіння горючих рідин і достовірність результатів у системі оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж.

Проведено дослідження з визначення водневого показника (рН) 1 % водного розчину ряду піноутворювачів у разі використання двох зразків дистильованої води. Підтверджено припущення про те, що водневий показник “нав’язує” вода, тобто результат контролювання якості піноутворювача за цим показником може виявитися необ’єктивним. На підставі цього зроблено висновок про недоцільність нормування водневого показника 1 % водного розчину піноутворювача.

Встановлено, що найкращу змочувальну здатність за інших однакових умов мають 2 % водні розчини “вуглеводневих” піноутворювачів; встановлено, що

належна змочувальна здатність нерідко досягається за менших концентрацій. Зроблено висновок про недоцільність використання піноутворювачів на основі фторвмісних ПАР для приготування змочувальних розчинів.

Проведено дослідження з визначення поверхневого натягу робочих розчинів піноутворювачів та міжфазового натягу на межі їх розділу з циклогексаном за методикою, яка передбачає використання торсійних вагів замість тензіометра. Встановлено, що належна узгодженість з результатами, одержаними відповідно до вимог міжнародного стандарту, має місце у діапазоні не вище ніж 20 мН/м.

Результати досліджень з визначення тривалості гасіння модельних вогнищ пожежі та критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача показали їх кореляцію з результатами, отриманими відповідно до стандартизованої методики. Відповідно, зроблено висновок про доцільність стандартизації цієї методики та її застосування під час приймально-здавальних випробувань і періодичного контролювання якості піноутворювачів.

Обґрунтовано порядок оцінювання вогнегасної ефективності піни низької кратності під час гасіння горючих рідин і впливу на неї окремих чинників за показниками тривалості гасіння модельних вогнищ пожежі, питомої витрати робочого розчину піноутворювача на гасіння, а також проміжку часу до повторного займання погашеного модельного вогнища пожежі.

Перехід на нові технології виробництва автомобільного бензину, який традиційно використовують під час випробувань піноутворювачів в Україні, призвів до змінювання його компонентного складу, що спричинило ряд проблем під час визначення вогнегасної ефективності піни. Водночас, для випробування піноутворювачів в Європі регламентовано використання як пального не бензину, а н-гептану або суміші вуглеводнів, що мають неприйнятно високу вартість.

Уперше визначено параметри процесів вільного горіння н-гептану, бензину автомобільного і бензину-розчинника для гумової промисловості “Нефрас С-2-80/120” в умовах випробувань з гасіння модельних вогнищ пожежі, а також кількісно охарактеризовано процеси взаємодії піни з полум’ям цих рідин. Встановлено, що теплові режими горіння і швидкість вигорання н-гептану та розчинника “Нефрас С-2-80/120” мало відрізняються між собою, тоді як під час

горіння бензину розвивається більш висока температура і швидкість його вигорання помітно вища. Щільність теплового потоку у разі горіння перших двох видів пального виявилася близькою, у разі горіння бензину вона нижча. Використання розчинника “Нефрас С-2-80/120” під час випробувань дає змогу більш об’єктивно оцінювати ефективність піни, пов’язане з меншими витратами і завдає меншої шкоди довкіллю.

В результаті проведених досліджень розкрито особливості впливу чинників на процеси взаємодії піни з полум’ям під час гасіння модельних вогнищ з неполярними горючими рідинами, урахування яких забезпечує єдність випробувань у системі оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж. При цьому:

– уперше встановлено, що у разі горіння модельних вогнищ пожежі одного розміру, заповнених н-гептаном або бензином-розчинником “Нефрас С-2-80/120”, за інших однакових умов усереднене значення температур полум’я, швидкості вигорання і щільності потоку теплового випромінювання відносно мало відрізняються між собою (у межах від 2,5 до 9 %), у той час як відповідні параметри процесів горіння бензину автомобільного А-76 суттєво відрізняються від них (у межах від 19 до 40 %);

– уперше встановлено, що показники вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької та середньої кратності, згенерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення, визначені у разі гасіння модельних вогнищ пожежі із застосуванням н-гептану або бензину-розчинника “Нефрас С-2-80/120”, несуттєво відрізняються між собою (розбіжність не перевищує 13 %), у той час, як визначені за результатами гасіння модельних вогнищ пожежі із застосуванням бензину автомобільного А-76, на відміну від загальноприйнятої світової практики використання гептану, такі показники відрізняються від них на 56 – 112 %. Це пояснює незабезпеченість єдності випробувань у системі оцінювання якості піноутворювачів, та призводить до прийняття помилкових рішень під час вибору вогнегасних речовин для протипожежного захисту об’єктів та пожежогасіння з їх використанням;

– удосконалено методику визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння

горючих рідин піною середньої кратності шляхом застосування під час гасіння модельних вогнищ пожежі класу В площею від $0,05 \text{ м}^2$ до $0,10 \text{ м}^2$ на відміну від регламентованого стандартами модельного вогнища пожежі класу В площею $1,73 \text{ м}^2$;

– удосконалено методику оцінювання впливу температури повітря і робочих розчинів під час визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж; зокрема, виявлено необхідність варіювання температури робочого розчину піноутворювача і повітря в усьому прогнозованому температурному діапазоні з визначенням показників кратності і вогнегасної ефективності піни;

– набуло подальшого розвитку застосування модельних вогнищ пожежі класу В із використанням неполярних горючих рідин як пального під час визначення показників вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни, згенерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення для пожежогасіння у системі оцінювання їх якості;

– набуло подальшого розвитку застосування науково обґрунтованої та розробленої експрес-методики визначення показників вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької кратності, згенерованої стволем-генератором з витратою робочих розчинів піноутворювачів $(12,5 \pm 0,5) \text{ см}^3/\text{с}$, сутність якої полягає у визначенні тривалості гасіння циліндричних модельних вогнищ пожежі з бензином-розчинником “Нефрас С-2-80/120” з поступовим збільшенням площі починаючи з $0,3 \text{ м}^2$, та проміжку часу до займання погашеного модельного вогнища пожежі після внесення до нього однакового в усіх випадках джерела повторного запалювання.

Одержані результати дали можливість удосконалити вітчизняну нормативну базу щодо випробування і застосування піноутворювачів для гасіння пожеж.

Ключові слова: випробування, гасіння, генератор піни, горюча рідина, піна, піноутворювач, показник якості, полум’я, робочий розчин.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слуцька О.М., Білошицький М.В. Перспективи підвищення достовірності результатів випробувань виробів протипожежного призначення за рахунок заміни бензину на пальне з більш стабільними показниками якості // Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал, 2006, №1(13). – К., УкрНДПБ МНС України. – с. 90 - 96.

2. Боровиков В.О., Слуцька О.М., Козяр Н.М., Білошицький М.В., Основні положення проекту нової редакції Інструкції про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння // Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал, 2006, №1(13). – К., УкрНДПБ МНС України. – с. 97 – 101.

3. Згуря В.І., Боровиков В.О., Слуцька О.М., Чеповський В.О. Питання удосконалення методик досліджень та випробувань для гасіння пожеж // Пожежна безпека: Зб. наук. праць, 2006, №9. – Львів, ЛПБ МНС України, УкрНДПБ МНС України. – с. 11 – 19.

4. Боровиков В.О., Шеверєв Є.Ю., Слуцька О.М., Чеповський В.О. Дослідження параметрів горіння деяких неполярних горючих рідин // Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал, 2007, №1(15). – К., УкрНДПБ МНС України. – с. 115 – 122.

5. Козяр Н.М., Шеверєв Є.Ю., Боровиков В.О., Слуцька О.М., Чеповський В.О. Вплив параметрів горіння деяких неполярних горючих рідин на ефективність їх гасіння піною низької та середньої кратності // Пожежна безпека: Зб. наук. праць, 2007, №10. – Львів, ЛПБ МНС України, УкрНДПБ МНС України. – с. 202 – 212.

6. Антонов А.В., Боровиков В.О., Слуцька О.М. Методологія оцінювання вогнегасної ефективності піни низької кратності під час гасіння горючих рідин // Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал, 2008, №1(17). – К., УкрНДПБ МНС України. – с. 146 – 154.

7. Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слуцька О.М. Дослідження процесів взаємодії вогнегасних речовин з полум'ям під час гасіння етилового спирту //

Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2008, №2(18). – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 82 – 90.

8. Нікітін В.А., Антонов А.В., Чеповський В.О., Боровиков В.О., Слущка О.М. Основні положення “Рекомендацій щодо гасіння пожеж у спиртосховищах, що містять етиловий спирт” // Проблемы экологии: Загальнодержавний науково-технічний журнал, 2008, №1-2. – Донецьк, ВНЗ ДонНТУ. –с. 80 – 85.

9. Боровиков В.О., Слущка О.М. Обґрунтування методології визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2008, №2(18). – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 77 – 81.

10. Боровиков В.О., Козяр Н.М., Слущка О.М. Обґрунтування придатності методики визначення критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів загального призначення під час гасіння неполярних горючих рідин для оцінювання їх якості // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2009, №1(19). – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 179 -182.

11. Антонов А.В., Боровиков В.О., Слущка О.М. Основні положення нової редакції національного стандарту на піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2009, №2(20) – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 78 – 83.

12. Боровиков В.О., Слущка О.М. Щодо визначення ефективності піноутворювачів у разі гасіння моторного пального з полярними добавками // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека: Науковий журнал, 2017, №1(3). – К., УкрНДІЦЗ. – с. 70 – 83.

13. Боровиков В.А., Слущкая О.М. Совершенствование методов испытаний и нормативной базы по оцениванию показателей качества пенообразователей для тушения пожаров в Украине // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Научно-технический журнал, 2017, № 2 (42) -2017. – М., НИИ ПБ и ЧС Республики Беларусь. – с. 5 – 15.

Опубліковано в інших виданнях:

1. Шеверєв Є.Ю., Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слуцька О.М. Параметри горіння неполярних горючих рідин і залежність вогнегасної та ізолювальної ефективності піни від їх природи // Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика: Матеріали VI Міжнародної науково-методичної конференції. К., 2007.

2. Згуря В.І., Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слуцька О.М. Удосконалення методик досліджень та випробувань піноутворювачів для гасіння пожеж // Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика: Матеріали VI Міжнародної науково-методичної конференції. К., 2007.

3. Шеверєв Є.Ю., Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слуцька О.М. Некоторые вопросы оценки эффективности огнетушащих веществ // Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах: Материалы XX Международной научно-практической конференции. Секция 2: Тушение пожаров и спасание людей. М., 2007.

4. Згуря В.І., Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слуцька О.М. Повышение точности результатов испытаний пенообразователей для тушения пожаров // Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах: Материалы XX Международной научно-практической конференции. Секция 2: Тушение пожаров и спасание людей. М., 2007.

5. Згуря В.І., Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слуцька О.М. Шляхи підвищення достовірності результатів оцінки показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж // Геотехнологии и управление производством XXI века: Сборник научных трудов II научно-практической конференции. Донецк, 2007.

6. Антонов А.В., Боровиков В.О., Слуцька О.М. Обґрунтування методології визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж // Природничі науки та їх

застосування в діяльності цивільного захисту: Тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси, АПБУ ім. Героїв Чорнобиля, 2008.

7. Антонов А.В. Боровиков В.О., Слуцька О.М. Методология оценки огнетушащей эффективности пены низкой кратности при тушении горючих жидкостей // Актуальные проблемы пожарной безопасности: Материалы IXX Международной научно-практической конференции. М., ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

8. Боровиков В.О., Кришталь В.Н., Слуцька О.М. Об эффективности пенообразователей специального назначения при тушении горючих жидкостей // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. Минск, НИИПБиЧС МЧС Беларуси, 2009.

9. Боровиков В.О., Слуцька О.М. Основні положення проекту змін до ДСТУ 3789 // Пожежна безпека – 2009: Тези доповідей. Львів, ЛДУБЖД МНС України, 2009.

10. Чеповский В.О., Боровиков В.О., Слуцька О.М. Исследование процессов взаимодействия огнетушащих веществ с пламенем этилового спирта и рекомендации по тушению пожаров в спиртохранилищах // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. Минск, НИИПБиЧС МЧС Беларуси, 2009.

ABSTRACT

Slutska O.M. Improvement of the system for the estimation of quality of foam concentrates for fire-fighting. – A qualification scientific paper executed as manuscript.

Dissertation for the competition of the scientific degree of Candidate of Sciences (Doctor of Philosophy) by specialty of 21.06.02 – Fire safety (261 – Fire safety) prepared at the Ukrainian Civil Protection Research Institute, Lviv State University of Life Safety, Lviv – 2019.

Analysis of the International and European standards for foam concentrates for fire-fighting as well as results of experiments conducted after introduction of appropriate national standards showed necessity in the revision of the list of the standardized quality performance of foam concentrates and methods of their determination. Possible reasons of obtaining false (non-reproducible) test results were revealed and necessity in the conduction of appropriate researches was substantiated.

Purpose of the work is the revelation of the specific features of influence of some factors on the credibility of the test results in the system of estimation of quality of foam concentrates for fire-fighting as scientific background of raising efficiency of fire-fighting with foam.

Objects of the research are processes of interaction of foam with fuel, and their subject is influence of appropriate factors on the processes of interaction of foam with flame when extinguishing combustible liquids and credibility of the results within the system of estimation of quality of foam concentrates for fire-fighting.

Studies were conducted for the determination of hydrogen index (pH) of 1 % aqueous solutions of a number of foam concentrates when using two samples of distilled water. Assumption was confirmed that water “dictates” hydrogen index, i.e. result of controlling of quality of a foam concentrate by this quality performance can be non-objective. Based on this conclusion was made on the inappropriateness of the standardization of hydrogen index of 1 % aqueous solution of foam concentrate.

It was revealed that other things being equal, the best wetting performance was intrinsic to 2 % aqueous solutions of “hydrocarbon” foam concentrates; it was

determined that appropriate wetting performance was reached frequently at lower concentrations. Conclusion was made of the inexpediency of using foam concentrates containing fluorinated surfactants for the preparation of wetting solutions.

A study was conducted for the determination of surface tension of foam solutions of some foam concentrates and interfacial tension at their interface with cyclohexane as per method to provide use of torsion scale instead of tensiometer. It was revealed that proper conformity with the results obtained according to the requirements of appropriate International standard took place in the range of less than 20 mN/m.

Results of the studies for the determination of the duration of putting-out test fires and critical application rate of foam solution showed their correlation with the results derived according to proper standardized method. Accordingly, conclusion was made of the expediency of this method standardization and its application when performing hand-over tests and periodical controlling quality of foam concentrates.

Procedure of estimation of fire-fighting efficiency of low expansion foam when putting-out combustible liquids and influence of some factors on it by duration of extinguishing of test fires, specific consumption of foam solution for this as well as burnback time of the test fire having been put out was substantiated.

Transition to new technologies of petrol production being generally used as fuel when testing foam concentrates in Ukraine led to changing their component composition and this caused a number of problems when estimating fire-fighting efficiency of foam. At the same time, they standardized in Europe use of n-heptane or a mixture of hydrocarbons which have unacceptable value instead of petrol as fuel.

Parameters of the processes of free burning of n-heptane, petrol and “Nefras S-2-80/120” naphtha for rubber industry under conditions of tests for the extinguishing of test fires were determined for the first time, moreover, processes of interaction of foam with flame appeared due to burning of these liquids were characterized quantitatively. It was revealed that thermal burning regimes and burning rate of n-heptane and “Nefras S-2-80/120” solvent were slightly different, whereas higher temperature took place when petrol was burning and combustion rate of the latter was distinctly higher. Heat flux density at the time of burning of the former two types of fuel revealed nearly the same,

but in case of petrol burning it was lower. Use of “Nefras S-2-80/120” solvent when performing tests allows more objective estimation of foam efficiency, moreover, it ensures lower costs and causes less damage to the environment.

As a results of the studies having been conducted specific features were disclosed of the influence of a number of factors upon the processes of foam interaction with flame when putting out of test fires containing flammable liquids taking into account of those ensures unity of the tests being performed within the system of estimation of quality of foam concentrates for fire-fighting. At that:

– It was revealed for the first time that in case of burning of test fires having equal size filled with n-heptane and “Nefras S-2-80/120” solvent and other things being equal, averaged values of temperature of flame, burning rate and heat flux density were slightly different from each other (within 2.5 % to 9 %) whereas appropriate parameters of A-76 petrol burning process were significantly different from them (within 19 % to 40 %);

– It was revealed for the first time that fire-fighting and burnback resistance performance of low and medium expansion foam obtained from foam solutions of general and special use foam concentrates determined by putting out test fires using n-heptane and “Nefras S-2-80/120” solvent were insignificantly different (discrepancy did not exceed 13 %) whereas these quality performance determined using A-76 petrol in contrast with practice of using heptane generally accepted in the world were different from those by 56 % to 112 %. This explains lack of unity of tests within the system of estimation of quality of foam concentrates and leads to erroneous solutions when selecting fire fighting agents for fire protection of facilities as well as fighting fires using them;

– Procedure for the determination of putting-out duration and critical application rate of foam solutions when fighting fire with medium expansion foam was improved by use 0.05 m^2 to 0.10 m^2 class B test fires in contrast with 1.73 m^2 class B test fire provided by appropriate standards;

– Procedure for the estimation of influence of air and foam solutions temperature when determining temperature range of application of general and special use foam

concentrates for fire-fighting was improved; in particular, necessity in varying temperatures of foam solution and air within entire foreseen temperature range was revealed while determining expansion ratio and drainage time quality performance;

– Further application was obtained by class B test fires using non-polar flammable liquids as fuel when determining fire-fighting and burnback resistance quality performance of foam generated from general and special use foam concentrates for fire-fighting within the system of estimation of their quality; and

– Further application was obtained by scientifically substantiated and developed express procedure for the determination of fire-fighting and burnback resistance quality performance of low expansion foam generated with foam generator providing $(12.5 \pm 0.5) \text{ cm}^3/\text{s}$ flow rate of foam solutions essence of which lies in the determination of duration of putting-out of cylindrical test fires filled with “Nefras S-2-80/120” naphtha with gradual increase of their area beginning from 0.3 m^2 as well as burnback time of the test fires having been put out upon introduction of re-ignition source being the same in all the cases.

The results obtained allowed improvement of the national normative base for testing and application of foam concentrates for fire-fighting.

Key words: Testing, extinguishing, foam generator, flammable liquid, foam, foam concentrate, quality performance, flame, foam solution.

LIST OF PUBLICATIONS BY THE DISSERTATION THEME

In professional scientific journals:

1. Borovykov V.O., Chepovskyi V.O., Slutska O.M., Biloshytskyi M.V. Perspectives of improvement of reliability of the results of testing fire-fighting products by substitution of petrol with fuel having more stable quality performance // Scientific bulletin of the UkrFSRI: Scientific journal, 2006, No. 1(13). – K., UkrFSRI of the MOE of Ukraine. P. 90 – 96.

2. Borovykov V.O., Slutska O.M., Koziar N.M., Biloshytskyi M.V. Principal provisions of the draft new version of the Instruction on the procedures of application

and testing of foam concentrates for fire-fighting. // Scientific bulletin of the UkrFSRI: Scientific journal, 2006, No. 1(13). – K., UkrFSRI of the MOE of Ukraine. P. 97 – 101.

3. Zhuria V.I., Borovykov V.O., Slutska O.M., Chepovskyi V.O. Issues related to the improvement of the methods of researching and testing foam concentrates for fire-fighting // Fire safety: Collected scientific papers, 2006, No. 9. – Lviv, LIFS of the MOE of Ukraine. P. 11 – 19.

4. Borovykov V.O., Sheveviev Ye. Yu., Slutska O.M., Chepovskyi V.O. Studying parameters of burning of some non-polar combustible liquids // Scientific bulletin of the UkrFSRI: Scientific journal, 2007, No. 1(15). – K., UkrFSRI of the MOE of Ukraine. P. 115 – 122.

5. Koziar N.M., Sheveviev Ye. Yu., Borovykov V.O., Slutska O.M., Chepovskyi V.O. Influence of burning parameters of some non-polar combustible liquids upon efficiency of their extinguishing with low and medium expansion foam // Fire safety: Collected scientific papers, 2007, No. 10. – Lviv, LIFS of the MOE of Ukraine. P. 202 – 212.

6. Antonov A.V., Borovykov V.O., Slutska O.M. Methodology of estimation of fire extinguishing with low expansion foam when putting-out combustible liquids // Scientific bulletin of the UkrFSRI: Scientific journal, 2008, No. 1(17). – K., UkrFSRI of the MOE of Ukraine. P. 146 – 154.

7. Borovykov V.O., Chepovskyi V.O., Slutska O.M. Studying processes of interaction of fire extinguishing agents with flame when extinguishing ethyl alcohol // Scientific bulletin of the UkrFSRI: Scientific journal, 2008, No. 1(18). – K., UkrFSRI of the MOE of Ukraine. P. 82 – 90.

8. Nikitin V.A., Antonov A.V., Chepovskyi V.O., Borovykov V.O., Slutska O.M. Principal provision of “Recommendations for fighting fires at alcohol stores involving ethyl alcohol” // Problems of ecology: National scientific and technical journal, 2008, No. 1-2. – Donetsk, DonNTU Institution of higher education. – P. 80 – 85.

9. Borovykov V.O., Slutska O.M. Substantiation of the methodology for the determination of the temperature range of application of general and special purpose

foam concentrates for fire-fighting // Scientific bulletin of the UkrFSRI: Scientific journal, 2008, No. 2(18). – K., UkrFSRI of the MOE of Ukraine. P. 77 – 81.

10. Borovykov V.O., Koziar N.M., Slutska O.M. Substantiation of the applicability of the method for the determination of critical application rate of foam solutions foam concentrates for general use when extinguishing non-polar combustible liquids for the estimation of their quality // Scientific bulletin of the UkrFSRI: Scientific journal, 2009, No. 1(19). – K., UkrFSRI of the MOE of Ukraine. P. 179 – 182.

11. Antonov A.V., Borovykov V.O., Slutska O.M. Principal provision of the new version of the National standard for foam concentrates of general use for fire-fighting // Scientific bulletin of the UkrFSRI: Scientific journal, 2009, No. 2(20). – K., UkrFSRI of the MOE of Ukraine. P. 78 – 83.

12. Borovykov V.O., Slutska O.M. Concerning determination of efficiency of foam concentrates when extinguishing motor fuel containing polar additives // Scientific bulletin: Civil protection and fire safety: Scientific journal, 2017, No. 1(3). – K., UkrCPRI. – P. 70 – 83.

13. Borovykov V.O., Slutska O.M. Improvement of methods of testing and normative base for the estimation of quality performance of foam concentrates for fire-fighting in Ukraine // Emergencies: Prevention and elimination: Scientific and technical bulletin, 2017, No. 2(42)-2017. M., SRIFSE of the Republic of Belarus. – P. 5 – 15.

Published in other journals:

1. Sheverev Ye.Yu., Borovykov V.O., Chepovskyi V.O., Slutska O.M. Parameters of burning of some non-polar combustible liquids and dependency of fire-fighting and burnback resistance of foam upon their nature // Safety of human life – education, science, practice: Materials of VI International scientific and methodical conference. K., 2007.

2. Zhuria V.I., Borovykov V.O., Chepovskyi V.O., Slutska O.M. Improvement of the methods of researching and testing foam concentrates for fire-fighting // Safety of human life – education, science, practice: Materials of VI International scientific and methodical conference. K., 2007.

3. Sheverev Ye.Yu., Borovykov V.O., Chepovskyi V.O., Slutska O.M. Some issues related to the estimation of the efficiency of fire-fighting agents // Historical and today's aspects of the solution of the problems related to the combustion, fire-fighting and ensuring fire safety of human beings at the time of fires: Materials of XX International scientific and practical conference. Section No. 2: Fire-fighting and salvation of humans. M., 2007.

4. Zhuria V.I., Borovykov V.O., Chepovskyi V.O., Slutska O.M. Raising exactness of the results of testing foam concentrates for fire-fighting // Historical and today's aspects of the solution of the problems related to the combustion, fire-fighting and ensuring fire safety of human beings at the time of fires: Materials of XX International scientific and practical conference. Section No. 2: Fire-fighting and salvation of humans. M., 2007.

5. Zhuria V.I., Borovykov V.O., Chepovskyi V.O., Slutska O.M. Ways of raising reliability of the results of the estimation of quality performance of foam concentrates for fire-fighting // Geotechnologies and management of manufacture of XXI Century: Collected scientific papers of II Scientific and practical conference. Donetsk, 2007.

6. Antonov A.V., Borovykov V.O., Slutska O.M. Substantiation of the methodology for the determination of the temperature range of application of general and special purpose foam concentrates for fire-fighting // Natural sciences and their application in the civil protection activities: Brief outline reports of II International scientific and practical conference. Cherkasy, AFSU named after Heroes of Chernobyl, 2008.

7. Antonov A.V., Borovykov V.O., Slutska O.M. Methodology of estimation of fire extinguishing with low expansion foam when putting-out combustible liquids // Actual problems of fire safety: Materials of IXX International scientific and practical conference. M., FGI RRIFP of the MOE of Russia, 2009.

8. Borovykov V.O., Kryshchal V.N., Slutska O.M. On the efficiency of foam concentrates for special use when extinguishing combustible liquids // Emergencies: Prevention and elimination. Collected materials of the International scientific and practical conference. Minsk, SRIFSE of the Republic of MOE of Belarus, 2009.

9. Borovykov V.O., Slutska O.M. Main provisions of the draft amendments to DSTU 3789 // Fire safety – 2009: Brief outline report. Lviv, LSULS of the MOE of Ukraine, 2009.

10. Chepovskyi V.O., Borovykov V.O., Slutska O.M. Studying processes of interaction of fire extinguishing agents with flame of burning ethyl alcohol and recommendations for fighting fires at alcohol stores // Emergencies: Prevention and elimination. Collected materials of the International scientific and practical conference. Minsk, SRIFSE of the Republic of MOE of Belarus, 2009.

ЗМІСТ

ВСТУП	21
РОЗДІЛ 1 Обґрунтування напрямів досліджень для удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж.....	32
1.1 Виявлення ймовірних причин одержання недостовірних результатів під час визначення показників якості піноутворювачів та їх водних розчинів.....	32
1.1.1 Виявлення ймовірних причин одержання недостовірних результатів під час визначення водневого показника 1 % водних розчинів.....	34
1.1.2 Виявлення ймовірних причин одержання недостовірних результатів під час визначення показника змочувальної здатності 2 % водних розчинів.....	35
1.1.3 Виявлення ймовірних причин недоцільності визначення показників вогнегасної ефективності змочувальних розчинів піноутворювачів.....	37
1.1.4 Виявлення ймовірних причин одержання недостовірних результатів під час визначення поверхневого натягу робочого розчину, міжфазового натягу на межі розділу “робочий розчин – водонерозчинна горюча рідина” і показника розтікання.....	38
1.1.5 Обґрунтування необхідності нормування показників кратності і стійкості піни та методології визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів.....	40
1.1.6 Обґрунтування необхідності розроблення і стандартизування стендових методик визначення вогнегасної ефективності піни	42
1.2 Оцінювання можливого впливу показників якості пального на ефективність його гасіння в умовах досліджень та випробувань	46
1.3 Обґрунтування можливості підвищення достовірності результатів досліджень та випробувань з визначення показників якості піноутворювачів з точки зору метрології.....	56
1.4 Мета і задачі досліджень.....	57
РОЗДІЛ 2 Виявлення залежності результатів випробувань піноутворювачів від умов і методології їх проведення.....	60
2.1 Дослідження впливу водневого показника дистильованої води на водневий показник 1 % водних розчинів піноутворювачів....	60
2.2 Дослідження з визначення впливу природи піноутворювача на показник змочувальної здатності його 2 % водного розчину.....	63
2.3 Дослідження щодо оцінювання достовірності результатів випробувань з визначення поверхневого і міжфазового натягу під час випробувань згідно з методикою, регламентованою стандартом ДСТУ 4041.....	65

2.4	Виявлення можливості і доцільності включення до ДСТУ 3789 опису методу визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння водонерозчинних горючих рідин піною середньої кратності.....	67
2.5	Дослідження з визначення впливу кратності і стійкості піни низької та середньої кратності на її вогнегасну ефективність і обґрунтування методології визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів загального та спеціального призначення.....	71
2.6	Виявлення кореляції між плівкоутворювальною і піноутворювальною здатністю робочих розчинів фторсинтетичних піноутворювачів та вогнегасною ефективністю піни низької кратності, генерованої з них.....	75
2.7	Висновки за розділом.....	78
РОЗДІЛ 3	Дослідження процесів горіння неполярних горючих рідин і взаємодії піни з полум'ям під час їх гасіння.....	81
3.1	Методика оцінювання вогнегасної ефективності піни низької кратності під час гасіння горючих рідин.....	81
3.2	Дослідження параметрів вільного горіння горючих рідин.....	84
3.3	Дослідження процесів взаємодії піни з полум'ям під час гасіння горючих рідин.....	94
3.4	Висновки за розділом.....	111
РОЗДІЛ 4	Оцінювання впливу параметрів випробувального обладнання і засобів вимірювальної техніки на об'єктивність результатів випробувань піноутворювачів.....	114
4.1	Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів прямих вимірювань.....	114
4.2	Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів непрямих вимірювань.....	118
4.2.1	Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення масової частки осаду.....	119
4.2.2	Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення кінематичної в'язкості.....	125
4.2.3	Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення кратності і стійкості піни низької та середньої кратності.....	130
4.2.4	Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення кратності і стійкості піни високої кратності.....	137
4.2.5	Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення поверхневого, міжфазового натягу і показника розтікання.....	140

4.2.6	Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення корозійної активності водних розчинів піноутворювачів.....	143
4.2.7	Оцінювання можливості підвищення об'єктивності результатів визначення показника вогнегасної здатності за класом пожежі А.....	146
4.2.8	Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення критичної інтенсивності подавання водних розчинів піноутворювачів у разі гасіння піною середньої та низької кратності.....	150
4.3	Висновки за розділом.....	154
РОЗДІЛ 5	Апробування і впровадження результатів аналітичних та експериментальних досліджень.....	155
5.1	Впровадження результатів досліджень.....	155
5.2	Оцінювання економічної ефективності реалізації запропонованих експрес-методик.....	161
5.3	Висновки за розділом.....	163
	ВИСНОВКИ.....	164
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	168
ДОДАТОК А	Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	179
ДОДАТОК Б	Копія Методики визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності та матеріалів її первинної атестації.....	184
ДОДАТОК В	Акти впровадження результатів дисертаційної роботи.....	206

ВСТУП

Актуальність теми. В Україні щорічно виникає понад 70 тис. пожеж, які призводять до значних збитків, знищення будинків, споруд, технологічного обладнання, матеріальних цінностей, а також загибелі людей і тварин. Ефективність боротьби з пожежами значною мірою залежить від ефективності вогнегасних речовин, до яких належать водні, газові та аерозолеві вогнегасні речовини, а також вогнегасні порошки і піноутворювачі для гасіння пожеж. В Україні свого часу було розроблено стандарти [1-4], які регламентують вимоги до показників якості та методи випробувань вогнегасних речовин.

Піноутворювачі для гасіння пожеж застосовуються для гасіння відносно невеликої кількості пожеж, за статистичними даними, не більше ніж 1,5 % від їх загальної кількості. Разом з тим, застосування піноутворювачів у багатьох випадках (наприклад, під час пожеж у резервуарах для зберігання горючих рідин) є практично єдиним можливим або найбільш ефективним способом гасіння пожежі.

До середини 1990-х років минулого століття піноутворювачі вітчизняними підприємствами не вироблялися, підрозділи пожежної охорони і промислові підприємства споживали здебільшого біологічно “жорсткі” вогнегасні речовини, рецептури яких було розроблено ще за радянських часів. Початок їх виробництва, а також розроблення нормативної бази щодо випробування і застосування піноутворювачів в Україні стали можливими завдяки роботам Казакова М.В., Пешкова В.В., Шароварнікова О.Ф., Білкуна Д.Г., Меркулова В.А., Баженова С.В., Зеленкіна В.М., Цариченка С.Г., Антонова А.В., Білошицького М.В., Боровикова В.О., Ковалишина В.В., Костенка В.К., Грушовінчука О.В., Козяра Н.М. та ін. Основну увагу перелічені дослідники приділяли розробленню рецептур піноутворювачів, у той час, як питання, пов’язані з підвищенням об’єктивності результатів випробувань з оцінювання їх якості, було вивчено неповною мірою. Система контролювання якості піноутворювачів в Україні не відповідала сучасним вимогам. Перехід на нові технології виробництва автомобільного бензину, який традиційно використовують під час випробувань піноутворювачів, призвів до зміни його компонентного складу, що спричинило

ряд проблем під час оцінювання вогнегасної ефективності піни як ключової характеристики піноутворювачів для гасіння пожеж.

Піноутворювачем для гасіння пожеж називають речовину, яка під час змішування з водою у відповідних співвідношеннях утворює робочий розчин, що здатний генерувати піну у разі використання відповідного обладнання, а також змочувальний розчин. Можливість утворення піни зумовлена наявністю у складі піноутворювачів поверхнево-активних речовин (ПАР). Піноутворювачі загального призначення – це піноутворювачі, що здатні утворювати піну низької, середньої та високої кратності з робочих розчинів, а також змочувальні розчини для гасіння пожеж класів А і В згідно з ДСТУ EN 2 [5]. Піноутворювачі спеціального призначення – це піноутворювачі, що здатні утворювати робочі та змочувальні розчини, придатні для гасіння пожеж класів А і В згідно з ДСТУ EN 2 [5] або якогонебудь з них, чи такі, що придатні до застосування з морською водою як розчинником. Плівкоутворювальні піноутворювачі спеціального призначення – це піноутворювачі, виготовлені на основі фторованих й інших ПАР, і здатні утворювати плівку з водного розчину піноутворювача на поверхні горючих рідин, яка характеризується здатністю до самовідновлення після механічного руйнування, а також зниженням швидкості дифузії парів горючої рідини.

Розрізняють такі основні типи піноутворювачів для гасіння пожеж:

– “P” (protein) – протеїнові (білкові) піноутворювачі, тобто піноутворювачі на основі гідролізованих білків (протеїнів);

– “FP” (fluoroprotein) – фторпротеїнові (фторбілкові) піноутворювачі, тобто піноутворювачі на основі гідролізованих білків (протеїнів) з добавками синтетичних фторвмісних ПАР;

– “FFFP” (film forming fluoroprotein) – плівкоутворювальні фторпротеїнові (фторбілкові) піноутворювачі, тобто піноутворювачі на основі гідролізованих білків (протеїнів) з добавками синтетичних фторвмісних ПАР, які надають водним розчинам піноутворювачів плівкоутворювальних властивостей;

– “S” (synthetic) – піноутворювачі на основі синтетичних вуглеводневих ПАР;

– “AFFF” або “A3F” (aqueous film forming foam) – фторсинтетичні плівкоутворювальні піноутворювачі, тобто плівкоутворювальні піноутворювачі на основі синтетичних фторвмісних ПАР (до їх складу можуть входити також вуглеводневі ПАР);

– “F3” (fluorine free foam concentrate) – суміші вуглеводневих ПАР і стабілізаторів, що не містять атомів фтору [6 - 9].

Позначення “AR” (alcohol resistant) чи “ATC” (alcohol type concentrate), що додається до позначення будь-якого типу піноутворювача (наприклад, “FFFP AR”, “S AR”, “AFFF/ATC”), означає, що він придатний для гасіння як неполярних, так і полярних горючих рідин. У багатьох випадках назви піноутворювачів містять числові позначення, які несуть інформацію щодо рекомендованої концентрації їх робочих розчинів. Через дріб або знак множення позначають концентрації робочих розчинів піноутворювачів, придатних для гасіння як неполярних, так і полярних горючих рідин.

У теперішній час в Україні наявна велика кількість типів і марок піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж. Досвід застосування стандартів [2, 4] для випробування піноутворювачів засвідчив їх неповну відповідність сучасній уяві, а також наявність ряду недоліків і, як наслідок, необхідність удосконалення цих нормативних документів.

Багато методів випробування, застосовуваних у теперішній час, було розроблено на основі методів, якими користувалися раніше та описи обґрунтування порядку проведення яких втрачено. Критерії успішності випробування можуть стосуватися контрольних випробувань піноутворювачів “високої якості”, які були наявні на ринку раніше і які, можливо, було розроблено з розрахунку на використання іншої горючої рідини [10].

Удосконалення стандартів має полягати у більш чіткій регламентації показників якості піноутворювачів і удосконаленні методів їх визначення, а також виявленні можливих причин виникнення помилок під час випробувань. Важливими складниками цього процесу є виявлення впливу ряду чинників, а також

метрологічних характеристик випробувального обладнання і засобів вимірювальної техніки на об'єктивність одержуваних результатів.

Рівень протипожежного захисту об'єктів, для гасіння пожеж на яких можуть використовуватись піноутворювачі, значною мірою залежить від їх правильного вибору. Вибирання піноутворювачів, у свою чергу, залежить від особливостей захищуваного об'єкта (наявність, хімічна природа і кількість тих чи інших горючих речовин і матеріалів, конструкційні особливості технологічного обладнання, конструкційні особливості стаціонарних систем пожежогасіння і наявної протипожежної техніки тощо). Основним критерієм правильного вибору типу піноутворювача можна вважати якомога вищу вогнегасну ефективність піни, генерованої з його робочого розчину, під час гасіння наявних на об'єкті речовин і матеріалів у спосіб, який може бути реалізований, з урахуванням особливостей захищуваного об'єкта.

Окрім того, необхідність періодичної перевірки якості піноутворювачів та їх водних розчинів під час зберігання у підрозділах оперативно-рятувальних служб і об'єктах (у тому числі у резервуарах стаціонарних систем пожежогасіння) потребувало розроблення нових або підтвердження придатності відомих експрес-методик визначення вогнегасної ефективності піни, застосування яких має за мету забезпечення можливості контролювання якості вогнегасних речовин за прийняттого рівня витрат.

Розкриття особливостей впливу чинників на процеси взаємодії піни з полум'ям під час гасіння модельних вогнищ з неполярними горючими рідинами та об'єктивність результатів у системі оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж є підґрунтям забезпечення єдності випробувань зазначених вогнегасних речовин та підвищення ефективності їх застосування у сфері пінного пожежогасіння.

Випробування і, особливо, прийняття рішення за одержаними результатами ускладнюється великою кількістю типів і марок піноутворювачів для гасіння пожеж, особливостями, притаманними ним, а також неможливістю створення еталонних зразків піноутворювачів або піни. Це обумовлює актуальність

удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж, а також обґрунтування правил прийняття рішень за одержаними результатами.

Система оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж – це ієрархічно побудована сукупність нормативних документів, що регламентують терміни, порядок, перелік і методики визначення їх показників якості, використання відповідного випробувального обладнання і засобів вимірювальної техніки, які мають належні метрологічні характеристики, а також проведення випробувань персоналом, який має відповідну компетентність (кваліфікацію). Система забезпечує одержання інформації щодо відповідності піноутворювачів для гасіння пожеж встановленим вимогам на всіх стадіях життєвого циклу та придатності піноутворювачів до використання з метою гасіння пожеж пересувною протипожежною технікою і стаціонарними системами пожежогасіння.

Дослідження проводилися на виконання Програми забезпечення пожежної безпеки на період до 2010 року, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 01 липня 2002 р. № 870, і Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012 – 2015 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 27 червня 2012 р. № 590, а також в рамках діяльності технічного комітету стандартизації ТК25 “Пожежна безпека та протипожежна техніка” під час виконання науково-дослідних робіт в Українському науково-дослідному інституті пожежної безпеки (Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту) за темами:

– “Провести дослідження і розробити проект нової редакції Інструкції про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння” (державний реєстраційний №0205U006452);

– “Провести дослідження та розробити методичні рекомендації щодо розрахунку невизначеності вимірювань за методиками випробувань, що впроваджені в УкрНДІПБ, відповідно до вимог ДСТУ ISO/IEC 17025-2001” (державний реєстраційний №0205U007098);

– “Провести дослідження з порівняння ефективності пін під час гасіння різних неполярних горючих рідин з метою обґрунтування можливості заміни

пального, яке використовується під час випробувань піноутворювачів” (державний реєстраційний №0207U006088);

– “Провести дослідження та розробити пропозиції щодо коригування національних стандартів, які встановлюють вимоги до піноутворювачів та газових вогнегасних речовин” (державний реєстраційний №0107U003545);

– “Провести дослідження і розробити зміни до нормативних документів (ДСТУ) на вогнегасні речовини” (державний реєстраційний №0108U008018);

– “Провести дослідження та розробити Довідник керівника гасіння пожежі” (державний реєстраційний №0114U002477).

Мета і задачі досліджень

Метою цієї дисертаційної роботи є розкриття особливостей впливу чинників на процеси взаємодії піни з полум'ям під час гасіння модельних вогнищ з неполярними горючими рідинами та об'єктивність результатів у системі оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж.

Для досягнення поставленої мети поставлено до розв'язання такі **задачі досліджень**:

– провести аналіз статистики пожеж, застосування піни у пожежогасінні та виявити шляхи забезпечення єдності випробувань у національній системі оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж;

– обґрунтувати методологію та методи проведення досліджень з виявлення впливу чинників на процеси взаємодії піни середньої та низької кратності з полум'ям під час гасіння модельних вогнищ з неполярними горючими рідинами;

– визначити параметри горіння неполярних горючих рідин, що можуть використовуватися як пальне під час випробування піноутворювачів, а також їх вплив на процеси взаємодії піни з полум'ям під час гасіння зазначених рідин;

– розробити експрес-методику оцінювання вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької кратності;

– обґрунтувати умови застосування економічно та екологічно прийнятних експрес-методик оцінювання вогнегасної ефективності піни низької та середньої кратності;

– обґрунтувати та розробити зміни до нормативних документів, якими регламентуються методи і порядок випробування піноутворювачів в національній системі оцінювання якості, а також їх застосування у пожежогасінні і протипожежному захисті об'єктів.

Об'єктом досліджень є процеси взаємодії піни середньої та низької кратності, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення, з полум'ям під час гасіння модельних вогнищ з неполярними горючими рідинами, а також методики випробувань з оцінювання показників якості зазначених вогнегасних речовин.

Предметом досліджень є вплив чинників на процеси взаємодії піни середньої та низької кратності, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення, з полум'ям під час гасіння модельних вогнищ із неполярними горючими рідинами, а також об'єктивність результатів у системі оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж.

Ідея роботи полягає у підвищенні ефективності застосування піноутворювачів для пожежогасіння шляхом удосконалення системи оцінювання їх якості з використанням запропонованих методик, які забезпечують єдність випробувань зазначених вогнегасних речовин.

Проводилось аналізування літературних даних і нормативних документів, якими регламентовано методи випробувань, показники якості, порядок оцінювання ефективності різних типів піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж, експериментальні дослідження з визначення показників якості, що проводили за методиками, які відрізняються масштабуванням модельних вогнищ пожежі, частину з цих методик було розроблено в ході досліджень. Під час досліджень визначали показники якості піноутворювачів для гасіння пожеж, а також вивчали параметри процесів горіння неполярних горючих рідин та їх взаємодії з піною під час гасіння (зміна у часі швидкості вигорання рідин, теплового потоку від факела полум'я, температури у різних точках вогнища пожежі). Усі випробування та вимірювання проводили з

використанням повірених засобів вимірювальної техніки і метрологічно атестованого випробувального обладнання.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в розкритті особливостей впливу чинників на процеси взаємодії піни з полум'ям під час гасіння модельних вогнищ з неполярними горючими рідинами, урахування яких забезпечує єдність випробувань у системі оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж. При цьому:

уперше:

– встановлено, що у разі горіння модельних вогнищ пожежі одного розміру, заповнених н-гептаном або бензином-розчинником “Нефрас С-2-80/120”, за інших однакових умов усереднене значення температур полум'я, швидкості вигорання і щільності потоку теплового випромінювання відносно мало відрізняються між собою (у межах від 2,5 до 9 %), у той час як відповідні параметри процесів горіння бензину автомобільного А-76 суттєво відрізняються від них (у межах від 19 до 40 %);

– встановлено, що показники вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької та середньої кратності, згенерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення, визначені у разі гасіння модельних вогнищ пожежі із застосуванням н-гептану або бензину-розчинника “Нефрас С-2-80/120”, несуттєво відрізняються між собою (розбіжність не перевищує 13 %), у той час, як визначені за результатами гасіння модельних вогнищ пожежі із застосуванням бензину автомобільного А-76, на відміну від загальноприйнятої світової практики використання гептану, такі показники відрізняються від них на 56 – 112 %. Це призводить до незабезпеченості єдності випробувань у системі оцінювання якості піноутворювачів та прийняття помилкових рішень під час вибору вогнегасних речовин для протипожежного захисту об'єктів і пожежогасіння з їх використанням;

удосконалено:

– методику визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння горючих рідин піною

середньої кратності шляхом застосування під час гасіння модельних вогнищ пожежі класу В площею від $0,05 \text{ м}^2$ до $0,10 \text{ м}^2$ на відміну від регламентованого стандартами модельного вогнища пожежі класу В площею $1,73 \text{ м}^2$;

– методику оцінювання впливу температури повітря і робочих розчинів під час визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж; зокрема, виявлено необхідність варіювання температури робочого розчину піноутворювача і повітря в усьому прогнозованому температурному діапазоні з визначенням показників кратності і вогнегасної ефективності піни;

набуло подальшого розвитку:

– застосування модельних вогнищ пожежі класу В із використанням неполярних горючих рідин як пального під час визначення показників вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни, згенерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення для пожежогасіння у системі оцінювання їх якості;

– застосування науково обґрунтованої та розробленої експрес-методики визначення показників вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької кратності, згенерованої стволем-генератором з витратою робочих розчинів піноутворювачів $(12,5 \pm 0,5) \text{ см}^3/\text{с}$, сутність якої полягає у визначенні тривалості гасіння циліндричних модельних вогнищ пожежі з бензином-розчинником “Нефрас С-2-80/120” з поступовим збільшенням площі починаючи з $0,3 \text{ м}^2$, та проміжку часу до займання погашеного модельного вогнища пожежі після внесення до нього однакового в усіх випадках джерела повторного запалювання.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено шляхом розроблення:

– Інструкції про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння, затвердженої наказом МНС України від 24.11.2008 № 851;

– Рекомендацій щодо гасіння пожеж у спиртосховищах, які містять етиловий спирт, затверджених МНС України 22.01.2009;

– національних стандартів України, якими регламентовано технічні вимоги і методи випробування піноутворювачів для гасіння пожеж (ДСТУ 3789:2015, ДСТУ 7142:2009, ДСТУ 7143:2009, ДСТУ 7144:2009, ДСТУ 7145:2009), а також національного стандарту України, що регламентує порядок поводження з піноутворювачами, які зберігаються в стаціонарних системах пожежогасіння (ДСТУ 8615:2016);

– Довідника керівника гасіння пожежі (ISBN 978-617-635-087-3, 2016 рік);

– експрес-методики випробувань з визначення вогнегасної ефективності піни низької кратності у разі гасіння неполярних і полярних горючих рідин, яка дає змогу оцінювати вплив способу, параметрів подавання піни та інших чинників на її вогнегасну ефективність;

– процедур розрахунку похибки та невизначеності результатів випробувань з визначення показників якості піноутворювачів.

Особистий внесок здобувача:

– проаналізовано літературні дані з питань методів випробувань, а також ефективності різних типів піноутворювачів для гасіння пожеж і визначено напрями проведення досліджень;

– проведено експериментальні дослідження з визначення впливу показників якості витратних матеріалів (питної і дистильованої води, пального), умов проведення випробувань, а також параметрів випробувального обладнання на достовірність одержуваних результатів спільно з керівником;

– виявлено шляхи підвищення достовірності результатів випробувань з визначення показників якості піноутворювачів за рахунок удосконалення випробувального обладнання і використання більш точних засобів вимірювальної техніки;

– здійснено тлумачення результатів досліджень та розроблення висновків спільно з керівником.

Основні результати дисертаційних досліджень доповідались, обговорювались та отримали позитивне схвалення на II Міжнародній науково-практичній конференції “Геотехнологии и управление производством XXI века”

(Державний вищий навчальний заклад “Донецький національний технічний університет”, м. Донецьк, 2-3 жовтня 2007 р.), Міжнародній науково-практичній конференції “Пожежна безпека – 2007” (Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України, м. Черкаси, 15-16 листопада 2007 р.), XX Міжнародній науково-практичній конференції “Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах” (м. Москва, 22-23 березня 2007 р.), VI Міжнародній науково-практичній конференції “Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика” (Національний авіаційний університет, м. Київ, 15-16 березня 2007 р.), II Міжнародній науково-практичній конференції “Природничі науки та їх застосування в діяльності цивільного захисту” (Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України, м. Черкаси, 2008); XXI Международной научно-практической конференции “Актуальные проблемы пожарной безопасности” (ФГУ ВНИИПО МЧС России, г. Москва, 19-22 мая 2009 г.); Международной научно-практической конференции “Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация” (НИИПБиЧС МЧС Беларуси, г. Минск, 8- 9 июля 2009); IX Міжнародній науково-практичній конференції “Пожежна безпека – 2009” (ЛДУБЖД МНС України, м. Львів, 5-6 листопада 2009 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції “Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи” (м. Львів, 14 вересня 2018 р.).

Основний зміст роботи викладено у дванадцяти наукових статтях, включених до переліку ДАК України та одній статті у іноземному виданні. Результати досліджень також висвітлено у одинадцяти тезах доповідей на міжнародних та національних науково-практичних конференціях.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел зі 107 посиланнями, 3 додатків. Зміст роботи викладено на 212 сторінках, що включає 18 рисунків і 18 таблиць.

РОЗДІЛ 1 ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ

1.1 Виявлення ймовірних причин одержання недостовірних результатів під час визначення показників якості піноутворювачів та їх водних розчинів

Нормативними документами на піноутворювачі [2, 4] передбачено визначення ряду фізико-хімічних властивостей (густина, кінематична в'язкість, температура застигання), показників кратності і стійкості, а також вогнегасної ефективності піни, що утворюється з робочих розчинів піноутворювачів. Піноутворювачі характеризуються показниками якості, які можна умовно поділити на чотири групи (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Показники якості піноутворювачів для гасіння пожеж

Придатність піноутворювачів для приготування змочувальних розчинів оцінюють за показником змочувальної здатності 2 % водного розчину, тобто за проміжком часу, необхідним для просочування ним фільтру з гідрофобної тканини, а також тривалістю гасіння модельного вогнища пожежі класу А і

показником вогнегасної здатності за класом пожежі А (витратою змочувального розчину на гасіння одиниці його вільної поверхні). Плівкоутворювальні властивості робочих розчинів оцінюють за величинами їх поверхневого натягу, міжфазового натягу на межі розділу “робочий розчин піноутворювача – циклогексан” і показника розтікання. Якщо поверхневий натяг пального (у даному випадку циклогексану) перевищує суму поверхневого натягу водного розчину піноутворювача та міжфазового натягу на межі його розділу з пальним, тобто показник розтікання має додатне значення, то утворення водної плівки на поверхні можливе з точки зору термодинаміки.

Окрім горючих рідин, під час досліджень та випробувань піноутворювачів використовуються такі витратні матеріали як питна вода згідно з [11], дистильована вода згідно з [12], сурова тканина згідно з [13] та ін. Показники якості витратних матеріалів, регламентовані нормативними документами на них, можуть змінюватись у доволі широких межах. Ймовірно, що результати визначення окремих показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж можуть залежати від ряду показників якості витратних матеріалів. Крім того, до одержання хибних результатів може призвести користування занадто “грубими” засобами вимірювальної техніки чи обладнанням, під час виготовлення якого недостатньо точно витримано нормовані параметри, або порушення процедур проведення випробувань через відсутність інформації про можливі причини грубих помилок.

Аналізування результатів досліджень та випробувань піноутворювачів для гасіння пожеж, накопичених в Україні після надання чинності національним стандартам [2, 4], а також вимог ряду нормативних документів на витратні матеріали та методи випробувань свідчить, що одержання недостовірних або невідтворених результатів найбільш вірогідне під час визначення, окрім вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької та середньої кратності, таких показників якості (відповідні пояснення викладено нижче):

- водневий показник 1 % водного розчину (рН);
- показник змочувальної здатності 2 % водного розчину;

- показник вогнегасної здатності за класом пожежі А;
- поверхневий натяг робочого розчину, міжфазовий натяг на межі розділу “робочий розчин – водонерозчинна горюча рідина” і показник розтікання.

Окрім того, результати аналізування Міжнародних [14-16] та Європейських [17-20] стандартів на піноутворювачі, інших нормативних документів, а також результати експериментів, проведених після надання чинності нормативним документам [2, 4], дають як підстави для сумнівів у необхідності регламентації окремих показників якості стандартами на піноутворювачі, так і підстави для розгляду можливості введення до них додаткових вимог і методів випробувань.

1.1.1 Виявлення ймовірних причин одержання недостовірних результатів під час визначення водневого показника 1 % водних розчинів

Під час досліджень з розроблення стандартів [2, 4] до них було включено нормоване значення і вимоги щодо обов'язкового визначення водневого показника (рН) 1 % водних розчинів піноутворювачів. Таку вимогу було введено у зв'язку з тим, що рН є одним із найважливіших показників, які характеризують стабільність водних розчинів поверхнево-активних речовин (ПАР), які є основними компонентами будь-яких піноутворювачів. Аналогічну вимогу звичайно містять нормативні документи на мийні та інші засоби. Разом з тим, іноземні стандарти та інші нормативні документи (наприклад ISO 7203[14-16], EN 1568 [1-20], ГОСТ Р 50588 [21] та НПБ 304 [22]) не встановлюють вимог до значень водневого показника 1 % водних розчинів піноутворювачів, а містять тільки нормовані значення водневого показника концентрованих піноутворювачів. Очевидно, що розведення піноутворювача дистильованою водою у 100 разів (приготування його 1 % водного розчину) з подальшим вимірюванням рН може дати змогу зробити більш ґрунтовні висновки про зміну його властивостей з часом, ніж вимірювання водневого показника концентрату.

З іншого боку, діапазон допустимих значень водневого показника дистильованої води, регламентований ГОСТ 6709 [12], достатньо широкий (від 5,4 до 6,6). У зв'язку з цим очевидно, що від значення водневого показника

дистильованої води може залежати значення водневого показника 1 % водного розчину піноутворювача. Такий ефект найбільш помітний у тому разі, коли піноутворювач не містить речовин, які завдяки своїм хімічним властивостям забезпечують лужну реакцію середовища (наприклад, надлишку лугу або триетаноламіну, які використовуються для нейтралізації сульфомас під час виробництва первинних і вторинних алкілсульфатів, α -олефінсульфонатів і деяких інших ПАР). Використання різних проб дистильованої води під час випробувань одного й того ж зразка піноутворювача може призвести до одержання результатів, які суттєво відрізняються один від одного, а також хибних висновків про відповідність (невідповідність) зразка піноутворювача встановленим вимогам. Це найбільш ймовірно під час випробувань з визначення водневого показника 1 % водних розчинів фторсинтетичних плівкоутворювальних піноутворювачів, для виготовлення яких використовують здебільшого нейногенні ПАР. Крім того, слабкокіслова реакція водних розчинів може бути властивістю, притаманною водним розчинам багатьох піноутворювачів, насамперед фторсинтетичних плівкоутворювальних піноутворювачів, і насправді не є показником, за яким їх слід було б бракувати.

З метою підтвердження або спростування цих міркувань, необхідно провести відповідні експериментальні дослідження.

1.1.2 Виявлення ймовірних причин одержання недостовірних результатів під час визначення показника змочувальної здатності 2 % водних розчинів

Нормативні документи [2, 4] містять вимоги щодо нормованих значень і необхідності визначення показника змочувальної здатності 2 % водних розчинів піноутворювачів загального призначення. Подібної вимоги до піноутворювачів спеціального (цільового) призначення інші міжнародні нормативні документи не встановлюють.

Нормування показника змочувальної здатності під час розроблення національних стандартів [2, 4] було зумовлено тим, що в Україні, як і в інших державах колишнього СРСР, для приготування змочувальних розчинів під час

гасіння пожеж використовувалися здебільшого піноутворювачі. За наявною інформацією, за кордоном така практика не є загальноприйнятою і застосовується доволі рідко, для гасіння твердих горючих матеріалів використовують змочувальники або так звані “піноутворювачі класу А”.

З часу розроблення [2, 4] національних стандартів на піноутворювачі суттєво розширилася номенклатура наявних на вітчизняному ринку вогнегасних речовин. В Україні у різні часи вироблялись (виробляються) такі піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж як “Пегас”, “Сніжок-1”, “Пірена”, “Софір”, “Альпен” та “Барс S”.

Окрім того, на українському ринку працюють постачальники піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж виробництва інших держав. Серед виробників таких піноутворювачів є Dr. Sthamer (Німеччина), Eau et Feu (Франція), Orchidee (Німеччина), Pyrocool Technologies (США), Solberg Foam (Норвегія) та ін.

Відомо, що вартість піноутворювачів спеціального призначення щонайменше удвічі перевищує вартість піноутворювачів загального призначення, концентрація робочих (змочувальних) розчинів яких така сама. Широка номенклатура наявних на вітчизняному ринку піноутворювачів загального призначення призвела до того, що використовувати для приготування змочувальних розчинів фторсинтетичні плівкоутворювальні та інші піноутворювачі спеціального призначення стало економічно недоцільним.

Крім того, як свідчать літературні дані [23], величина зміни хімічної спорідненості води до гідрофобних поверхонь твердих горючих матеріалів залежить від складу та будови ПАР. Змочувальну здатність водних розчинів найбільшою мірою поліпшують синтетичні вуглеводневі ПАР (основа піноутворювачів загального призначення для гасіння пожеж), меншою мірою її поліпшують синтетичні фторвмісні ПАР (основа плівкоутворювальних піноутворювачів для гасіння пожеж), а найгірша змочувальна здатність притаманна водним розчинам протеїнових піноутворювачів. Іншими словами, ймовірно, що використання найбільш дешевих піноутворювачів загального

призначення для приготування змочувальних розчинів забезпечує найбільшу ефективність гасіння твердих горючих матеріалів і надійність їх гасіння (тобто зниження ймовірності повторного займання).

У науково-технічній літературі (наприклад, [24-35]) міститься інформація про можливість підвищення вогнегасної ефективності води за рахунок введення до неї добавок хімічних сполук різних класів або їх комбінацій. Натомість методики проведення досліджень, за результатами яких зроблено відповідні висновки, були різними, тобто однозначна інтерпретація їх результатів неможлива. У зв'язку з цим виникає проблема створення єдиної методики оцінювання вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин під час гасіння твердих горючих матеріалів. Одним із можливих варіантів вирішення цієї проблеми є користування методикою визначення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 2А і показника вогнегасної здатності за класом пожежі А, регламентованою національними стандартами [2, 4], або модифікованими методиками, розробленими на її основі. Підтвердження або спростування цієї можливості потребує перевірки.

Велика кількість відомих методів оцінювання змочувальної здатності [36], різні види гідрофобних матеріалів та можлива відмінність умов проведення експериментів не дають змоги зробити остаточних висновків. Для надання більш коректних висновків про змочувальні властивості водних розчинів піноутворювачів різної хімічної природи стосовно гідрофобної сурової тканини, а також рекомендацій щодо застосування піноутворювачів тих чи інших типів для приготування змочувальних розчинів, які використовуються для гасіння твердих горючих матеріалів органічного походження, необхідно провести відповідні експериментальні дослідження.

1.1.3 Виявлення ймовірних причин недоцільності визначення показників вогнегасної ефективності змочувальних розчинів піноутворювачів

Національні стандарти [2, 4] регламентують вимоги та методи визначення тривалості гасіння компактним струменем змочувального розчину модельного

вогнища пожежі 2А і показника вогнегасної здатності за класом пожежі А. Ці вимоги свого часу було введено з тих самих міркувань, що і нормування та визначення показника змочувальної здатності. Разом з тим, усі відомі іноземні стандарти на піноутворювачі подібних вимог не містять. До того ж, площа поверхні модельного вогнища пожежі 2А протягом 8 хвилин вільного горіння змінюється, причому її величина не може бути хоча б відносно стабільною в усіх дослідах. Інакше кажучи, нормування і розрахунок такої величини як показник вогнегасної здатності за класом пожежі А може бути необґрунтованим з точки зору метрології.

З метою визначення необхідності і доцільності регламентації зазначених показників якості нормативними документами на піноутворювачі, а також виявлення придатності відповідної методики для оцінювання вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин під час гасіння твердих горючих матеріалів, необхідно провести відповідні аналітичні та експериментальні дослідження.

1.1.4 Виявлення ймовірних причин одержання недостовірних результатів під час визначення поверхневого натягу робочого розчину, міжфазового натягу на межі розділу “робочий розчин – водонерозчинна горюча рідина” і показника розтікання

Як відомо, плівкоутворювальну здатність робочих розчинів піноутворювачів визначають за показниками поверхневого натягу, міжфазового натягу і показника розтікання. Якщо показник розтікання має додатне значення, то утворення водної плівки на поверхні вуглеводневої горючої рідини стає можливим з точки зору термодинаміки. Відповідно до НПБ 203 [37] – єдиного нормативного документа, який встановлює вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння “підшаровим” способом, який вдалося знайти – однією з вимог до таких піноутворювачів є те, що міжфазовий натяг на межі розділу “робочий розчин піноутворювача – н-гептан” повинен перевищувати 2,5 мН/м.

Збільшення міжфазового натягу уповільнює процес розтікання пального пінними плівками і, як наслідок, руйнування піни.

Поверхневий та міжфазовий натяг є мірами міжмолекулярної взаємодії. Метод їх визначення ґрунтується на вимірюванні зусилля відриву кільця або металевієї пластини від поверхні рідини або межі розділу фаз і регламентується Міжнародним стандартом ISO 304 [38]. Методика визначення цих показників передбачає використання спеціального приладу – тензіометра, який, на жаль, має високу вартість.

Національним стандартом на піноутворювачі спеціального призначення [4] передбачається використання торсіонних вагів, за показами яких у момент відриву кільця від поверхні рідини або межі розділу фаз визначають поверхневий або міжфазовий натяг. Основні відмінності апаратурної реалізації цієї методики від методики стандарту [38] полягають у тому, що кільце виготовлено з ніхромового, а не платинового дроту, його діаметр становить 8...12 мм (документ [38] регламентує використання кільця діаметром щонайменше 20 мм). Діаметр кювети, до якої заливають досліджувану рідину (рідина), може бути меншим за 40 мм, регламентовані [38], оскільки в іншому випадку встановити їх на підймальний столик вагів неможливо.

Очевидно, що використання ніхромового кільця замість платинового не може стати причиною одержання недостовірних результатів за умови належного його відмивання від забруднень. Разом з тим, що менше діаметр кільця і що менше відстань від нього до краю кювети, то більше вплив сил міжмолекулярної взаємодії на межах розділу фаз “досліджувана рідина – метал кільця” і “досліджувана рідина – матеріал кювети”. Внаслідок впливу цих сил на плівку, яка утворюється під час поступового підйому кільця, до якого докладають зусилля, можливе спотворення результатів випробування. Ймовірно, що вище поверхневий натяг досліджуваної рідини, то більшим може бути розбіжність між істинним значенням поверхневого натягу і результатом його визначення. Перевірка цього припущення потребує проведення експериментальних досліджень.

1.1.5 Обґрунтування необхідності нормування показників кратності і стійкості піни та методології визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів

Національними стандартами ДСТУ 3789 [2] і ДСТУ 4041 [4], на відміну від інших нормативних документів (у тому числі ISO 7203 [14-16], EN 1568 [17-20], ГОСТ Р 50588 [21], НПБ 304 [22]) регламентовано такий показник як температурний діапазон застосування. За температурний діапазон застосування піноутворювача загального призначення приймають діапазон температур робочого розчину, в межах якого кратність піни середньої кратності відповідає вимогам таблиці 1 ДСТУ 3789 [2], тобто встановлює мінімальне значення кратності піни середньої кратності 70.

За температурний діапазон застосування піноутворювача спеціального призначення, відповідно до [4], приймають діапазон температур робочого розчину, у межах якого кратність піни низької і/або середньої кратності відповідає вимогам нормативних документів на конкретний піноутворювач.

Температурний діапазон застосування визначають насамперед під час розроблення піноутворювачів, аби переконатися, що робочі розчини придатні для генерування повітряно-механічної піни у разі використання для їх приготування холодної води. На жаль, під час розроблення національних стандартів [2, 4] не було накопичено достатньої кількості експериментальних даних про залежність кратності піни низької та середньої кратності від температури води і повітря. Відповідно, у тексті цих стандартів не описано методики визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів.

Разом з тим, досвід досліджень та випробувань піноутворювачів свідчить, що у багатьох випадках кратність піни середньої кратності, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального призначення, навіть за температури робочого розчину і повітря близько 20 °С перебуває у межах 70...75, тобто практично співпадає з найнижчим значенням, яке допускається відповідно до [2]. У той же час, зниження температури води і повітря, яке ежектуює генератор піни під час подавання робочого розчину, призводить до зниження швидкості руху

молекул робочого розчину піноутворювача і, як наслідок, до зниження швидкості формування адсорбційних шарів. Цілком очевидно, що за таких умов можливе дуже суттєве зниження кратності піни, особливо піни середньої кратності. З іншого боку, дані про те, що таке зниження негативно впливає на вогнегасну ефективність піни, відсутні. Це означає відсутність підстав вважати піноутворювач таким, що не може застосовуватись для пожежогасіння, якщо кратність піни, генерованої з його робочих розчинів за низьких температур, нижча за значення, регламентоване існуючими нормативними документами.

Непрямим доказом цього є відмінність у вимогах щодо нормованих значень кратності піни середньої кратності між трьома виданнями стандарту EN 1568. Якщо відповідна частина Європейського стандарту видання 2000 року [39] містить вимогу, згідно з якою кратність піни повинна бути не нижче ніж 50, то у виданні 2008 року [16] та 2018 року [6] таке положення відсутнє, натомість вказується, що показники кратності і стійкості піни повинні нормуватися документацією виробника конкретного піноутворювача.

Вважається [24, 40], що однією з найважливіших задач, які необхідно вирішувати під час розроблення рецептури піноутворювача, є підвищення стійкості піни до певних значень, в окремих випадках настільки високих, яких тільки можна досягти. Доведено [41], що задовільна вогнегасна ефективність піни, генерованої з водних розчинів піноутворювачів на основі первинних і вторинних алкілсульфатів, досягається у тих випадках, коли показник стійкості піни перевищує 3,5 хв. Як відомо, ці ПАР найчастіше використовуються у державах колишнього СРСР для виробництва піноутворювачів для гасіння пожеж. Саме тому як найменше допустиме значення стійкості піни до стандарту [2] включено 200 с.

Відомо також [42, 43], що збільшення стійкості піни, генерованої з водних розчинів таких піноутворювачів, за рахунок додавання вищих жирних спиртів або вищих жирних спиртів у комбінації з карбамідом призводить до підвищення її вогнегасної ефективності. З іншого боку, ефективним способом підвищення вогнегасної ефективності піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів

на основі первинних алкілсульфатів, є використання поліетиленполіамінів, насамперед діетилентриаміну, хоча їх введення до складу піноутворювачів практично не змінює або навіть зменшує стійкість піни [44]. Разом з тим, у роботі [45] було показано, що стійкість піни середньої кратності, генерованої з водних розчинів деяких дослідних зразків піноутворювачів на основі α -олефінсульфонатів, може бути меншою за 200 с, однак вогнегасна ефективність піни має задовільні значення.

Отже, існує потреба у визначенні необхідності нормування показників кратності і стійкості піни середньої кратності, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального призначення, а також регламентації методології визначення температурного діапазону їх застосування. З аналогічних міркувань доцільно також розробити методологію визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів спеціального призначення, які застосовуються переважно для гасіння горючих рідин піною низької кратності.

1.1.6 Обґрунтування необхідності розроблення і стандартизування експрес-методик визначення вогнегасної ефективності піни

Визначення вогнегасної ефективності піни згідно з методиками, описаними у стандартах [2, 4, 14-16, 17-20], навіть у разі використання найдешевших видів пального пов'язане зі значними матеріальними витратами. З метою їх зниження доцільно користуватися експрес-методиками визначення вогнегасної ефективності піни. Ці методики можуть бути придатні не тільки для оцінювання вогнегасної ефективності піни низької та середньої кратності, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів, але і для визначення нормативної інтенсивності їх подавання у разі гасіння горючих рідин піною низької та середньої кратності. Національні стандарти [2, 4] експрес-методик визначення вогнегасної ефективності піни не регламентують.

Європейський стандарт EN 1568 містить опис методик оцінювання вогнегасної ефективності піни низької кратності під час гасіння полярних і неполярних горючих рідин, натомість методика визначення вогнегасної

ефективності пін середньої кратності у ньому відсутня. Тому під час внесення змін і доповнень до національних стандартів [2, 4], а також розроблення національних стандартів на піноутворювачі, гармонізованих до відповідних Міжнародних та Європейських стандартів, може бути розглянута можливість прийняття цих методик. Натомість виявлення можливості і доцільності стандартизації існуючої методики визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння горючих рідин піною середньої кратності потребує проведення додаткових досліджень.

Автори роботи [46] вважають метод визначення критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів найкращим з відомих методів перевірки вогнегасної ефективності піни, генерованої з них.

Розроблення експрес-методу визначення вогнегасної ефективності піни середньої кратності у разі гасіння водорозчинних горючих рідин на цей час недоцільне, оскільки відсутні нормативні документи, які регламентують їх гасіння піною середньої кратності.

Відомі експрес-методики визначення вогнегасної ефективності піни не дають змоги здійснювати вибирання піноутворювачів, найбільш ефективних у разі протипожежного захисту того чи іншого об'єкта, оскільки такі методики не можуть врахувати певні особливості захищуваних об'єктів. Вогнегасна ефективність піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів, визначена за стандартизованою методикою, не завжди відображає її ефективність під час гасіння реальних пожеж.

Окрім хімічного складу і властивостей піноутворювача, на швидкість гасіння полум'я та опір піни повторному займанню впливають хімічний склад і фізико-хімічні властивості горючої рідини, її температура та інтенсивність перемішування, конструкції піногенераторів, параметри подавання піни (спосіб, інтенсивність, швидкість співударяння з палаючою поверхнею), площа поверхні рідини, погодні умови та інші чинники. Очевидно, саме з цих причин доступні літературні джерела містять описи великої кількості експериментів, проведених у різних умовах за

різними методиками. Відповідно, одержані результати не завжди узгоджуються між собою, у певних випадках зроблені висновки суперечать один одному.

Так, наприклад, у роботі [47] описано результати дослідів з гасіння піною низької кратності модельних вогнищ пожежі класу В площею $0,25 \text{ м}^2$ і $4,52 \text{ м}^2$, які проводили з метою розроблення адекватних методів оцінювання її вогнегасної ефективності. Як пальне використовували н-гептан – рідину, яка зазвичай використовується під час випробувань за стандартизованими методиками, високооктановий автомобільний бензин, суміш н-пентану з толуолом (3:2), авіаційний бензин, а також пальне для реактивних двигунів. Піну генерували з робочих розчинів протеїнового, фторпротеїнового, фторпротеїнового плівкоутворювального і синтетичного плівкоутворювального піноутворювачів. Досліди показали, що існуючі стандартизовані методи оцінювання вогнегасної ефективності піни не дають адекватних результатів, оскільки швидкість руху піни під час стикання з поверхнею палаючої рідини становить усього 3-4 м/с у порівнянні з 20 м/с під час гасіння реальних пожеж, а н-гептан з усіх використаних горючих рідин виявився таким, що найлегше погасити. Встановлено, що збільшення швидкості руху піни під час контакту з палимим усього до 6-8 м/с ускладнює гасіння і кваліфікує піну не так, як під час випробувань за стандартизованими методиками. Те саме спостерігалось під час заміни н-гептану на інші горючі рідини. У роботі [48] як один з чинників, які зумовлюють погіршення вогнегасної ефективності піни під час “жорсткого” контакту з горючою рідиною, названо її здатність інтенсивно поглинати нафтопродукти. Відзначається, що піна, генерована з робочих розчинів фторсинтетичних плівкоутворювальних піноутворювачів, здатна поглинати до 27-29 % нафтопродуктів від свого об’єму.

Публікації у науково-технічних виданнях [49-73] містять неоднозначну, іноді суперечливу інформацію про ефективність піноутворювачів різних типів. Натомість більшість авторів роблять висновки про те, що найбільш ефективними є фторсинтетичні (типу “AFFF”) і фторпротеїнові (типу “FFFP”) плівкоутворювальні піноутворювачі. Фторсинтетичні піноутворювачі найбільш

ефективні на початкових стадіях розвитку пожежі, у той час як фторпротеїнові мають порівняно вищу ефективність у тих випадках, коли рідина або металеві конструкційні матеріали, розташовані в осередку пожежі, встигли сильно нагрітися. Найбільше на вогнегасну ефективність піни впливають компонентний склад пального (насамперед велика кількість летких вуглеводнів і наявність полярних добавок, у тому числі добавок-антидетонаторів). Є також інформація про те, що послідовне подавання піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів цих типів, дає змогу забезпечити більш швидке і надійне гасіння. Загальновизнаним є також той факт, що у разі наявності у складі пального значної кількості полярних рідин (у тому числі добавок-антидетонаторів) більш ефективні піноутворювачі, до складу яких входять водорозчинні полімери.

Разом з тим, описів експрес-методик визначення вогнегасної ефективності піни низької кратності у доступній літературі обмаль. Деякі літературні дані вказують на доцільність розроблення таких методик. Так, у монографії [40] відзначається, що для оцінювання вогнегасної ефективності піни низької кратності достатньо проводити випробування з визначення тривалості гасіння порівняно невеликих за площею (близько $0,25 \text{ м}^2$) вогнищ пожежі. Вказується, що між результатами гасіння модельних вогнищ пожежі 8В ($0,25 \text{ м}^2$) і 144В ($4,52 \text{ м}^2$) спостерігається чітка кореляція. Аналогічний висновок зроблено авторами [74], які запропонували оцінювати вогнегасну ефективність піни за результатами визначення тривалості гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі, яке має форму прямокутного паралелепіпеда. Таку форму вогнища пожежі обрано з метою забезпечення найбільш жорстких умов гасіння.

У публікаціях [75-84] наведено результати досліджень з виявлення впливу показників якості фторсинтетичних плівкоутворювальних піноутворювачів на вогнегасну ефективність піни низької кратності, генерованої з їх робочих розчинів (на жаль, методику її визначення не описано). Автори зазначених робіт вивчали взаємозв'язок між плівкоутворювальними властивостями водних розчинів піноутворювачів (тобто величинами поверхневого, міжфазового натягу і коефіцієнта розтікання), швидкістю розтікання водної плівки поверхнею

вуглеводнів (для досліджень використовували н-гептан), кратністю піни та її вогнегасною ефективністю. У роботі [85] високу ефективність піни, що подається на поверхню або під шар пального, також пояснено високим значенням коефіцієнта розтікання. Разом з тим, одержані результати стосуються тільки одного піноутворювача і окремих рецептур, які складаються з сумішей тільки однієї фторвмісної і тільки однієї вуглеводневої поверхнево-активної речовини (ПАР), взятих у різних співвідношеннях, та води. Вони навряд чи можуть бути справедливими для водних розчинів будь-яких фторвмісних ПАР або їх композицій з вуглеводневими ПАР. До того ж, їх одержано здебільшого під час вивчення поведінки водних плівок на поверхні горючої рідини, яка мала кімнатну температуру. У той же час, хімічний склад водного розчину, який утворюється під час руйнування піни на поверхні палаючої рідини, може суттєво відрізнитися від хімічного складу робочого розчину піноутворювача. На плівкоутворювальну здатність суттєво впливає температура пального і водного розчину, за певних температур можлива повна втрата плівкоутворювальної здатності [40], причому ця температура залежить від природи рідини [86].

1.2 Оцінювання можливого впливу показників якості пального на ефективність його гасіння в умовах досліджень та випробувань

Як пальне під час випробувань продукції протипожежного призначення згідно з вимогами багатьох міжнародних, регіональних та національних стандартів, циркулярів Міжнародної морської організації (ІМО) тощо використовують н-гептан або суміші аліфатичних вуглеводнів, які відповідають певним вимогам. У той же час, для перевірки вогнегасної ефективності піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення, а також вогнегасних порошоків, вогнегасників, систем пожежогасіння тощо згідно з вимогами національних стандартів України як пальне використовують бензин автомобільний марки "А-76". Це пов'язано зі значно нижчою вартістю бензину порівняно з н-гептаном. Під час виконання досліджень у Київському філіалі ВНДПЮ МВС СРСР було показано [87], що за

інших однакових умов тривалість гасіння модельного вогнища пожежі класу В у разі використання як пального бензину суттєво перевищує тривалість його гасіння за умови використання н-гептану, тобто забезпечуються більш “жорсткі” умови проведення експериментів.

Бензин являє собою суміш різних вуглеводнів (парафінових, олефінових, нафтонових, ароматичних тощо), які википають у температурних межах від 30°C до 215°C. Вміст вуглеводнів різних класів у бензині може суттєво відрізнятися залежно від складу вихідної сировини (нафти) та способу його одержання. Крім вуглеводнів, до складу бензину входять домішки сірко-, азот- та кисневмісних сполук, що містяться у нафті.

Бензин готують змішуванням продуктів, які отримують головним чином шляхом переробки нафти: прямою перегонкою (“прямогонний” бензин), термічним і каталітичним крекінгом, термічним і каталітичним риформінгом і т. ін. Перегонка нафти являє собою процес розділення її компонентів, оснований на різниці температур їх кипіння. Крекінг (“розщеплення”) – це вторинна переробка продуктів перегонки нафти, що здійснюється з метою їх збагачення легкими фракціями. Риформінг являє собою спосіб переробки нафтопродуктів, головним чином бензинових та лігроїнових фракцій, з метою одержання високооктанового автомобільного бензину.

Для одержання однорідних паливоповітряних сумішей задовільного складу практично за будь-яких температур до складу бензину іноді вводять газовий конденсат, який складається з вуглеводнів легких фракцій. Це забезпечує високу здатність бензину до випаровування. Наявність відповідних кількостей вуглеводнів різних класів обумовлює стійкий режим згоряння бензину у різних режимах роботи двигуна внутрішнього згоряння. Детонаційну стійкість бензину характеризує октанове число. Упродовж десятиліть як добавку для підвищення октанового числа використовували тетраетилсвинець, під час горіння якого утворюється токсичний діоксид свинцю, що забруднює довкілля. Бензин, який містить цю добавку, називають етилованим. У теперішній час замість нього як антидетонатори використовують добавки кисневмісних сполук, зокрема спиртів і

простих ефірів. Бензин, до якого для підвищення октанового числа замість тетраетилсвинцю введено інші добавки, називають неетилованим.

Останніми роками спостерігається тенденція до зниження потреби у низькооктанових сортах бензину та підвищення попиту на високооктанове пальне. Наразі виробництво бензину марки “А-76” припинено.

Стандарт ДСТУ 4063 [88], який діяв на момент проведення досліджень, встановлював вимоги до неетилованого бензину марок “А-80”, “А-92”, “А-95” і “А-98”. Відомості про деякі показники якості бензину, регламентовані цим стандартом, наведено у таблиці 1.1. Як видно з таблиці, практично відсутні вимоги щодо компонентного складу бензину (зокрема, вмісту вуглеводнів різних типів), регламентовано лише гранично допустимі кількості ароматичних вуглеводнів та кисневмісних сполук. З урахуванням вищевикладеного можна зробити висновок, що навіть за умови відповідності показників якості різних проб бензину певної марки встановленим вимогам їх хімічний склад може суттєво відрізнятися.

Як приклад у таблиці 1.2 наведено дані щодо хімічного складу автомобільного бензину різних марок, що виготовлявся на час розроблення стандартів [2, 4].

Компонентний склад бензину визначається складом сировини (нафти) та особливостями технологічного процесу на певному нафтопереробному заводі. Вміст ароматичних вуглеводнів у бензині каталітичного крекінгу становить 30-40 %, вміст олефінових вуглеводнів – 25-30 %. Навпаки, вміст олефінових вуглеводнів у бензині каталітичного риформінгу низький, однак високий вміст ароматичних вуглеводнів обмежує його використання з екологічних міркувань. Тому автомобільне пальне зазвичай одержують змішуванням продуктів каталітичного крекінгу і каталітичного риформінгу. Для одержання низькооктанового бензину іноді користуються процесами термічного крекінгу, в результаті якого значно підвищується вміст олефінових вуглеводнів у суміші.

Результати досліджень та випробувань з визначення вогнегасної ефективності вогнегасних речовин, а також вогнегасників та інших виробів

протипожежного призначення можуть суттєво залежати від фракційного складу (тобто характеру кривої перегонки) бензину, а також природи і вмісту добавок-антидетонаторів. Як видно з таблиці 1.1, бензин, що відповідає вимогам стандарту [88], може містити до 15 % кисневмісних сполук. Крім того, співвідношення між вмістом вуглеводнів різних класів, яке також може впливати на ряд показників якості, може змінюватися у широких межах. Зокрема, що нижча молярна маса нормального вуглеводню (і, відповідно, його температура кипіння), то вищий тиск насичених парів за заданої температури. Тому, що вище вміст легколетких фракцій у бензині, то важче за інших однакових умов погасити його за рахунок ізолювання поверхні рідини від кисню повітря. До того ж, відповідно до чинного наразі стандарту щодо бензину автомобільного ДСТУ 7687 [89], пальне залежно від марки може містити до 22 % полярних кисневмісних сполук, що може ускладнити його гасіння піною ще більшою мірою.

Саме ці чинники відіграють визначну роль під час гасіння неполярних горючих рідин піною, насамперед піною низької кратності, яка не утворює товстого шару на палаючій поверхні.

Таблиця 1.1 – Деякі показники якості автомобільного бензину згідно з ДСТУ 4063 [88]

Найменування показника якості, розмірність	Значення для марок				
	“А-76”	“А-80”	“А-92”	“А-95”	“А-98”
1 Густина за температури 20°C, кг/м ³	700-760	700-760	725-780	725-780	725-780
2 Октанове число, не менше, визначене: за дослідницьким методом за моторним методом	— 76,0	80,0 76,0	92,0 82,5	95,0 85,0	98,0 88,0
3 Фракційний склад:					
- температура початку перегонки, °С, не нижче	30	30	30	30	30
- 10 % переганяються за температури, °С, не вище	75	75	75	75	75
- 50 % переганяються за температури, °С, не вище	120	120	120	120	120
- 90 % переганяються за температури, °С, не вище	190	190	190	190	190
- кінець кипіння, °С, не вище	215	215	215	215	215
- залишок у колбі, % мас., не більше	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
- залишок і втрати, % мас., не більше	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
4 Тиск насичених парів бензину за температури 20°C, кПа, не більше	79,9	79,9	79,9	79,9	79,9
5 Колір	безколірний або блідо-жовтий				
6 Сумарний вміст ароматичних вуглеводнів, % (мас), не більше	42	42	45	45	48
7 Масова частка бензолу, %, не більше	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
8 Масова частка кисню, %, не більше	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
9 Масова частка кисневмісних сполук, %, не більше:					
- метанолу	3	3	3	3	3
- етанолу	5	5	5	5	5
- ізопропілового спирту	10	10	10	10	10
- ізобутилового спирту	10	10	10	10	10
- трет-бутилового спирту	7	7	7	7	7
- простих ефірів	15	15	15	15	15
- інших кисневмісних сполук з температурою кипіння не вище ніж 210 °С	10	10	10	10	10

Примітки:

1. Для бензину, виготовленого нафтопереробними заводами України у період з 1 жовтня до 1 квітня, показник “температура початку перегонки” не нормується.
2. Під час виробництва бензину дозволяється введення присадок і добавок, допущених до застосування в установленому порядку. У разі використання присадок і добавок, які змінюють колір бензину, показник “колір” не є бракувальним.

Таблиця 1.2 – Середній компонентний склад автомобільного бензину, який виготовлявся на час проведення досліджень, %

Компонент	“А-76” (“А-80”)	“А-76”*	“АИ-91”	“АИ-92”	“А-92”*	“АИ-95”	“АИ-98”
Бензин каталітичного риформінгу:							
м’якого режиму	40-80	70-60	60-90	60-88	50-100		
жорсткого режиму			40-100	40-100	10-40	5-90	25-88
ксилільна фракція	—	—	10-20	10-30	—	20-40	20-40
бензин каталітичного крекінгу	20-80	10-60	10-85	10-85	10-85	10-50	10-20
бензин прямої перегонки	20-60	40-100	10-20	10-20	10-80	—	—
алкілований бензин	—	—	5-20	5-20	—	10-35	15-50
бутани + ізопентан	1-7	1-5	1-10	1-10	1-7	1-10	1-10
газовий бензин	5-10		5-10	5-10	5-10	—	—
толуол	—	—	0-7	0-10	—	8-15	10-15
бензин коксування	1-5	5-10	—	—	—	—	—
гідростабілізований бензин піролізу	10-35	10-20	10-30	10-30	10-30	10-20	10-20
метилтретбутиловий ефір	≤8	—	5-12	5-12	—	10-15	10-15
*Етилований бензин							

Досвід досліджень та випробувань піноутворювачів, накопичений в Україні, підтверджує правильність цих припущень. Зокрема, виявлено, що у разі використання бензину з різних партій для випробувань певного зразка піноутворювача може суттєво змінюватись тривалість гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі класу В. Відомі також випадки, коли за інших однакових умов вдавалося погасити бензин марки "А-76", що належав до однієї партії, і не вдавалося погасити бензин тієї ж марки, що належав до іншої партії. Разом з тим, відомості про показники якості бензину, який можна придбати вроздріб, як правило, відсутні, тому дослідити залежність вогнегасної ефективності піни від показників якості пального не вдається.

Згідно з літературними даними, ненасичені вуглеводні (олефіни, дієни тощо) важче погасити піною, ніж насичені вуглеводні (парафіни, нафтени) [40]. Нормативна інтенсивність подавання робочих розчинів піноутворювачів на гасіння ненасичених вуглеводнів перевищує інтенсивність їх подавання на гасіння нафти і нафтопродуктів, які мають подібні фізико-хімічні властивості. Рекомендована інтенсивність подавання робочих розчинів піноутворювачів на гасіння бензолу дорівнює чи дещо перевищує нормативну інтенсивність їх подавання на гасіння насичених вуглеводнів і нафтопродуктів, які мають близькі характеристики. У той же час, горіння бензолу та інших ароматичних вуглеводнів супроводжується утворенням значно більшої кількості сажі, ніж горіння парафінів, нафтенів, олефінів та інших вуглеводнів. Сажа, що утворюється під час згоряння, виносить на своїй поверхні гідрофобні вуглеводні та смоли, які, забруднюючи піну, сприяють більш інтенсивному її руйнуванню. Осаджуючись на бортах модельних вогнищ пожежі, гідрофобна сажа і смоли погіршують їх змочування, знижують адгезію піни до них і тим самим ускладнюють придушення осередків горіння біля бортів. Отже, підвищення вмісту ненасичених і ароматичних вуглеводнів у бензині може призвести до ускладнення його гасіння.

Молекули спиртів, простих і складних ефірів, альдегідів, кетонів та ряду інших органічних рідин, а також багатьох розчинників мають високу полярність та інтенсивно руйнують піну. Тому для їх гасіння застосовують піноутворювачі, до

складу яких входять водорозчинні полімери або солі важких металів. Під час руйнування піни на поверхні полярних рідин відбувається утворення захисних полімерних плівок чи плівок, які виникають внаслідок коагуляції продуктів гідролізу солей важких металів. Наявність плівки перешкоджає контактуванню піни з полярною рідиною, що ускладнює подальше її руйнування та забезпечує можливість гасіння полум'я. Наявність у складі бензину полярних кисневмісних добавок може ускладнити його гасіння. Зокрема, згідно з [40, 90], гасіння “змішаного пального” (тобто, фактично, неетилованого бензину) піною, що утворюється з робочого розчину плівкоутворювального піноутворювача, у разі її подавання під шар пального ускладнюється за наявності у ньому ізопропілового спирту вже у кількості 5 %. Інші полярні добавки-антидетонатори здатні аналогічно впливати на процес гасіння пального піною, навіть в умовах її подавання на поверхню горючої рідини [91, 92].

Враховуючи викладене, можна стверджувати, що вибрати (одержати) “еталонний” зразок бензину для проведення випробувань піноутворювачів практично неможливо. Беручи до уваги цей факт, а також припинення виробництва бензину марки “А-76”, слід визнати актуальною проблему пошуку замітника пального, яке використовується під час випробувань піноутворювачів. Таким заміником має бути суміш вуглеводнів, яка виробляється серійно і характеризується стабільністю показників якості.

Найпростішим шляхом вирішення проблеми підвищення достовірності результатів випробувань могла б бути гармонізація національних стандартів України, якими встановлюються номенклатура показників якості, загальні технічні вимоги та методи випробувань піноутворювачів, з відповідними міжнародними та регіональними стандартами, наприклад, ISO 7203 [14-16] чи EN 1568 [17-20]. Під час випробувань згідно з їх вимогами як стабільне однокомпонентне пальне використовують н-гептан, який, на жаль, має високу вартість, або суміші аліфатичних вуглеводнів, які мають суворо регламентовані властивості та іноді називаються “промисловим гептаном”.

Проведений аналіз довідкових даних та інформації мережі “Internet” свідчить про те, що в Україні нафтопродукти, які б за властивостями відповідали вимогам до

пального, встановленим вищезазначеними стандартами, не виробляються. Одним з найбільш близьких до такого пального за показниками якості і таким, що широко використовується, є бензин-розчинник для гумової промисловості (нафтовий розчинник) “Нефрас С-2-80/120”. Він являє собою фракцію деароматизованого бензину каталітичного риформінгу і не містить полярних добавок. На жаль, стандарти, які встановлюють вимоги до цього розчинника, у теперішній час відсутні, тому окремі показники його якості встановлюються технічними умовами виробників.

Вартість розчинника “Нефрас С-2-80/120” у декілька разів менша за вартість н-гептану, показники якості наведено у таблиці 1.3. У цій таблиці для порівняння наведено вимоги, які висуваються до пального, що використовується під час проведення випробувань відповідно до [3] та [5], а також [14-16] і [17-15]. Іншим придатним для цього паливом може бути бензин-розчинник “Нефрас С-3-94/99”, однак він серійно не виробляється.

Доведення можливості використання бензину-розчинника для гумової промисловості “Нефрас С-2-80/120” як пального під час проведення випробувань вогнегасних речовин замість автомобільного бензину та н-гептану дасть змогу підвищити достовірність їх результатів із збереженням прийнятної вартості самих випробувань.

У разі застосування вогнегасних порошків та газових вогнегасних речовин, які є інгібіторами горіння, гасіння полум'я досягається у доволі короткі проміжки часу і відбувається насамперед завдяки гальмуванню хімічних реакцій. У випадку гасіння із застосуванням газових вогнегасних речовин, які належать до інертних розріджувачів, основним чинником, який зумовлює припинення горіння, є зниження концентрації окислювача до значень, за яких горіння певної речовини (матеріалу) стає неможливим. Натомість гасіння горючих (легкозаймистих) рідин піною являє собою тривалий процес і відбувається головним чином за рахунок ізолювання їх поверхні від кисню повітря та її охолодження. Тому ефективність гасіння пожежі значною мірою залежить від стійкості піни в умовах контакту з палаючою рідиною.

Таблиця 1.3 – Нормовані значення показників якості горючих рідин

Показники якості	Пальне, яке використовується відповідно до [14-20]	н-гептан [93]	Нефрас С-2-80/120	Бензин “А-76”
			вимоги ТУ У 22340203.001-97	
Загальна характеристика	суміш аліфатичних вуглеводнів або н-гептан	насичений вуглеводень (C ₇ H ₁₆)	суміш, що складається з парафінових, ізопарафінових і нафтових вуглеводнів	суміш, що складається з парафінових, ізопарафінових, нафтових, ароматичних та ін. вуглеводнів, а також елементоорганічних сполук
Густина, кг/м ³	700±20 (15°C)	683,6-684,0	не більше 700 (20°C)	700-760
Температура початку кипіння, °С	не нижче 84	98,30-98,50	не нижче 80	не нижче 30
Температура закінчення кипіння, °С	не вище 105	98,30-98,50*	не вище 120	не вище 215
Максимальна різниця між температурами початку і закінчення кипіння, °С	10	відсутня*	не регламентується	не регламентується
Масова частка ароматичних вуглеводнів, % (мас.)	не більше 1	відсутні	не більше 2,0	не більше 42
Залишок у колбі після закінчення перегонки, %, не більше	не регламентується	не регламентується	не більше 1,0	не більше 1,5

*Температура закінчення кипіння не відрізняється від температури початку кипіння, оскільки н-гептан є індивідуальною речовиною.

1.3 Обґрунтування можливості підвищення об'єктивності результатів досліджень та випробувань з визначення показників якості піноутворювачів з точки зору метрології

Однією з вимог стандарту ДСТУ ISO/IEC 17025 [94] є необхідність оцінювання невизначеності (похибки) результатів випробувань. Методи розрахунку похибок результатів визначення показників якості виробів протипожежного призначення [95], застаріли і, крім того, малоприменні до використання під час оброблення результатів досліджень та випробувань з визначення показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж.

Необхідність оцінювання похибки (невизначеності) зумовлено тим, що у будь-якому випадку має місце певна неточність визначення показників якості продукції, тобто завжди є сумнів у правильності прийняття рішення за результатами випробувань. Рішення про відповідність (невідповідність) виробу встановленим вимогам за певним показником якості приймають у тому разі, якщо різниця між дійсним і гранично допустимим значенням цього показника перевищує величину невизначеності (похибки) результату його визначення. В іншому випадку у протоколі випробувань роблять запис про те, що виріб, можливо, не відповідає встановленим вимогам за цим показником, а рішення щодо поводження з ним роблять залежно від сфери застосування цього виробу.

Актуальність більш точного визначення показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж і підвищення їх достовірності зумовлено також тим, що в окремих випадках вибір як самих вогнегасних речовин, так і технологій їх застосування для протипожежного захисту об'єктів різного призначення визначається їх хімічною природою і властивостями.

Стандарти [14-20] містять відомості про нормовані параметри випробувального обладнання (наприклад, місткість пінозбирачів, які використовуються для визначення кратності піни, розміри деталей генераторів піни, діаметр і висота бортів дек модельних вогнищ тощо), однак вимоги щодо метрологічних характеристик техніки відсутні. На відміну від них, національні стандарти [2, 4] встановлюють вимоги як до випробувального обладнання, так і до

засобів вимірювальної техніки. Однак використання засобів вимірювальної техніки, що мають таку точність, яку вказано у стандартах, не завжди дає змогу визначити деякі показники якості з достатньою точністю (достовірністю).

Як приклад можна навести питання вибору піноутворювачів для використання у стаціонарних системах протипожежного захисту резервуарів для зберігання нафти і нафтопродуктів, які передбачають гасіння піною низької кратності, зокрема, системах “підшарового” гасіння. Під час вибирання піноутворювачів для використання у таких системах визначають насамперед плівкоутворювальну здатність їх робочих розчинів. Невірне прийняття рішення про придатність піноутворювача до застосування у них не дасть змогу погасити пожежу на початкових стадіях стаціонарною системою пожежогасіння. Натомість невчасне гасіння пожежі у резервуарі може призвести до величезних втрат, загибелі людей, знищення технологічного обладнання та протипожежної техніки.

Використання більш точних вимірювальних приладів може забезпечити можливість прийняття вірного рішення про відповідність показників якості встановленим вимогам у тому разі, якщо довірчі границі похибки (невизначеність) результату випробувань перевищують розбіжність між гранично допустимим і дійсним значеннями цього показника. Під час проведення арбітражних випробувань доцільно використовувати більш точні прилади, ніж регламентовано нормативними документами. Крім того, більш точне визначення показників якості піноутворювачів дасть змогу підвищити рівень протипожежного захисту об’єктів різного призначення, де вони застосовуються у системах пожежогасіння, або точніше визначити величину нормативної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів під час гасіння горючої речовини чи матеріалу, що обертається на об’єкті.

1.4 Мета і задачі досліджень

Метою цієї дисертаційної роботи є розкриття особливостей впливу чинників на процеси взаємодії піни з полум’ям під час гасіння модельних вогнищ з

неполярними горючими рідинами та об'єктивність результатів у системі оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж.

Для досягнення поставленої мети поставлено до розв'язання такі задачі досліджень:

- провести аналіз статистики пожеж, застосування піни у пожежогасінні та виявити шляхи забезпечення єдності випробувань у національній системі оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж;

- обґрунтувати методологію та методи проведення досліджень з виявлення впливу чинників на процеси взаємодії піни середньої та низької кратності з полум'ям під час гасіння модельних вогнищ з неполярними горючими рідинами;

- визначити параметри процесів горіння неполярних горючих рідин, що можуть використовуватися як пальне під час випробування піноутворювачів, а також їх вплив на процеси взаємодії піни з полум'ям під час гасіння зазначених рідин;

- розробити експрес-методику оцінювання вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької кратності;

- обґрунтувати умови застосування економічно та екологічно прийнятних експрес-методик оцінювання вогнегасної ефективності піни низької та середньої кратності;

- обґрунтувати та розробити зміни до нормативних документів, якими регламентуються методи і порядок випробування піноутворювачів в національній системі оцінювання якості, а також їх застосування у пожежогасінні і протипожежному захисті об'єктів.

Дисертаційні дослідження проводились за методологією, наведеною на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Методологія проведення дисертаційних досліджень

РОЗДІЛ 2 ВИЯВЛЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ВІД УМОВ І МЕТОДОЛОГІЇ ЇХ ПРОВЕДЕННЯ

2.1 Дослідження впливу водневого показника дистильованої води на водневий показник 1 % водних розчинів піноутворювачів

Метою цих досліджень є виявлення можливості одержання об'єктивних результатів визначення водневого показника 1 % водних розчинів піноутворювачів у спосіб, регламентований ДСТУ 2207.1 [96]. З цією метою використовували зразок дистильованої води, одержаної у хімічній лабораторії (зразок № 1), і зразок дистильованої води, придбаної в аптеці (зразок № 2). Використані для досліджень зразки суттєво відрізнялися за водневим показником (рН). Для приготування водних розчинів використовували:

– зразки піноутворювачів загального призначення “Сніжок-1”, “ТЭАС”, “ПО-6ОСТ” (марка 1), “ПО-6ВАС”, “ПО-3НП”, “ПО-6ТС” (марка А);

– зразки фторсинтетичних плівкоутворювальних піноутворювачів спеціального призначення (піноутворювачів типу “АFFF”) “ППЛВ-(Універсал)” (марка 106), “АFFF-106”, “Pygocom АFFF 6”, “Pygocool АFFF 6 %”, “Orchidex АFFF 3 %”;

– зразки фторсинтетичних плівкоутворювальних піноутворювачів спеціального призначення, придатних для гасіння водорозчинних горючих рідин (піноутворювачів типу “АFFF АR”) “S.F.P.M. 6/6”, “Pygocom АFFF/АТС 6/6”;

– зразки фторпротеїнових піноутворювачів спеціального призначення (піноутворювачів типу “FFFP”) “Fluoropolydol”, “Protal-P 6”.

Однією з вимог стандарту [95] є використання дистильованої води, яка не містить розчиненого діоксиду вуглецю, для приготування водних розчинів піноутворювачів. Таку вимогу зумовлено здатністю діоксиду вуглецю взаємодіяти з водою з утворенням слабкої вугільної кислоти, дисоціація якої призводить до зниження величини водневого показника (рН) води або водних розчинів.

Для мінімізації вмісту цієї речовини у воді здійснювали відбирання дистильованої води безпосередньо під час її витікання з дистильатора з якнайшвидшим закриванням промивалки, оснащеної гідравлічним затвором. Для

видалення діоксиду вуглецю з дистильованої води, придбаної в аптеці, воду поміщали у промивалку і кип'ятили протягом 1...2 хвилин, після чого закривали промивалку і давали воді охолонути до кімнатної температури. Температура водних розчинів під час досліджень дорівнювала $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Результати досліджень з визначення впливу водневого показника дистильованої води на водневий показник 1 % водних розчинів піноутворювачів представлено у таблиці 2.1.

З представлених даних видно значну розбіжність між результатами досліджень, одержаними під час використання двох зразків дистильованої води, які суттєво відрізняються за величиною водневого показника (рН). У деяких випадках використання води, одержаної у хімічній лабораторії, дає підстави зробити висновок про невідповідність зразка піноутворювача встановленим вимогам за водневим показником 1 % водного розчину (нормоване стандартами [2, 4] значення – від 6,5 до 10,0). Це стосується здебільшого фторсинтетичних плівкоутворювальних піноутворювачів. Інакше кажучи, зробити обґрунтованого висновку про відповідність (невідповідність) досліджених зразків вимогам [2, 4] за водневим показником 1 % водного розчину не вдається.

Враховуючи одержані результати, можна зробити висновок про неможливість одержання у багатьох випадках достовірних результатів, а також доцільність вилучення нормованого значення та вимоги щодо обов'язкового визначення водневого показника (рН) 1 % водного розчину зі стандартів, які встановлюють вимоги до піноутворювачів для гасіння пожеж.

Таблиця 2.1 – Результати досліджень з визначення впливу водневого показника дистильованої води на водневий показник 1 % водних розчинів зразків піноутворювачів, приготовлених з її використанням

№ зразка дистильованої води	Водневий показник зразка води	Водневий показник 1 % водного розчину зразка піноутворювача														
		“Сніжок-1”	“ТЭАС”	“ПО-60СТ” (марка 1)	“ПО-6ВАС”	“ПО-3НП”	“ПО-6ТС” (марка А)	“ПШЛВ-(Універсал)” (марка 106)	“АFFF-106”	“Ругосом АFFF 6”	“Ругосол АFFF 6 %”	“Orchidex АFFF 3 %”	“S.F.P.M. 6/6”	“Ругосом АFFF/АТС 6×6”	“Fluoropolydol”	“Protal-P 6”
№ 1	5,65 ± 0,08	7,62 ± 0,08	7,30 ± 0,08	7,85 ± 0,08	6,35 ± 0,08	6,60 ± 0,08	7,85 ± 0,08	6,30 ± 0,08	6,35 ± 0,08	6,25 ± 0,08	6,15 ± 0,08	6,40 ± 0,08	6,45 ± 0,08	6,52 ± 0,08	9,17 ± 0,08	8,85 ± 0,08
№ 2	6,50 ± 0,08	7,85 ± 0,08	7,52 ± 0,08	8,02 ± 0,08	6,92 ± 0,08	7,05 ± 0,08	7,90 ± 0,08	6,65 ± 0,08	6,60 ± 0,08	6,70 ± 0,08	6,60 ± 0,08	6,65 ± 0,08	6,70 ± 0,08	6,90 ± 0,08	9,20 ± 0,08	9,00 ± 0,08

2.2 Дослідження з визначення впливу природи піноутворювача на показник змочувальної здатності його 2 % водного розчину

Дослідження з визначення показника змочувальної здатності 2 % водних розчинів зразків піноутворювачів проведено згідно з вимогами ДСТУ 3789 [2]. Під час досліджень використовували зразки піноутворювачів як загального, так і спеціального призначення, які за результатами попередньої перевірки відповідали встановленим вимогам за показниками вогнегасної ефективності піни середньої або низької кратності.

Одержані результати представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати досліджень з визначення показника змочувальної здатності 2 % водних розчинів піноутворювачів

№ з/п	Назва піноутворювача	Показник змочувальної здатності, с
1	“Сніжок-1”	$1,4 \pm 0,5$
2	“ТЭАС”	менше 0,2
3	“ПО-6ОСТ” (марка 1)	$2,6 \pm 0,5$
4	“ПО-6ВАС”	$1,6 \pm 0,5$
5	“ПО-3НП”	менше 0,2
6	“ПО-6ТС” (марка А)	менше 0,2
7	“ППЛВ-(Універсал)” (марка 106)	$5,8 \pm 0,5$
8	“АFFF-106”	$7,0 \pm 0,5$
9	“Pyrocom AFFF 6”	$3,4 \pm 0,5$
10	“Pyrocool AFFF 6 %”	$7,4 \pm 0,5$
11	“Orchidex AFFF 3 %”	$5,2 \pm 0,5$
12	“S.F.P.M. 6/6”	$2,8 \pm 0,5$
13	“Pyrocom AFFF/АТС 6/6”	$7,8 \pm 0,5$
14	“Fluoropolydol”	$23,4 \pm 0,5$
15	“Protal-P 6”	$32,0 \pm 0,5$

З одержаних результатів видно, що найкращі змочувальні властивості мають водні розчини піноутворювачів загального призначення, тобто піноутворювачів, виготовлених на основі синтетичних вуглеводневих ПАР. Синтетичні піноутворювачі, виготовлені на основі фторвмісних ПАР (плівкоутворювальні піноутворювачі типів “АFFF” та “АFFF АR”), в окремих

випадках не забезпечували змочування гідрофобної тканини у встановлений проміжок часу. Загалом, змочувальні властивості їх водних розчинів гірші порівняно зі змочувальними властивостями водних розчинів піноутворювачів загального призначення. Обидва досліджені зразки фторпротеїнових піноутворювачів не відповідали вимогам ДСТУ 4041 [4] за показником змочувальної здатності, його величина набагато перевищувала регламентоване стандартом значення. Ці результати узгоджуються з даними, викладеними у літературі [23].

Враховуючи одержані результати, а також той факт, що використання фторсинтетичних і фторпротеїнових піноутворювачів для приготування змочувальних розчинів економічно недоцільно, можна зробити висновок про доцільність вилучення нормованого значення і вимоги щодо обов'язкового визначення показника змочувальної здатності 2 % водного розчину зі стандарту [4].

Оскільки піноутворювачі загального призначення використовуються під час гасіння пожеж як піною, так і змочувальними розчинами, нормування показника змочувальної здатності та його визначення під час проведення випробувань слід вважати обов'язковим. Разом з тим, замість визначення показника змочувальної здатності 2 % водного розчину слід було б визначати показник змочувальної здатності змочувального розчину. Концентрацію змочувального розчину піноутворювача загального призначення слід визначати на стадії його розроблення і вносити у нормативні документи на піноутворювач. Це тим більш обов'язково, що згідно з літературними даними [24, 25] перевищення так званої оптимальної концентрації змочувального розчину (концентрації, за якого показник змочувальної здатності дорівнює декільком секундам) може призвести до зниження ефективності гасіння гідрофобних горючих матеріалів органічного походження.

2.3 Дослідження щодо оцінювання об'єктивності результатів випробувань з визначення поверхневого і міжфазового натягу під час випробувань згідно з методикою, регламентованою стандартом ДСТУ 4041

Як відзначалося у п. 1.1.4, методика визначення поверхневого і міжфазового натягу, передбачена національним стандартом ДСТУ 4041 [4], має суттєві відмінності від методики, регламентованої Міжнародним стандартом ISO 304 [38]. Вони полягають у використанні кільця і кювети менших розмірів, що може призвести до спотворення результатів. Причиною цього можуть стати сили взаємодії між молекулами досліджуваної рідини і молекулами металу кільця, а також між молекулами досліджуваної рідини і молекулами матеріалу стінок кювети.

З метою оцінювання достовірності результатів випробувань, проведених згідно з вимогами [4], проведено порівняння одержаних результатів з даними, представленими виробниками. Для досліджень використовували дистильовану воду згідно з ГОСТ 6709 [12], а також робочі розчини:

- фторсинтетичного плівкоутворювального піноутворювача “FC-3017” виробництва фірми “3M” (США);
- фторсинтетичного плівкоутворювального піноутворювача, придатного для гасіння водорозчинних горючих рідин “FC-602” виробництва фірми “3M” (США);
- вуглеводневого піноутворювача загального призначення “Expandol” виробництва фірми “Eau et Feu S. A.” (Франція);
- фторсинтетичного плівкоутворювального піноутворювача “Tridol 6 –10 °C” виробництва фірми “Eau et Feu S. A.” (Франція);
- фторсинтетичного плівкоутворювального піноутворювача, придатного для гасіння водорозчинних горючих рідин “S.F.P.M. 6/6” виробництва фірми “Eau et Feu S. A.” (Франція);
- фторпротеїнового піноутворювача, що не має плівкоутворювальних властивостей, придатного для гасіння водорозчинних горючих рідин “Fluoropolydol” виробництва фірми “Eau et Feu S. A.” (Франція);

– фторсинтетичного плівкоутворювального піноутворювача “Sthamex-AFFF 6 % f-15” виробництва фірми “Dr. Sthamer GmbH” (Німеччина).

Результати проведених досліджень наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати досліджень з визначення поверхневого натягу робочих розчинів піноутворювачів і міжфазового натягу на межі розділу “робочий розчин піноутворювача – циклогексан”

Характеристика досліджуваної рідини	Поверхневий натяг, мН/м		Міжфазовий натяг, мН/м	
	експериментальне значення	дані виробника	експериментальне значення	дані виробника
Дистильована вода	$48,3 \pm 0,4$	72,75*	не визначали	–
6 % водний розчин піноутворювача “FC-3017”	$16,8 \pm 0,4$	16,7	$3,2 \pm 0,4$	не вказано
3 % водний розчин піноутворювача “FC-602”	$17,2 \pm 0,4$	17,0	$2,8 \pm 0,4$	не вказано
3 % водний розчин піноутворювача “Expandol”	$22,4 \pm 0,4$	23,0**	$4,2 \pm 0,4$	4,0**
6 % водний розчин піноутворювача “Tridol 6 –10°C”	$17,2 \pm 0,4$	17,0**	$2,6 \pm 0,4$	3,0**
6 % водний розчин піноутворювача “S.F.P.M. 6/6”	$17,4 \pm 0,4$	17,2**	$4,8 \pm 0,4$	5,0**
6 % водний розчин піноутворювача “Fluoropolydol”	$19,0 \pm 0,4$	19,0**	$5,6 \pm 0,4$	6,0**
6 % водний розчин піноутворювача “Sthamex-AFFF 6 % f-15”	$16,4 \pm 0,4$	16,6	$1,6 \pm 0,4$	1,4

Примітки:

* Наведено довідкове значення.

** Вказано типові значення.

Як видно, результати визначення поверхневого натягу робочих розчинів фторсинтетичних плівкоутворювальних піноутворювачів (у тому числі таких, що

придатні для гасіння водорозчинних горючих рідин), добре узгоджуються з результатами, наданими їх виробниками. Практично співпадають з даними паспорту на піноутворювач “Fluoropolydol” і результати визначення поверхневого натягу його робочого розчину та міжфазового натягу на межі розділу “робочий розчин піноутворювача – циклогексан”. На жаль, довірчі границі невизначеності (похибки) результатів визначення зазначених показників якості достатньо широкі. Разом з тим, під час вимірювання поверхневого натягу робочого розчину вуглеводневого піноутворювача загального призначення “Expandol” одержано дещо занижене значення порівняно з типовим значенням, вказаним виробником. Експериментально визначена величина поверхневого натягу дистильованої води приблизно у півтора рази нижча за значення, вказане у довіднику [97].

Виходячи з одержаних даних, можна стверджувати, що застосування регламентованої стандартом ДСТУ 4041 [4] методики визначення поверхневого натягу водних розчинів піноутворювачів і міжфазового натягу на межі “водний розчин піноутворювача – циклогексан” забезпечує одержання об’єктивних результатів у тому разі, якщо значення вимірюваної величини не перевищує приблизно 20 мН/м (такі величини поверхневого натягу властиві робочим розчинам фторсинтетичних і фторпротеїнових, у тому числі таких, що не мають плівкоутворювальних властивостей, піноутворювачів). Суттєвим її недоліком є достатньо широкі межі довірчих границь невизначеності (похибки) результату випробування. Зазначена методика дає змогу оцінити наявність “піноутворювальних” властивостей, однак користування нею для випробувань водних розчинів вуглеводневих піноутворювачів недопустиме.

2.4 Виявлення можливості і доцільності включення до ДСТУ 3789 опису методу визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння водонерозчинних горючих рідин піною середньої кратності

Як відзначалося (п. 1.1.6), випробування з визначення тривалості гасіння піною середньої кратності модельного вогнища пожежі 55В і показника

вогнегасної здатності за класом пожежі В потребують значних витрат часу і пального. Можливим шляхом зниження цих витрат є застосування експрес-методики визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною середньої кратності.

З метою виявлення можливості її застосування узагальнено результати проведених раніше випробувань і проведено експериментальні дослідження з визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання водних розчинів ряду піноутворювачів загального призначення у разі гасіння бензину марки “А-76” піною середньої кратності. Під час проведення експериментів використовували ті самі зразки піноутворювачів, які раніше піддавали випробуванням з гасіння модельного вогнища пожежі 55В піною середньої кратності згідно з вимогами [2].

Крім того, проведено дослідження водного розчину піноутворювача “ПО-ЗАИ”, що зберігається у резервуарі стаціонарної системи пожежогасіння на одному з українських підприємств, за обома згаданими методиками.

Результати досліджень наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати досліджень з визначення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 55В піною середньої кратності за інтенсивності подавання вогнегасної речовини ($0,038 \pm 0,004$) $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, показника вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною середньої кратності і критичної інтенсивності подавання водних розчинів піноутворювачів у разі гасіння бензину марки “А-76” піною середньої кратності

Характеристика вогнегасної речовини	Тривалість гасіння модельного вогнища пожежі 55В, с		Показник вогнегасної здатності за класом пожежі В, $\text{кг}/\text{м}^2$		Критична інтенсивність подавання вогнегасної речовини, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$
	експериментальне значення	вимоги [2]	експериментальне значення	вимоги [2]	
6 % водний розчин піноутворювача “Сніжок-1”	$42,4 \pm 0,7$	Не більше 120	$1,6 \pm 0,1$	Не більше 5,1	$0,021 \pm 0,001$
6 % водний розчин піноутворювача “ТЭАС”	$82,5 \pm 0,7$		$3,2 \pm 0,1$		$0,037 \pm 0,002$
6 % водний розчин піноутворювача “ПО-6ОСТ” (марка 1)	$66,2 \pm 0,7$		$2,6 \pm 0,1$		$0,040 \pm 0,002$
3 % водний розчин піноутворювача “ПО-3НП”	$114,6 \pm 0,7$		$4,4 \pm 0,1$		$0,040 \pm 0,002$
6 % водний розчин піноутворювача “ПО-6ЦТ”	$37,9 \pm 0,7$		$1,5 \pm 0,1$		$0,019 \pm 0,001$
Водний розчин піноутворювача “ПО-3АИ”, відібраний з резервуара стаціонарної системи пожежогасіння	Не погашено		Не визначено		$0,043 \pm 0,002$

Як видно, критична інтенсивність подавання робочих розчинів зразків піноутворювачів “ПО-6ЦТ” і “Сніжок-1” має найнижчі значення, тобто вони є найбільш ефективними з досліджених вогнегасних речовин. Тривалість гасіння модельного вогнища пожежі 55В піною середньої кратності, генерованою з їх робочих розчинів піноутворювачів, а також показник вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною середньої кратності також мають найнижчі значення.

Нижчу вогнегасну ефективність мала піна, генерована з робочих розчинів зразків піноутворювачів “ТЭАС”, “ПО-6ОСТ” (марка 1) і “ПО-3НП”. Хоча критична інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача “ТЭАС” у разі гасіння піною середньої кратності мала менше значення порівняно з аналогічним показником для піноутворювача “ПО-6ОСТ”, гасіння модельного вогнища пожежі 55В було досягнуто у більший проміжок часу. Цей факт можна пояснити як різними умовами проведення випробувань з гасіння модельного вогнища пожежі 55В, так і поступовим погіршенням якості піноутворювачів під час зберігання, а також різними реологічними властивостями піни, генерованої з використанням ежекційного піногенератора та за рахунок примусового змішування робочого розчину піноутворювача з повітрям.

Величина критичної інтенсивності подавання водного розчину піноутворювача “ПО-3АИ”, відібраного з резервуара стаціонарної системи пожежогасіння, фактично перевищувала значення, за якого необхідно проводити гасіння модельного вогнища пожежі 55В відповідно до вимог стандарту [2]. Відповідно, піна, генерована з цього водного розчину, не забезпечила гасіння модельного вогнища.

Таким чином, якщо величина критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною середньої кратності, визначена за існуючою експрес-методикою, менша за $(0,040 \pm 0,002) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, тобто фактично того значення, за якого передбачається гасіння модельного вогнища пожежі 55В згідно з вимогами ДСТУ 3789 [2], то можна робити висновок про прийнятну вогнегасну ефективність такої піни.

Враховуючи одержані результати, метод визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння водонерозчинних горючих рідин піною середньої кратності можна рекомендувати до включення у стандарт на піноутворювачі загального призначення з метою забезпечення можливості контролювання їх якості за найнижчих витрат. Вона може застосовуватись як під час приймально-здавальних випробувань, так і для періодичного контролювання якості вогнегасних речовин під час зберігання.

Дослідження з визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів фторсинтетичних і фторпротеїнових плівкоутворювальних піноутворювачів не проводили, оскільки за допомогою використовуваної установки у жодному випадку не вдалося одержати піну з кратністю понад 40.

2.5 Дослідження з визначення впливу кратності і стійкості піни низької та середньої кратності на її вогнегасну ефективність і обґрунтування методології визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів загального та спеціального призначення

Однією з вимог стандарту ДСТУ 3789 [2] є те, що кратність піни середньої кратності, генерованої з робочого розчину піноутворювача, повинна перевищувати 70, а показник її стійкості (проміжок часу, протягом якого з піни витікає 50 % від об'єму рідини, витраченої на її генерування) – 200 с. Натомість результати проведених досліджень свідчать (таблиця 2.5), що вогнегасна ефективність піни з кратністю менше ніж 70 також може бути задовільною. Відносно низькі значення кратності піни можна пояснити тим, що випробувані піноутворювачі виготовлені за рубежом і призначені для застосуванням з генераторами піни середньої кратності інших конструкцій, ніж зазвичай використовуються в Україні. У той же час, підвищення кратності піни за рахунок збільшення концентрації водного розчину піноутворювача призводить також до зменшення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 55В.

Таблиця 2.5 – Результати досліджень з визначення кратності піни середньої кратності, а також тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 55В піною середньої кратності за інтенсивності подавання вогнегасної речовини ($0,038 \pm 0,004$) $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ і показника вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною середньої кратності

Характеристика вогнегасної речовини	Кратність піни середньої кратності		Тривалість гасіння модельного вогнища пожежі 55В, с		Показник вогнегасної здатності за класом пожежі В, $\text{кг}/\text{м}^2$	
	експериментальне значення	вимоги [2]	експериментальне значення	вимоги [2]	експериментальне значення	вимоги [2]
3 % водний розчин піноутворювача “Expandol”	43 ± 4	не менше 70	$87,3 \pm 0,7$	не більше 120	$3,3 \pm 0,1$	не більше 5,1
4 % водний розчин піноутворювача “Expandol”	62 ± 3		$57,6 \pm 0,7$		$2,2 \pm 0,1$	
6 % водний розчин піноутворювача “Sthamex f-15”	64 ± 3		$41,0 \pm 0,7$		$1,6 \pm 0,1$	

Піноутворювач “Сніжок-1” містить як стабілізатор піни добавку діетилентриаміну, піноутворювач “ПО-6ЦТ” – добавки вищих жирних спиртів і карбаміду. Кратність піни середньої кратності, генерованої з робочих розчинів досліджених зразків цих піноутворювачів, дорівнювала (88 ± 3) і (95 ± 3) , відповідно. Стійкість піни середньої кратності, одержаної з цих розчинів, дорівнювала відповідно $(227,2 \pm 7,8)$ с і $(969,3 \pm 23,7)$ с. Іншими словами, кратність піни має близькі значення, у той час як стійкість відрізняється приблизно у 4 рази. У той же час, як видно з таблиці 2.6, вогнегасна ефективність піни, генерованої з робочих розчинів цих піноутворювачів, відрізняється несуттєво.

Беручи до уваги літературні дані, результати описаних експериментів, а також досвід інших держав, який відображено у стандарті EN 1568-1 [17], можна зробити висновок про необов'язковість нормування мінімальних значень кратності і стійкості піни середньої кратності стандартом на піноутворювачі загального призначення. Більш коректним було б встановлювати їх значення нормативними документами на конкретні піноутворювачі.

Результати досліджень з визначення впливу температури на кратність і вогнегасну ефективність піни низької та середньої кратності, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення, наведено у таблицях 2.6, 2.7.

Під час визначення кратності і вогнегасної ефективності піни середньої кратності використовували обладнання, передбачене ДСТУ 3789 [2]. Під час визначення кратності піни низької кратності використовували обладнання, передбачене ДСТУ 4041 [4]. Для визначення вогнегасної ефективності піни низької кратності використовували обладнання, передбачене експрес-методикою, описаною у п. 3.1 (копія методики і матеріалів її первинної атестації подано у додатку Б). Натомість кратність і вогнегасну ефективність піни визначали не тільки за нормованих значень температури водних розчинів і повітря, але і температури робочих розчинів близько 5°C (нижня межа температурного діапазону застосування піноутворювачів відповідно до [2, 4] і різних температур повітря.

Таблиця 2.6 – Результати досліджень з визначення впливу температури на кратність і вогнегасну ефективність піни середньої кратності під час гасіння бензину марки “А-76”

Назва піноутворювача	Температура робочого розчину, °С	Температура повітря, °С	Кратність піни	Тривалість гасіння модельного вогнища пожежі 55В, с	Показник вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною середньої кратності, кг/м ²
“Сніжок-1”	19 ± 2	21 ± 2	88 ± 3	42,4	1,6 ± 0,1
	5,2 ± 0,2	18 ± 2	72 ± 3	не визначали	не визначали
	5,2 ± 0,2	2,3 ± 0,2	54 ± 5	79,2	3,1 ± 0,1
“ПО-6ОСТ” (марка 1)	20 ± 2	14 ± 2	93 ± 4	66,2 ± 0,7	2,6 ± 0,1
	5,4 ± 0,2	18 ± 2	66 ± 3	не визначали	не визначали
	5,0 ± 0,2	2,3 ± 0,2	51 ± 3	92,4 ± 0,7	3,6 ± 0,1

Таблиця 2.7 – Результати досліджень з визначення впливу температури на кратність і вогнегасну ефективність піни низької кратності під час гасіння бензину марки “А-76”

Назва піноутворювача	Температура робочого розчину, °С	Температура повітря, °С	Кратність піни	Тривалість гасіння макетного вогнища пожежі діаметром (739 ± 5) мм, с	Проміжок часу до повторного займання, с
“Tridol 6 –10 °С”	20 ± 2	20 ± 2	11,0 ± 2,4	90,4 ± 9,2	226,4 ± 21,5
	5,0 ± 0,2	20 ± 2	9,6 ± 2,2	не визначали	не визначали
	5,0 ± 0,2	1,6 ± 0,2	7,4 ± 1,8	79,2 ± 8,4	364,1 ± 37,2
“Sthamex-AFFF 6% f-15”	20 ± 2	20 ± 2	9,1 ± 2,3	87,1 ± 6,8	406,9 ± 35,2
	5,1 ± 0,2	20 ± 2	7,2 ± 2,0	не визначали	не визначали
	5,1 ± 0,2	1,6 ± 0,2	6,3 ± 2,2	63,4 ± 7,0	559,6 ± 41,4

Як видно, вогнегасна ефективність піни низької та середньої кратності в усіх випадках залишається прийнятною. Очевидно, охолодження поверхні пального рідиною, яка виділяється під час руйнування піни на його поверхні, частково компенсує або збільшує (у разі використання плівкоутворювальних піноутворювачів) ефект її зниження внаслідок зменшення кратності піни.

Отже, визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів, призначених для гасіння пожеж піною низької та (або) середньої кратності, повинне передбачати насамперед визначення кратності піни, генерованої за низької (близько 5°C) температури водного розчину і такої ж температури повітря. Визначення кратності піни за нижчих температур навряд чи доцільне, оскільки як під час випробувань, так і в умовах гасіння реальних пожеж відбувається ежекція піногенераторами нагрітого повітря поблизу вогнища пожежі. Проводити такі дослідження слід на стадії розроблення піноутворювачів і нормативних документів на них.

2.6 Виявлення кореляції між плівкоутворювальною і піноутворювальною здатністю робочих розчинів фторсинтетичних піноутворювачів та вогнегасною ефективністю піни низької кратності, генерованої з них

Досліджено зразки фторсинтетичних плівкоутворювальних піноутворювачів (піноутворювачів типу “AFFF”) виробництва різних фірм. Поверхневий натяг робочого розчину, міжфазовий натяг на межі “робочий розчин – циклогексан” і коефіцієнт розтікання визначали за методикою, регламентованою [4], а кратність і стійкість піни – за допомогою ствола-генератора піни, який використовується під час проведення досліджень згідно з методикою, описаною у п. 3.1. Кратність піни розраховували за різницею мас порожньої та заповненої піною посудини місткістю 1,6 дм³, а стійкість піни оцінювали за тривалістю витікання з неї 25 % від об’єму витраченого робочого розчину. Під час гасіння макетного вогнища пожежі піну подавали “жорстким” способом у центральну частину дзеркала рідини зі ствола, закріпленого стаціонарно на висоті близько 25 см над поверхнею пального. Результати досліджень наведено у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Результати досліджень з визначення кореляції між плівкоутворювальною і піноутворювальною здатністю робочих розчинів фторсинтетичних піноутворювачів та вогнегасною ефективністю піни низької кратності, генерованої з них

Назва піноутворювача	Кратність піни низької кратності	Стійкість піни низької кратності, с	Поверхневий натяг, мН/м	Міжфазовий натяг, мН/м	Показник розтікання, мН/м	Тривалість гасіння макетного вогнища пожежі за інтенсивності подавання робочого розчину ($0,029 + 0,001$) $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, с, у разі використання як пального		Проміжок часу до повторного займання макетного вогнища пожежі, с, у разі використання як пального	
						бензину “А-76”	розчинника “Нефрас С-2-80/120”	бензину “А-76”	розчинника “Нефрас С-2-80/120”
“ППЛВ- (Універсал)” (марка 106)	$10,7 \pm 1,8$	$142,2 \pm 5,6$	$17,8 \pm 0,3$	$2,8 \pm 0,3$	$4,4 \pm 0,5$	$102,6 \pm 11,3$	$78,4 \pm 9,0$	$233,2 \pm 33,4$	$639,8 \pm 25,6$
“Tridol 6 -10 °С”	$11,8 \pm 2,0$	$190,5 \pm 7,4$	$16,8 \pm 0,3$	$2,2 \pm 0,3$	$6,0 \pm 0,5$	$90,4 \pm 9,2$	$79,6 \pm 7,1$	$226,4 \pm 21,5$	$702,4 \pm 28,0$
“Sthamex-AFFF 6 % f-15”	$9,4 \pm 1,9$	$186,4 \pm 5,3$	$17,0 \pm 0,3$	$2,6 \pm 0,3$	$5,4 \pm 0,5$	$87,1 \pm 6,8$	$79,1 \pm 5,2$	$406,9 \pm 35,2$	$755,0 \pm 27,6$
“Pyrocool AFFF 1 %”	$6,2 \pm 2,2$	$176,2 \pm 6,9$	$17,3 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,3$	$4,4 \pm 0,5$	$117,6 \pm 12,3$	$84,0 \pm 7,9$	$523,2 \pm 36,4$	$724,8 \pm 41,0$
“Pyrocool AFFF 3 %”	$10,1 \pm 1,7$	$145,2 \pm 6,6$	$17,5 \pm 0,3$	$3,4 \pm 0,3$	$4,1 \pm 0,5$	$96,2 \pm 11,4$	$78,0 \pm 7,2$	$424,6 \pm 37,8$	$720,9 \pm 26,7$
“Orchidex AFFF 3 %”	$10,6 \pm 1,8$	$148,0 \pm 6,3$	$17,3 \pm 0,3$	$3,2 \pm 0,3$	$4,5 \pm 0,5$	$75,0 \pm 6,1$	$69,2 \pm 5,5$	$530,2 \pm 27,6$	$783,4 \pm 33,2$
“Orchidex AFFF 6 %”	$10,4 \pm 2,1$	$144,1 \pm 7,0$	$17,3 \pm 0,3$	$3,1 \pm 0,3$	$4,6 \pm 0,5$	$53,6 \pm 4,2$	$42,2 \pm 5,3$	$573,2 \pm 32,7$	$758,0 \pm 24,6$

Як видно, чіткої кореляції між плівкоутворювальною, піноутворювальною здатністю робочих розчинів піноутворювачів та вогнегасною ефективністю піни, генерованої з них, немає. Різниця вогнегасної ефективності, визначеної за тривалістю гасіння макетного вогнища і, особливо ізолювальної здатності піни, оціненої за проміжком часу до його повторного займання, у разі використання двох видів пального також визначається насамперед маркою (тобто хімічним складом) піноутворювача.

Звідси можна зробити висновок, що для оцінювання вогнегасної ефективності піни, генерованої з робочого розчину фторсинтетичного плівкоутворювального піноутворювача, недостатньо визначати тільки фізико-хімічні властивості та піноутворювальну здатність його водних розчинів, а необхідно проводити дослідження з визначення тривалості гасіння модельних (макетних) вогнищ пожежі класу В і часу повторного займання. Ці міркування справедливі також під час розроблення рецептур таких піноутворювачів. Ці результати справедливі також для піноутворювачів спеціального призначення інших типів.

2.7 Висновки за розділом

1. Проведено дослідження і встановлено, що зміна водневого показника дистильованої води, яка використовується для приготування водних розчинів піноутворювачів, може призводити до значної зміни відповідного показника якості цих розчинів. Такий ефект найбільшою мірою спостерігається у разі вимірювання водневого показника водних розчинів фторсинтетичних піноутворювачів, основним компонентом яких є нейногенні ПАР (у цьому разі дистильована вода – розчинник – “нав’язує” значення рН водному розчину). Інтерпретація результатів випробувань з визначення водневого показника 1 % водних розчинів піноутворювачів може бути необ’єктивною. Більш об’єктивним показником збереженості самого піноутворювача є відповідність його водневого показника встановленим вимогам.

2. За результатами проведених досліджень виявлено, що найкращу змочувальну здатність щодо гідрофобної тканини мають водні розчини піноутворювачів загального призначення, основою яких є вуглеводневі ПАР, а найгіршу – піноутворювачі на основі сировини природного походження (фторпротеїнові піноутворювачі). Показано недоцільність використання піноутворювачів спеціального призначення, які мають високу вартість, для приготування змочувальних розчинів для гасіння твердих горючих матеріалів, а також регламентування показника змочувальної здатності їх 2 % водних розчинів.

3. З метою покращання умов змочування твердих гідрофобних матеріалів і підвищення ефективності їх гасіння змочувальними розчинами піноутворювачів загального призначення, для кожного такого піноутворювача має визначатися нормована концентрація змочувального розчину. Відповідно, нормувати необхідно показник змочувальної здатності змочувального розчину, концентрацію якого регламентовано нормативними документами на конкретний піноутворювач.

4. На підставі порівняння результатів досліджень з визначення поверхневого натягу водних розчинів ряду піноутворювачів загального та спеціального призначення та міжфазового натягу на межі розділу їх водних розчинів і циклогексану, проведених згідно з вимогами ДСТУ 4041 [4], з результатами випробувань, проведених виробниками піноутворювачів відповідно до вимог

ISO 304 [33], обґрунтовано придатність методики, регламентованої [4], для проведення випробувань у діапазоні значень поверхневого (міжфазового) натягу не вище ніж 20 мН/м.

5. Виявлено кореляцію між тривалістю гасіння модельних (макетних) вогнищ пожежі певного діаметра, а також критичною інтенсивністю подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння горючої рідини піною середньої кратності, та тривалістю гасіння модельного вогнища пожежі 55В і показником вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною середньої кратності, визначеними згідно з ДСТУ 3789 [2]. Експрес-методику визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння горючих рідин піною середньої кратності доцільно стандартизувати з метою забезпечення можливості визначення якості піноутворювачів під час приймально-здавальних випробувань та періодичного контролювання якості вогнегасних речовин, які зберігаються у підрозділах ДСНС України і на об'єктах.

6. Встановлено, що недосягнення значення, регламентованого ДСТУ 3789 [2], кратністю піни середньої кратності, не є достатньою підставою для надання висновку про недоцільність його застосування для гасіння пожеж з використанням ежекційних генераторів піни середньої кратності типу "ГПС", і зроблено висновок про необхідність регламентації нормованих значень показників кратності і стійкості піни середньої кратності нормативними документами на конкретні піноутворювачі загального призначення, а не стандартом на них.

7. Проведено дослідження і встановлено, що зниження температури призводить до погіршення піноутворювальної здатності водних розчинів, однак неоднозначно впливає на вогнегасну ефективність піни. Зокрема, тривалість гасіння модельного вогнища пожежі 55В піною середньої кратності за заданої інтенсивності подавання робочого розчину збільшується, залишаючись у допустимих межах. Тривалість гасіння модельних (макетних) вогнищ пожежі піною низької кратності зменшується, а проміжок часу до повторного займання збільшується зі зниженням температури робочого розчину піноутворювача. Погіршення піноутворювальної здатності компенсується посиленням охолодження поверхні палаючої рідини

водним розчином, який виділяється під час руйнування піни на її поверхні. На підставі одержаних результатів обґрунтовано методику визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів, призначених для гасіння пожеж піною низької та (або) середньої кратності.

8. Обґрунтовано недостатність оцінювання піноутворювальної і плівкоутворювальної здатності робочих розчинів фторсинтетичних піноутворювачів спеціального призначення для надання висновків про їх відповідність встановленим вимогам, а також недостатність їх оцінювання під час розроблення рецептур таких піноутворювачів. Встановлено, що відповідні роботи повинні передбачати обов'язкове визначення вогнегасної ефективності піни.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ НЕПОЛЯРНИХ ГОРЮЧИХ РІДИН І ВЗАЄМОДІЇ ПІНИ З ПОЛУМ'ЯМ ПІД ЧАС ЇХ ГАСІННЯ

3.1 Методика оцінювання вогнегасної ефективності піни низької кратності під час гасіння горючих рідин

Вогнегасну ефективність піни низької кратності під час гасіння неполярних (водонерозчинних) і полярних (водорозчинних і водонерозчинних) горючих рідин запропоновано оцінювати за показниками тривалості гасіння циліндричних модельних вогнищ пожежі, питомої витрати робочого розчину піноутворювача на гасіння, а також проміжку часу до повторного займання погашеного модельного вогнища пожежі після внесення джерела запалювання, який характеризує ізолювальну здатність. Копію розробленої методики, паспорту відповідної установки, а також матеріали первинної атестації наведено у додатку Б.

Критична інтенсивність подавання вогнегасної речовини під час гасіння горючої речовини чи матеріалу є однією з найголовніших характеристик, які беруть до уваги як під час проектування систем протипожежного захисту, так і під час пожежогасіння. Тривалість гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі і питома витрата вогнегасної речовини на гасіння дає можливість характеризувати економічну доцільність її застосування. Обов'язкове визначення проміжку часу до повторного займання як одного з критеріїв оцінювання ізолювальної здатності піни низької кратності передбачено у зв'язку з тим, що таку піну під час гасіння горючих рідин зазвичай генерують з робочих розчинів фторсинтетичних, фторпротеїнових, протеїнових та інших (найчастіше плівкоутворювальних) піноутворювачів спеціального призначення для гасіння пожеж. Одним з основних експлуатаційних показників таких піноутворювачів є ізолювальна здатність піни, генерованої з їх робочих розчинів. Ізолювальну здатність можна оцінювати за здатністю захищати поверхню горючої рідини від займання в умовах впливу джерела відкритого полум'я.

Залежно від поставлених задач, під час досліджень піну можна подавати “жорстким” або “м'яким” способом. Змінюючи спосіб подавання піни, місце її потрапляння на поверхню горючої рідини, тобто відстань, яку вона має подолати під

час розтікання поверхнею рідини (у разі подавання піни “жорстким” способом), висоту розташування ствола-генератора піни, висоту шару рідини або проміжок часу вільного горіння та інші параметри, можна якісно оцінювати вплив цих чинників на вогнегасну ефективність та ізолювальну здатність піни. Такі дослідження дадуть змогу більш обґрунтовано обирати тип і марку піноутворювача залежно від особливостей об’єкта протипожежного захисту або пожежі.

Під час випробувань з визначення вогнегасної ефективності піни низької кратності у разі гасіння неполярних і полярних водонерозчинних горючих рідин пальне заливають на шар води з таким розрахунком, щоб висота шару води дорівнювала (20 ± 1) мм, а висота шару пального – (30 ± 1) мм. Під час випробувань з визначення вогнегасної ефективності піни низької кратності у разі гасіння полярних водорозчинних горючих рідин пальне заливають безпосередньо у деко макетного вогнища пожежі з таким розрахунком, щоб висота шару дорівнювала (70 ± 1) мм.

Для генерування піни передбачено використання ствола-генератора піни низької кратності, конструкцію якого наведено описано у стандарті [18] (рисунок 3.1), що забезпечує витрату вогнегасної речовини $(12,5 \pm 0,5)$ см³/с за тиску у корпусі випробувального приладу типу вогнегасника у межах від 0,58 МПа до 0,62 МПа. Змінюючи діаметр модельного (макетного) вогнища пожежі, змінюють інтенсивність подавання робочого розчину.

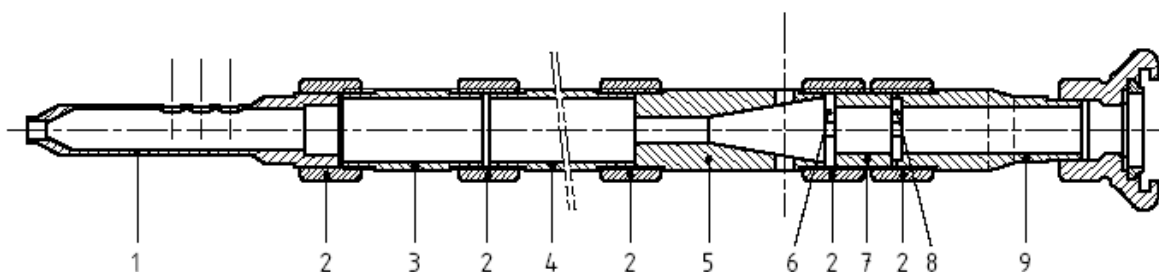


Рисунок 3.1 – Ствол-генератор піни низької кратності: 1 – ствол-генератор піни із регулювальним елементом для відведення піни; 2 – муфта; 3 – змішувальна трубка; 4 – трубка-стабілізатор; 5 – труба Вентурі; 6 – пластинка з отвором G; 7 – відбійник; 8 – пластинка з отвором P; 9 – вхідний патрубок

Після завершення проміжку часу вільного горіння $((60 \pm 2) \text{ с})$ розпочинають подавання піни на поверхню палаючої рідини “жорстким” або “м’яким” способом протягом $(180 \pm 2) \text{ с}$ або $(300 \pm 5) \text{ с}$, відповідно, незалежно від того, чи досягнуто гасіння у цей проміжок часу. Через $(300 \pm 5) \text{ с}$ після припинення подавання піни у центр модельного вогнища пожежі встановлюють тигель повторного запалювання, підпалюють пальне, залите у нього, і фіксують проміжок часу до повторного займання як інтервал від моменту встановлення тигля до покриття усієї поверхні рідини, що знаходиться у модельному (макетному) вогнищі, стійким полум’ям.

Результат гасіння вважається позитивним, якщо гасіння полум’я досягнуто під час подавання піни або протягом $(300 \pm 5) \text{ с}$ після його припинення, а проміжок часу до повторного займання перевищує 60 с . З метою визначення критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння горючої рідини піною низької кратності визначають максимальний діаметр дека модельного (макетного) вогнища пожежі, за якого ці умови виконуються, і мінімальний діаметр дека модельного (макетного) вогнища пожежі, за якого вони не виконуються.

Інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача під час гасіння, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, розраховується за формулою

$$I = \frac{q}{S} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d^2} = 1,273 \cdot \frac{q}{d^2}, \quad (3.1)$$

де q – витрата робочого розчину піноутворювача, яку забезпечує ствол-генератор піни низької кратності, $\text{дм}^3/\text{с}$;

S – площа поверхні модельного (макетного) вогнища пожежі, дм^2 ;

d – внутрішній діаметр модельного (макетного) вогнища пожежі, дм .

Критична інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача під час гасіння, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, розраховується за формулою

$$I_{кр} = \frac{I_1 + I_2}{2} = 0,637 \cdot q \cdot \left(\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} \right), \quad (3.2)$$

де I_1 – інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача, за якої вказані умови виконуються, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

- I_2 – інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача, за якої хоча б одна з вказаних умови не виконується, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;
- q – витрата робочого розчину піноутворювача, яку забезпечує ствол-генератор піни низької кратності, $\text{дм}^3/\text{с}$;
- d_1 – внутрішній діаметр модельного (макетного) вогнища пожежі, за якого вказані умови виконуються, м;
- d_2 – внутрішній діаметр модельного (макетного) вогнища пожежі, за якого вказані умови не виконуються, м.

3.2 Дослідження параметрів вільного горіння горючих рідин

З метою визначення можливості використання розчинника “Нефрас С-2-80/120” як пального під час проведення випробувань замість автомобільного бензину та гептану проведено дослідження з визначення параметрів горіння модельних (макетних) вогнищ пожежі класу В з використанням як пального бензину автомобільного марки “А-76” згідно з [88], н-гептану згідно з [93] та бензину-розчинника для гумової промисловості “Нефрас С-2-8/120”. Відповідно до паспорту, цей розчинник мав густину 692 кг/м^3 , википав у межах $87 \dots 106^\circ\text{C}$ і містив 1,09 % ароматичних вуглеводнів. Під час експериментів визначали швидкість вигорання горючих рідин, зміну температури в різних точках модельних (макетних) вогнищ пожежі, а також щільність теплового потоку у процесі вільного горіння.

Дослідження з визначення режимів горіння проводили згідно з розробленою Програмою та методикою проведення експериментальних досліджень параметрів горіння модельних (макетних) вогнищ пожежі класу В і вогнегасної та ізолювальної ефективності піни у разі гасіння горючих рідин. Під час досліджень використовували модельне (макетне) вогнище пожежі, що являло собою циліндричне деко діаметром (624 ± 5) мм з висотою бортів (200 ± 5) мм. Горючі рідини наливали на шар води з таким розрахунком, щоб висота шару пального дорівнювала (30 ± 1) мм, а висота шару води – (20 ± 1) мм. Зміну маси модельного (макетного) вогнища пожежі визначали за допомогою електротензометричного пристрою “УВТ-1”.

Щільність теплового потоку від модельних (макетних) вогнищ пожежі вимірювали за допомогою двох приймачів теплового потоку типу “ПП-1”, закріплених на стійці під кутом нахилу донизу приблизно 20° відносно вертикалі. Один приймач теплового потоку розташовували на висоті (100 ± 1) см від площини верхньої частини дека, другий – на відстані (150 ± 1) см від неї. Відстань між стінкою дека модельного (макетного) вогнища пожежі та чутливими елементами приймачів теплового потоку за горизонталлю дорівнювала (200 ± 1) см.

Температуру під час досліджень вимірювали за допомогою термоперетворювачів (термопар) типу “ТХА”. Схему їх розташування наведено на рисунку 3.2. Спай термopари “ T_1 ” розміщували на дні модельного (макетного) вогнища пожежі поблизу від центру днища. Спай термopари “ T_2 ” розміщували над спаєм термopари “ T_1 ” поблизу межі розділу “вода – пальне”. Спай термopари “ T_3 ” прикріплювали до верхнього краю стінки дека модельного (макетного) вогнища пожежі. Спай термopари “ T_4 ” розміщували над центром днища дека модельного (макетного) вогнища пожежі з таким розрахунком, щоб відстань від верху бортів дека до спаю дорівнювала половині діаметра дека. Спай термopари “ T_5 ” розміщували над центром днища дека модельного (макетного) вогнища пожежі таким чином, щоб відстань від площини верхньої частини дека до спаю дорівнювала діаметру дека. Спай термopари “ T_6 ” розміщували у місці, де знаходяться отвори для ежектування повітря ствола-генератора піни під час проведення відповідних досліджень.

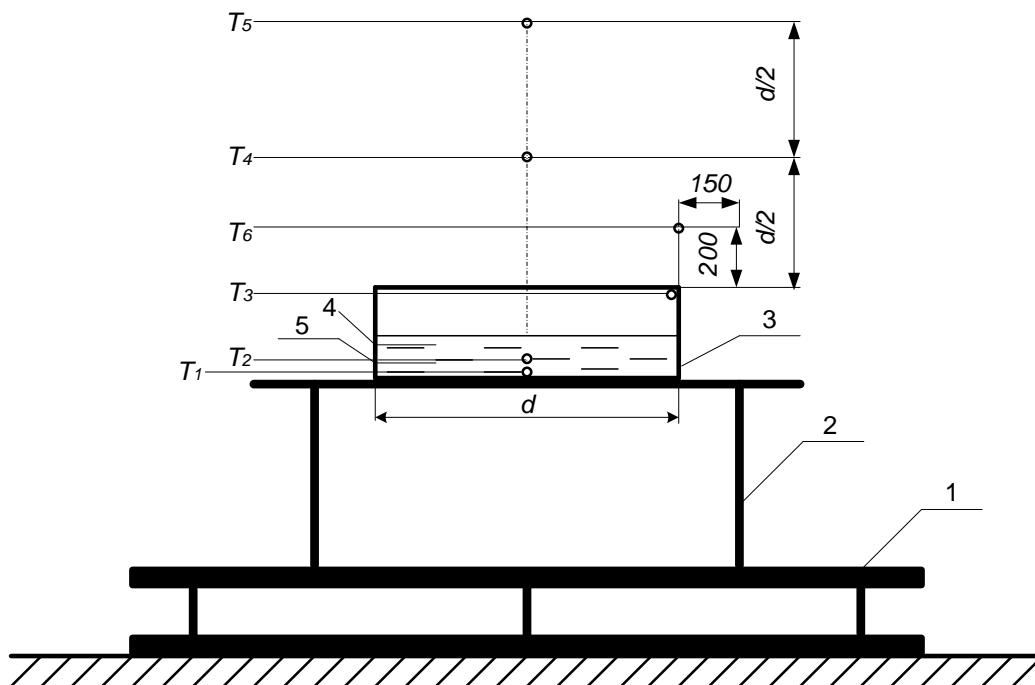


Рисунок 3.2 – Схема розташування обладнання під час проведення досліджень: 1 – вагова платформа (складова частина електротензометричного пристрою); 2 – підставка; 3 – модельне (макетне) вогнище пожежі; 4 – водонерозчинна горюча рідина; 5 – вода; $T_1...T_6$ – термопари.

Для збирання та оброблення інформації, що надходила від термоперетворювачів і приймачів теплового потоку, використовували інформаційно-вимірювальну систему “Термоконт” на базі аналогово-цифрових перетворювачів типу “Adam” та “ICP-CON”.

В результаті досліджень визначено величини питомої швидкості вигорання трьох горючих рідин, а також знято криві залежності температури від проміжку часу після підпалювання горючих рідин (типів форми кривих наведено на рисунках 3.3 - 3.5). Нумерація термопар на цих рисунках відповідає їх нумерації на рисунку 3.2, на осі ординат вказано усереднене значення температури полум'я. Як видно, під час горіння бензину марки “А-76” температура полум'я найвища, а під час горіння н-гептану – найнижча. Менша різниця значень температури у різних точках через однакові проміжки часу після початку горіння пояснюються тим, що н-гептан та розчинник “Нефрас С-2-80/120” мають подібні властивості (таблиця 3.1).

З одержаних результатів видно, що н-гептан і, особливо, “Нефрас С-2-80/120”, інтенсивно прогріваються під час горіння, у той час як температура нижньої частини шару бензину підвищується повільно (криві температури “Т2”). Підвищення температури в кінці вільного горіння рідин пов’язано з їх вигорянням, внаслідок чого спай термомпари опиняється над поверхнею пального.

Форми кривих залежності маси макетного вогнища пожежі від проміжку часу від початку вільного горіння показали, що між 30-ю та 60-ю секундами вільного горіння масова швидкість вигоряння стабілізується (досягає максимального значення і надалі практично не змінюється). Винятком є горіння бензину, в останній його період (близько 300...400 с) має місце повільне вигоряння важких фракцій (смола), плями яких знаходяться на поверхні води у деці модельного вогнища пожежі. н-гептан і “Нефрас С-2-80/120” практично не містять домішок важких вуглеводнів, від моменту видимого зниження інтенсивності горіння до його повного припинення проходило 3...5 с.

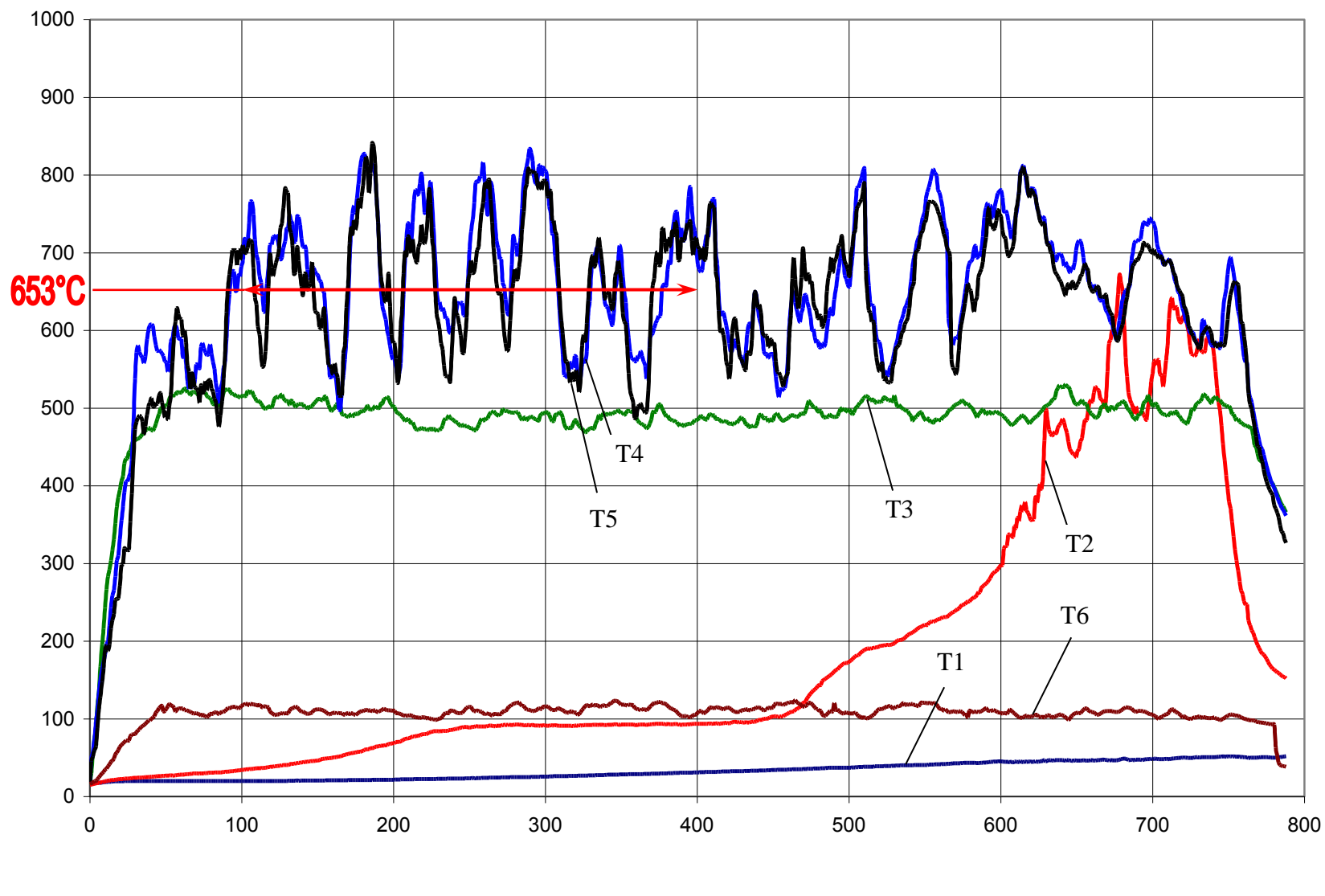
$T, ^\circ\text{C}$ 

Рисунок 3.3 – Залежність температури середовищ у місцях розташування спаїв термопар від проміжку часу від початку вільного горіння н-гептану (дослід №1 згідно з таблицею 3.1)

 $T, ^\circ\text{C}$

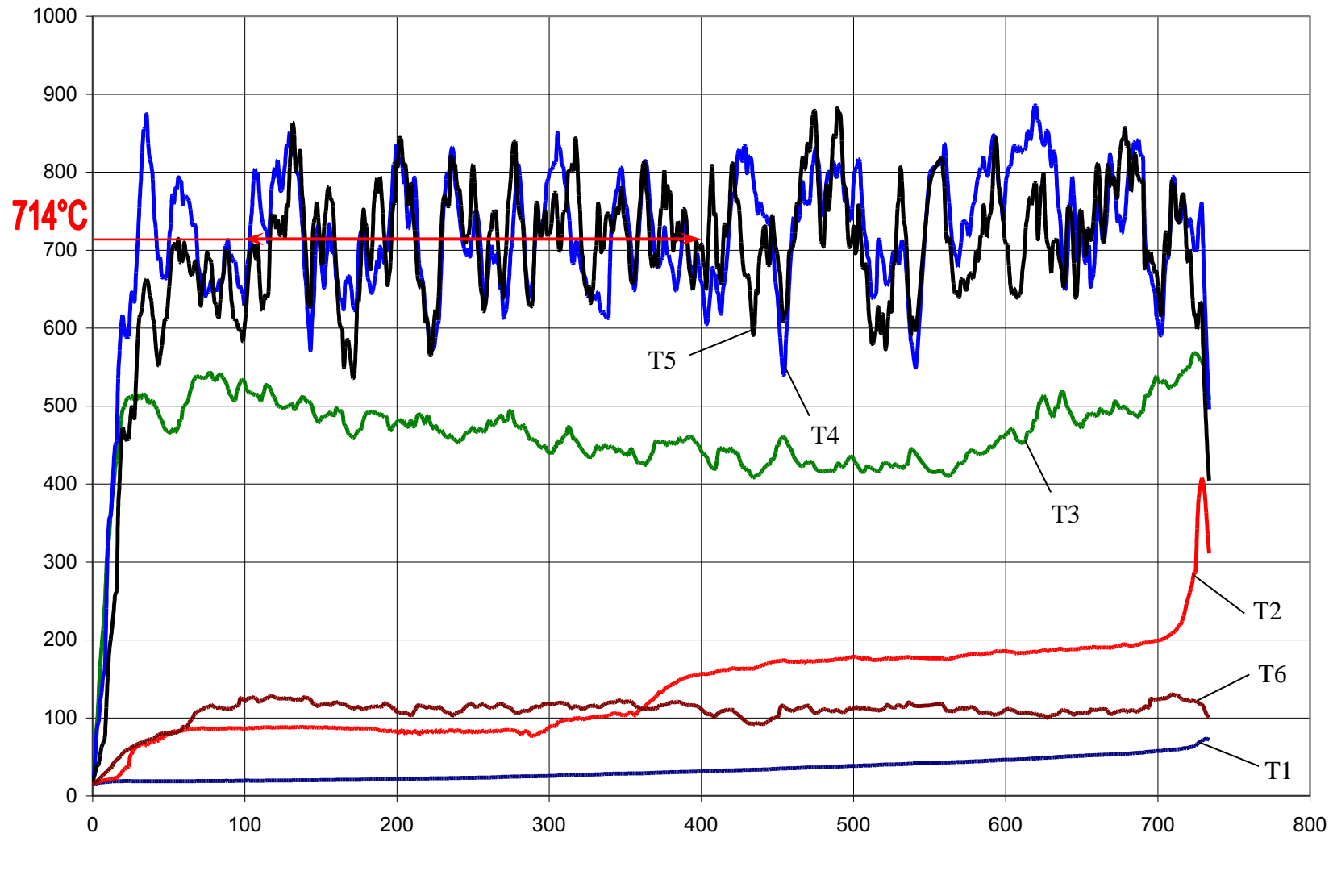
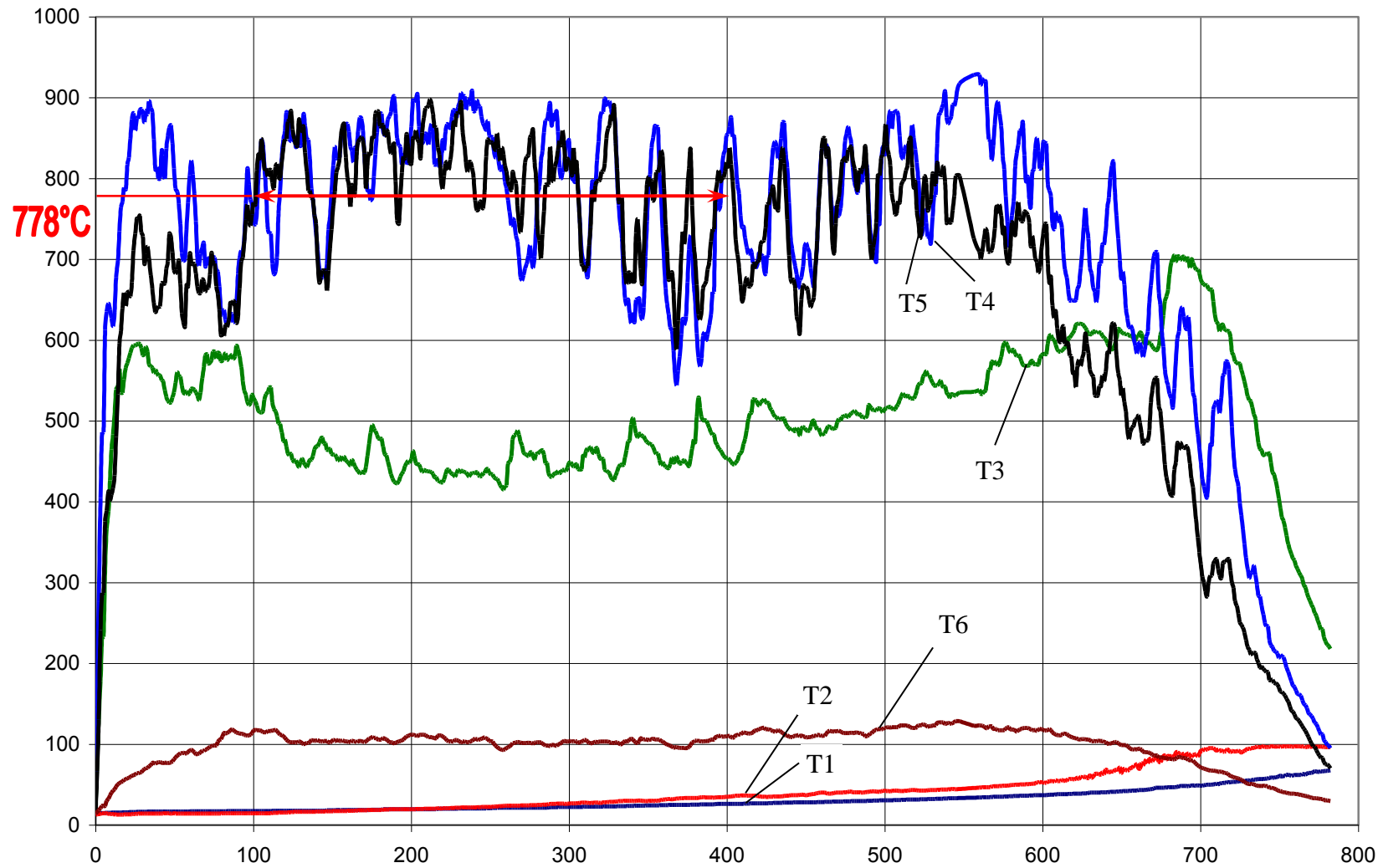


Рисунок 3.4 – Залежність температури середовищ у місцях розташування спаїв термопар від проміжку часу від початку вільного горіння розчинника для гумової промисловості “Нефрас С-2-80/120” (дослід №1 згідно з таблицею 3.1)

T, °C



t, c

Рисунок 3.5 – Залежність температури середовищ у місцях розташування спаїв термопар від проміжку часу від початку вільного горіння бензину марки “А-76” (дослід №1 згідно з таблицею 3.1)

Таблиця 3.1 – Результати досліджень з визначення швидкості вигорання і температури полум'я під час вільного горіння горючих рідин

Пальне	№ досліду	Тривалість повного вигорання пального, с	Втрата маси макетного вогнища пожежі, кг			Швидкість вигорання, кг/(м ² ·с)						Усереднене значення температури полум'я, °С ²	
			протягом перших 30 с горіння	за весь проміжок часу горіння	під час горіння у стаціонарному режимі	усереднене значення за перші 30 с горіння		усереднене значення за весь проміжок часу горіння		у стаціонарному режимі горіння		фактичні значення	середнє значення
						фактичні значення	середнє значення	фактичні значення	середнє значення	фактичні значення	середнє значення		
н-гептан	1	752,4	0,205	11,900	5,050	0,0220	0,0218	0,0510	0,0511	0,0543	0,0542	648	653
	2	760,8	0,200	12,145	5,060	0,0215		0,0515		0,0544			
	3	746,0	0,205	11,770	5,005	0,0220		0,0509		0,0538			
“Нефрас С-2-80/120”	1	736,4	0,305	12,370	5,170	0,0327	0,0327	0,0542	0,0546	0,0556	0,0556	724	714
	2	730,4	0,305	12,430	5,180	0,0327		0,0549		0,0557			
	3	742,2	0,305	12,560	5,080	0,0327		0,0546		0,0554			
бензин “А-76”	1	792,8	0,305	13,540	5,125	0,0327	0,0327	0,0551	0,0555	0,0637	0,0642	775	778
	2	780,2	0,305	13,640	5,245	0,0327		0,0564		0,0648			
	3	784,6	0,305	13,345	5,110	0,0327		0,0549		0,0641			

Примітки:

1. Під час розрахунків не брали до уваги проміжок часу, протягом якого мало місце вигорання окремих “плям” важких фракцій - складників бензину на поверхні води, залитої у деко модельного (макетного) вогнища пожежі.
2. Наведено значення за показами термопари Т₄, розташованої над центральною частиною дека на висоті, що дорівнює половині його діаметра, у період часу від 100-ї до 400-ї секунди вільного горіння.

Як видно з одержаних результатів (таблиця 3.1), питома масова швидкість вигорання розчинника “Нефрас С-2-80/120” у стаціонарному режимі майже не відрізняється від швидкості вигорання н-гептану (втратою маси води за рахунок випаровування нехтували). Оскільки ціна поділки вимірювального приладу дорівнювала 50 г, тобто точність вимірювання маси була достатньо низькою, зміну маси модельного (макетного) вогнища пожежі визначали графічно за кривою залежності маси від часу, одержаною за допомогою самописця. Одержані значення втрати маси округлювали до ± 5 г.

Експериментально одержане значення швидкості вигорання н-гептану у стаціонарному режимі ($0,0542 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) суттєво нижче за довідкове значення ($0,0897 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$) [98]. Це пояснюється різними методиками чи умовами проведення експериментів. У той же час, питома масова швидкість вигорання бензину марки “А-76” приблизно на 20% перевищує питому масову швидкість вигорання н-гептану. Експериментальне значення питомої масової швидкості вигорання бензину марки “А-76” суттєво перевищує довідкове значення, що дорівнює $0,045 \dots 0,053 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [98]. Це може бути наслідком наявності у бензині бутан-ізопентанової фракції, метилтретбутилового ефіру та інших летких добавок, які вводять до складу бензину з метою збільшення його здатності до випаровування і підвищення октанового числа.

Під час горіння вуглеводнів можуть утворюватись продукти як повного (діоксид вуглецю), так і неповного (сажа, монооксид вуглецю) згорання. Співвідношення між ними залежить від будови молекул вуглеводнів, вмісту кисню у горючому середовищі та умов горіння. Оскільки мольна частка вуглецю у молекулах ароматичних вуглеводнів достатньо висока (близько 50 %), горіння бензолу та його гомологів супроводжується утворенням великої кількості сажі. За інших однакових умов горіння насичених вуглеводнів, мольна частка вуглецю у молекулах яких суттєво менша (зокрема, н-гептану), має відбуватися з утворенням меншої кількості продуктів неповного згорання.

Відповідно до [88], бензин може містити до 42 % ароматичних вуглеводнів. Натомість, як вже відзначалося, розчинник “Нефрас С-2-80/120”, використаний для

досліджень, містив 1,09 % ароматичних вуглеводнів, і спостереження за модельним (макетним) вогнищем пожежі показало, що під час його горіння утворювалась значно менша кількість сажі, ніж під час горіння бензину (дим був менш густим). Приблизно такою ж, згідно з результатами спостережень, була щільність диму під час вільного горіння н-гептану. Сажа, що має високу ступінь чорноти, здатна інтенсивно поглинати теплове випромінювання. Завдяки цьому щільність теплового потоку знижується під час переходу від н-гептану до бензину (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Результати досліджень з визначення щільності теплового потоку під час вільного горіння горючих рідин у модельному (макетному) вогнищі пожежі діаметром (739 ± 5) мм* (усереднене значення за період часу від 30-ї до 60-ї секунди вільного горіння)

Пальне	№ дослідів	Усереднене значення щільності теплового потоку, кВт/м ² , виміряне за допомогою датчика, розташованого на висоті			
		1,00 м		1,50 м	
		фактичні значення	середнє значення	фактичні значення	середнє значення
н-гептан	1	1,52	1,53	2,67	2,71
	2	1,55		2,72	
	3	1,53		2,74	
“Нефрас С-2-80/120”	1	1,49	1,48	2,48	2,47
	2	1,46		2,44	
	3	1,48		2,49	
бензин “А-76”	1	1,08	1,06	1,67	1,64
	2	1,04		1,63	
	3	1,05		1,63	

*Примітка. Результати одержано під час проведення дослідів з гасіння модельних (макетних) вогнищ пожежі піною до початку подавання вогнегасної речовини.

Таким чином, одержані результати показують, що теплові режими горіння і швидкість вигорання н-гептану та нафтового розчинника “Нефрас С-2-80/120” мало відрізняються між собою, що пояснюється близькістю їх властивостей. Під час горіння бензину марки “А-76” розвивається більш висока температура, швидкість його вигорання у стаціонарному режимі вища за швидкість вигорання двох інших досліджених горючих рідин (рисунок 3.6).

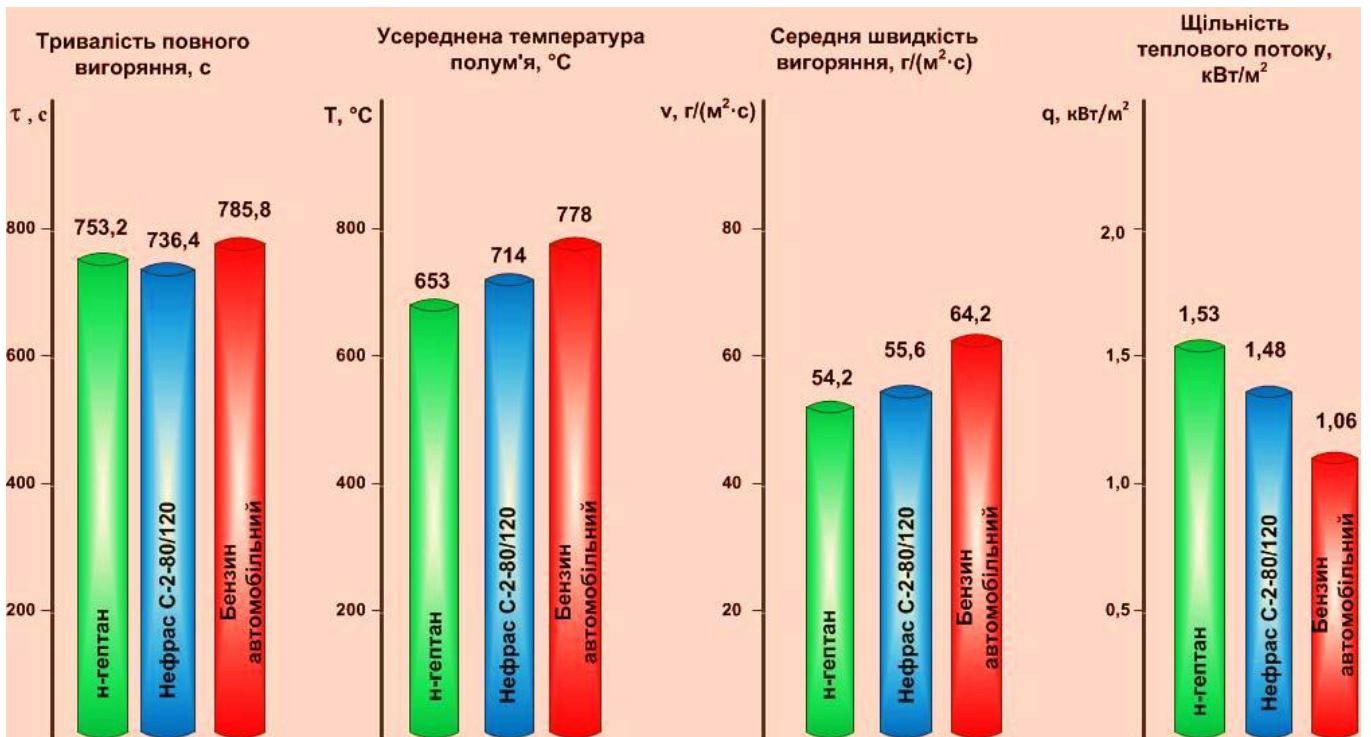


Рисунок 3.6 – Результати визначення параметрів горіння горючих рідин

3.3 Дослідження процесів взаємодії піни з полум'ям під час гасіння горючих рідин

Дослідження з визначення ефективності піни під час гасіння модельних (макетних) вогнищ пожежі проводили згідно з Програмою та методикою проведення експериментальних досліджень параметрів горіння модельних (макетних) вогнищ пожежі класу В і вогнегасної та ізолювальної ефективності піни у разі гасіння горючих рідин. Під час досліджень використовували модельні вогнища пожежі 55В і 144В (їх параметри описано у стандарті [4]), а також нестандартизовані модельні (макетні) вогнища пожежі, що являли собою циліндричні дека з висотою бортів (200 ± 5) мм (під час гасіння піною низької кратності) і (100 ± 2) мм (під час гасіння піною середньої кратності). Під час дослідів з гасіння піною низької кратності горючі рідини наливали на шар води з таким розрахунком, щоб висота шару пального дорівнювала (30 ± 1) мм, а висота шару води – (20 ± 1) мм. Під час дослідів з гасіння піною середньої кратності горючі рідини наливали шаром (20 ± 1) мм, не заливаючи воду у дека модельних (макетних) вогнищ пожежі.

Схема розташування термопар була такою, як показано на рисунку 3.1. Спай термопари “Т₁” розміщували на дні модельного (макетного) вогнища пожежі поблизу від центру днища з таким розрахунком, щоб після встановлення тигля повторного запалювання спай знаходився по можливості ближче до нього.

Під час дослідів з визначення тривалості гасіння, критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача та проміжку часу до повторного займання, генерування і подавання піни низької та середньої кратності здійснювали за допомогою експериментального обладнання, використання якого передбачено відповідними методиками.

Сутність методики визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною низької кратності викладено у п. 3.1, її копію подано у додатку Б.

Для генерування піни низької кратності використовували робочі розчини зразків трьох типів піноутворювачів спеціального призначення для гасіння пожеж, які пройшли сертифікаційні випробування на відповідність вимогам стандарту [4]. Один з цих піноутворювачів (“Sthamex-AFFF 6 % f-15”) є фторсинтетичним плівкоутворювальним, не містить водорозчинних полімерів і призначений для гасіння водонерозчинних горючих рідин. Цей піноутворювач розраховано на забезпечення найвищої вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності у разі гасіння пального, яке містить значну кількість летких (тобто таких, що мають низьку температуру кипіння) і ароматичних вуглеводнів.

Для досліджень використовували також зразок фторсинтетичного піноутворювача “S.F.P.M. 6/6”. Цей піноутворювач має плівкоутворювальні властивості та містить водорозчинний полімер, його призначено для гасіння як водонерозчинних, так і водорозчинних горючих рідин. Згідно з прийнятою у світі класифікацією, він належить до піноутворювачів типу “AFFF AR” (aqueous film forming foam alcohol resistant).

Третім зразком, взятим для досліджень, був фторпротеїновий піноутворювач “Fluoropolydol”. Він, згідно з технічним описом, не має плівкоутворювальних властивостей і також призначений для гасіння як водонерозчинних, так і

водорозчинних горючих рідин. Відповідно до прийнятої у світі класифікації, “Fluoropolydol” належить до піноутворювачів типу “FP AR” (fluoroprotein alcohol resistant). Піну у модельне (макетне) вогнище пожежі подавали як “жорстким” (безпосередньо на поверхню пального), так і “м’яким” способом.

Вогнегасну ефективність піни низької кратності оцінювали за показником тривалості гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі, ізолювальну здатність – за показником проміжку часу до його повторного займання. У першій серії дослідів здійснювали гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі діаметром (624 ± 5) мм. У цьому випадку інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача дорівнювала $(0,041 \pm 0,001)$ $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, тобто її значення відповідало тому, яке регламентоване ДСТУ 4041 [4] під час випробувань з визначення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 144В піною низької кратності, показника вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною низької кратності і часу повторного займання.

У другій серії дослідів здійснювали гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі діаметром (739 ± 5) мм. У цьому випадку інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача дорівнювала $(0,029 + 0,001)$ $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, тобто такому мінімальному значенню, за якого тривалість припинення горіння модельного (макетного) вогнища пожежі піною, генерованою з робочого розчину зразка піноутворювача “Fluoropolydol”, що характеризується найнижчими серед досліджених зразків показниками ефективності, не перевищувала граничних значень, допустимих згідно з правилами прийняття рішення за результатами випробувань, проведених згідно з вищезгаданою методикою.

Сутність методики визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною середньої кратності полягає у визначенні тривалості гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі за заданої мінімальної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача (критичної інтенсивності подавання), до значення якої асимптотично наближається крива залежності тривалості гасіння від інтенсивності подавання робочого розчину. Під час проведення досліджень забезпечують сталі

витрати робочого розчину піноутворювача та повітря, контролюючи їх за показами ротаметрів, з метою одержання піни з кратністю близько 100, і змінюють діаметр модельних (макетних) вогнищ пожежі, регулюючи у такий спосіб інтенсивність подавання робочого розчину. Витрата рідини повинна бути $(2,0 \pm 0,2)$ см³/с, витрата повітря – (200 ± 20) см³/с.

Заливають пальне у деко модельного (макетного) вогнища пожежі з таким розрахунком, щоб висота його шару дорівнювала (20 ± 1) мм, і підпалюють його. Тривалість вільного горіння приймають залежно від температури кипіння чи меж википання горючої рідини (під час досліджень вона дорівнювала (60 ± 2) с в усіх випадках). На цей час піногенератор виносять із зони горіння. Після завершення проміжку часу вільного горіння вводять піногенератор у дію та подають піну на поверхню палаючої рідини з таким розрахунком, щоб вона потрапляла у центр модельного (макетного) вогнища пожежі. Витримуючи задані витрати робочого розчину піноутворювача і повітря, продовжують подавання піни до повного припинення горіння. Фіксують тривалість гасіння як проміжок часу від початку подавання піни до повного припинення горіння.

Для генерування піни використовували робочі розчини піноутворювачів загального призначення для гасіння пожеж “ПО-ЗНП” та “Сніжок-1”. Як розчинник для приготування робочих розчинів використовували питну воду згідно з [6].

З метою порівняння вогнегасної ефективності піни під час гасіння модельних вогнищ пожежі 55В і 144В проведено досліди згідно з процедурою, регламентованою [2, 4], з використанням як пального бензину “А-76” та розчинника “Нефрас С-2-80/120”.

Метод визначення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 55В і показника вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною середньої кратності передбачає вимірювання тривалості припинення полуменевого горіння модельного вогнища пожежі в умовах подавання у нього піни середньої кратності за умови забезпечення витрати робочого розчину $(0,066 \pm 0,003)$ дм³/с, і маси робочого

розчину, що витрачається на гасіння одиниці поверхні модельного вогнища пожежі за умови позитивних результатів його гасіння.

Метод визначення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 144В, показника вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною низької кратності та часу повторного займання передбачає вимірювання тривалості припинення полуменевого горіння модельного вогнища пожежі в умовах подавання у нього піни низької кратності за умови забезпечення витрати робочого розчину $(0,19 \pm 0,01)$ $\text{дм}^3/\text{с}$, розрахунок маси робочого розчину, що витрачається на гасіння одиниці поверхні модельного вогнища пожежі за умови позитивних результатів його гасіння, та вимірювання часу повторного займання як інтервалу від моменту встановлення тигля повторного займання до охоплення усієї поверхні погашеного модельного вогнища пожежі постійним полум'ям.

Результати досліджень з визначення тривалості гасіння модельних (макетних) вогнищ пожежі піною низької кратності, генерованою з робочих розчинів зразків піноутворювачів спеціального призначення, і проміжку часу до повторного займання наведено у таблиці 3.3. Залежність температури, виміряної за допомогою термопар $T_1 \dots T_6$, від часу у процесі досліджень з визначення тривалості гасіння піною низької кратності, генерованою з робочого розчину зразка піноутворювача "S.F.P.M. 6/6", модельного (макетного) вогнища пожежі діаметром (624 ± 5) мм та проміжку часу до повторного займання наведено на рисунках 3.7 - 3.9.

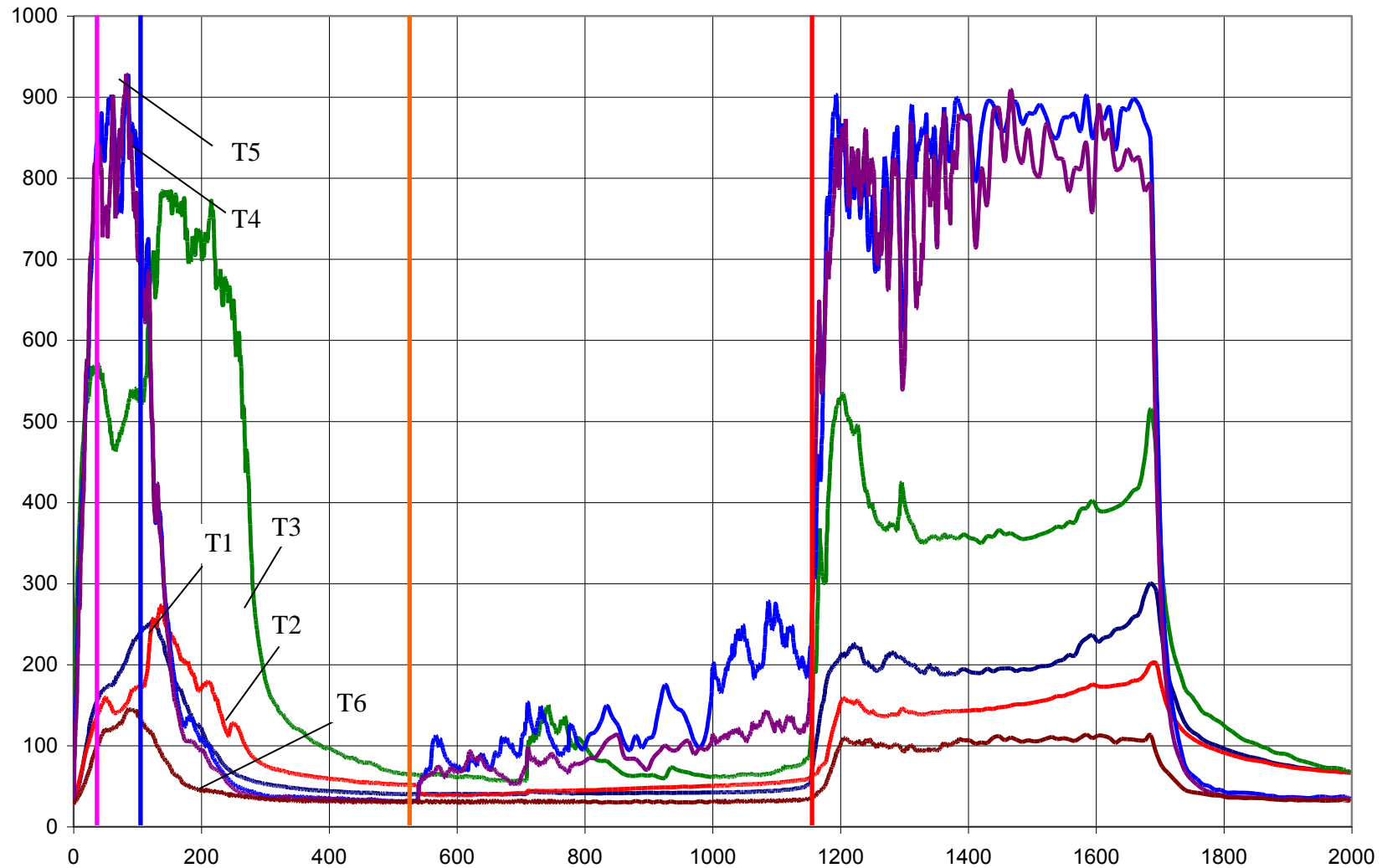
Як видно з отриманих результатів, тривалість гасіння модельних (макетних) вогнищ пожежі піною низької кратності, а також проміжок часу до повторного займання модельного (макетного) вогнища пожежі за інших однакових умов у разі використання як пального н-гептану та розчинника "Нефрас С-2-80/120" мало відрізняються між собою. Однак тривалість гасіння модельних (макетних) вогнищ пожежі у разі використання як пального бензину марки "А-76" в усіх випадках була значно більшою, а проміжок часу до повторного займання – меншим, ніж у разі використання н-гептану та розчинника "Нефрас С-2-80/120".

Таблиця 3.3 – Результати досліджень з визначення тривалості гасіння піною низької кратності, генерованою з робочих розчинів піноутворювачів, та проміжку часу до повторного займання

Назва піноутворювача	Пальне	Розчинник	Спосіб подавання піни	Тривалість подавання піни, с	Діаметр модельного вогнища пожежі, мм	Інтенсивність подавання робочого розчину, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Тривалість гасіння, с (середнє значення)	Проміжок часу до повторного займання, с (середнє значення)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
“S.F.P.M. 6/6”	н-гептан	питна вода	“жорсткий”	180	624 ± 5	$0,041 \pm 0,001$	58,8	655,8
	“Нефрас С-2-80/120”	питна вода	“жорсткий”	180	624 ± 5	$0,041 \pm 0,001$	61,9	705,3
	бензин “А-76”	питна вода	“жорсткий”	180	624 ± 5	$0,041 \pm 0,001$	100,9	286,7
	бензин “А-76”	питна вода	“жорсткий”	180	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	111,3	522,3
	“Нефрас С-2-80/120”	питна вода	“жорсткий”	180	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	141,4	208,5
“Sthamex-AFFF 6% f-15”	“Нефрас С-2-80/120”	питна вода	“жорсткий”	180	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	79,1	755,0
	бензин “А-76”	питна вода	“жорсткий”	180	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	87,1	406,9
	“Нефрас С-2-80/120”	модель морської води	“жорсткий”	180	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	194,1*	518,4
	“Нефрас С-2-80/120”	модель морської води	“м’який”	300	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	376,1*	426,3
“Fluoropolydol”	н-гептан	питна вода	“жорсткий”	180	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	121,4	619,3
	“Нефрас С-2-80/120”	питна вода	“жорсткий”	180	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	174,6	773,0
	бензин “А-76”	питна вода	“жорсткий”	180	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	414,0*	438,9
	“Нефрас С-2-80/120”	модель морської води	“жорсткий”	180	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	167,5	637,0
	“Нефрас С-2-80/120”	модель морської води	“м’який”	300	739 ± 5	$0,029 + 0,001$	156,1	647,0

*Примітка. Гасіння полум’я наставало після припинення подавання піни.

T, °C



t, c

Рисунок 3.7 – Змінювання температури середовищ під час гасіння н-гептану піною низької кратності, генерованою з робочого розчину піноутворювача “S.F.P.M. 6/6” у питній воді, за інтенсивності подавання робочого розчину $(0,041 \pm 0,001) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (дослід №1 згідно з таблицею 3.2)

T, °C

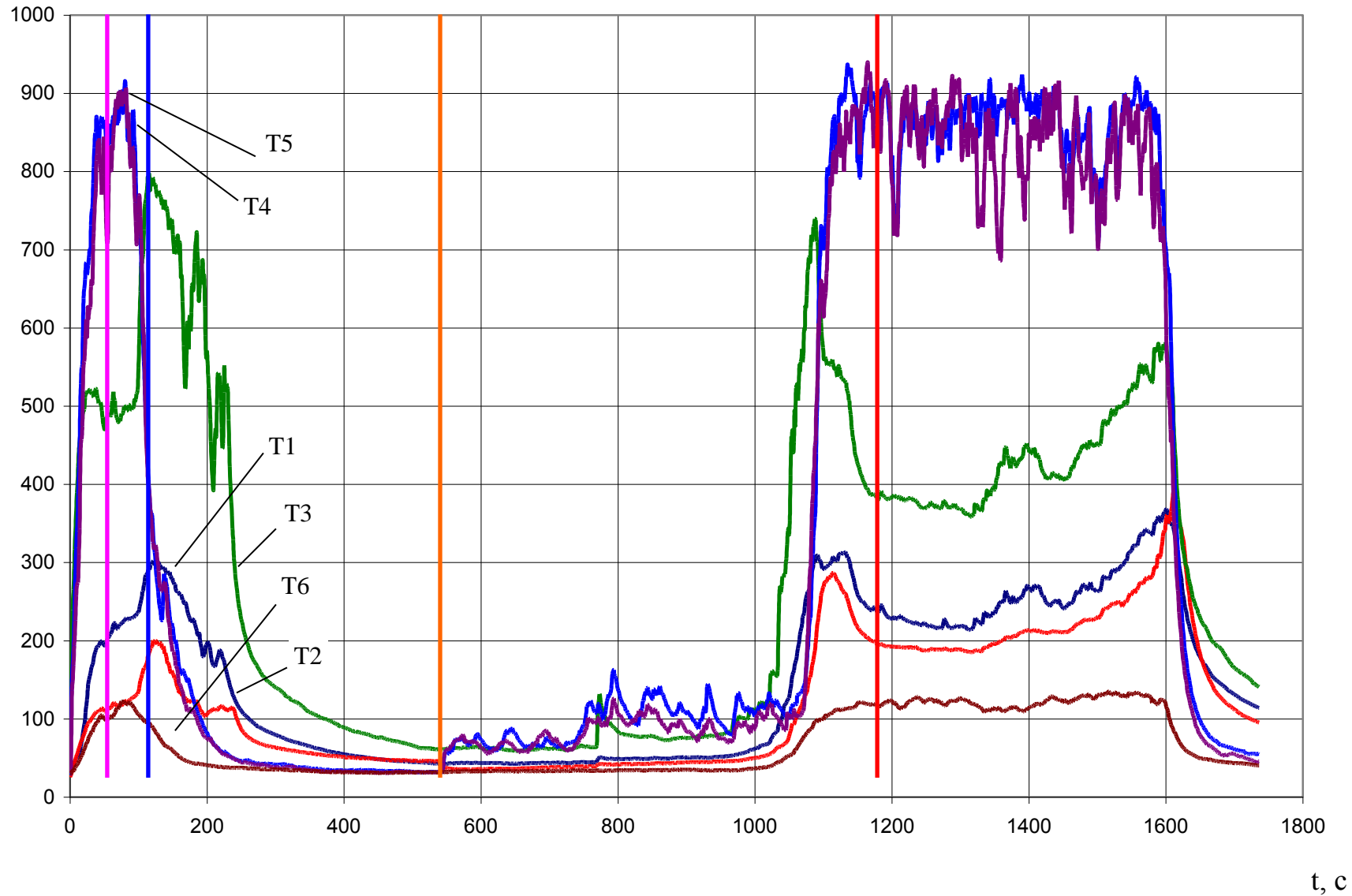


Рисунок 3.8 – Змінювання температури середовищ під час гасіння розчинника “Нефрас С-2-80/120” піною низької кратності, генерованою з робочого розчину піноутворювача “S.F.P.M. 6/6” у питній воді, за інтенсивності подавання робочого розчину $(0,041 \pm 0,001) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (дослід №1 згідно з таблицею 3.2)

T, °C

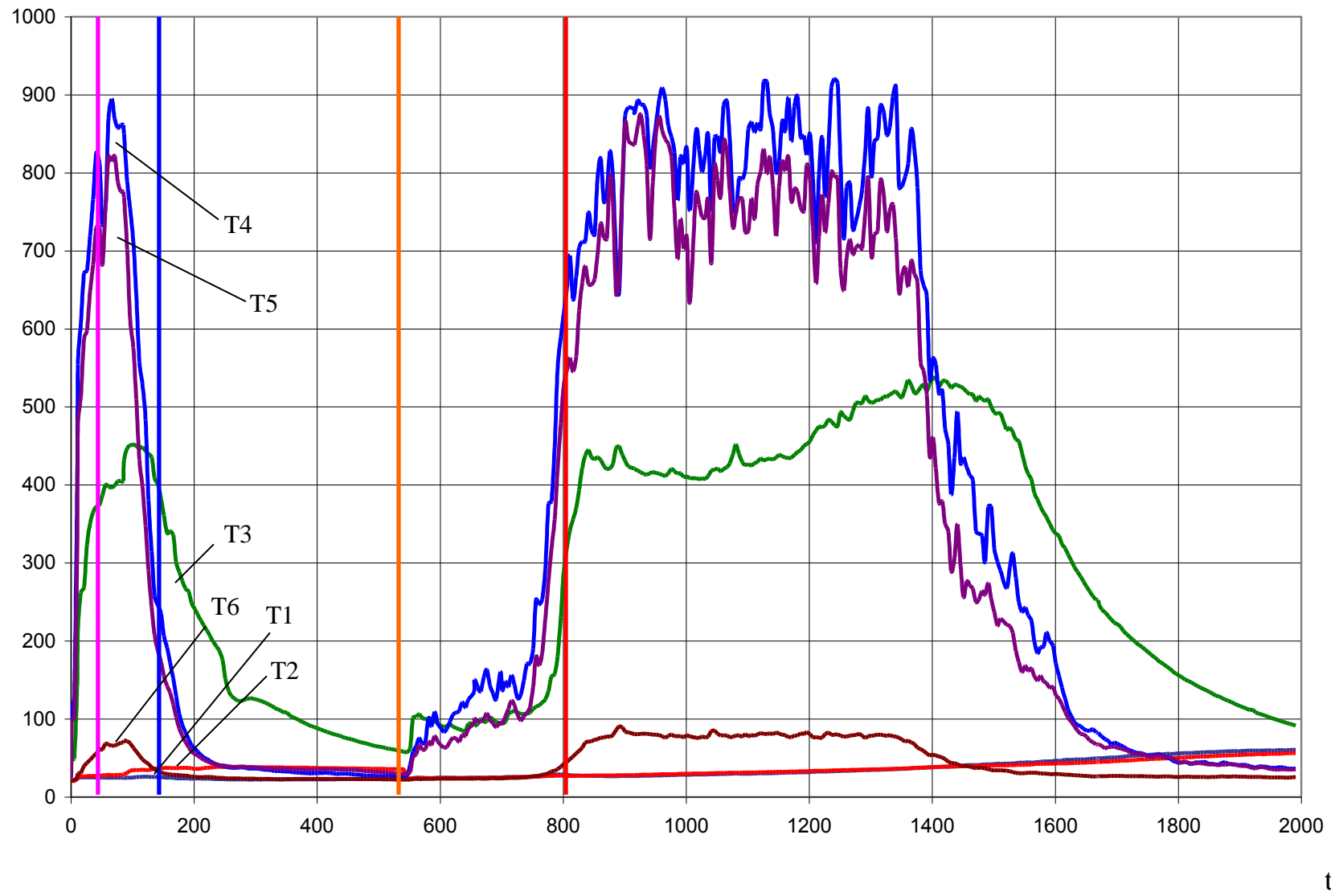


Рисунок 3.9 – Змінювання температури середовищ під час гасіння бензину марки “А-76” піною низької кратності, генерованою з робочого розчину піноутворювача “S.F.P.M. 6/6” у питній воді, за інтенсивності подавання робочого розчину $(0,041 \pm 0,001) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (дослід №1 згідно з таблицею 3.2)

Вертикальні риси на рисунках 3.6 - 3.8 відповідають (зліва направо) моментам початку подавання піни, припинення горіння, встановлення тигля повторного запалювання і настання стійкого горіння на всій поверхні модельного (макетного) вогнища, визначеного візуально. Зростання температури полум'я (покази термопар "Т₄" і "Т₅") до максимальних значень не у всіх випадках співпадає з моментом охоплення усієї поверхні пального постійним полум'ям, визначеного за допомогою датчиків теплового потоку, використання яких вважається найбільш об'єктивним методом визначення проміжку часу до повторного займання [8, 9].

Як видно з таблиці 3.3, гасіння бензину в усіх випадках досягалося у найбільші проміжки часу, а проміжок часу до повторного займання був найменшим. Натомість гасіння н-гептану та розчинника "Нефрас С-2-80/120" досягалося приблизно в однакові проміжки часу, величини проміжків часу до повторного займання також були близькими (рисунок 3.10).

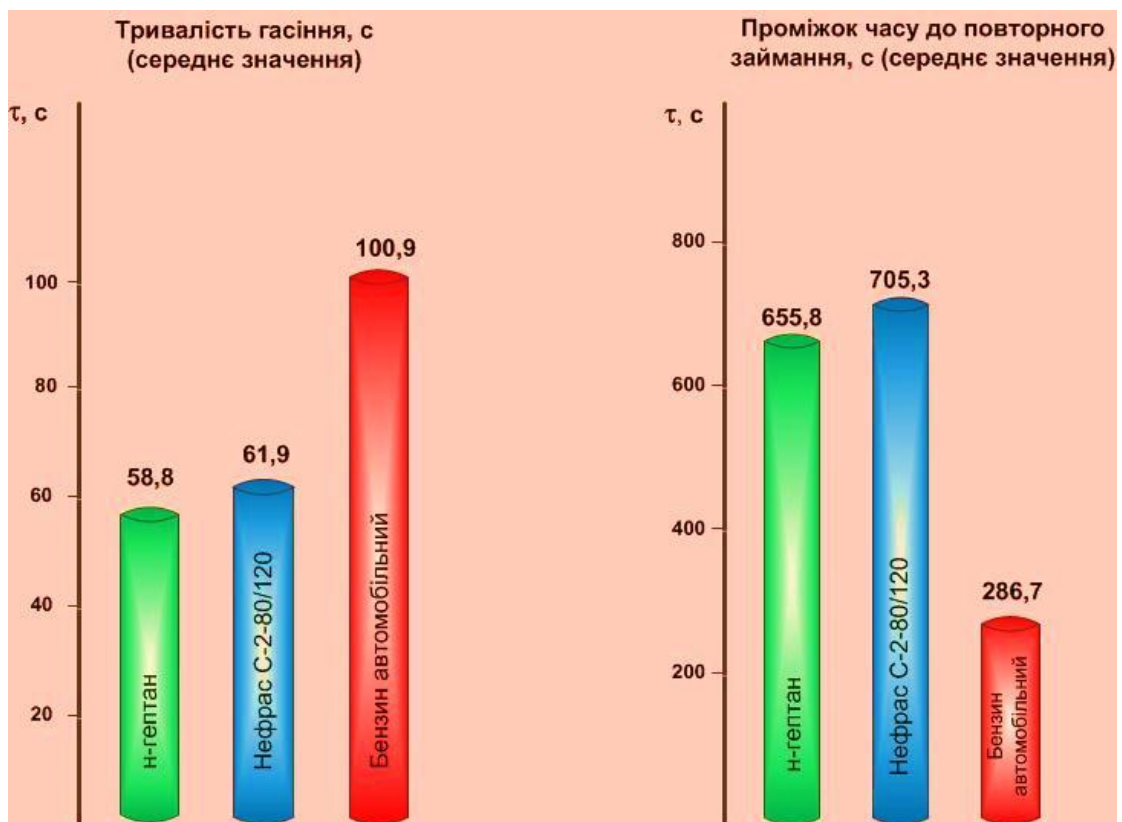


Рисунок 3.10 – Результати гасіння горючих рідин піною низької кратності, генерованої з робочого розчину піноутворювача S.F.P.M. 6/6

Різниця між значеннями цих показників, одержаними для різних видів пального, залежить від природи піноутворювача, розчинника, який використовується для приготування його робочих розчинів, а також інтенсивності та способу подавання піни. Найкраще різниця простежується під час гасіння піною, генерованою з робочих розчинів піноутворювача “Fluoropolydol”, за інтенсивності подавання $(0,029 + 0,001) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Як видно з одержаних результатів, припинення горіння н-гептану та розчинника “Нефрас С-2-80/120” досягається у проміжки часу приблизно від 120 с до 180 с, у той час як гасіння бензину марки “А-76” настає через тривалий час після припинення подавання піни. Проміжок часу до повторного займання найбільший у разі використання розчинника “Нефрас С-2-80/120”, а найменший – у разі використання бензину “А-76”.

Результати досліджень з визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння піною середньої кратності наведено у таблиці 3.4. З них видно, що гасіння н-гептану та розчинника “Нефрас С-2-80/120” досягається приблизно в однакові проміжки часу, натомість гасіння бензину потребує тривалішого подавання піни (рисунок 3.11). Якщо у разі застосування піноутворювача “Сніжок-1” гасіння розчинника “Нефрас С-2-80/120” за інтенсивності подавання робочого розчину $(0,022 \pm 0,001) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ наставало протягом нормованого проміжку часу, то гасіння бензину не досягалось.

Таблиця 3.4 – Результати досліджень з визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння піною середньої кратності

Назва піноутворювача	Пальне	Діаметр модельного вогнища пожежі, мм	№ досліду	Інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Тривалість гасіння, с		Критична інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	
					фактичні значення	середнє значення		
1	2	3	4	5	6	7	8	
“ПО-ЗНП”	н-гептан	$258,7 \pm 3,4$	1	$0,038 \pm 0,002$	56,0	56,3	$0,034 \pm 0,002$	
			2		62,4			
			3		50,6			
		$267,6 \pm 3,3$	1	$0,036^{+0,001}_{-0,002}$	158,2	140,7		
			2		127,6			
			3		136,4			
		$280,8 \pm 1,8$	1	$0,033^{+0,001}_{-0,002}$	не погашено	не погашено		
			2		не погашено			
			3		не погашено			
	“Нефрас С-2-80/120”	$258,7 \pm 3,4$	$258,7 \pm 3,4$	1	$0,038 \pm 0,002$	63,6		63,8
				2		65,8		
				3		62,0		
		$267,6 \pm 3,3$	$267,6 \pm 3,3$	1	$0,036^{+0,001}_{-0,002}$	159,4		149,2
				2		137,2		
				3		151,0		
		$280,8 \pm 1,8$	$280,8 \pm 1,8$	1	$0,033^{+0,001}_{-0,002}$	не погашено		не погашено
				2		не погашено		
				3		не погашено		
бензин “А-76”	$258,7 \pm 3,4$	$258,7 \pm 3,4$	1	$0,038 \pm 0,002$	121,2	118,9		
			2		116,6			
			3		118,8			

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	
“ПО-ЗНП”	бензин “А-76”	267,6 ± 3,3	1	0,036 ^{+0,001} _{-0,002}	не погашено	не погашено	0,037 ± 0,002	
			2		не погашено			
			3		не погашено			
“Сніжок-1”	“Нефрас С-2-80/120”	339,4 ± 2,1	1	0,022 ± 0,001	234,6	259,8	0,021 ± 0,001	
			2		278,0			
			3		266,8			
	358,2 ± 5,7	1	0,020 ± 0,001	не погашено	не погашено			
		2		не погашено				
		3		не погашено				
	бензин “А-76”	339,4 ± 2,1	1	0,022 ± 0,001	не погашено	не погашено		не визначали
			2		не погашено			
			3		не погашено			

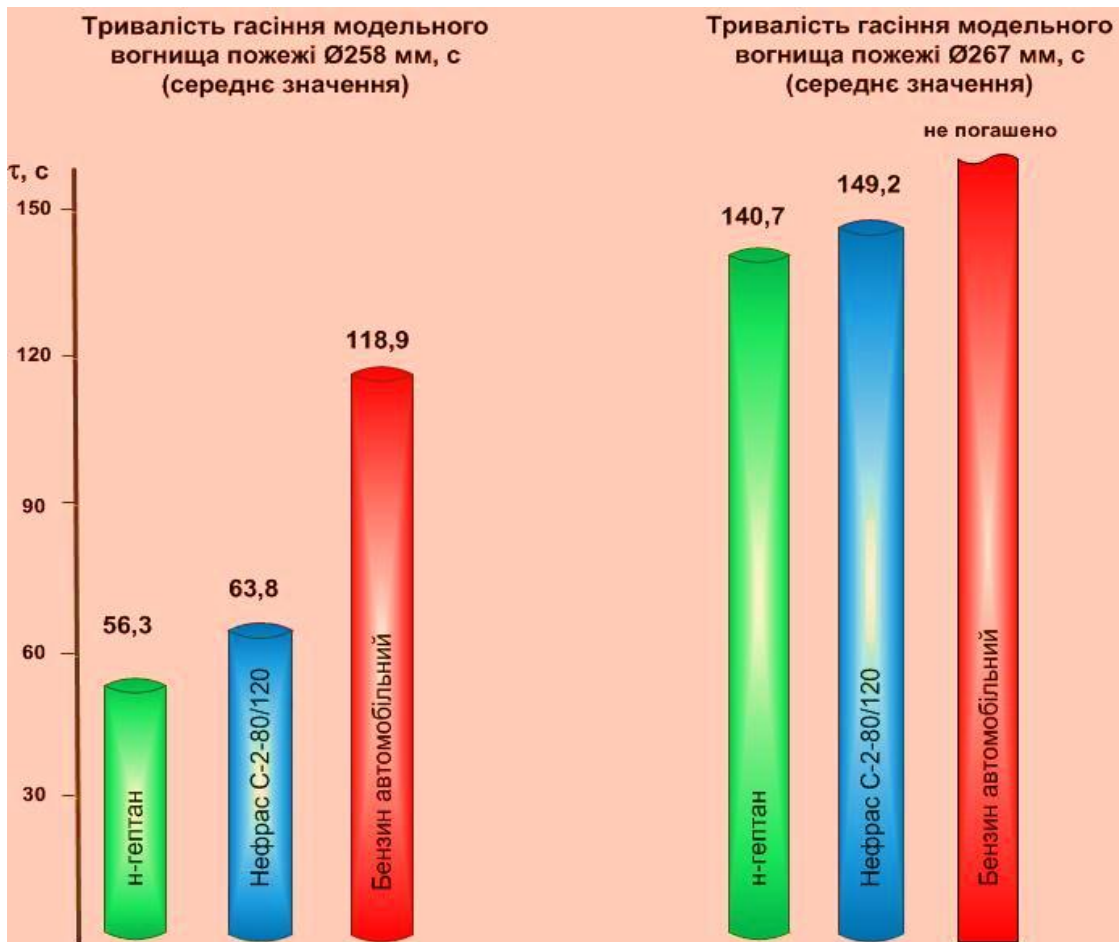


Рисунок 3.10 - Результати гасіння горючих рідин піною середньої кратності, генерованої з робочого розчину піноутворювача ПО-3НП

Результати досліджень з визначення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 55В піною середньої кратності за інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача ($0,038 \pm 0,004$) $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ і показника вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною середньої кратності наведено у таблиці 3.5. Для проведення досліджень використовували зразки піноутворювачів загального призначення для гасіння пожеж “ТЭАС” і “Ругосол В”. З одержаних результатів видно, що у разі використання розчинника “Нефрас С-2-80/120” гасіння модельного вогнища пожежі настає у менші проміжки часу, питома витрата робочого розчину на гасіння менша.

Результати досліджень з визначення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 144В піною низької кратності за інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача ($0,042 \pm 0,002$) $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, показника вогнегасної здатності за класом

пожежі В у разі гасіння піною низької кратності та часу повторного займання наведено у таблиці 3.6. Для проведення експериментів використовували зразки піноутворювачів спеціального призначення “Tridol 6 – 10°C” та “Orchidex AFFF 3 %” (рисунок 3.12).

Таблиця 3.5 – Результати досліджень з визначення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 55В піною середньої кратності за інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів “ТЭАС” ($0,038 \pm 0,004$) $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ і показника вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною середньої кратності

Назва піноутворювача	Пальне	№ досліду	Тривалість гасіння, с		Показник вогнегасної здатності, $\text{кг}/\text{м}^2$	
			фактичні значення	середнє значення	фактичні значення	середнє значення
“ТЭАС”	бензин “А-76”	1	63,4	65,1	2,46	2,54
		2	66,8		2,61	
	“Нефрас С-2-80/120”	1	50,4	48,6	1,94	1,90
		2	46,8		1,87	
“Ругоcool В”	бензин “А-76”	1	42,6	45,2	1,65	1,75
		2	47,8		1,84	
	“Нефрас С-2-80/120”	1	35,2	34,8	1,36	1,36
		2	34,4		1,35	

Таблиця 3.6 – Результати досліджень з визначення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі 144В піною низької кратності за інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів ($0,042 \pm 0,002$) $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, показника вогнегасної здатності за класом пожежі В у разі гасіння піною низької кратності і часу повторного займання

Назва піноутворювача	Пальне	№ досліду	Тривалість гасіння, с		Показник вогнегасної здатності, $\text{кг}/\text{м}^2$		Час повторного займання, с	
			фактичні значення	середнє значення	фактичні значення	середнє значення	фактичні значення	середнє значення
“Tridol 6 –10 °С”	бензин “А-76”	1	124,2	128,5	5,2	5,4	296,4	281,5
		2	132,8		5,6		266,6	
	“Нефрас С-2-80/120”	1	102,4	100,8	4,3	4,2	662,4	649,0
		2	99,2		4,1		635,6	
“Orchidex AFFF 3 %”	бензин “А-76”	1	102,4	99,5	4,3	4,2	512,6	521,8
		2	96,6		4,1		531,0	
	“Нефрас С-2-80/120”	1	76,2	79,1	3,2	3,3	717,2	707,8
		2	82,0		3,4		698,4	

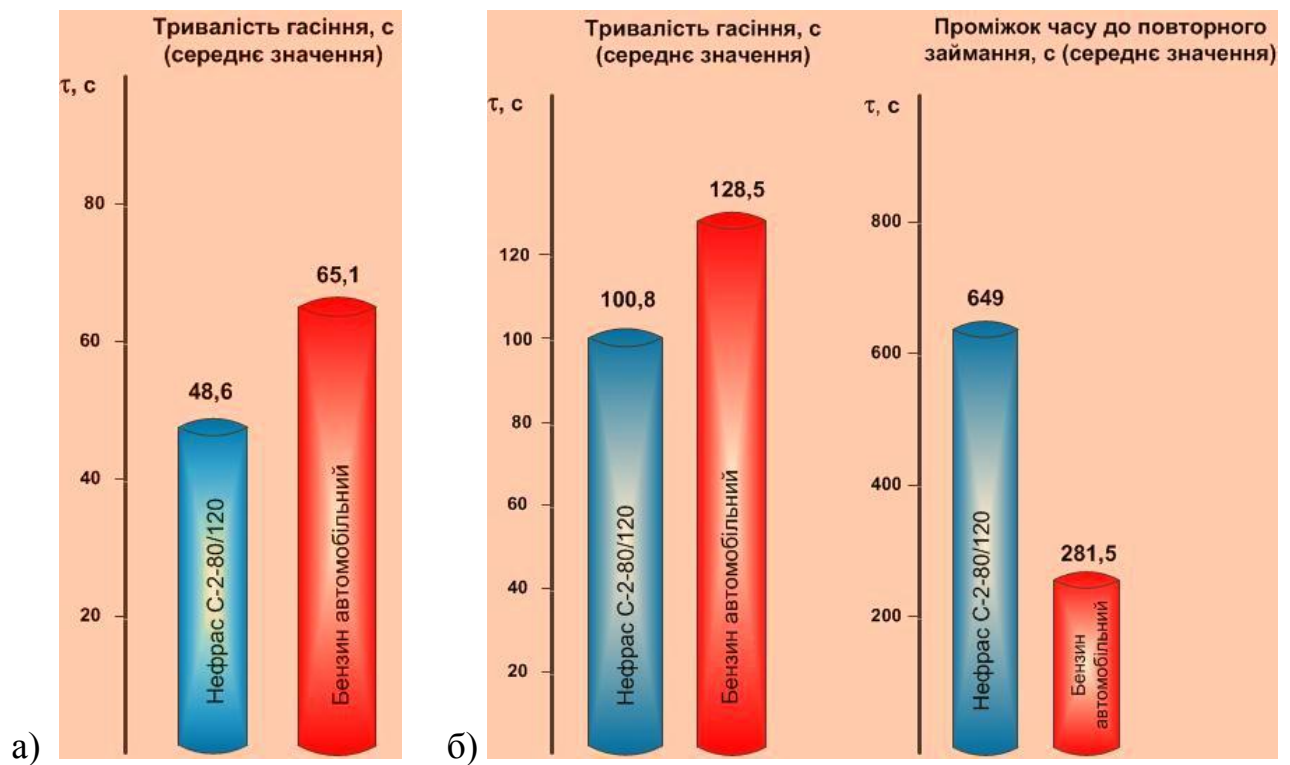


Рисунок 3.12 – Результати визначення тривалості гасіння: а) модельного вогнища пожежі 55В піною середньої кратності; б) модельного вогнища пожежі 144В піною низької кратності і проміжку часу до повторного займання

Як видно з одержаних даних, у разі використання як пального бензину марки “А-76” тривалість гасіння модельного вогнища пожежі і показник вогнегасної здатності за класом пожежі В мають більші значення, ніж у випадку використання як пального розчинника “Нефрас С-2-80/120”. Якщо як пальне використовується бензин “А-76”, то час повторного займання модельного вогнища 144В має значно менші значення.

Одержані результати порівнювали з даними, одержаними спеціалізованими лабораторіями під час класифікаційних випробувань згідно з EN 1568-3 [19]. Підтверджено, що вогнегасна ефективність піни низької кратності, генерованої з робочого розчину піноутворювача “Tridol 6 –10 °С”, відповідає I класу, а опір піни повторному займанню – рівню А у разі використання розчинника. Тривалість гасіння модельного вогнища пожежі 144В піною низької кратності, що подається “жорстким” способом, не перевищує 180 с, а проміжок часу до повторного займання більший за 600 с.

Результати досліджень, проведених з використанням розчинника “Нефрас С-2-80/120”, показали, що тривалість гасіння та час повторного займання мають такі значення, які повинні бути у разі випробувань піноутворювача з використанням як пального н-гептану. Непрямим підтвердженням цього є результати дослідів з визначення тривалості гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі класу В (пальне – н-гептан, “Нефрас С-2-80/120”) за інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача “S.F.P.M. 6/6” ($0,041 \pm 0,001$) $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ (таблиця 3.3).

Таким чином, вогнегасна ефективність та ізолювальна здатність піни, що приблизно однакові у разі використання як пального н-гептану та розчинника “Нефрас С-2-80/120”, нижчі у випадку використання як пального бензину марки “А-76”. Це справедливо для всіх досліджених піноутворювачів під час гасіння як піною низької кратності, так і піною середньої кратності. Інакше кажучи, бензин погасити важче, ніж н-гептан чи розчинник “Нефрас С-2-80/120”.

Враховуючи одержані результати, встановлені нормативними документами значення показників якості горючих рідин, які використовуються для випробувань (насамперед температурні межі їх википання (таблиця 1.1)), а також відсутність у нафтових розчинниках полярних добавок, можна зробити висновок про можливість використання розчинника “Нефрас С-2-80/120” чи інших рідин, що мають аналогічні властивості, як пального для проведення випробувань піноутворювачів замість н-гептану чи суміші аліфатичних вуглеводнів, яка відповідає вимогам [14-20]. Як вже відзначалося, хімічний склад різних зразків бензину автомобільного марки “А-76” може суттєво відрізнятися. Заміна його на нафтовий розчинник “Нефрас С-2-80/120” дасть змогу підвищити об’єктивність та відтворюваність результатів випробувань піноутворювачів для гасіння пожеж.

3.4 Висновки за розділом

1. Проведено дослідження режимів вільного горіння бензину автомобільного марки “А-76”, н-гептану та розчинника “Нефрас С-2-80/120” і встановлено, що швидкість вигорання бензину вища за швидкість вигорання двох

інших видів пального, під час його горіння розвивається більш висока температура. Швидкість вигорання н-гептану та розчинника “Нефрас С-2-80/120” мають близькі значення, температура полум’я і бортів дека вогнища пожежі під час їх горіння нижчі. Під час горіння розчинника “Нефрас С-2-80/120” і, особливо, н-гептану, щільність диму менша, ніж у процесі горіння бензину. Це пояснюється утворенням значної кількості сажі під час горіння ароматичних вуглеводнів, які у великій кількості містяться у бензині.

2. Досліджено вогнегасну ефективність та ізолювальну здатність піни низької кратності, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення різної природи, під час гасіння бензину марки “А-76”, н-гептану та розчинника “Нефрас С-2-80/120”. Виявлено, що гасіння бензину являє собою найбільш довготривалий процес, а його повторне займання після встановлення тигля повторного запалювання відбувається через найменші проміжки часу. Гасіння н-гептану відбувається протягом менших проміжків часу, ніж гасіння розчинника “Нефрас С-2-80/120”, а проміжки часу до повторного займання н-гептану мають приблизно такі ж або дещо менші значення, ніж у випадку названого розчинника. Це явище можна пояснити тим, що бензин-розчинник для гумової промисловості “Нефрас С-2-80/120” за своїми фізико-хімічними властивостями близький до н-гептану.

3. Проведено дослідження з визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів загального призначення у разі гасіння бензину марки “А-76”, н-гептану та розчинника “Нефрас С-2-80/120” піною середньої кратності. Встановлено, що вогнегасна ефективність піни середньої кратності під час гасіння двох останніх видів пального майже однакова, тривалість гасіння і критична інтенсивність подавання робочих розчинів піноутворювачів мають практично однакові значення. Натомість гасіння бензину, що знаходиться у деку модельного (макетного) вогнища пожежі такого ж діаметра, потребує подавання піни протягом більшого проміжку часу, критична інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача збільшується.

4. Результати досліджень з гасіння модельних вогнищ пожежі 55В і 144В (пальне – бензин марки “А-76” та “Нефрас С-2-80/120”) підтвердили висновки про порівняльну вогнегасну ефективність та ізолювальну здатність піни під час їх гасіння. Тривалість гасіння і час повторного займання модельного вогнища пожежі 144В у разі використання як пального розчинника “Нефрас С-2-80/120” відповідають тим значенням, які, відповідно до міжнародної класифікації дослідженого піноутворювача, повинні бути одержані під час його випробувань з використанням пального, яке відповідає вимогам відповідних міжнародних та європейських стандартів.

5. На підставі аналізування одержаних результатів підтверджено можливість використання горючої рідини з такими показниками якості як “Нефрас С-2-80/120” замість бензину марки “А-76” під час випробувань піноутворювачів. Це дасть змогу підвищити рівень достовірності одержаних даних. Така горюча рідина може бути запропонована як альтернатива пальному, яке використовується під час випробувань піноутворювачів згідно з вимогами відповідних міжнародних та європейських стандартів.

РОЗДІЛ 4 ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ВИПРОБУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ І ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ОБ'ЄКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ

Під час досліджень приймали, що підвищення достовірності результатів випробувань піноутворювачів для гасіння пожеж можна досягти за рахунок покращення метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки та зменшення похибки зчитування їх показів, більш точного визначення метрологічних характеристик випробувального обладнання, а також (за необхідності) збільшення кількості повторних дослідів. Для оцінювання довірчих границь похибки (невизначеності) результатів визначення показників якості, а також впливу окремих складових на їх величини, користувалися класичними методами, регламентованими [99-102].

4.1 Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів прямих вимірювань

Нормативними документами регламентовано ряд фізико-хімічних характеристик та інших показників якості піноутворювачів, які визначаються шляхом прямих вимірювань. До них належать густина, температура застигання, водневий показник концентрованого піноутворювача та (або) його 1 % водного розчину, показник змочувальної здатності, а також тривалість гасіння модельних (макетних) вогнищ пожежі класів А і В згідно з ДСТУ EN 2 [5] і проміжок часу до повторного займання. Достовірність результатів їх визначення залежить як від точності засобів вимірювальної техніки, так і від належної організації дослідів. Нижче розглянуто питання визначення цих показників якості.

Виявлення шляхів підвищення достовірності результатів визначення густини

Методика визначення густини згідно з ГОСТ 18995.1 [103] полягає у візуальному зчитуванні позначки шкали градуйованого ареометра, зануреного у пробу піноутворювача. За результат випробування приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних вимірювань, допустиме розходження

(границя збіжності) між якими за довірчої імовірності $P=0,95$ не повинне перевищувати 1 кг/м^3 . Вимоги до ареометрів, які використовуються під час досліджень та випробувань, встановлюються ГОСТ 18481 [104]. Користувались ареометрами з ціною поділки 1 кг/м^3 .

Прийняття за результат визначення густини зразка піноутворювача середнього арифметичного результатів двох паралельних вимірювань фактично означає, що проводиться однократне вимірювання цієї величини. Повторне вимірювання у таких випадках проводять, аби переконатися у відсутності випадкової грубої похибки під час першого вимірювання. Достовірність результату визначення густини фактично залежить від ціни поділки ареометра, точності зчитування його показів, а також правильності його калібрування. Під час калібрування ареометра використовують рідини з точно відомими значеннями густини і визначають розбіжність між цими значеннями та показами ареометра. Величини розбіжності заносять у спеціальні таблиці, які складають під час калібрування цих приладів.

Величину довірчих границь похибки результату вимірювання густини (однократних вимірювань) слід оцінювати відповідно до МИ 1552 [99], невизначеність результату – за РМГ 43 [102]. Підвищення достовірності результатів визначення густини піноутворювачів може бути актуальним для його виробників (постачальників), якщо розмір партії вогнегасної речовини, яка має бути відпущеною, визначено у кілограмах, а відвантаження у тару споживача здійснюється за показами лічильника об'єму рідини.

Виявлення шляхів підвищення достовірності результатів визначення температури застигання

В основу методу визначення температури застигання згідно з ГОСТ 18995.5 [105] покладено спостереження за температурною зупинкою, яка відбувається під час застигання проби, пробірку з якою занурено в охолоджувальну баню. Ціна поділки термометра, що використовується під час випробувань, дорівнює $0,1^\circ\text{C}$. За результат випробування приймають середнє арифметичне результатів не менш ніж трьох паралельних визначень, допустиме розходження (границя збіжності)

між якими за довірчої імовірності $P = 0,95$ не повинне перевищувати 5 % від середнього арифметичного значення.

Як видно, у цьому випадку мають місце багатократні прямі вимірювання, тобто довірчі границі похибки їх результату слід розраховувати відповідно до ДСТУ ГОСТ 8.207 [100]. Першочерговим заходом щодо підвищення достовірності результатів визначення температури застигання може бути збільшення кількості повторних дослідів (у тому випадку, коли між їх результатами є розбіжність). Така необхідність може виникнути у разі сумнівів у правильності одержаних результатів або у тих випадках, коли виникає сумнів щодо відповідності цього показника встановленим вимогам (якщо його дійсне значення практично співпадає з гранично допустимим).

Виявлення шляхів підвищення достовірності результатів визначення водневого показника

Методика визначення водневого показника згідно з ДСТУ 2207.1 [96] полягає у вимірюванні різниці потенціалів скляного електрода та електрода порівняння, які занурено у досліджуваній розчин. Значення водневого показника фіксують за показами рН-метра, шкалу якого градуйовано в одиницях рН. За результат випробування приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних вимірювань, допустиме розходження (границя збіжності) між якими за довірчої імовірності $P = 0,95$ не повинне перевищувати 0,1 одиниці рН.

Повторне вимірювання рН має за мету пересвідчитись у правильності результату, одержаного під час першого досліді, тобто розрахунок довірчих границь похибки слід здійснювати згідно з МИ 1552 [99]. Першочерговим заходом щодо підвищення достовірності результатів визначення водневого показника є використання рН-метра, що забезпечує більшу точність вимірювання (у разі використання приладу зі стрілочним індикатором – також з меншою ціною поділки).

Виявлення шляхів підвищення достовірності результатів визначення показника змочувальної здатності

Методика визначення показника змочувальної здатності згідно з ДСТУ 3789 [2] полягає у визначенні проміжку часу, який потрібен для просочування

гідрофобної тканини водним розчином піноутворювача. З метою визначення показника змочувальної здатності готують водний розчин піноутворювача заданої концентрації і температури, відбирають заданий об'єм проби у мензурку, після чого виливають у випробувальний пристрій. За допомогою секундоміра з ціною поділки 0,2 с вимірюють проміжок часу просочування гідрофобної тканини як інтервал від моменту виливання проби водного розчину у прилад до появи першої краплини. За результат випробування приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, допустиме розходження (границя збіжності) між якими за довірчої імовірності $P = 0,95$ не повинне перевищувати 1 с.

У цьому випадку фактично має місце пряме однократне вимірювання, розрахунок довірчих границь похибки результатів якого слід проводити відповідно до МИ 1552 [99]. Разом з тим, складових похибки більше, ніж під час визначення згаданих вище фізико-хімічних величин. До них належать як неточність секундоміра і похибка зчитування його показів, так і реакція оператора під час включення (момент виливання проби у прилад) і виключення секундоміра (момент появи першої краплини). Відповідно до [106], завдяки реакції оператора неточність вимірювання часу може сягати $\pm 0,3$ с (як під час ввімкнення, так і під час вимкнення секундоміра). Крім того, процес виливання проби з мензурки у прилад, а також процес руху краплини від нижньої поверхні гідрофобної тканини до низу стоку тривають певний проміжок часу.

Підвищення точності секундоміра фактично не вплине на достовірність результату визначення показника змочувальної здатності, більш точне вимірювання проміжку часу просочування гідрофобної тканини можливе насамперед завдяки використанню електронних приладів-реєстраторів.

Виявлення шляхів підвищення достовірності результатів визначення тривалості гасіння і проміжку часу до повторного займання

Тривалість гасіння модельних (макетних) вогнищ, а також проміжок часу до їх повторного займання визначаються прямими вимірюваннями. Залежно від методики, ці показники визначаються два або три рази, тобто розрахунок довірчих границь похибки результатів їх визначення слід здійснювати відповідно

до МИ 1552 [99] або ДСТУ ГОСТ 8.207 [100], а невизначеність результатів випробувань – згідно з РМГ 43 [102]. У разі проведення двох паралельних дослідів, мету випробування слід розглядати як визначення можливості гасіння відповідного модельного вогнища пожежі у нормований проміжок часу, а також здатності піни чинити опір повторному займанню протягом нормованого проміжку часу. Як правило, складові невизначеності (похибки) результатів визначення цих показників за абсолютною величиною суттєво менші за виміряні значення тривалості гасіння та проміжку часу до повторного займання.

Під час визначення проміжку часу до повторного займання вимірюють проміжок часу від моменту встановлення тигля повторного запалювання до покриття усієї поверхні модельного (макетного) вогнища пожежі стійким полум'ям. Відповідно до [4], цей показник якості визначають візуально, натомість стандарти [14-20] передбачають як візуальне спостереження, так і визначення шляхом вимірювання теплового потоку, що надходить від модельного вогнища пожежі. Цей метод забезпечує більш точне визначення проміжку часу до повторного займання.

У разі проведення декількох повторних дослідів, які проводять під час досліджень з визначення критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів, підвищення достовірності результатів може досягатися насамперед завдяки збільшенню кількості цих дослідів.

4.2 Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів непрямих вимірювань

Значна кількість показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж (масова частка осаду, кінематична в'язкість, кратність і стійкість піни низької, середньої та високої кратності, критична інтенсивність подавання їх робочих розчинів, показник вогнегасної здатності, поверхневий, міжфазовий натяг і показник розтікання, корозійна активність) визначаються шляхом проведення непрямих вимірювань. На достовірність результатів їх визначення впливають ряд чинників. Оцінювання довірчих границь похибки результатів визначення цих

показників якості слід здійснювати залежно від специфіки методу випробувань. Тому для забезпечення можливості підвищення достовірності результатів визначення кожного з них необхідно розробити процедури розрахунку довірчих границь похибки (невизначеності) результатів визначення цих показників і з'ясувати, що саме найбільшою мірою впливає на достовірність результатів випробувань. Нижче проаналізовано можливість і необхідність підвищення достовірності результатів визначення кожного з цих показників якості окремо (розглянуто головним чином довірчі границі похибки).

4.2.1 Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення масової частки осаду

Метод випробування полягає у визначенні маси осаду, який залишається у пробірці, до якої було залито наважку піноутворювача, після її центрифугування і декантації рідини.

Масова частка осаду розраховується за формулою

$$M_{oc} = \frac{m_1 - m_2}{m_3 - m_2} \cdot 100\% , \quad (4.1)$$

де m_1 – маса пробірки з осадом, кг;

m_2 – маса порожньої пробірки, кг;

m_3 – маса пробірки з пробєю піноутворювача, кг.

Випробування проводять після витримання досліджуваної проби піноутворювача протягом 24 годин за температури $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ (без термодії) і після її витримання протягом 24 годин за температури $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$ (після термодії).

За результат визначення приймають середнє арифметичне чотирьох повторних дослідів, допустиме розходження (границя збіжності) між якими за довірчої імовірності $P = 0,95$ не повинне перевищувати 10 % від середнього арифметичного значення. Підвищення достовірності результатів випробувань з визначення масової частки осаду може виникнути у тому разі, якщо одержані результати не дають змогу визначити відповідність вогнегасної речовини

встановленим вимогам, під час арбітражних випробувань та у деяких інших випадках.

Розрахунок довірчих границь похибки результатів випробувань з визначення масової частки осаду у піноутворювачах проводили згідно з МИ 2083 [101] і ДСТУ ГОСТ 8.207 [100].

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результатів випробувань з визначення масової частки осаду, %, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_{M_{oc}}(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial M_{oc}}{\partial m_1}\right)^2 \cdot \theta_{m_1}^2(P) + \left(\frac{\partial M_{oc}}{\partial m_2}\right)^2 \cdot \theta_{m_2}^2(P) + \left(\frac{\partial M_{oc}}{\partial m_3}\right)^2 \cdot \theta_{m_3}^2(P)} \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

де $\theta_{m_1}(P)$ – довірчі границі похибки результату зважування пробірки з осадом, кг;

$\theta_{m_2}(P)$ – довірчі границі похибки результату зважування порожньої пробірки, кг;

$\theta_{m_3}(P)$ – довірчі границі похибки результату зважування пробірки з пробєю піноутворювача, кг.

Оскільки зважування пробірок здійснюється за допомогою одних і тих самих вагів, $\theta_{m_1}(P) = \theta_{m_2}(P) = \theta_{m_3}(P) = \theta_m$. З урахуванням цього:

$$\theta_{M_{oc}}(P) = \pm 1,1 \cdot \frac{\theta_m(P)}{m_3 - m_2} \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 - 2 \cdot m_1 \cdot (m_2 + m_3)}{(m_3 - m_2)^2}} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

де $\theta_m(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зважування, г;

m_1 – маса пробірки з осадом, кг;

m_2 – маса порожньої пробірки, кг;

m_3 – маса пробірки з пробєю піноутворювача, кг.

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зважування порожніх пробірок, пробірок з осадом, а також пробірок з пробами піноутворювачів, кг, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_m(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\theta_{m_1}^2(P) + \theta_{m_2}^2(P)}, \quad (4.4)$$

де $\theta_{m_1}(P)$ – довірчі границі допустимої похибки вагів, які зазвичай дорівнюють ціні їх поділки, кг;

$\theta_{m_2}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки зчитування показів вагів, які дорівнюють половині ціни їх поділки, кг.

У разі використання вагів з цифровим індикатором прийнято $\theta_{m_2}(P) = 0$.

Довірчі границі випадкової похибки результатів визначення масової частки осаду, %, розраховано за формулою

$$\varepsilon_{M_{oc}}(P) = \pm t(\gamma; P) \cdot S(\overline{M_{oc}}), \quad (4.5)$$

де $t(\gamma; P)$ – квантіль розподілу Ст'юдента, що залежить від довірчої імовірності та кількості ступенів свободи і приймається згідно з [100];

$S(\overline{M_{oc}})$ – середнє квадратичне відхилення результатів визначення масової частки осаду, %.

Середнє квадратичне відхилення результатів визначення масової частки осаду, %, розраховано за формулою

$$S(\overline{M_{oc}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_{oc_i} - \overline{M_{oc}})^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad (4.6)$$

де M_{oc_i} – результат i -го дослідів, %;

$\overline{M_{oc}}$ – середнє арифметичне результатів паралельних дослідів, %;

n – кількість паралельних дослідів.

- якщо $\frac{\theta_{M_{oc}}(P)}{S(M_{oc})} > 8$, то за довірчі границі похибки результату визначення

масової частки осаду приймаємо $\theta_{M_{oc}}(P)$;

- якщо $\frac{\theta_{M_{oc}}(P)}{S(M_{oc})} < 0,8$, то за довірчі границі похибки результату визначення

масової частки осаду приймаємо $\varepsilon_{M_{oc}}(P)$;

- якщо $0,8 \leq \frac{\theta_{M_{oc}}(P)}{S(M_{oc})} \leq 8$, то довірчі границі похибки результату визначення

масової частки осаду $\Delta_{M_{oc}}(P)$ розраховано за формулою

$$\Delta_{M_{oc}}(P) = \pm k \cdot [\theta_{M_{oc}}(P) + \varepsilon_{M_{oc}}(P)], \quad (4.7)$$

де k – коефіцієнт, який розраховано за формулою (4.8).

$$k = \frac{\theta(P) + \varepsilon(P)}{S(\bar{A}) + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2(P)}{3}}} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2(P)}{3} + S(\bar{A})}, \quad (4.8)$$

де $\theta(P)$ – довірчі границі сумарної невилученої систематичної похибки результату визначення фізичної величини;

$\theta_i(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення i -ї величини, вимірювання якої необхідне для визначення фізичної величини;

m – кількість i -х величин;

$\varepsilon(P)$ – довірчі границі випадкової похибки результату визначення величини;

$S(\bar{A})$ – середнє квадратичне відхилення результатів дослідів з визначення величини.

Розрахунок невизначеності результатів випробувань з визначення масової частки осаду проводили згідно з РМГ 43 [102]. Стандартну невизначеність результату випробувань з визначення масової частки осаду за типом А не розраховано через малу кількість повторних дослідів.

Стандартну невизначеність результатів випробування з визначення масової частки осаду за типом В, %, розраховано за формулою

$$u_B(M_{oc}) = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial M_{oc}}{\partial m_1}\right)^2 \cdot u_B^2(m_1) + \left(\frac{\partial M_{oc}}{\partial m_2}\right)^2 \cdot u_B^2(m_2) + \left(\frac{\partial M_{oc}}{\partial m_3}\right)^2 \cdot u_B^2(m_3)} \cdot 100\%, \quad (4.9)$$

де $u_B(m_1)$ – невизначеність за типом В результату зважування пробірки з осадом, кг;

$u_{B2}(m_2)$ – невизначеність за типом В результату зважування порожньої пробірки, кг;

$u_{B3}(m_3)$ – невизначеність за типом В результату зважування пробірки з пробою піноутворювача, кг.

Оскільки зважування пробірок здійснюється за допомогою одних і тих самих вагів, $u_B(m_1) = u_B(m_2) = u_B(m_3) = u_B(m)$. З урахуванням цього:

$$u_B(M_{oc}) = \pm \frac{u_B(m)}{m_3 - m_2} \cdot \sqrt{1 + \frac{2 \cdot m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 - 2 \cdot m_1 \cdot (m_2 + m_3)}{(m_3 - m_2)^2}} \cdot 100\%, \quad (4.10)$$

де $u_B(m)$ – невизначеність результату зважування, кг;

m_1 – маса пробірки з осадом, кг;

m_2 – маса порожньої пробірки, кг;

m_3 – маса пробірки з пробою піноутворювача, кг.

Невизначеність результату зважування за типом В порожніх пробірок, пробірок з осадом, а також пробірок з пробами піноутворювачів, кг, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$u_B(m) = \pm \sqrt{u_{B_1}^2(m) + u_{B_2}^2(m)}, \quad (4.11)$$

де $u_{B_1}(m)$ – невизначеність за типом В результату зважування, зумовлена неточністю вагів, кг;

$u_{B_2}(m)$ – невизначеність за типом В результату зважування, зумовлена неточністю зчитування показів вагів, кг.

Невизначеність за типом В результату зважування, зумовлену неточністю вагів, кг, розраховано за формулою

$$u_{B_1}(m) = \frac{\theta_1(m)}{\sqrt{3}}, \quad (4.12)$$

де $\theta_1(m)$ – відхилення результату зважування, що дорівнює ціні поділки вагів, кг.

Невизначеність за типом В результату зважування, кг, зумовлену неточністю зчитування показів вагів, розраховано за формулою

$$u_{B_2}(m) = \frac{\theta_2(m)}{\sqrt{3}}, \quad (4.13)$$

де $\theta_2(m)$ – відхилення результату зважування, що дорівнює половині ціни поділки вагів, кг.

У разі використання вагів з цифровим індикатором прийнято $\theta_2(m) = 0$.

Розширену невизначеність результатів випробувань з визначення масової частки осаду, %, розраховано за формулою

$$U(M_{oc}) = \pm k \cdot u_B(M_{oc}), \quad (4.14)$$

де $u_B(M_{oc})$ – стандартна невизначеність за типом В результату випробувань з визначення масової частки осаду, %;

k – коефіцієнт охоплення.

Для розрахунків розширеної невизначеності приймали найбільше значення стандартної невизначеності за типом В результатів паралельних дослідів з визначення масової частки осаду. За довірчої імовірності $P = 0,95$ та нормального розподілу приймали $k = 2$.

Як видно з формул (4.3) і (4.10), достовірність результатів випробувань з визначення масової частки осаду залежить від точності вагів. Для прикладу

розглянуто вплив величини $\theta_m(P)$ на величину довірчих границь похибки результату визначення масової частки осаду у зразку піноутворювача.

Під час випробування з визначення масової частки осаду у зразку піноутворювача загального призначення після термодії використовували ваги зі стрілочним індикатором, ціною поділки 0,01 г і похибкою зважування $\pm 0,01$ г. В результаті випробування було одержано такі результати (для зручності масу вказано у грамах):

№ пробірки	m_1 , Г	m_2 , Г	m_3 , Г
1	23,22	23,14	48,00
2	23,34	23,25	48,00
3	23,72	23,62	48,00
4	23,57	23,48	48,00

Згідно з розрахунками $\overline{M_{oc}} = 0,37\%$, $\theta_m(P) = \pm 0,013$ г, а $\theta_{M_{oc}}(P) = \pm 0,08\%$ в усіх дослідах. Іншими словами, довірчі границі похибки результату визначення масової частки осаду у цьому випадку дорівнюють 22 % від її величини, або $\pm 0,08\%$ (мас). Під час випробувань з визначення масової частки осаду, значення якої не повинне перевищувати 0,25 % без термодії і 1,00 % після термодії, подібна величина довірчих границь похибки результату визначення може бути неприйнятною. З наведених вище формул видно, що для підвищення достовірності результатів визначення масової частки осаду необхідно перш за все збільшувати точність вагів. Збільшення їх точності в 2 рази дасть змогу зменшити величину довірчих границь похибки результату визначення масової частки удвічі.

4.2.2 Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення кінематичної в'язкості

Метод випробування полягає у визначенні тривалості протікання термостатованої проби піноутворювача між мітками "M₁" та "M₂" попередньо повіреного віскозиметра (рисунок 4.1) під впливом сили тяжіння, і розрахунку кінематичної в'язкості, мм²/с, за формулою

$$\gamma = C \cdot \tau, \quad (4.15)$$

де C – константа віскозиметра, яку визначають під час його повірки, $\text{мм}^2/\text{с}^2$;
 τ – тривалість протікання проби між мітками віскозиметра, с.

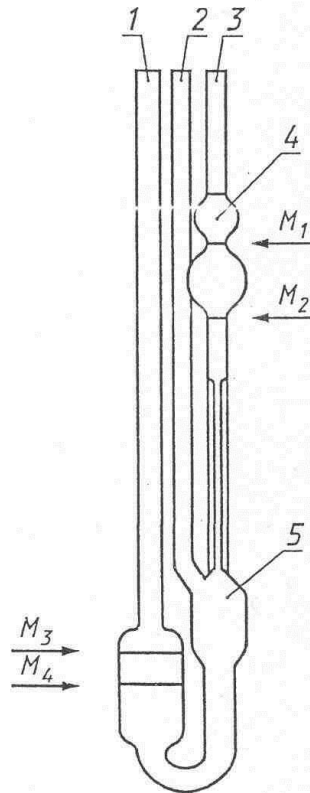


Рисунок 4.1 – Віскозиметр типу “ВПЖ-1”: 1, 2, 3 – трубки; 4, 5 – резервуари

За результат визначення приймають середнє арифметичне результатів не менш ніж трьох повторних дослідів, допустиме розходження (границя збіжності) між якими за довірчої імовірності $P = 0,95$ не повинне перевищувати 0,2 % від середнього арифметичного значення.

Розрахунок довірчих границь похибки результатів визначення тривалості протікання проби крізь капіляр віскозиметра проводили згідно з ДСТУ ГОСТ 8.207 [100], а розрахунок довірчих границь похибки результатів випробувань з визначення кінематичної в’язкості – згідно з МИ 2083 [101].

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результатів визначення тривалості протікання проби крізь капіляр віскозиметра, с, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_{\tau}(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\theta_{\tau_1}^2(P) + \theta_{\tau_2}^2(P) + \theta_{\tau_3}^2(P) + \theta_{\tau_4}^2(P)} \quad (4.16)$$

де $\theta_{\tau_1}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання часу за допомогою секундоміра, зумовленої його неточністю, с;

$\theta_{\tau_2}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зчитування показів секундоміра, які дорівнюють половині ціни його поділки, с;

$\theta_{\tau_3}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання часу, зумовленої реакцією оператора під час включення секундоміра, с;

$\theta_{\tau_4}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання часу, зумовленої реакцією оператора під час виключення секундоміра, с.

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання часу за допомогою секундоміра, зумовленої його неточністю, с, розраховано за формулою (4.17), якщо виміряне значення не перевищує 60 с, і за формулою (4.18), якщо воно перевищує 60 с.

$$\theta_{\tau_1}(P) = \pm \frac{2 \cdot t}{60} \cdot \tau_{\text{вим.}}, \quad (4.17)$$

$$\theta_{\tau_1}(P) = \pm \left(2 \cdot t + \frac{1,5}{3540} \cdot (\tau_{\text{вим.}} - 60) \right), \quad (4.18)$$

де t – ціна поділки секундоміра, с;

$\tau_{\text{вим.}}$ – виміряне значення часу, с.

Згідно з літературними даними [106], реакція оператора не перевищує $\pm 0,3$ с, тобто $\theta_{\tau_3}(P) = \theta_{\tau_4}(P) = \pm 0,3$ с.

Довірчі границі випадкової похибки результату визначення тривалості протікання проби крізь капіляр віскозиметра, с, розраховано за формулою

$$\varepsilon_{\tau}(P) = \pm t(\gamma; P) \cdot S(\bar{\tau}), \quad (4.19)$$

де $t(\gamma; P)$ – квантіль розподілу Ст'юдента, що залежить від довірчої імовірності та кількості ступенів свободи;

$S(\bar{t})$ – середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання тривалості протікання проби крізь капіляр віскозиметра, с.

Середнє квадратичне відхилення результатів вимірювання тривалості протікання проби крізь капіляр віскозиметра, а також довірчі границі похибки результату визначення тривалості протікання проби крізь капіляр віскозиметра, розраховано згідно з процедурою, описаною у 4.2.1.

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення кінематичної в'язкості, $\text{мм}^2/\text{с}$, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_v(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial C}\right)^2 \cdot \Delta_C^2(P) + \left(\frac{\partial v}{\partial \tau}\right)^2 \cdot \Delta_{\tau}^2(P)} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\tau^2 \cdot \Delta_C^2(P) + C^2 \cdot \Delta_{\tau}^2(P)}, \quad (4.20)$$

де τ – тривалість протікання проби між мітками віскозиметра, с;

C – константа віскозиметра, що визначається під час його повірки, $\text{мм}^2/\text{с}^2$;

$\Delta_C(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення константи віскозиметра під час його повірки, $\text{мм}^2/\text{с}^2$;

$\Delta_{\tau}(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення тривалості протікання проби між мітками віскозиметра, с.

Здійсненням аналогічних перетворень, отримано вираз для розрахунку розширеної невизначеності результату визначення кінематичної в'язкості:

$$U(v) = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial C}\right)^2 \cdot U^2(C) + \left(\frac{\partial v}{\partial \tau}\right)^2 \cdot U^2(\tau)} = \pm \sqrt{\tau^2 \cdot U^2(C) + C^2 \cdot U^2(\tau)}, \quad (4.21)$$

- де τ – тривалість протікання проби між мітками віскозиметра, с;
 C – константа віскозиметра, що визначається під час його повірки, мм²/с²;
 $U(C)$ – розширена невизначеність результату визначення константи віскозиметра під час його повірки, мм²/с²;
 $U(\tau)$ – розширена невизначеність результатів випробувань з визначення тривалості протікання проби крізь капіляр віскозиметра, с.

Як видно з формул (4.20), (4.21), для підвищення достовірності результатів визначення кінематичної в'язкості необхідно вживати заходів щодо підвищення точності визначення тривалості протікання проби піноутворювача між мітками віскозиметра, а також достовірності результату визначення константи віскозиметра під час його повірки. Підвищення достовірності результату визначення тривалості протікання проби піноутворювача між мітками віскозиметра може бути досягнуто за рахунок збільшення кількості повторних дослідів.

Окрім того, визначення кінематичної в'язкості рідини передбачає встановлення віскозиметра у вертикальному положенні: що більше відхилення віскозиметра від вертикального положення, то більше похибка результату визначення тривалості протікання проби між його мітками і, як наслідок, кінематичної в'язкості.

З результатів, наведених у 4.2.1 і 4.2.2, видно, що для виявлення впливу окремих параметрів на достовірність результатів випробувань з визначення показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж достатньо оцінити їх вплив на величину довірчих границь невилученої систематичної похибки або невизначеності за типом В результату визначення відповідного показника. Крім того, збільшення кількості повторних дослідів дає змогу зменшити величину випадкової похибки (невизначеності за типом А) результату визначення показника якості.

4.2.3 Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення кратності і стійкості піни низької та середньої кратності

Для визначення кратності піни низької кратності робочий розчин піноутворювача подають під тиском на ствол-генератор піни низької кратності, а генеровану піну спрямовують у піноприймач, звідки її порцію відбирають у пінозбирач місткістю 1,6 дм³. Пінозбирач разом з підставкою для його встановлення і мірним циліндром зважують спочатку у порожньому стані, а потім після заповнення піною. За різницею мас визначають масу розчину, який витрачено на утворення піни і, знаючи місткість пінозбирача, розраховують кратність піни.

Кратність піни розраховується за формулою

$$K = \frac{V_n \cdot \rho_p}{m_1 - m_2}, \quad (4.22)$$

де V_n – об'єм піни, що відповідає внутрішньому об'єму пінозбирача, дм³;

ρ_p – густина робочого розчину, яку приймають такою, що дорівнює 1,000 кг/дм³;

m_1 – сумарна маса рами, циліндра і пінозбирача з піною, кг;

m_2 – сумарна маса рами, циліндра і порожнього пінозбирача, кг.

Показник стійкості піни визначається проміжком часу, за який з піни витікає 25 % від об'єму водного розчину, витраченого на утворення піни. З метою визначення цього показника в момент заповнення пінозбирача піною вмикають секундомір і фіксують проміжок часу, за який з неї витікає відповідний об'єм розчину, який вимірюють за допомогою циліндра.

За результат визначення приймають середнє арифметичне результатів трьох паралельних дослідів, допустиме розходження (границя збіжності) між результатами яких не повинне перевищувати 10 % від середнього арифметичного значення. З метою визначення цього показника в момент заповнення пінозбирача

піною вмикають секундомір і фіксують проміжок часу, за який з неї витікає відповідний об'єм водного розчину, який вимірюють за допомогою циліндра.

Розрахунок довірчих границь похибки результатів випробувань з визначення кратності і стійкості піни низької кратності проводили згідно з МИ 2083 [101] і ГОСТ 8.207 [100].

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення кратності піни низької кратності за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\begin{aligned} \theta_K(P) &= \pm 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial V_n}\right)^2 \cdot \Delta_{V_n}^2(P) + \left(\frac{\partial K}{\partial \rho}\right)^2 \cdot \Delta_{\rho}^2(P) + \left(\frac{\partial K}{\partial m_1}\right)^2 \cdot \theta_{m_1}^2(P) + \left(\frac{\partial K}{\partial m_2}\right)^2 \cdot \theta_{m_2}^2(P)} = \\ &= \pm \frac{1,1}{m_1 - m_2} \cdot \sqrt{\rho_p^2 \cdot \Delta_{V_n}^2(P) + V_n^2 \cdot \Delta_{\rho}^2(P) + \left(\frac{V_n \cdot \rho_p}{(m_1 - m_2)^2}\right)^2 \cdot \theta_{m_1}^2(P) + \left(\frac{V_n \cdot \rho_p}{(m_1 - m_2)^2}\right)^2 \cdot \theta_{m_2}^2(P)}, \end{aligned} \quad (4.23)$$

- де V_n – об'єм піни, що відповідає внутрішньому об'єму пінозбирача, дм^3 ;
- ρ_p – густина робочого розчину, яку приймають такою, що дорівнює $1,000 \text{ кг/дм}^3$;
- m_1 – сумарна маса рами, циліндра і пінозбирача з піною, кг ;
- m_2 – сумарна маса рами, циліндра і порожнього пінозбирача, кг ;
- $\Delta_{V_n}(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення об'єму піни, які приймаються такими, що дорівнюють $\pm 0,05 \text{ дм}^3$;
- $\Delta_{\rho}(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення густини водного розчину піноутворювача, які приймаються такими, що дорівнюють $\pm 0,005 \text{ кг/дм}^3$;
- $\theta_{m_1}(P)$ – довірчі границі похибки результату зважування рами, циліндра і пінозбирача з піною, кг ;
- $\theta_{m_2}(P)$ – довірчі границі похибки результату зважування рами, циліндра і порожнього пінозбирача, кг .

Оскільки зважування здійснюється на одних вагах одним оператором за однакових умов, $\theta_{m_1}(P) = \theta_{m_2}(P)$.

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зважування за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_m = \theta_{m_1} = \theta_{m_2} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\theta_{m_{11}}^2(P) + \theta_{m_{12}}^2(P)}, \quad (4.24)$$

де $\theta_{m_{11}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зважування, що дорівнюють ціні поділки вагів, кг;

$\theta_{m_{12}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зчитування показів вагів, що дорівнюють половині ціни їх поділки, кг.

З урахуванням цього довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення кратності піни низької кратності за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_K(P) = \pm \frac{1,1}{m_1 - m_2} \cdot \sqrt{\rho_p^2 \cdot \Delta_{V_n}^2(P) + V_n^2 \cdot \Delta_\rho^2(P) + 2 \cdot \left(\frac{V_n \cdot \rho_p}{(m_1 - m_2)^2} \right)^2 \cdot \theta_m^2(P)}. \quad (4.25)$$

З цієї формули видно, що для підвищення достовірності результатів визначення кратності піни низької кратності необхідно зменшувати насамперед довірчі границі похибки результатів зважування, тобто точність вагів (величини $\Delta_{V_n}(P)$ і $\Delta_\rho(P)$ задаються за результатами аналізування апріорної інформації).

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результатів випробувань з визначення стійкості піни низької кратності, с, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_\tau(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\theta_{\tau_1}^2(P) + \theta_{\tau_2}^2(P)}, \quad (4.26)$$

де $\theta_{\tau_1}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення тривалості витікання з піни 25 % від об'єму водного розчину піноутворювача, витраченого на її одержання, с;

$\theta_{\tau_2}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки, зумовленої неточністю визначення об'єму водного розчину піноутворювача за допомогою циліндра, с.

Довірчі границі невилученої систематичної похибки визначення тривалості витікання з піни 25 % від об'єму водного розчину піноутворювача, витраченого на її одержання, с, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_{\tau_1}(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\theta_{\tau_{11}}^2(P) + \theta_{\tau_{12}}^2(P) + \theta_{\tau_{13}}^2(P) + \theta_{\tau_{14}}^2(P)}, \quad (4.27)$$

де $\theta_{\tau_{11}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання часу за допомогою секундоміра, с;

$\theta_{\tau_{12}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зчитування показів секундоміра, які дорівнюють половині ціни його поділки, с;

$\theta_{\tau_{13}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання часу, зумовленої реакцією оператора під час включення секундоміра, с;

$\theta_{\tau_{14}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання часу, зумовленої реакцією оператора під час виключення секундоміра, с.

Довірчі границі невилученої систематичної похибки вимірювання часу за допомогою секундоміра, зумовленої його неточністю, розраховують за формулою (4.17), якщо вимірне значення не перевищує 60 с, і за формулою (4.18), якщо воно перевищує 60 с.

Відповідно до [106], завдяки реакції оператора неточність вимірювання часу може сягати $\pm 0,3$ с (як під час ввімкнення, так і під час вимкнення секундоміра).

Довірчі границі невилученої систематичної похибки вимірювання часу, зумовленої неточністю вимірювання за допомогою циліндра 25 % від початкового об'єму водного розчину піноутворювача, витраченого на генерування піни, що

знаходиться у пінозбирачі, с, за довірчої імовірності $P=0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_{\tau_2}(P) = \pm 1,1 \cdot \frac{\sqrt{\theta_{V_{21}}^2(P) + \theta_{V_{22}}^2(P)}}{V_V}, \quad (4.28)$$

де $\theta_{V_{21}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення початкового об'єму водного розчину піноутворювача, витраченого на генерування піни, дм^3 ;

$\theta_{V_{22}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання об'єму водного розчину піноутворювача за допомогою циліндра, дм^3 ;

V_V – середня швидкість витікання водного розчину піноутворювача з піни, $\text{дм}^3/\text{с}$.

Середню швидкість витікання водного розчину піноутворювача з піни розраховано за формулою

$$V_V = \frac{V}{\tau}, \quad (4.29)$$

де V – об'єм водного розчину піноутворювача, що дорівнює 25 % від об'єму водного розчину, витраченого на генерування піни, дм^3 ;

τ – проміжок часу, за який з піни виділився об'єм водного розчину V , с.

Об'єм рідини, що дорівнює 25 % від об'єму водного розчину піноутворювача, витраченого на генерування піни, дм^3 , розраховано за формулою

$$V = \frac{1}{4} \cdot \frac{m_1 - m_2}{\rho}, \quad (4.30)$$

де m_1 – сумарна маса рами, циліндра, лійки та пінозбирача з піною, кг;

m_2 – сумарна маса рами, циліндра, лійки та порожнього пінозбирача, кг;

ρ – густина водного розчину піноутворювача, що дорівнює $1,000 \text{ кг}/\text{дм}^3$.

З урахуванням цього, довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення об'єму рідини, що відповідає 25 % від об'єму водного розчину піноутворювача, витраченого на генерування піни, дм^3 , дорівнюють

$$\begin{aligned}\theta_{V_{21}}(P) &= \pm \frac{1,1}{4} \cdot \sqrt{2 \cdot \left(\frac{1}{\rho}\right)^2 \cdot \theta_m^2(P) + \left(\frac{m_1 - m_2}{\rho^2}\right)^2 \cdot \Delta_\rho^2(P)} = \\ &= \pm \frac{1,1}{4 \cdot \rho} \cdot \sqrt{2 \cdot \theta_m^2(P) + \left(\frac{m_1 - m_2}{\rho}\right)^2 \cdot \Delta_\rho^2(P)}.\end{aligned}\quad (4.31)$$

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання об'єму водного розчину піноутворювача за допомогою циліндра, дм^3 , дорівнюють

$$\theta_{V_{22}}(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\theta_V^2(P) + \theta_{V_1}^2(P)}, \quad (4.32)$$

де $\theta_V(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання об'єму за допомогою циліндра, що дорівнюють ціні його поділки, дм^3 ;

$\theta_{V_1}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зчитування показів циліндра, що дорівнюють половині ціни його поділки, дм^3 .

Як видно, достовірність результатів визначення кратності і стійкості піни низької кратності визначається насамперед точністю вагів і ціною поділки мірного циліндра. Нижче розглянуто вплив цих складових на конкретному прикладі.

Під час випробувань з визначення кратності і стійкості піни низької кратності, що утворюється з робочого розчину зразка піноутворювача спеціального призначення, і розрахунку довірчих границь похибки було отримано такі результати:

№ дослідю	m_1 , кг	m_2 , кг	Кратність піни	Стійкість піни, с	$\theta_K(P)$	$\theta_\tau(P)$, с
1	0,785	0,590	8,2	164,6	$\pm 2,0$	$\pm 25,8$
2	0,780	0,590	8,4	168,4	$\pm 2,2$	$\pm 26,0$

3	0,790	0,595	8,2	165,0	± 2,4	± 25,1
---	-------	-------	-----	-------	-------	--------

За результатами оброблення результатів методами математичної статистики, отримано: $\Delta_k(P) = \pm 2,4$, $\Delta_r(P) = \pm 26,0$ с.

У цьому випадку довірчі границі похибки результату визначення кратності піни низької кратності дорівнюють ± 29 % від середнього арифметичного значення результатів випробувань з визначення цього показника. Розрахункове значення довірчих границь похибки результату визначення стійкості піни низької кратності дорівнює ± 16 % від середнього арифметичного значення результатів випробувань. За таких величин похибки можуть виникати складності під час прийняття рішень про відповідність показників кратності і стійкості піни низької кратності вимогам нормативних документів на піноутворювач. Натомість розрахунки за вищенаведеними формулами свідчать, що заміна вагів з точністю зважування ± 5 г (вимога ДСТУ 4041 [4]) на ваги з точністю зважування ± 1 г дає змогу зменшити похибку результатів визначення кратності піни удвічі. Одночасна заміна циліндра з похибкою вимірювання ± 10 см³ (вимога ДСТУ 4041 [4]) на циліндр з похибкою вимірювання ± 1 см³ дає змогу зменшити значення довірчих границь похибки результату визначення стійкості піни низької кратності приблизно учетверо.

Для визначення кратності піни середньої кратності робочий розчин піноутворювача подають під тиском на генератор піни середньої кратності, а генеровану піну подають у пінозбирач місткістю 200 дм³. Пінозбирач разом з підставкою для його установки і мірним циліндром зважують спочатку у порожньому стані, а потім після заповнення піною. За різницею мас визначають масу розчину, який витрачено на утворення піни і, знаючи місткість пінозбирача, розраховують кратність піни. Густина робочих розчинів приймають 1 кг/дм³.

Показник стійкості піни визначається проміжком часу, за який з неї витікає 50 % від об'єму витраченого водного розчину. З метою визначення цього показника в момент заповнення пінозбирача піною вмикають секундомір і фіксують проміжок часу, протягом якого з неї витікає відповідний об'єм розчину, який вимірюють за допомогою циліндра.

За результат випробування приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних визначень, допустиме розходження (границя збіжності) між результатами яких не повинне перевищувати 10 % від середнього арифметичного значення.

Процедура розрахунку довірчих границь похибки результатів визначення кратності і стійкості піни середньої кратності аналогічна до процедури розрахунку довірчих границь похибки результатів визначення кратності і стійкості піни низької кратності. Разом з тим, як показує досвід досліджень та випробувань піноутворювачів, абсолютні величини довірчих границь похибки результатів визначення цих показників відносно незначні порівняно з абсолютними значеннями показників якості (5...10 % від абсолютної величини), тому у загальному випадку потреби у використанні більш точних засобів виміральної техніки немає.

4.2.4 Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення кратності і стійкості піни високої кратності

Для визначення кратності піни високої кратності робочий розчин піноутворювача разом з повітрям подають з резервуара на генератор піни високої кратності, а піну, що утворюється, спрямовують у пінозбирач номінальною місткістю 50 дм³, що має форму прямокутного паралелепіпеда. Об'єм водного розчину, витраченого на одержання піни, визначають за показами мірного циліндра, яким споряджено установку.

Кратність піни високої кратності розраховується за формулою

$$K = \frac{V_n}{V_1 - V_2}, \quad (4.33)$$

де V_n – об'єм піни, дм³;

V_1 – початковий об'єм робочого розчину піноутворювача у циліндрі, з якого він заливається в резервуар, дм³;

V_2 – кінцевий об'єм робочого розчину піноутворювача у циліндрі, з якого

він заливається в резервуар, дм^3 .

Показник стійкості піни високої кратності визначається проміжком часу, протягом якого руйнується піна, розташована між мітками на пінозбирачі, які відповідають $\frac{3}{4}$ та $\frac{1}{4}$ його об'єму. З метою визначення цього показника в момент досягнення межею розділу піни з повітрям над нею відмітки, яка відповідає $\frac{3}{4}$ об'єму резервуара, вмикають секундомір, і вимикають його в момент досягнення цією межею відмітки, яка відповідає $\frac{1}{4}$ його об'єму.

За результат визначення приймають середнє арифметичне результатів трьох паралельних дослідів, допустиме розходження (границя збіжності) між результатами яких не повинне перевищувати 15 % від середнього арифметичного значення.

Розрахунок довірчих границь похибки результатів визначення кратності і стійкості піни високої кратності проводили згідно з МИ 2083 [101] і ДСТУ ГОСТ 8.207 [100].

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення кратності піни високої кратності за довірчої імовірності $P=0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_K(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial V_n}\right)^2 \cdot \Delta_{V_n}^2(P) + \left(\frac{\partial K}{\partial V_1}\right)^2 \cdot \theta_{V_1}^2(P) + \left(\frac{\partial K}{\partial V_2}\right)^2 \cdot \theta_{V_2}^2(P)}, \quad (4.34)$$

де $\Delta_{V_n}(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення об'єму піни, які приймаються такими, що дорівнюють $\pm 3 \text{ дм}^3$;

$\theta_{V_1}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення початкового об'єму робочого розчину піноутворювача у циліндрі, дм^3 ;

$\theta_{V_2}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення кінцевого об'єму робочого розчину піноутворювача у циліндрі, дм^3 .

Оскільки вимірювання об'єму робочого розчину піноутворювача здійснюється за допомогою одного циліндра одним оператором за постійних умов, $\theta_{V_1}(P) = \theta_{V_2}(P) = \theta_V(P)$. З урахуванням цього довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення кратності піни високої кратності розраховано за формулою

$$\theta_K(P) = \pm \frac{1,1}{V_1 - V_2} \cdot \sqrt{\theta_{V_n}^2(P) + 2 \cdot \left(\frac{V_n}{V_1 - V_2} \right)^2 \cdot \theta_V^2(P)}. \quad (4.35)$$

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення об'єму робочого розчину піноутворювача за допомогою циліндра, дм^3 , за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_V(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\theta_{V_{11}}^2(P) + \theta_{V_{12}}^2(P)}, \quad (4.36)$$

де $\theta_{V_{11}}(P)$ – довірчі границі допустимої похибки результату вимірювання об'єму робочого розчину за допомогою циліндра, що дорівнюють ціні його поділки, дм^3 ;

$\theta_{V_{12}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зчитування показів циліндра, що дорівнюють половині ціни його поділки, дм^3 .

З формул (4.35), (4.36) видно, що для підвищення достовірності результатів визначення кратності піни високої кратності необхідно підвищувати точність визначення об'єму пінозбирача під час атестації установки, а також точність результату вимірювання об'єму робочого розчину піноутворювача.

Достовірність результатів визначення стійкості піни високої кратності могла б бути підвищена за рахунок більш точного визначення місць розташування ризок, які відповідають $\frac{1}{4}$ і $\frac{3}{4}$ від об'єму пінозбирача. Однак, як показує досвід, піна високої кратності у більшості випадків руйнується нерівномірно, тому на практиці підвищити достовірність результатів визначення її стійкості у разі проведення випробувань за описаною методикою практично неможливо.

4.2.5 Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення поверхневого, міжфазового натягу і показника розтікання

Метод ґрунтується на визначенні зусилля, яке необхідно прикласти, щоб відірвати металеве кільце від поверхні водного розчину піноутворювача або межі розділу “водний розчин піноутворювача – водонерозчинна горюча рідина”. Зусилля відриву визначається опосередковано через показ торсіонних вагів в момент відриву кільця. Під час атестації установки проводять калібрування, визначаючи зусилля відриву кільця від поверхні рідин, поверхневий натяг яких відомий.

Поверхневий і міжфазовий натяг, мН/м, розраховано за формулою

$$\sigma_{n(m)} = K \cdot m, \quad (4.37)$$

де K – перевідний коефіцієнт поверхневого натягу (константа кільця), мН/(м·мг);
 m – показ торсіонних вагів в момент відриву кільця від поверхні водного розчину чи межі розділу фаз, мг.

Коефіцієнт розтікання водного розчину піноутворювача поверхнею водонерозчинної горючої рідини, мН/м, розраховано за формулою

$$S = \sigma_p - \sigma_n - \sigma_m, \quad (4.38)$$

де σ_p – поверхневий натяг водонерозчинної горючої рідини, мН/м (довідкові дані);
 σ_n – поверхневий натяг досліджуваного водного розчину, мН/м (визначають експериментально);
 σ_m – міжфазовий натяг на межі “водний розчин – водонерозчинна горюча рідина”, мН/м (визначають експериментально).

За результат випробування з визначення зусилля відриву кільця від поверхні водного розчину або межі розділу фаз приймають середнє арифметичне

результатів 3-5 повторних дослідів, допустиме розходження (границя збіжності) між результатами яких за довірчої імовірності $P = 0,95$ не повинне перевищувати 2 % від середнього арифметичного значення.

Розрахунок довірчих границь похибки результатів випробувань проводили згідно з МИ 2083 [101] і ДСТУ ГОСТ 8.207 [100].

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання зусилля відриву кільця від поверхні водного розчину чи межі розділу “водний розчин – водонерозчинна горюча рідина”, виражене опосередковано через показ торсіонних вагів, мг, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_m(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\theta_{m_1}^2(P) + \theta_{m_2}^2(P)}, \quad (4.39)$$

де $\theta_{m_1}(P)$ – довірчі границі похибки результату вимірювання зусилля відриву кільця від поверхні водного розчину чи межі розділу фаз, вираженого опосередковано через показ торсіонних вагів, що дорівнюють ціні їх поділки, мг;

$\theta_{m_2}(P)$ – довірчі границі похибки результату зчитування показів торсіонних вагів в момент відриву кільця від поверхні водного розчину чи межі розділу “водний розчин – водонерозчинна горюча рідина”, які дорівнюють половині ціни їх поділки, мг.

Довірчі границі похибки результатів визначення поверхневого натягу водного розчину або міжфазового натягу на межі розділу “водний розчин – водонерозчинна горюча рідина”, мН/м, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\Delta_\sigma(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial \sigma}{\partial K}\right)^2 \cdot \Delta_K^2(P) + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial m}\right)^2 \cdot \Delta_m^2(P)} = \pm 1,1 \cdot \sqrt{m^2 \cdot \Delta_K^2(P) + K^2 \cdot \Delta_m^2(P)}, \quad (4.40)$$

де $\Delta_K(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення константи кільця під час калібрування установки, мН/(м·мг);

$\Delta_m(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення зусилля відриву кільця від поверхні водного розчину чи межі розділу “водний розчин – водонерозчинна горюча рідина”, вираженого опосередковано через показ торсійних вагів, мГ.

Довірчі границі похибки результату визначення коефіцієнта розтікання водного розчину піноутворювача поверхнею водонерозчинної горючої рідини, мН/м, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\begin{aligned} \Delta_S &= \pm 1,1 \cdot \sqrt{\left(\frac{\partial S}{\partial \sigma_p}\right)^2 \cdot \Delta_{\sigma_p}^2(P) + \left(\frac{\partial S}{\partial \sigma_n}\right)^2 \cdot \Delta_{\sigma_n}^2(P) + \left(\frac{\partial S}{\partial \sigma_m}\right)^2 \cdot \Delta_{\sigma_m}^2(P)} = \\ &= \pm 1,1 \cdot \sqrt{\Delta_{\sigma_p}^2(P) + \Delta_{\sigma_n}^2(P) + \Delta_{\sigma_m}^2(P)}, \end{aligned} \quad (4.41)$$

де $\Delta_{\sigma_p}(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення поверхневого натягу горючої рідини, мН/м;

$\Delta_{\sigma_n}(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення поверхневого натягу водного розчину, мН/м;

$\Delta_{\sigma_m}(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення міжфазового натягу на межі розділу “водний розчин – водонерозчинна горюча рідина”, мН/м.

Як видно з формул (4.39) – (4.41), для підвищення достовірності результатів визначення поверхневого, міжфазового натягу і показника розтікання необхідно насамперед підвищувати точність торсійних вагів і достовірність визначення константи кільця під час його калібрування (атестації установки). Крім того, збільшення числа повторних дослідів з визначення зусилля відриву кільця дасть змогу зменшити довірчі границі випадкової похибки результату його визначення і, як наслідок, довірчі границі похибки результату визначення поверхневого і міжфазового натягу.

4.2.6 Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення корозійної активності водних розчинів піноутворювачів

Метод ґрунтується на визначенні втрати маси пластин, занурених у досліджуваний водний розчин, віднесеної до одиниці їх поверхні, що контактує з ним.

Металеві пластини попередньо очищують від окалини, продуктів корозії, знежирюють, висушують і зважують. Пластини підвішують на гачках, занурюючи їх приблизно до половини висоти у розчин, залитий у герметичну посудину (наприклад, в ексікатор), де витримують протягом 30 діб. Після витримання у досліджуваному розчині пластини промивають, очищують від продуктів корозії, висушують і зважують.

Швидкість корозії металу, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, розраховується за формулою

$$V_k = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau}, \quad (4.42)$$

де m_1 – маса пластини перед експозицією у досліджуваному розчині, кг;

m_2 – маса пластини після експозиції у досліджуваному розчині, кг;

S – площа частини пластини, яка контактувала з досліджуваним розчином, м^2 ;

τ – тривалість експозиції пластини у досліджуваному розчині, с.

Площа пластини, яка контактувала з досліджуваним розчином, м^2 , розраховується за формулою

$$S = 2 \cdot a \cdot b, \quad (4.43)$$

де a – висота частини пластини, яка контактувала з досліджуваним розчином, м;

b – ширина частини пластини, яка контактувала з досліджуваним розчином, м.

Оскільки ширина бокових частин значно менша інших габаритних розмірів, площею бокових частин пластини нехтують.

З урахуванням викладеного, швидкість корозії, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, розраховано за формулою

$$V_k = \frac{m_1 - m_2}{2 \cdot a \cdot b \cdot \tau}, \quad (4.44)$$

Розрахунок довірчих границь похибки результатів випробувань проводили згідно з МИ 2083 [101] і ДСТУ ГОСТ 8.207 [100].

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зважування пластини, г, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_m(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\theta_{m_1}^2(P) + \theta_{m_2}^2(P)}, \quad (4.45)$$

де $\theta_{m_1}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зважування, які дорівнюють ціні поділки вагів, г;

$\theta_{m_2}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зчитування показів вагів, які дорівнюють половині ціни їх поділки, г.

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання лінійних розмірів пластини, м, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_l(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{\theta_{l_{11}}^2(P) + \theta_{l_{12}}^2(P)}, \quad (4.46)$$

де $\theta_{l_{11}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання лінійних розмірів за допомогою штангенциркуля, які дорівнюють ціні його поділки, м;

$\theta_{l_{12}}(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зчитування показів штангенциркуля, які дорівнюють половині ціни його поділки, м.

Лінійні розміри пластин вимірюють у 2-3 точках, для розрахунків приймають середнє арифметичне значення. Враховуючи той факт, що поверхня пластин має нерівності, випадковою похибкою результату вимірювання їх лінійних розмірів нехтують. Оскільки під час випробувань керуються

астрономічним часом і нормована тривалість експозиції пластин у розчині дорівнює 30 діб, похибкою вимірювання тривалості перебування пластин у контакті з водним розчином нехтують.

Довірчі границі невилученої систематичної похибки результату визначення корозійної активності водного розчину піноутворювача, тобто швидкості корозії металу у ньому, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, за довірчої імовірності $P=0,95$ розраховано за формулою

$$\theta_{V_k}(P) = \pm \frac{1,1}{2 \cdot a \cdot b \cdot \tau} \cdot \sqrt{2 \cdot \theta_m^2(P) + (m_1 - m_2)^2 \cdot \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \cdot \theta_l^2(P)}, \quad (4.47)$$

де a – висота частини пластини, яка контактувала з досліджуваним розчином, м;

b – ширина частини пластини, яка контактувала з досліджуваним розчином, м;

τ – тривалість експозиції пластини у досліджуваному розчині, с;

m_1 – маса пластини перед експозицією у досліджуваному розчині, кг;

m_2 – маса пластини після експозиції у досліджуваному розчині, кг;

$\theta_m(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату зважування пластини, кг;

$\theta_l(P)$ – довірчі границі невилученої систематичної похибки результату вимірювання лінійних розмірів пластини, м.

Як видно з цієї формули, для підвищення достовірності результату визначення швидкості корозії необхідно підвищувати достовірність результатів вимірювання лінійних розмірів пластин. Для цього слід насамперед збільшувати кількість повторних дослідів з їх вимірювання. Підвищення точності вимірювальних приладів не є першочерговим заходом, оскільки методика передбачає використання аналітичних вагів з ціною поділки не більше ніж 0,0001 г і штангенциркуля з ціною поділки не більше ніж 0,05 мм. Підвищення достовірності результату визначення швидкості корозії пластини у водному розчині може бути досягнуто за рахунок збільшення кількості повторних дослідів, тобто зменшення у такий спосіб довірчих границь випадкової похибки результату її визначення.

4.2.7 Оцінювання можливості підвищення об'єктивності результатів визначення показника вогнегасної здатності за класом пожежі А

Метод полягає у визначенні тривалості гасіння компактним струменем з масовою витратою $(0,19 \pm 0,01)$ кг/с змочувального розчину піноутворювача модельного вогнища пожежі 2А (рисунок 4.2) і маси водного розчину, що витрачається на гасіння одиниці поверхні модельного вогнища пожежі 2А за умови позитивних результатів його гасіння.

Показник вогнегасної здатності за класом пожежі А, кг/м^2 , розраховано за формулою

$$Q_A = \frac{m_1 - m_2}{S}, \quad (4.48)$$

де m_1 – маса корпусу випробувального приладу типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача до гасіння, кг;

m_2 – маса корпусу випробувального приладу типу вогнегасника з водним розчином піноутворювача після гасіння, кг;

S – площа вільної поверхні модельного вогнища пожежі 2А, м^2 .

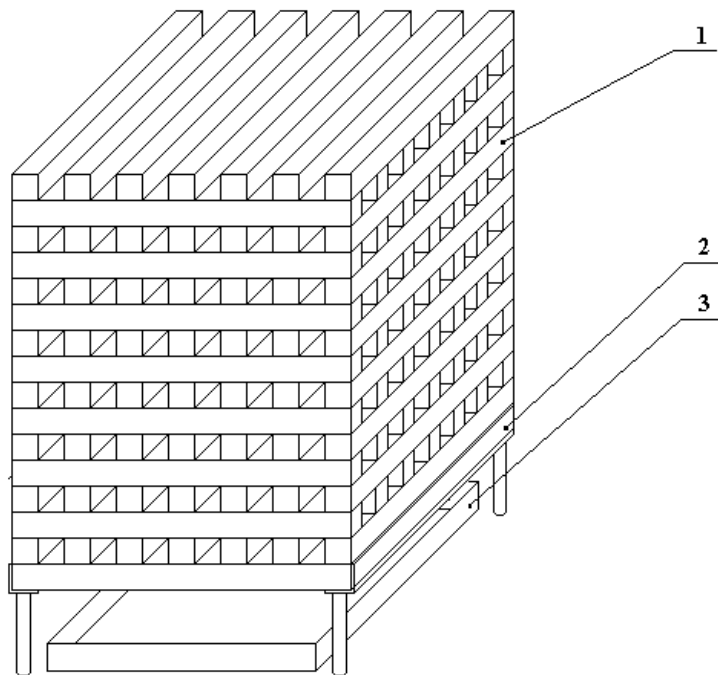


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд модельного вогнища пожежі 2А:
1 – штабель з дерев'яних брусків; 2 – опори; 3 – деко для підпалювання штабеля

Розрахунок довірчих границь похибки результатів випробувань з визначення показника вогнегасної здатності за класом пожежі А пов'язане із значними проблемами. Так, відповідно до стандартів [2, 4], площу вільної поверхні модельного вогнища пожежі 2А під час розрахунків приймають такою, що дорівнює $9,2 \text{ м}^2$, хоча насправді його площа може суттєво відрізнятись від цього значення.

Модельне вогнище пожежі 2А являє собою штабель із 112 дерев'яних брусків, укладених у 16 шарів по 7 брусків у кожному. Поперечний переріз брусків являє собою квадрат зі стороною (40_{-2}) мм і довжиною (635_{-2}) мм.

Зміна значень довжини брусків і сторін поперечного перерізу призводить до зміни величини вільної поверхні модельного вогнища пожежі. Насправді площа вільної поверхні модельного вогнища має більше, ніж вказано вище, значення через шорсткість поверхні, є також численні нещільності у місцях стикання брусків. Під час горіння модельного вогнища пожежі площа вільної поверхні змінюється. З одного боку, під час згоряння деревини зменшується переріз і, як наслідок, уявна геометрична площа поверхні брусків, з іншого боку площа поверхні зростає через високу пористість вуглин, які утворюються під час горіння, збільшується також нещільність у місцях стикання брусків. Тому оцінити дійсне значення вільної поверхні модельного вогнища пожежі 2А у момент початку його гасіння змочувальним розчином піноутворювача неможливо.

Розрахунки, під час яких приймають $S = 9,2 \text{ м}^2$, дають змогу визначити показник вогнегасної здатності лише з певним наближенням, у той час як оцінити довірчі границі похибки (невизначеність) результатів випробувань з визначення цього показника фактично неможливо. Досвід досліджень та випробувань змочувальних розчинів піноутворювачів та інших водних вогнегасних речовин показує (таблиця 4.1), що результат випробувань залежить насамперед від кваліфікації оператора. Впливу природи піноутворювача та його концентрації у водному розчині на величини тривалості гасіння і показника вогнегасної здатності за класом пожежі А не виявлено.

Таблиця 4.1 – Результати випробувань з визначення тривалості гасіння модельного вогнища 2А і витрати вогнегасної речовини на гасіння

Характеристика вогнегасної речовини	Тривалість гасіння, с	Витрата вогнегасної речовини на гасіння, кг
1	2	3
Питна вода	39,0 ± 0,7	6,36 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “ПО-6К” у питній воді	38,2 ± 0,7	6,25 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “Сніжок-1” у питній воді	37,6 ± 0,7	6,16 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “ТЭАС” у питній воді	39,0 ± 0,7	6,29 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “ПО-6ОСТ” (марка 1) у питній воді	38,8 ± 0,7	6,08 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “ПО-6ВАС” у питній воді	38,2 ± 0,7	6,17 ± 0,03
1 % розчин піноутворювача “ПО-3НП” у питній воді	39,4 ± 0,7	6,27 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “ПО-6ТС” (марка А) у питній воді	38,6 ± 0,7	6,34 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “Морпен” у питній воді	37,0 ± 0,7	6,22 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “Морпен” у моделі морської води	38,4 ± 0,7	6,09 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “ПО-6ТС-М” у питній воді	39,2 ± 0,7	6,17 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “ПО-6ТС-М” у моделі морської води	38,8 ± 0,7	6,29 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “ППЛВ-(Універсал)” (марка 106) у питній воді	38,6 ± 0,7	6,30 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “АFFF-106” у питній воді	39,2 ± 0,7	6,37 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “Pyrosom АFFF 6” у питній воді	38,6 ± 0,7	6,25 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “Pyrocool АFFF 6 %” у питній воді	38,0 ± 0,7	6,31 ± 0,03
1 % розчин піноутворювача “Orchidex АFFF 3 %” у питній воді	37,4 ± 0,7	6,12 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “S.F.P.M. 6/6” у питній воді	37,8 ± 0,7	6,24 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “S.F.P.M. 6/6” у моделі морської води	37,6 ± 0,7	6,09 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “Pyrosom АFFF/АТС 6/6” у питній воді	38,0 ± 0,7	6,16 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “Fluoropolydol” у питній воді	39,4 ± 0,7	6,27 ± 0,03
2 % розчин піноутворювача “Protal-P 6” у питній воді	38,6 ± 0,7	6,39 ± 0,03

Для приготування змочувальних розчинів піноутворювачів “Морпен”, “ПО-6ТС-М” та “S.F.P.M. 6/6” використовували як питну воду згідно з ГОСТ 2874 [11], так і модель морської води, приготовлену згідно з положеннями [14-20].

Склад моделі морської води:

- натрію хлорид $NaCl$	2,5 %;
- магнію хлорид шестиводний $MgCl_2 \cdot 6H_2O$	1,1 %;
- натрію сульфат Na_2SO_4	0,4 %;
- кальцію хлорид $CaCl_2$	0,12 %;
- вода питна	решта до 100 %.

Літературні дані [23-35] свідчать, що додавання деяких мінеральних солей або деяких водорозчинних полімерів (насамперед таких, що мають тиксотропні властивості) призводить до підвищення вогнегасної ефективності води і зниження схильності погашених матеріалів до повторного займання. Ще більший ефект досягається у разі одночасного додавання до води мінеральних солей і водорозчинних полімерів.

Враховуючи викладене, можна стверджувати, що визначати ці показники під час випробувань піноутворювачів недоцільно. Вогнегасну ефективність слід оцінювати за тривалістю гасіння модельного вогнища пожежі і масою змочувального розчину, витраченого на гасіння.

Разом з тим, як видно з одержаних результатів, тривалість гасіння модельного вогнища пожежі 2А, а також витрата вогнегасної речовини в усіх випадках приблизно однакові, відмінність між ними не перевищує довірчих границь похибки результатів вимірювань. Використання моделі морської води, яка містить значні кількості мінеральних солей, придатних для підвищення вогнегасної ефективності води, навіть для приготування змочувального розчину піноутворювача “S.F.P.M. 6/6”, до складу якого входять водорозчинні полімери, не призвело до помітного зниження тривалості гасіння або витрати вогнегасної речовини.

4.2.8 Виявлення шляхів підвищення об'єктивності результатів визначення критичної інтенсивності подавання водних розчинів піноутворювачів у разі гасіння піною середньої та низької кратності

Вогнегасну ефективність піни, що утворюється з робочих розчинів піноутворювачів, можна порівнювати за величиною критичної інтенсивності їх подавання у разі гасіння горючих рідин. За величиною критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння речовини чи матеріалу розраховується величина нормативної інтенсивності його подавання. Нормативна інтенсивність подавання вогнегасної речовини визначається з таким розрахунком, щоб забезпечити гарантоване гасіння пожежі з мінімальними витратами вогнегасної речовини. Зокрема, нормативну інтенсивність подавання робочих розчинів піноутворювачів загального призначення у разі гасіння неполярних (водонерозчинних) горючих рідин піною середньої кратності, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, відповідно до [40, 107], розраховано за формулою

$$I_{\text{норм}} = 2,3 \cdot I_{\text{кр}}, \quad (4.49)$$

де $I_{\text{кр}}$ – критична інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Критична інтенсивність подавання вогнегасної речовини – це мінімальна інтенсивність її подавання, що забезпечує гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі за проміжок часу, зумовлений умовами випробувань.

Критична інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною середньої кратності зазвичай визначається як середнє арифметичне між значеннями мінімальної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача, за якого настає гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі, та максимальної інтенсивності подавання, за якої гасіння не настає або досягається у проміжок часу, який перевищує 300 с. Під час проведення випробувань фіксують витрату вогнегасної речовини і змінюють площу модельних (макетних) вогнищ пожежі, що являють собою металеві циліндричні дека.

Інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача під час гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, розраховано за формулою (4.50), а критичну інтенсивність подавання робочого розчину, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ – за формулою (4.51).

$$I = \frac{q}{S} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{q}{d^2}, \quad (4.50)$$

де q – витрата робочого розчину, $\text{дм}^3/\text{с}$;

S – площа поверхні макетного вогнища пожежі, м^2 ;

d – діаметр макетного вогнища пожежі, м.

$$I_{кр} = \frac{I_1 + I_2}{2} = 0,637 \cdot q \cdot \left(\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} \right), \quad (4.51)$$

де I_1 – інтенсивність подавання робочого розчину, за якої гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі досягається у проміжок часу, що не перевищує 300 с, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

I_2 – інтенсивність подавання робочого розчину, за якої гасіння модельного (макетного) вогнища пожежі не настає чи досягається у проміжок часу, що перевищує 300 с, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

d_1 – діаметр модельного (макетного) вогнища пожежі, гасіння якого досягається у проміжок часу, що не перевищує 300 с, м;

d_2 – діаметр модельного (макетного) вогнища пожежі, гасіння якого досягається у проміжок часу, що перевищує 300 с, або не досягається, м.

Розрахунок довірчих границь похибки результатів визначення тривалості гасіння проводили згідно з ДСТУ ГОСТ 8.207 [100], довірчих границь похибки результатів визначення критичної інтенсивності подавання – згідно з МИ 2083 [101].

Довірчі границі похибки результату визначення критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною середньої кратності, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, за довірчої імовірності $P = 0,95$ розраховано за формулою

$$\Delta_{I_{sp}}(P) = \pm \frac{0,7}{d_1^2 \cdot d_2^2} \cdot \sqrt{(d_1^2 + d_2^2)^2 \cdot (\Delta_q(P))^2 + \frac{4 \cdot q^2}{d_1^2 \cdot d_2^2} \cdot ((\Delta_{d_2}(P))^2 \cdot d_1^6 + (\Delta_{d_1}(P))^2 \cdot d_2^6)}, \quad (4.52)$$

- де q – витрата робочого розчину, $\text{дм}^3/\text{с}$;
- d_1 – діаметр модельного (макетного) вогнища пожежі, гасіння якого досягається у проміжок часу, що не перевищує 300 с, м;
- d_2 – діаметр модельного (макетного) вогнища пожежі, гасіння якого досягається у проміжок часу, що перевищує 300 с, або не досягається, м;
- $\Delta_q(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення витрати робочого розчину, яку забезпечує установка, $\text{дм}^3/\text{с}$ (визначається під час атестації установки);
- $\Delta_{d_1}(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення діаметра модельного (макетного) вогнища пожежі, гасіння якого досягається у проміжок часу, що не перевищує 300 с, м (визначається під час атестації установки);
- $\Delta_{d_2}(P)$ – довірчі границі похибки результату визначення діаметра модельного (макетного) вогнища пожежі, гасіння якого досягається у проміжок часу, що перевищує 300 с, або не досягається, м (визначається під час атестації установки).

Як видно з формули (3.52), з метою більш точного визначення критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача і, відповідно, більш коректного розрахунку нормативної інтенсивності його подавання, необхідно зменшувати довірчі границі похибок визначення діаметру макетних вогнищ пожежі, які використовуються для досліджень, а також довірчі границі похибки результату визначення витрати робочого розчину, яку забезпечує установка. Величини $\Delta_{d_1}(P)$ і $\Delta_{d_2}(P)$ можна знизити за рахунок підвищення точності виготовлення дек (зменшення відхилення їх форми від циліндричної) та

вимірювання їх діаметра (шляхом використання більш точних засобів вимірювальної техніки та збільшення кількості повторних вимірювань цієї величини), а величину $\Delta_q(P)$ – за рахунок більш точного регулювання витрати робочого розчину піноутворювача під час проведення досліду. Цього можна досягти заміною ручного регулювання витрати за допомогою голчатого вентиля з контролюванням за показами ротаметра на автоматичне регулювання з використанням автоматичного витратоміра.

Методичний підхід до визначення критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною низькою кратності такий самий, як і у разі гасіння піною середньої кратності, методологія розрахунку довірчих границь похибки результату визначення критичної інтенсивності подавання аналогічна (формули 4.50 – 4.52). На достовірність результату також безпосередньо впливають величини довірчих границь похибки результату визначення діаметра дек модельних (макетних) вогнищ пожежі і точність регулювання витрати, яку забезпечує установка (ствол-генератор піни низької кратності).

4.3 Висновки за розділом

1. Виведено формули для розрахунків довірчих границь похибки та невизначеності результатів прямих однократних, прямих багатократних, і непрямих вимірювань під час випробувань з визначення показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж, а також виявлено вплив окремих параметрів (метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки, кількість повторних дослідів, достовірність результатів, одержаних під час атестації випробувального обладнання) на достовірність одержуваних результатів. Обґрунтовано шляхи підвищення об'єктивності результатів визначення ряду показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж.

2. Узагальнено результати досліджень та випробувань з визначення тривалості гасіння компактним струменем водних вогнегасних речовин з масовою витратою $(0,19 \pm 0,01)$ кг/с модельного вогнища пожежі 2А, а також питомої витрати вогнегасної речовини на гасіння. Виявлено, що ці показники залежать від природи піноутворювача та його наявності у складі водного розчину, а також однакові у разі використання як розчинника як питної води, так і моделі морської води встановленого складу. Обґрунтовано недоцільність нормування величини показника вогнегасної здатності за класом пожежі А з метрологічних міркувань.

РОЗДІЛ 5 АПРОБУВАННЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ АНАЛІТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Впровадження результатів досліджень

В результаті проведення аналітичних досліджень встановлено, що світові тенденції щодо удосконалення вимог стандартів на піноутворювачі для гасіння пожеж полягають насамперед у зменшенні кількості обов'язкових вимог до їх фізико-хімічних показників якості, а також показників кратності і стійкості піни. Разом з тим, їх типові значення повинні вказуватися виробником піноутворювача і підлягають обов'язковому визначенню. Нормуванню в усіх випадках підлягає вогнегасна ефективність піни, оцінювана за показниками тривалості гасіння модельних вогнищ пожежі і проміжку часу до їх повторного займання. Саме такий підхід було взято за основу під час проведення експериментальних досліджень з метою подальшого обґрунтування вимог щодо показників якості і порядку контролювання (оцінювання) якості піноутворювачів для гасіння пожеж.

Хоча вимоги щодо піноутворювачів і методів контролювання їх якості унормовано нормативними документами, у тому числі європейськими та міжнародними стандартами, залишається ряд проблемних питань. Розроблення конкретного методу випробування передбачає досягнення “компромісу” між рядом чинників. Зокрема, витрати на випробування мають бути збалансовані зі ступенем відтворення сценарієм випробування умов, що мають місце в реальності з урахуванням масштабу, кількості горючої рідини, тривалості вільного горіння тощо. Крім того, не втрачають актуальності питання, пов'язані з охороною довкілля.

Багато методів випробування, застосовуваних у теперішній час, було розроблено на основі тих, якими користувалися раніше та описи обґрунтування порядку проведення яких втрачено. Водночас, застосуванням стандартних методів випробування важко відтворити умови, що можуть мати місце під час реальних пожеж. Крім того, випробування за стандартизованими методиками не дають змогу оцінити вплив ряду чинників на процеси взаємодії піни з полум'ям під час гасіння горючих рідин. До того ж, витрати на саму горючу рідину, необхідну для

проведення випробувань з визначення вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни, можуть бути неприйнятними.

Реалізація результатів проведених досліджень через їх впровадження у нормативні документи дало змогу частково усунути зазначені проблеми. На додаток до цього, удосконалено саму систему контролювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж, яка являє собою сукупність нормативних документів, що регламентують терміни, порядок, перелік і методики визначення показників якості піноутворювачів, забезпечуючи одержання інформації щодо їх відповідності встановленим вимогам на всіх стадіях життєвого циклу та придатності піноутворювачів до використання з метою гасіння пожеж.

Результати систематизації вимог нормативних документів і літературних даних щодо ефективності піноутворювачів різних типів залежно від природи горючих рідин, використовуюваного протипожежного обладнання і тактичних прийомів пожежогасіння використано у розробленні Довідника керівника гасіння пожежі (ISBN 978-617-635-087-3, 2016 рік), а також Інструкції про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння, затвердженої наказом МНС України від 24.11.2008 №851.

Результати експериментальних досліджень використано у розробленні ДСТУ 3789:2015 *Пожежна безпека. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробування*. Обґрунтовано можливість використання розробленої раніше експрес-методики визначення вогнегасної ефективності піни для контролювання якості піноутворювачів під час випробувань усіх категорій. Водночас, розроблення процедур розрахунку похибки та невизначеності результатів випробувань з визначення показників якості піноутворювачів дало змогу обґрунтувати шляхи підвищення достовірності одержуваних результатів за рахунок зменшення похибки (невизначеності) результатів випробувань і (або) усунення джерел грубих помилок. Відповідну інформацію використано у розробленні ДСТУ 3789:2015, а також методик контролювання якості піноутворювачів, якими користуються виробники і спеціалізовані лабораторії.

Основні відмінності розробленого стандарту від ДСТУ 3789-98, який діяв раніше, полягають у такому:

1. Внесено зміни до переліку стандартів, на які подано посилання, з метою його приведення у відповідність до сучасного стану національної нормативної бази. До тексту проекту національного стандарту долучено посилання на окремі нормативні документи і вилучено посилання на інші.

2. Внесено зміни до термінологічного розділу з метою його узгодження з розділом “Загальні технічні вимоги”.

3. Змінено перелік показників якості, регламентацію яких передбачено, з метою його приведення у відповідність до сучасного стану (рисунок 5.1), зокрема:

– замість показника якості “водневий показник 1 % водного розчину” регламентовано “водневий показник піноутворювача”, причому замість нормованого значення вказано, що цей показник якості має встановлюватися нормативними документами на конкретний піноутворювач, тобто визначатися на стадії його розроблення;

– додатково введено показник якості “концентрація змочувального розчину” і встановлено, що він має бути регламентований нормативними документами на конкретний піноутворювач, тобто визначатися на стадії його розроблення;

– вилучено показники якості “тривалість гасіння компактним струменем з масовою витратою $(0,19 \pm 0,01)$ кг/с змочувального розчину модельного вогнища 2А” і “показник вогнегасної здатності за класом пожежі А”;

– замість показника якості “змочувальна здатність 2 % водного розчину” регламентовано показник змочувальної здатності змочувального розчину без зміни його нормованого значення;

– нормоване мінімальне значення кратності піни середньої кратності, генерованої з робочого розчину, знижено до 60, а замість нормованого мінімального значення стійкості піни середньої кратності вказано, що воно має встановлюватися нормативними документами на конкретний піноутворювач.

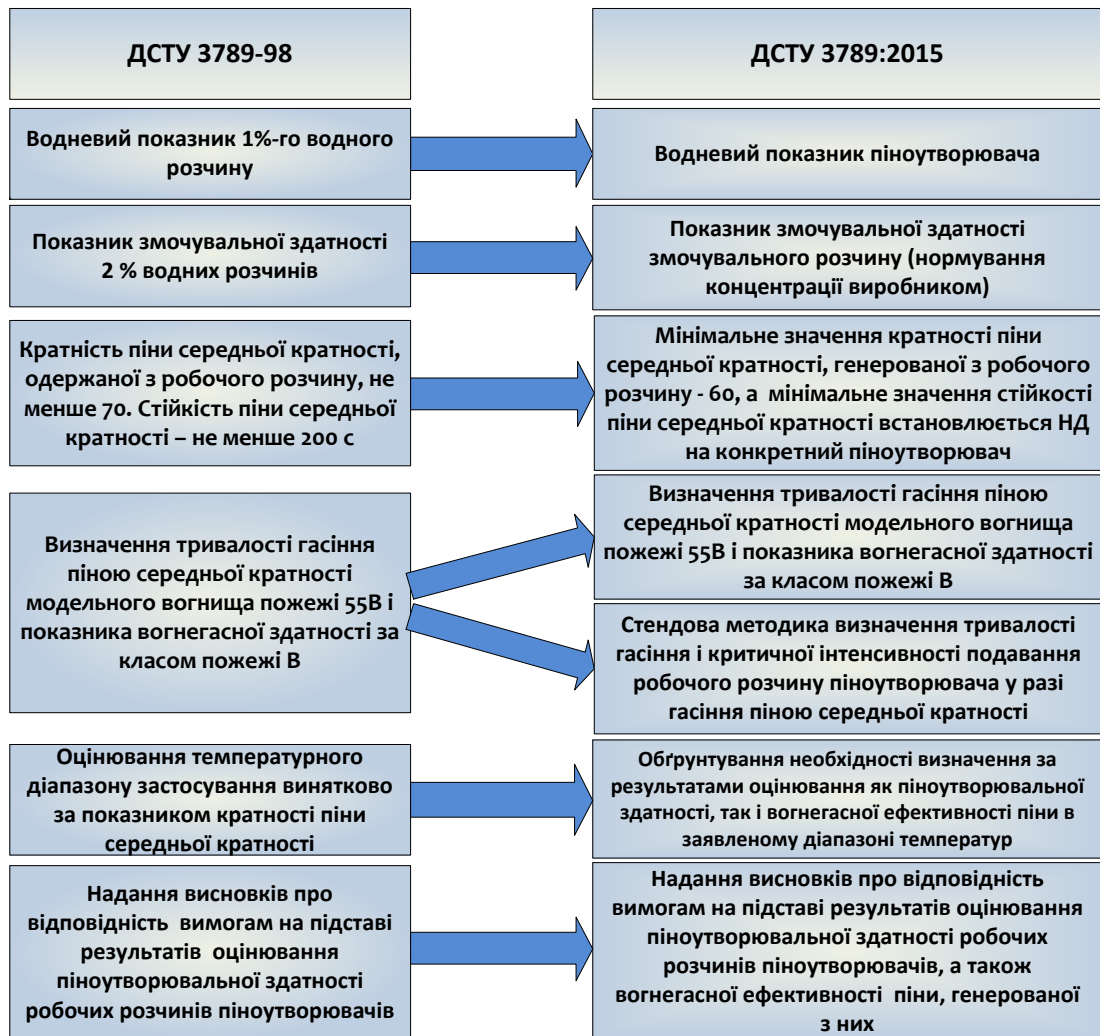


Рисунок 5.1 – Основні відмінності розробленого стандарту від ДСТУ 3789-98

4. Надано описи методик визначення критичної інтенсивності подавання робочих розчинів, а також терміну зберігання і температурного діапазону застосування піноутворювачів. Як паливе для вогневих випробувань рекомендовано використовувати першочергово бензин-розчинник для гумової промисловості “Нефрас С-2-80/120”, можливість використання якого з цією метою обґрунтовано в результаті проведення досліджень.

5. Додатково введено розділи “Правила приймання” і “Правила використання, регенерації, утилізування”. Зокрема, передбачено проведення випробувань з визначення вогнегасної ефективності піни середньої кратності під час проведення приймально-здавальних випробувань піноутворювачів. Крім того, передбачено терміни і порядок проведення періодичної перевірки якості

піноутворювачів та їх водних розчинів, які зберігаються у підрозділах ДСНС України і на об'єктах різного призначення.

Як ДСТУ 3789:2015, так і Інструкція про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння передбачають періодичне контролювання якості піноутворювачів порядком, який можна відобразити у вигляді блок-схеми, поданої на рисунку 5.2. Принциповою відмінністю запропонованої схеми, обґрунтованої в результаті проведених досліджень, від тієї, яку застосовували в Україні раніше, є обов'язковість визначення вогнегасної ефективності піни, а також можливість застосування з цією метою стендових методик.

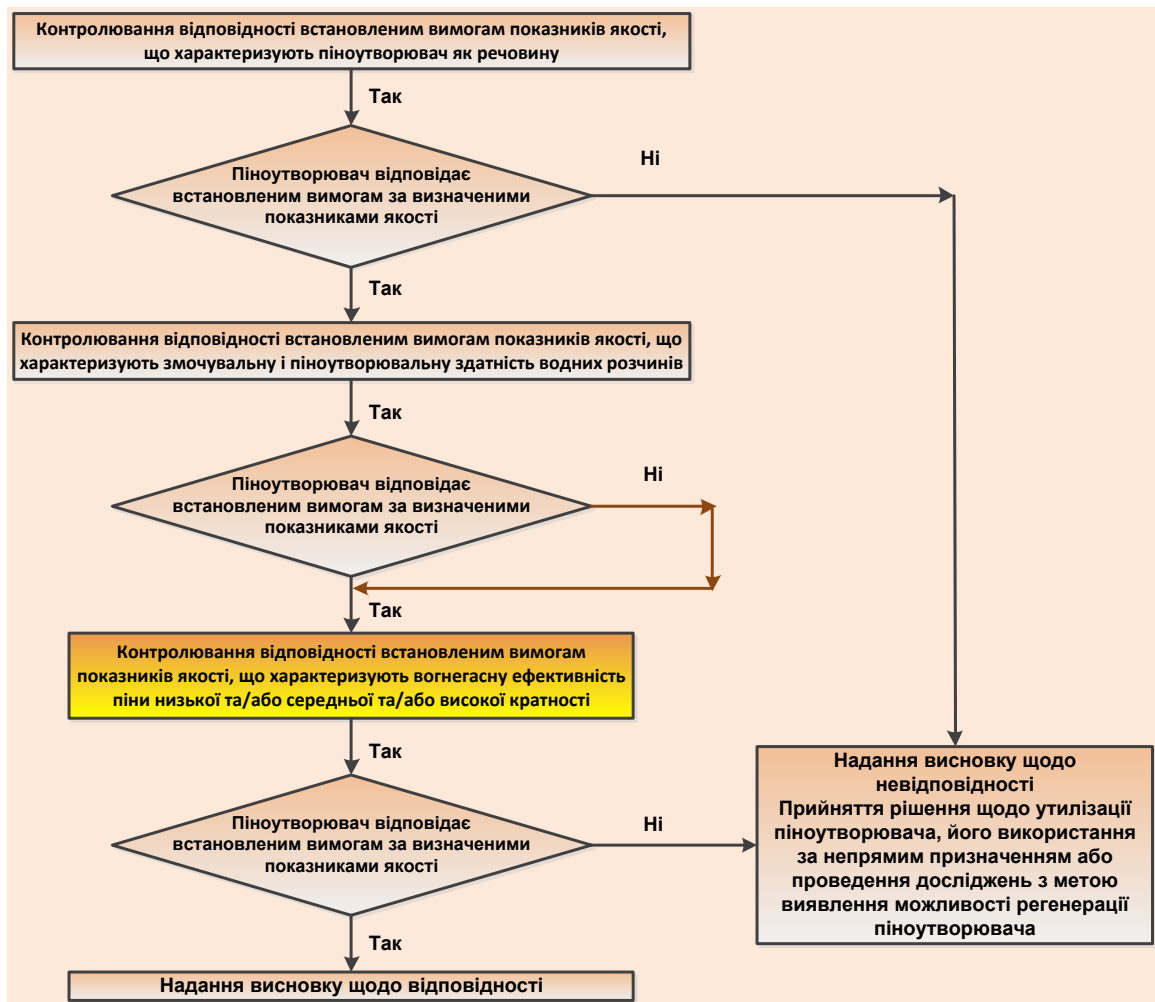


Рисунок 5.2 – Блок-схема процесу періодичного контролювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж

Обґрунтування можливості застосування бензину-розчинника для гумової промисловості “Нефрас С-2-80/120” замість гептану і внесення відповідних положень до ДСТУ 7142:2009, ДСТУ 7143:2009, ДСТУ 7144:2009, ДСТУ 7145:2009, гармонізованих з європейськими нормами щодо піноутворювачів (EN 1568 [17-20]), а також впровадження зазначених стандартів дало змогу розширити номенклатуру піноутворювачів, що виробляються в Україні, а також створити випробувальну базу, яка дає змогу випробовувати піноутворювачі на відповідність вимогам EN 1568 [17-20].

Одержані результати використано також у розробленні ДСТУ 8615:2016 *Пожежна безпека. Піноутворювачі для гасіння пожеж. Настави щодо поводження з вогнегасними речовинами, використовуваними у стаціонарних системах пінного пожежогасіння* та проекту ДСТУ “Системи протипожежного захисту. Підтримання експлуатаційної придатності”, який наразі розроблюється. Зокрема, чітка регламентація термінів, переліку показників якості піноутворювачів і порядку їх контролювання дає змогу одержати об’єктивні результати і, відповідно, вчасно вжити заходів щодо регенерації або заміни піноутворювачів, що зберігаються в оперативно-рятувальних підрозділах або в резервуарах стаціонарних систем пожежогасіння. Водночас, використання бензину-розчинника для гумової промисловості “Нефрас С-2-80/120” замість гептану як пального для вогневих випробувань дає змогу провести їх із забезпеченням прийнятної вартості. Крім того, ДСТУ 8615:2016 та “Інструкцію про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння” розроблено з урахуванням виявленої недостатності оцінювання якості плівкоутворювальних піноутворювачів за показниками поверхневого і міжфазового натягу без визначення вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни.

Розроблена експрес-методика визначення вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької кратності у разі гасіння горючих рідин дає змогу не тільки контролювати якість піноутворювачів, але й оцінювати вплив способу, інтенсивності подавання робочого розчину, хімічної природи горючої

рідини, умов довкілля та інших чинників на її вогнегасну ефективність без використання стандартизованих модельних вогнищ пожежі великої площі. Її реалізація дає змогу вибрати тип (марку) піноутворювача, застосування якого найбільш ефективно і (або) економічно обґрунтоване у певному випадку, у короткі терміни за відносно низьких матеріальних і ресурсних витрат. До того ж, користування нею дало змогу одержати масив даних, використаних у розробленні Рекомендацій щодо гасіння пожеж у спиртосховищах, які містять етиловий спирт, затверджених МНС України 22.01.2009.

Одержані результати апробовано шляхом їх використання у практичній діяльності виробників піноутворювачів, спеціалізованих лабораторій, що займаються контролюванням їх якості, і споживачів піноутворювачів, а також їх висвітленням у відповідних публікаціях і доповідях на науково-практичних конференціях.

5.2 Оцінювання економічної ефективності реалізації запропонованих експрес-методик

Економічну ефективність запропонованих експрес-методик визначення тривалості гасіння і проміжку часу до повторного займання оцінювали порівнянням витрат на пальне як основного складника вартості таких випробувань. Для розрахунків прийнято середню ринкову вартість витратних матеріалів, а саме: н-гептану – 240 грн./л, розчинника “Нефрас С-2-80/120” – 30 грн./л.

Випробування з визначення вогнегасної ефективності піни середньої кратності згідно з вимогами [2] передбачає визначення тривалості гасіння піною середньої кратності модельного вогнища пожежі 55В (номінальний діаметр дека модельного вогнища становить 1480 мм, кількість горючої рідини для одного досліду – 55 дм^3) за інтенсивності подавання робочого розчину $(0,038 \pm 0,004) \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Залежно від результатів проводять 2 або 3 досліди, тобто загальна витрата пального не менша за 110 дм^3 .

Під час випробування з визначення вогнегасної ефективності піни середньої кратності згідно з запропонованою експрес-методикою, як було з'ясовано в результаті досліджень, достатньо підтвердити можливість гасіння модельного вогнища пожежі діаметром 260 мм, що відповідає інтенсивності подавання робочого розчину $0,038 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Для цього необхідно провести 3 досліди, витрата пального на кожен з яких дорівнює $1,06 \text{ дм}^3$, тобто загальна витрата пального не перевищуватиме $3,2 \text{ дм}^3$. Відповідно, витрата горючої рідини у разі реалізації запропонованої експрес-методики знижується більше ніж у 30 разів.

Аналогічно, для визначення тривалості гасіння піною низької кратності модельного вогнища пожежі 144В (номінальний діаметр дека 2400 мм) і проміжку часу до повторного займання потрібно провести не менше двох дослідів. У деко модельного вогнища пожежі заливають 144 дм^3 горючої рідини, у тигель для повторного запалювання – 2 дм^3 . Загальна витрата горючої рідини на випробування становить не менше ніж 292 дм^3 .

Для визначення цих параметрів за розробленою експрес-методикою необхідно провести аналогічні досліди з модельним вогнищем пожежі 8В (номінальний діаметр дека 565 мм). Витрата горючої рідини на один дослід з визначення тривалості гасіння і проміжку часу до повторного займання дорівнює $8,3 \text{ дм}^3$. Сумарна витрата горючої рідин (у разі проведення трьох дослідів, якщо один з них неуспішний) не перевищує 25 дм^3 . Витрата горючої рідини у разі реалізації цієї експрес-методики знижується приблизно в 12 разів.

Заміна н-гептану, що використовується як горюча рідина під час визначення вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни, розчинником “Нефрас С-2-80/120”, дає змогу знизити витрати коштів на придбання цієї рідини у 8 разів.

Застосування експрес-методики визначення вогнегасної ефективності піни середньої кратності під час прийнятно-здавальних випробувань або періодичного контролювання якості піноутворювачів як альтернативи стандартизованої методиці з використанням розчинника “Нефрас С-2-80/120” замість н-гептану дає змогу знизити витрати на горючу рідину орієнтовно в

240 разів. Аналогічно, витрати на випробування з гасіння модельних вогнищ пожежі піною низької кратності можна знизити приблизно у 96 разів.

5.3 Висновки за розділом

1. Впровадження результатів аналітичних досліджень, проведених у роботі, поданням відповідної інформації у Довіднику керівника гасіння пожежі, Інструкції про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння та ДСТУ 8615:2016 дало змогу більш обґрунтовано вибрати піноутворювачі, обладнання для генерування піни, а також оперативно-тактичні прийоми їх застосування у пожежогасінні і протипожежному захисті об'єктів залежно від природи горючих рідин та специфіки об'єкта протипожежного захисту.

2. Впровадження результатів експериментальних досліджень, проведених у роботі, розробленням ДСТУ 3789:2015, а також ДСТУ 7142:2009, ДСТУ 7143:2009, ДСТУ 7144:2009 і ДСТУ 7145:2009 дало змогу уточнити перелік нормованих показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж, удосконалити методи їх випробування, а також розширити номенклатуру вогнегасних речовин, що виробляються в Україні. Реалізація їх положень дає змогу об'єктивно оцінювати якість піноутворювачів на всіх стадіях їх життєвого циклу, а також створює передумови для підвищення ефективності пожежогасіння і протипожежного захисту з використанням піноутворювачів.

3. Реалізація розробленої експрес-методики оцінювання вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької кратності під час гасіння неполярних горючих рідин дає змогу зменшити витрати горючої рідини приблизно в 12 разів, а заміна у цьому разі н-гептану розчинником “Нефрас С-2-80/120” за сучасного рівня їх ринкових цін знижує витрати коштів приблизно у 96 разів. Витрати на випробування з визначення вогнегасної ефективності піни середньої кратності за експрес-методикою з використанням розчинника “Нефрас С-2-80/120” дає змогу знизити витрати на горючу рідину орієнтовно у 240 разів.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, наведено розв'язання актуальної наукової задачі розкриття особливостей впливу чинників на процеси взаємодії піни з полум'ям під час гасіння модельних вогнищ з неполярними горючими рідинами як наукове підґрунтя удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж. Основні наукові і практичні результати наведено нижче.

1. За результатами проведеного аналізу статистики пожеж виявлено, що в Україні щороку виникає понад 70 тис. пожеж, які призводять до значних збитків, знищення будинків, споруд, технологічного обладнання, матеріальних цінностей, а також загибелі людей і тварин. Ефективність боротьби з пожежами та систем забезпечення протипожежного захисту об'єктів значною мірою залежить від правильного вибору вогнегасних речовин і способів їх подавання. Важливе місце серед них займають піноутворювачі, робочі розчини яких застосовують для генерування піни під час ліквідації пожеж, які зазвичай неможливо погасити іншими засобами.

2. Встановлено, що існуюча на теперішній час національна система оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж не відповідає сучасним вимогам, зокрема в частині використання знятого з виробництва бензину автомобільного А-76 під час визначення показників вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни, згенерованої з робочих розчинів піноутворювачів, на відміну від загальноприйнятої світової практики використання у таких випадках гептану.

3. Висунуто ідею, що підвищення ефективності застосування піноутворювачів для пожежогасіння може бути досягнуто шляхом удосконалення системи оцінювання їх якості, яка б враховувала особливості впливу чинників на процеси взаємодії піни з полум'ям під час гасіння модельних вогнищ з неполярними горючими рідинами та забезпечувала б єдність випробувань зазначених вогнегасних речовин.

4. Обґрунтовано методологію та методи проведення досліджень з виявлення впливу чинників на процеси взаємодії піни середньої та низької кратності з полум'ям під час гасіння модельних вогнищ з неполярними горючими рідинами, яка передбачає проведення як аналітичних, так і експериментальних досліджень в лабораторних та полігонних умовах за стандартизованими або удосконаленими методиками із використанням модельних вогнищ пожежі з бензином автомобільним А-76, бензином-розчинником "Нефрас С-2-80/120", а також н-гептаном у якості пального. Також обґрунтовано застосування за стандартизованих методик для виявлення впливу чинників на об'єктивність визначення таких показників якості піноутворювачів, як густина, в'язкість, водневий показник, поверхневий та між фазовий натяг на межі розділу з вуглеводневою рідиною, кратність та стійкість піни

5. Визначено параметри горіння окремих горючих рідин і встановлено, що усереднена в часі температура у верхній частині полум'я під час горіння н-гептану в стаціонарному режимі становить 653°C , тоді як під час горіння бензину-розчинника "Нефрас С-2-80/120" вона на 60°C , а бензину автомобільного – на 125°C вища; масова швидкість вигорання за цих умов бензину-розчинника "Нефрас С-2-80/120" більша за відповідний показник під час горіння н-гептану у середньому на 2,5 %, а швидкість вигорання бензину автомобільного перевищує її на 19 %; усереднене значення густини теплового потоку під час горіння н-гептану і бензину-розчинника "Нефрас С-2-80/120" мало відрізняються між собою, а густина теплового потоку під час горіння бензину автомобільного приблизно на 30 % нижча. Також встановлено, що тривалість гасіння модельних вогнищ пожежі класу В у разі використання як пального н-гептану та бензину-розчинника "Нефрас С-2-80/120" у 1,6 – 2,1 рази менша у порівнянні з використанням бензину автомобільного, а проміжок часу до повторного займання модельних вогнищ пожежі, погашених піною низької кратності, у випадку н-гептану та бензину-розчинника "Нефрас С-2-80/120" у 2,3 – 2,5 рази триваліший, ніж у разі бензину автомобільного. Підтверджено припущення про можливість використання

бензину-розчинника “Нефрас С-2-80/120” як пального для об’єктивного оцінювання вогнегасної ефективності піни.

6. Удосконалено методику визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння горючих рідин піною середньої кратності шляхом застосування під час гасіння модельних вогнищ пожежі класу В площею від 0,05 м² до 0,10 м² на відміну від регламентованого стандартами модельного вогнища пожежі класу В площею 1,73 м².

7. Розроблено експрес-методику визначення вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької кратності у разі гасіння горючих рідин, сутність якої полягає у визначенні тривалості гасіння циліндричних модельних вогнищ пожежі з бензином-розчинником “Нефрас С-2-80/120” з поступовим збільшенням площі починаючи з 0,3 м², та проміжку часу до займання погашеного модельного вогнища пожежі після внесення до нього однакового в усіх випадках джерела повторного запалювання, застосування якої дало змогу оцінювати вплив способу, параметрів подавання піни, природи горючої рідини та інших чинників на її вогнегасну ефективність. Реалізація цих методик також забезпечила зменшення витрат на проведення випробувань з оцінювання показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж та викидів забруднювачів у довкілля.

8. Обґрунтовано шляхи удосконалення національних нормативних документів, якими регламентовано технічні вимоги, методи випробування, а також порядок застосування і періодичного контролювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж. Зазначені результати використано під час внесення змін до ДСТУ 3789:2015 *Пожежна безпека. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробування* та розробленні таких нормативних документів:

- Довідника керівника гасіння пожежі (ISBN 978-617-635-087-3, 2016 рік);
- “Інструкції про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння”, затвердженої наказом МНС України від 24.11.2008 № 851;

– “Рекомендацій щодо гасіння пожеж у спиртосховищах, які містять етиловий спирт”, затверджених МНС України 22.01.2009;

– ДСТУ 7142:2009, ДСТУ 7143:2009, ДСТУ 7144:2009, ДСТУ 7145:2009, гармонізованих з європейськими нормами щодо піноутворювачів (EN 1568), чинність яких у 2010 – 2013 роках дала змогу розширити номенклатуру піноутворювачів, що виробляються в Україні, а також створити випробувальну базу, яка дає змогу випробовувати піноутворювачі на відповідність вимогам EN 1568;

– ДСТУ 8615:2016 Пожежна безпека. Піноутворювачі для гасіння пожеж. Настанови щодо поводження з вогнегасними речовинами, використовуваними у стаціонарних системах пінного пожежогасіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3105-95 (ГОСТ 26952-97) Порошки вогнегасні. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.
2. ДСТУ 3789-98 Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.
3. ДСТУ 3958-2000 Газові вогнегасні речовини. Номенклатура показників якості, загальні технічні вимоги та методи випробувань.
4. ДСТУ 4041-2001 Піноутворювачі спеціального призначення, що використовуються для гасіння пожеж водонерозчинних і водорозчинних горючих рідин. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.
5. ДСТУ EN 2:2014 Класифікація пожеж (Classification of fires).
6. ДСТУ EN 1568-1:2018 (EN 1568-1:2018), IDT Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 1. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною середньої кратності, що подається на поверхню.
7. ДСТУ EN 1568-2:2018 (EN 1568-2:2018, IDT) Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 2. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною високої кратності, що подається на поверхню.
8. ДСТУ EN 1568-3:2018 (EN 1568-3:2018, IDT) Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 3. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною низької кратності, що подається на поверхню.
9. ДСТУ EN 1568-4:2018 (EN 1568-4:2018, IDT) Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 4. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водорозчинних горючих рідин піною низької кратності, що подається на поверхню.
10. Persson, H., Bobert, M., Amon, F. ENANKFIRE – Fire extinguishing tests of ethanol tank fires in reduced scale, SP Swedish National Testing and Research Institutes, SP Report 2016:56, Boras, Sweden.

11. ГОСТ 2874-82 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством.

12. ГОСТ 6709-72 Вода дистиллированная. Технические условия.

13. ГОСТ 29298-92 Ткани хлопчатобумажные и смешанные бытовые. Общие технические условия.

14. ISO 7203-1:1995 Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 1: Specification for low expansion foam concentrates for top application to water-immiscible liquids.

15. ISO 7203-2:1995 Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 2: Specification for medium and high expansion foam concentrates for top application to water-immiscible liquids.

16. ISO 7203-3:1998 Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for top application to water-miscible liquids.

17. EN 1568-1:2008 Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 1: Specification for medium expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.

18. EN 1568-2:2008 Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 2: Specification for high expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.

19. EN 1568-3:2008 Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 3: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.

20. EN 1568-4:2008 Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 4: Specification for low expansion foam concentrates for surface application to water-miscible liquids.

21. ГОСТ Р 50588-93 Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний.

22. НПБ 304-2001 Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний.

23. РЖ Пожарная охрана, 2003, 03.09-27А.51. Пенообразующие составы для тушения лесных пожаров / Пивоваров В.В., Пешков В.В. // О мерах по совершенствованию борьбы с лесными пожарами: Матер. науч.-практ. конф. Москва, 2002. М.: Изд. ВНИИПО, 2002. – С. 197, 198.

24. Казаков М.В. Применение поверхностно-активных веществ для тушения пожаров – М.: Стройиздат, 1977. – 81 с.

25. Казаков М.В., Демидов П.Г. Применение смачивателей для тушения пожаров – М.: Стройиздат, 1964. – 56 с.

26. Дяглева Л.К., Казаков М.В., Одинец М.В. К вопросу повышения огнегасительной эффективности воды // Процессы горения и проблемы тушения пожаров: Матер. III Всесоюзной науч.-практ. конф., Ч. 2. Москва, 1973. – С. 168-187.

27. Гуринова Э.Л., Тарадайко В.П., Веселов А.И. К вопросу повышения огнетушащей эффективности воды при тушении конденсированных систем // Процессы горения и проблемы тушения пожаров: Матер. III Всесоюзной науч.-практ. конф., Ч. 2. Москва, 1973. – С. 164-166.

28. Арцыбашев Е.С., Лорбербаум В.Г. Химические методы борьбы с лесными пожарами: Обзорная информация. – (Обмен производственным опытом). – М., 1972. – 48 с.

29. Разработка огнетушащего состава на основе фосфорно-аммонийных солей / Арцыбашев Е.С., Лорбербаум В.Т., Пирогова Т.Г., Седина И.Н. // Лесные пожары и борьба с ними. Л., 1989, №1. – С. 61-69.

30. Огнезащитное действие бишофита на древесину / Копылов Н.П., Сядук В.Л., Мотин М.А., Яшин В.В. // Пожаротушение: Сб. науч. тр. М., ВНИИПО МВД СССР, 1983. – С. 92-95.

31. Оценка эффективности воды, растворов бишофита и бентонита при локализации пожаров на склада лесопиломатериалов // Пожаротушение: Сб. науч. тр. М., ВНИИПО МВД СССР, 1983. – С. 161-166.

32. Казаков М.В., Моисеенко В.М., Одинец М.В. Влияние добавок высокомолекулярных соединений на огнезащитные свойства воды // Пожарная

техника и тушение пожаров: Сб. науч. тр. М., ВНИИПО МВД СССР, 1981. – С. 112-116.

33. Тушение древесины водой с низкомолекулярными добавками / Билкун Д.Г., Казаков М.В., Пешков В.В., Пузако М.В. // Теоретические и экспериментальные вопросы пожаротушения: Сб. науч. тр. М., ВНИИПО МВД СССР, 1982. – С. 99-105.

34. Моисеенко М.В., Дубков П.Ф. Влияние добавок высокомолекулярных соединений на огнетушащие и огнезащитные свойства воды // Теоретические и экспериментальные вопросы пожаротушения: Сб. науч. тр. М., ВНИИПО МВД СССР, 1982. – С. 106-113.

35. Огнетушащие свойства воды с добавками высокомолекулярных и низкомолекулярных соединений / Билкун Д.Г., Дубков П.Ф., Моисеенко В.М., Пешков В.В. // Пожаротушение: Сб. науч. тр. М., ВНИИПО МВД СССР, 1983. – С. 96-101.

36. Гетманский И.К., Бавика Л.И. Методы испытаний водных растворов поверхностноактивных веществ. М., НИИТЭИ, 1965. – 100 с.

37. НПБ 203-98 Пенообразователи для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования. Методы испытаний.

38. ISO 304-1985 Surface active agents – Determination of surface tension by drawing up liquid films.

39. EN 1568-1:2000 Fire extinguishing media – Foam concentrates – Part 1: Specification for medium expansion foam concentrates for surface application to water-immiscible liquids.

40. Шароварников А.Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. М.: Знак, 2000. – 486 с.

41. Билкун Д.Г. Исследование устойчивости и огнетушащей эффективности пен из растворов алкилсульфатов // Теоретические и экспериментальные вопросы пожаротушения: Сб. науч. тр. М., ВНИИПО МВД СССР, 1982. – С. 77-81.

42. Билкун Д.Г. Исследование устойчивости и огнетушащей эффективности пен из растворов алкилсульфатов // Теоретические и экспериментальные вопросы пожаротушения: Сб. науч. тр. М., ВНИИПО МВД СССР, 1982. – С. 77-81.

43. Казаков М.В., Билкун Д.Г. Синергетическое действие мочевины и высших жирных спиртов на огнетушащие свойства алкилсульфатов // Горючесть веществ и химические средств пожаротушения: Сб. науч. тр. М., ВНИИПО МВД СССР, 1979. – Вып. 6. – С. 111-114.

44. Пешков В.В., Пузако М.В., Билкун Д.Г. Повышение огнетушащей эффективности пенообразователей с помощью полиэтиленполиаминов // Средства и способы пожаротушения: Сб. науч. тр. М., ВНИИПО МВД СССР, 1988. – С. 67-72.

45. Боровиков В.О. Одержання та застосування екологічно безпечних піноутворювачів для гасіння пожеж. Дис. ... канд. техн. наук. К., УкрНДІПБ МВС України, 2002. – 237 с.

46. Пешков В.В., Цариченко С.Г. Пенообразователи для тушения пожаров. Что мы проверяем по методикам российского и международных стандартов (ISO и EN)? // Сборник трудов 5 Юбилейной Международной специализированной выставке “Пожарная безопасность XXI века” и 4 Международной специализированной выставке “Охранная и пожарная автоматика” (комплексные системы безопасности), Москва, 2006. М.: Эксподизайн РА, М: ПожКнига, 2006. – С. 73-74.

47. РЖ Пожарная охрана, 1988, 9A235. Опыты по тушению бензинов пеной. Gasoline fires and Foams / Briggs A.A., Webb J.S. // Fire Technol., 1988, т. 24, №1. – С. 48-58.

48. РЖ Пожарная охрана, 1987, 12A215. Взаимодействие огнетушащих пен с горящими углеводородами. Interaction of fire fighting foams with burning hydrocarbons / Briggs A.A. // Ind. Appl. Surfactants Proc. Symp., Salford, 15th-17th Apr., 1986. London, 1987. – С. 98-101.

49. РЖ Пожарная охрана, 1980, 12A178. Тушение этилированного бензина. Extinguishing gasohol fires / Dimaio Louis R. // Fire J., 1980, т. 74, №2. – С. 60-63.

50. РЖ Пожарная охрана, 1981, 2А84. Сравнительные испытания на пожарах жидких топлив. Comparative tests on liquid fuel fires // Fire Int., 1980, т. 6, №68. – С. 65-79.

51. РЖ Пожарная охрана, 1981, 8А89. Испытания огнетушащей эффективности пены. Trials of foam on petrol pool fires / Wells Alan // Fire Prot., 1981, т. 44, №524. – С. 17.

52. РЖ Пожарная охрана, 1981, 9А80. Результаты испытаний по использованию пен для тушения пожаров разлитого бензина. Interesting results from trials of foam on petrol pool fires / Wells Alan // Fire Eng. J., 1981, т. 41, №121. – С. 40.

53. РЖ Пожарная охрана, 1982, 3А83. Огнетушащий эффект различных видов пены. La presence d'une pellicule protectrice dans la mousse extinctrice / Szonyi S. // Rev. gén. Secure, 1981, №7. – С. 82-86.

54. РЖ Пожарная охрана, 1982, 4А95. Использование пен для тушения пожаров. Fighting fires with foam / Munroe Kent // Fire Chief, 1981, т. 25, №6. – С. 44-46.

55. РЖ Пожарная охрана, 1982, 8А71. Метод тушения горящего газохолола. FRS investigates methods of dealing with gasohol fires / Briggs Tony // Fire, 1982, т. 74, №923. – С. 679-681.

56. РЖ Пожарная охрана, 1982, 9А98. Пленкообразующая фторпротеиновая пена. Angus introduce Petroseal FFFP in Holland // Fire Prot., 1982, т. 45, №538. – С. 24, 25.

57. РЖ Пожарная охрана, 1982, 11А72. Пенообразователь. F.F.F.P. Schäume jetzt in Europa // Mag. Feuerwehrmann, 1982, т. 7, №6. – С. 286, 287.

58. РЖ Пожарная охрана, 1982, 11А73. Опыт по тушению бензина пенами. Foam tests on petrol tray fires / Parsons P.L. // Fire Eng. J., 1982, т. 42, №125. – С. 32.

59. РЖ Пожарная охрана, 1983, 3А131. Испытание пены в качестве огнетушащего агента для полярных растворителей и нефтепродуктов. Testing of foam as a fire extinguishing medium for polar solvent and petroleum fires / Ryderman Anders // FoU-Brand, 1981-1982, С. 12-16.

60. РЖ Пожарная охрана, 1984, 4A91. Пена и ее применение. Foam and its application / Ackland T. // Fire Int., 1983, т. 7, №83. – С. 48, 49.

61. РЖ Пожарная охрана, 1985, 3A266. Испытания низкократных пен. The testing of low expansion foams / Briggs Tony // Fire, 1984, т. 77, №952. – С. 48-49.

62. РЖ Пожарная охрана, 1985, 4A249. Сравнительные огневые испытания огнетушащих пен. Versuchsbedingungen und Meßergebnisse der Löschversuche an Brandwannen / FialaR // VFDB-Zeitschrift, 1984, т. 33, №3. – С. 95-100.

63. РЖ Пожарная охрана, 1986, 12A351. Тушение спиртобензиновых смесей пеной. Evaluating the use of firefighting foams / Noll Greg // Fire Eng., 1989, т. 139, №2. – С. 44, 46, 47, 49.

64. РЖ Пожарная охрана, 1987, 4A184. Новые пенообразователи. De la mousse prenique aux mousses synthetiques de la novella generation / Szonyi Jr. S., Cambon A. // Rev. Gen. Secur., 1986, №7. – С. 75-80.

65. РЖ Пожарная охрана, 1987, 8A144. Применение пены для тушения пожаров резервуаров с горючими жидкостями. Foam thoughts from the USA // Fire, 1987, т. 79, №983. – С. 35.

66. РЖ Пожарная охрана, 1987, 8A145. Пленкообразующая фторпротеиновая пена. Airport chooses angus FFFP // Fire, 1987, т. 79, №983. – С. 57.

67. РЖ Пожарная охрана, 1988. 12A220. Обмен опытом по тушению углеводородов. Feux d'hydrocarbures. La force de l'expérience // Rev. gén. Secure, 1988, №75. – С. 7-9.

68. РЖ Пожарная охрана, 1988. 12A224. Концентрированные пенообразователи и их применение. Foam concentrates: how to use them / Arcland A.F. // Fire Fight. Can., 1988, т. 32, №4. – С. 37, 39-40, 42.

69. РЖ Пожарная охрана, 1989, A215. Огнетушащая способность различных типов пен, примененных отдельно или совместно для тушения нефтепродуктов. Extinguishing abilities of different fire-fighting foams applied individually or together on petroleum fires / Hoshino M., Hayshi K. // Нихон касай гаккай ромбунсю = Bull. Jap. Assoc. Fire Sci. and Eng., 1989, т. 38, №1. – С. 11-20.

70. РЖ Пожарная охрана, 1989, 8A230. Сравнительные характеристики огнетушащих пен. Foams for flammable liquid fires – choice and evaluations / Evans J.L. // Fire Surv., т. 17, №5. – С. 5-10.

71. РЖ Пожарная охрана, 1992, 5A205. Пены для тушения самолетов. Foam meets requirements of new specification // Fire Int., 1991, т. 15, №130. – С. IV, VI.

72. РЖ Пожарная охрана, 1994, 9A130. Выбор огнетушащей пены. La difficile scelta delle schiume anticendio // Riv. Combust., 1993, т. 47, №9. – С. 399, 400.

73. РЖ Пожарная охрана, 2003, 03.05-27A.86. Сравнение эффективности пенных огнетушащих средств. Effectiveness of the foam agents for new alcohol fuels / Turumi Fumio, Natio Akiyoshi, Suzuki Kenji // Shobo kagaku kenkyujo = Rept. Fire Sci. Lab., 2002, №39. – С. 54-61.

74. РЖ Пожарная охрана, 1980, 10A98. Жесткий лабораторный метод огневых испытаний огнетушащих пен. Severe laboratory fire test for fire fighting foams / Chiesa P.J., Alger R.S. // Fire Technology, 1980, т. 16, №1. – С. 12-21.

75. Низкократная фторсинтетическая пленкообразующая пена – эффективное средство тушения пожаров нефтепродуктов / Макаров С.А., Кряквин А.К., Беляев С.Г., Грошев М.А. // Юбилейный сборник научных трудов Академии государственной противопожарной службы МВД России. Иваново: Изд. ИвГУ, 2001. – С. 86-91.

76. Воевода С.С., Шароварников С.А., Макаров С.А. Влияние кратности пены на скорость растекания водной пленки по поверхности гептана / Крупные пожары: Предупреждение и тушение: Матер. 16 научно-практ. конф. Москва, 2001. Ч. 2. М.: Изд. ВНИИПО, 2001. – С. 54-58.

77. Макаров С.А., Шароварников С.А., Воевода С.С. Влияние скорости растекания водной пленки на огнетушащую эффективность пены // Крупные пожары: Предупреждение и тушение: Матер. 16 научно-практ. конф. Москва, 2001. Ч. 2. М.: Изд. ВНИИПО, 2001. – С. 63-72.

78. Шароварников С.А., Воевода С.С., Макаров С.А. Влияние коллоидно-химических свойств водных растворов поверхностно-активных веществ на скорость растекания водной пленки // Крупные пожары: Предупреждение и

тушение: Матер. 16 научно-практ. конф. Москва, 2001. Ч. 2. М.: Изд. ВНИИПО, 2001. – С. 78-82.

79. Шароварников С.А., Воевода С.С., Макаров С.А. Исследование растекания пленки из водных растворов поверхностно-активных веществ по поверхности гептана // Крупные пожары: Предупреждение и тушение: Матер. 16 научно-практ. конф. Москва, 2001. Ч. 2. М.: Изд. ВНИИПО, 2001. – С. 82-87.

80. Комплексные исследования свойств фторсинтетической пены для тушения нефтепродуктов / Воевода С.С., Макаров С.А., Шароварников А.Ф., Шароварников С.А. // Пожаровзрывобезопасность, 2003, т. 12, №6. – С. 39-42, 98.

81. Воевода С.С., Макаров С.А., Грошев М.А. Математическое моделирование тушения пламени нефтепродуктов пленкообразующей пеной // Пожаровзрывобезопасность, 2003, т. 12, №6. – С. 43-45, 98.

82. Воевода С.С., Макаров С.А., Шароварников С.А. Определение скорости растекания ряда фторсинтетических пенообразователей по поверхности нефтепродукта // Пожаровзрывобезопасность, 2003, т. 12, №6. – С. 46-48, 98.

83. Экспериментальное определение характеристик тушения пленкообразующей пеной / Воевода С.С., Макаров С.А., Грошев М.А., Шароварников С.А. // Пожаровзрывобезопасность, 2003, т. 12, №6. – С. 49-52, 98.

84. Влияние кратности противопожарной пленкообразующей пены на образование и растекание изолирующей водной пленки / Воевода С.С., Макаров С.А., Грошев М.А., Шароварников С.А. // Пожаровзрывобезопасность, 2003, т. 12, №6. – С. 53-55, 99.

85. Федюнин Ю.К., Наумов В.В. Результаты испытаний пленкообразующего фторсинтетического пенообразователя Finiflam A3F // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений: Матер. 19 науч.-практ. конф. Москва, 2005, Ч. 3. М.: Изд-во ВНИИПО, 2005. – С. 198, 199.

86. РЖ Пожарная охрана, 1980, 1А91. Испытания огнетушащих пен / Окияма Аромити // Касай, 1979, т. 29, №1. – С. 48-57.

87. Звітна довідка за темою “Провести исследования по созданию комплекса технических средств для проведения огневых и стендовых испытаний

огнетушителей, огнетушащих порошков и установок порошкового пожаротушения”. Кер. Денисенко В.В. – К., КФ ВНДПО МВС СРСР, 1991. – 312 с. – Інв. №1545-0.

88. ДСТУ 4063-2001 Бензини автомобільні. Технічні умови.

89. ДСТУ 7687:2015 Бензини автомобільні Євро. Технічні умови.

90. Корольченко А.Я., Шароварников С.А. Тушение смесевых топлив фторсодержащими пенообразователями // Транспорт и хранение нефтепродуктов. М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1996, Вып. 8-9. – С. 14-17.

91. Білкун Д.Г., Боровиков В.О., Скоробагатько Т.М., Чеповський В.О. Проблеми пошуку ефективних засобів гасіння біобензину // Пожежна безпека: зб. наук. праць – Львів: ЛДУ БЖД, 2009– №15 – с.101-107.

92. Скоробагатько Т.М., Боровиков В.О., Білкун Д.Г. Результати експериментальних досліджень гасіння окремих зразків моторного біопалива та палива моторного сумішевого пінами середньої та низької кратності // Науковий вісник УкрНДПБ: Науковий журнал, 2010, №2(22). – К., УкрНДПБ МНС України. – с. 142 -147.

93. ГОСТ 25828-72 Гептан нормальный эталонный. Технические условия.

94. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.

95. Рекомендации по обработке результатов прямых и косвенных измерений. В., ВНИИПО МВД СССР, 1983. – 35 с.

96. ДСТУ 2207.1-93 (ГОСТ 22567.5-93) Засоби миючі синтетичні і речовини поверхнево-активні. Методи визначення концентрації водневих іонів.

97. Краткий справочник физико-химических величин. Изд. 8-е, перераб. / Под ред. Равделя А.А., Пономаревой А.М. – Л.: Химия, 1983. – 232 с.

98. Абдурагимов И.М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М., ВИПТШ, 1980. – 223 с.

99. МИ 1552-86 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей результатов измерений. Методические указания.

100. ДСТУ ГОСТ 8.207:2008 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

101. МИ 2083-90 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей. Рекомендация.

102. РМГ 43-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Применение “Руководства по выражению неопределенности измерений”.

103. ГОСТ 18995.1-73 Продукты химические жидкие. Методы определения плотности.

104. ГОСТ 18481-81 Ареометры и цилиндры стеклянные. Общие технические условия.

105. ГОСТ 18995.5-73 Продукты химические органические. Методы определения температуры кристаллизации.

106. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии: Учебное пособие для вузов. М., Издательство стандартов, 1972. – 312 с.

107. Казаков М.В., Петров И.И., Реутт В.Ч. Средства и способы тушения пламени горючих жидкостей. – М.: Стройиздат, 1977. – 112 с.

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію
результатів дисертації

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слуцька О.М., Білошицький М.В. Перспективи підвищення достовірності результатів випробувань виробів протипожежного призначення за рахунок заміни бензину на пальне з більш стабільними показниками якості // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2006, №1(13). – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 90 - 96.

2. Боровиков В.О., Слуцька О.М., Козяр Н.М., Білошицький М.В. Основні положення проекту нової редакції Інструкції про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2006, №1(13). – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 97 – 101.

3. Згуря В.І., Боровиков В.О., Слуцька О.М., Чеповський В.О. Питання удосконалення методик досліджень та випробувань для гасіння пожеж // Пожежна безпека: Зб. наук. праць, 2006, №9. – Львів, ЛПБ МНС України, УкрНДІПБ МНС України. – с. 11 – 19.

4. Боровиков В.О., Шеверєв Є.Ю., Слуцька О.М., Чеповський В.О. Дослідження параметрів горіння деяких неполярних горючих рідин // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2007, №1(15). – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 115 – 122.

5. Козяр Н.М., Шеверєв Є.Ю., Боровиков В.О., Слуцька О.М., Чеповський В.О. Вплив параметрів горіння деяких неполярних горючих рідин на ефективність їх гасіння піною низької та середньої кратності // Пожежна безпека: Зб. наук. праць, 2007, №10. – Львів, ЛПБ МНС України, УкрНДІПБ МНС України. – с. 202 – 212.

6. Антонов А.В., Боровиков В.О., Слуцька О.М. Методологія оцінювання вогнегасної ефективності піни низької кратності під час гасіння горючих рідин // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2008, №1(17). – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 146 – 154.

7. Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слущка О.М. Дослідження процесів взаємодії вогнегасних речовин з полум'ям під час гасіння етилового спирту // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2008, №2(18). – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 82 – 90.

8. Нікітін В.А., Антонов А.В., Чеповський В.О., Боровиков В.О., Слущка О.М. Основні положення “Рекомендацій щодо гасіння пожеж у спиртосховищах, що містять етиловий спирт” // Проблемы экологии: Загальнодержавний науково-технічний журнал, 2008, №1-2. – Донецьк, ВНЗ ДонНТУ. –с. 80 – 85.

9. Боровиков В.О., Слущка О.М. Обґрунтування методології визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2008, №2(18). – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 77 – 81.

10. Боровиков В.О., Козяр Н.М., Слущка О.М. Обґрунтування придатності методики визначення критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів загального призначення під час гасіння неполярних горючих рідин для оцінювання їх якості // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2009, №1(19). – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 179 -182.

11. Антонов А.В., Боровиков В.О., Слущка О.М. Основні положення нової редакції національного стандарту на піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж // Науковий вісник УкрНДІПБ: Науковий журнал, 2009, №2(20) – К., УкрНДІПБ МНС України. – с. 78 – 83.

12. Боровиков В.О., Слущка О.М. Щодо визначення ефективності піноутворювачів у разі гасіння моторного пального з полярними добавками // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека: Науковий журнал, 2017, №1(3). – К., УкрНДІЦЗ. – с. 70 – 83.

13. Боровиков В.А., Слущкая О.М. Совершенствование методов испытаний и нормативной базы по оцениванию показателей качества пенообразователей для тушения пожаров в Украине // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Научно-технический журнал, 2017, № 2 (42) -2017. – М., НИИ ПБ и ЧС Республики Беларусь. – с. 5 – 15.

Апробація матеріалів дисертації:

1. Шеверєв Є.Ю., Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слущька О.М. Параметри горіння неполярних горючих рідин і залежність вогнегасної та ізолювальної ефективності піни від їх природи // Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика: Матеріали VI Міжнародної науково-методичної конференції. К., 2007.

2. Згуря В.І., Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слущька О.М. Удосконалення методик досліджень та випробувань піноутворювачів для гасіння пожеж // Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика: Матеріали VI Міжнародної науково-методичної конференції. К., 2007.

3. Шеверєв Є.Ю., Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слущька О.М. Некоторые вопросы оценки эффективности огнетушащих веществ // Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах: Материалы XX Международной научно-практической конференции. Секция 2: Тушение пожаров и спасание людей. М., 2007.

4. Згуря В.І., Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слущька О.М. Повышение точности результатов испытаний пенообразователей для тушения пожаров // Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах: Материалы XX Международной научно-практической конференции. Секция 2: Тушение пожаров и спасание людей. М., 2007.

5. Згуря В.І., Боровиков В.О., Чеповський В.О., Слущька О.М. Шляхи підвищення достовірності результатів оцінки показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж // Геотехнологии и управление производством XXI века: Сборник научных трудов II научно-практической конференции. Донецк, 2007.

6. Антонов А.В., Боровиков В.О., Слущька О.М. Обґрунтування методології визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж // Природничі науки та їх

застосування в діяльності цивільного захисту: Тези доповідей II Міжнародної науково-практичної конференції. Черкаси, АПБУ ім. Героїв Чорнобиля, 2008.

7. Антонов А.В. Боровиков В.О., Слущька О.М. Методология оценки огнетушащей эффективности пены низкой кратности при тушении горючих жидкостей // Актуальные проблемы пожарной безопасности: Материалы IXX Международной научно-практической конференции. М., ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.

8. Боровиков В.О., Кришталь В.Н., Слущька О.М. Об эффективности пенообразователей специального назначения при тушении горючих жидкостей // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. Минск, НИИПБиЧС МЧС Беларуси, 2009.

9. Боровиков В.О., Слущька О.М. Основні положення проекту змін до ДСТУ 3789 // Пожежна безпека – 2009: Тези доповідей. Львів, ЛДУБЖД МНС України, 2009.

10. Чеповский В.О., Боровиков В.О., Слущька О.М. Исследование процессов взаимодействия огнетушащих веществ с пламенем этилового спирта и рекомендации по тушению пожаров в спиртохранилищах // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. Минск, НИИПБиЧС МЧС Беларуси, 2009.

Додаток Б

Копія Методики визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності та матеріалів її первинної атестації

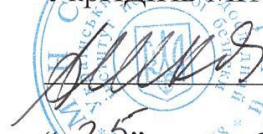


**МІНІСТЕРСТВО УКРАЇНИ З ПИТАНЬ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
ТА У СПРАВАХ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ ВІД НАСЛІДКІВ
ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ
(МНС УКРАЇНИ)**

**УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ
(УкрНДІПБ)**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший заступник начальника
УкрНДІПБ МНС України


О.І.Шкоруп

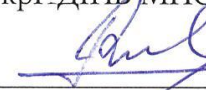
“25” травня 2006 р.

МЕТОДИКА № 64

**визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання
робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення
у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності**


ПОГОДЖЕНО

Начальник НДЦ №4
УкрНДІПБ МНС України


В.І.Згуря

“23” травня 2006 р.

Начальник НДЦ №2
УкрНДІПБ МНС України


В.О.Чеповський

“23” травня 2006 р.

2006

1 Призначення та сфера застосування

1.1 Ця методика застосовується під час проведення науково-дослідних робіт і випробувань піноутворювачів спеціального призначення для гасіння пожеж для визначення критичної інтенсивності подавання їх робочих розчинів у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності з метою оцінювання їх відповідності встановленим вимогам або розрахунку нормативної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів.

1.2 Методика поширюється на випробування, які проводяться в УкрНДПБ.

2 Умови проведення випробувань

2.1 Випробування проводять на відкритому майданчику або у приміщенні для проведення випробувань внутрішніми розмірами (довжина × ширина × висота) не менше ніж 5,0 м × 5,0 м × 3,5 м, перекриття якого має проріз для забезпечення природної вентиляції.

2.2 Випробування проводять за температури повітря від 10°C до 25°C, температури робочого розчину піноутворювача (17,5±2,5)°C, атмосферного тиску від 84 кПа до 107 кПа і швидкості вітру поблизу вогнища пожежі не більше ніж 3 м/с.

3 Засоби випробувань та вимірювань

3.1 Під час випробувань використовують установку для визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння піною низької кратності, а також засоби вимірювальної техніки (ЗВТ), перелік яких наведено у таблиці 1.

3.2 Допускається використання інших засобів вимірювальної техніки, які забезпечують не нижчу точність вимірювань.

3.3 Для утворення водяної подушки і приготування робочих розчинів піноутворювачів використовують воду питну згідно з ГОСТ 2874, воду дистильовану згідно з ГОСТ 6709 чи воду заданого хімічного складу (наприклад, модель морської води) залежно від мети випробувань.

4 Метод випробувань

В основу методу випробувань покладено визначення тривалості припинення полуменевого горіння у макетному вогнищі пожежі під час подавання у нього піни низької кратності і визначення проміжку часу, що проходить до повторного займання (встановлення стійкого горіння по всій поверхні макетного вогнища).

Таблиця 1 – Засоби вимірювальної техніки

№ з/п	Назва і тип	Межі вимірювання	Клас точності, ціна поділки, похибка ЗВТ	Призначення	Позначення нормативного документа на ЗВТ
1	Секундомір Сос пр. 2Б-2-000	від 0 до 60 с; від 0 до 60 хв.	2 кл. т.; ц. п. 0,2 с	вимірювання часу	ГОСТ 8-423
2	Термометр ТЛ-4	від 0 до 50°C	±1°C	вимірювання температури води, водних розчинів піноутворювачів, пального	ГОСТ 28498
3	Циліндр 1-100	від 10 см ³ до 100 см ³	±1 см ³	вимірювання об'єму піноутворювача	ГОСТ 1770
4	Циліндр 1-1000	від 100 см ³ до 1000 см ³	±10 см ³	вимірювання об'єму води	ГОСТ 1770
5	Циліндр 1 2000	від 200 см ³ до 1000 см ³	±20 см ³	вимірювання об'єму пального	ГОСТ 1770
6	Барометр М-67	від 600 мм рт. ст. до 800 мм рт. ст.	±1 мм рт. ст.	вимірювання атмосферного тиску	ТУ 25 04-1797-75
7	Анемометр крильчастий АСО-3	від 0,3 м/с до 5,0 м/с	±(0,1+0,05V)	вимірювання швидкості вітру	ГОСТ 6376

4.1 Визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння неполярних (водонерозчинних) горючих рідин піною низької кратності

4.1.1 У випробувальний прилад типу вогнегасника заливають воду і піноутворювач з таким розрахунком, щоб приготувати 10 дм³ водного розчину піноутворювача заданої концентрації (робочого розчину піноутворювача), і перемішують їх. Вимірюють температуру приготовленого розчину і, за необхідності, доводять її до значення, що відповідає вимогам 2.2.

4.1.2 Встановлюють запірно-пускову арматуру корпусу випробувального приладу типу вогнегасника і подають у нього стиснене повітря від балона високого тиску чи компресора з таким розрахунком, щоб встановити надлишковий тиск у корпусі випробувального приладу у межах від 0,58 МПа до 0,62 МПа.

4.1.3 Здійснюють подавання піни протягом не менше ніж 20...30 с, щоб заповнити з'єднувальні шланги робочим розчином, пересвідчитись у можливості отримання щільного струменя піни низької кратності та, у разі невідповідності значення тиску у корпусі випробувального приладу типу вогнегасника вимогам 4.1.2, відповідно змінити його. Припиняють подавання піни.

4.1.4 Встановлюють деку макетного вогнища пожежі на горизонтальній поверхні і заливають у нього воду та пальне з таким розрахунком, щоб товщина шару води дорівнювала (20±1) мм, а товщина шару пального – (30±1) мм. Кількість води і пального, дм³, необхідну для утворення шару відповідної товщини, розраховують за формулою

$$V = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4} = 0,785 \cdot d^2 \cdot h, \quad (1)$$

де d – внутрішній діаметр макетного вогнища пожежі, дм;

h – товщина шару води (пального), дм.

Діаметр дека макетного вогнища пожежі вибирають виходячи з передбачуваної вогнегасної ефективності піни, що утворюється з робочого розчину піноутворювача.

4.1.5 Після припинення коливань шару води і пального, але не більше ніж через 300 с після їх заливання у деко, рідину підпалюють. Тривалість вільного горіння має становити (60 ± 2) с.

4.1.6 Після закінчення вільного горіння розпочинають подавання піни з таким розрахунком, щоб вона потрапляла у центральну частину дзеркала палаючої рідини (у разі подавання піни “жорстким” способом) або на пластину розміром близько $10 \text{ см} \times 10 \text{ см}$, закріплену на протилежному від ствола борті дека (у разі подавання піни “м’яким” способом). Ствол-генератор піни встановлюють на підставці, закріплюють у штативі або фіксують у будь-який інший спосіб з таким розрахунком, щоб він був розташований горизонтально на висоті приблизно 20 см від поверхні пального. Піну подають протягом (180 ± 3) с “жорстким” способом або (300 ± 5) с “м’яким” способом залежно від природи піноутворювача і задач випробувань. Фіксують тривалість гасіння як проміжок часу від початку подавання піни до повного припинення горіння.

4.1.7 У тому разі, якщо в результаті подавання піни протягом вказаного проміжку часу гасіння не досягнуто, проводять спостереження за макетним вогнищем пожежі протягом (300 ± 5) с після закінчення її подавання. Якщо настає затухання полум’я, визначають проміжок часу до повторного займання згідно з 4.1.8. В іншому випадку беруть деко меншого діаметра і виконують дії, описані у 4.1.4-4.1.6.

4.1.8 Через (300 ± 5) с після закінчення подавання піни у центрі макетного вогнища пожежі встановлюють тигель повторного запалювання, у який залито $(300 \pm 20) \text{ см}^3$ пального, і підпалюють його. Визначають проміжок часу до повторного займання (від моменту підпалювання рідини у тиглі до моменту встановлення стійкого горіння по всій поверхні макетного вогнища).

4.1.9 Всього проводять три досліди. Перед початком кожного з них переконуються у тому, що в корпусі випробувального приладу типу вогнегасника є достатня кількість робочого розчину піноутворювача. Розраховують середні значення тривалості гасіння і проміжку часу до повторного займання. Допустима

розбіжність між результатами дослідів, отриманими одним оператором за постійних умов випробувань, не повинна перевищувати $\pm 15\%$ відносно середнього арифметичного значення.

4.1.10 Якщо тривалість гасіння не перевищує проміжку часу подавання піни і проміжок часу до повторного займання перевищує 60 с або не більше ніж через 300 с після закінчення подавання піни настає загухання полум'я і проміжок часу до повторного займання перевищує 60 с, беруть деку більшого діаметра і виконують дії, описані у 4.1.4-4.1.9.

4.1.11 Підбираючи дека різного діаметра, визначають максимальний діаметр макетного вогнища пожежі, за якого виконуються умови, вказані у 4.1.10, і мінімальний його діаметр, за якого ці умови не виконуються.

4.1.12 Інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною низької кратності I , $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, розраховують за формулою

$$I = \frac{q}{S} = \frac{4 \cdot q}{\pi \cdot d^2} = 1,273 \cdot \frac{q}{d^2}, \quad (2)$$

де q – витрата робочого розчину піноутворювача, яку забезпечує ствол-генератор піни низької кратності, $\text{дм}^3/\text{с}$;

S – площа поверхні макетного вогнища пожежі, дм^2 ;

d – внутрішній діаметр макетного вогнища пожежі, дм .

Критичну інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною низької кратності $I_{кр}$, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, розраховують за формулою

$$I_{кр} = \frac{I_1 + I_2}{2} = 0,637 \cdot q \cdot \left(\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} \right), \quad (3)$$

де I_1 – найменша інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача, за якої виконуються умови, вказані у 4.1.10, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

I_2 – найбільша інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача, за якої умови, вказані у 4.1.10, не виконуються, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$;

q – витрата робочого розчину піноутворювача, яку забезпечує ствол-генератор піни низької кратності, $\text{дм}^3/\text{с}$;

d_1 – внутрішній діаметр найменшого макетного вогнища пожежі, за якого виконуються умови, викладені у 4.1.10, м ;

d_2 – внутрішній діаметр найбільшого макетного вогнища пожежі, за якого вимоги, викладені у 4.1.10, не виконуються, м .

4.2 Визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих речовин піноутворювачів у разі гасіння полярних (водорозчинних) горючих рідин піною низької кратності

4.2.1 Виконують дії, описані у 4.1.1-4.1.3.

4.2.2 Встановлюють деку на горизонтальній поверхні і заливають у нього пального з таким розрахунком, щоб товщина його шару дорівнювала (50 ± 2) мм. Кількість гального, дм^3 , необхідну для утворення шару відповідної товщини, розраховують за формулою (1). Діаметр дека макетного вогнища пожежі вибирають виходячи з передбачуваної вогнегасної ефективності піни, що утворюється з робочого розчину піноутворювача. До борту дека прикріплюють екран.

4.2.3 Після припинення коливань шару пального, але не більше ніж через 300 с після їх заливання у деку, рідину підпалюють. Тривалість вільного горіння має становити (120 ± 2) с.

4.2.4 Після завершення вільного горіння розпочинають подавання піни з таким розрахунком, щоб вона потрапляла у центральну частину екрана, розташованого на борті дека, протилежному від ствола-генератора піни. Ствол-генератор піни закріплюють у штативі або у будь-який інший спосіб з таким розрахунком, щоб висота його розташування над поверхнею пального дорівнювала приблизно 20 см. Піну подають протягом (300 ± 5) с. У разі переливання піни через борти макетного вогнища її подавання не припиняють. Фіксують тривалість гасіння як проміжок часу від початку подавання піни до повного припинення горіння.

4.2.5 У тому разі, якщо в результаті подавання піни протягом вказаного проміжку часу гасіння не досягнуто, проводять спостереження за макетним вогнищем пожежі протягом (300 ± 5) с після закінчення подавання піни. Якщо настає затухання полум'я, визначають проміжок часу до повторного займання згідно з 4.2.6. В іншому випадку беруть деку меншого діаметра і виконують дії, описані у 4.2.2-4.2.4.

4.2.6 Через (300 ± 5) с після припинення подавання піни у центр макетного вогнища пожежі встановлюють тигель повторного запалювання, у який залито

(300 ± 20) см³ пального, і підпалюють його. Фіксують проміжок часу до повторного займання (встановлення стійкого горіння по всій поверхні макетного вогнища).

4.2.7 Проводять три досліди. Перед початком кожного з них переконуються у тому, що в корпусі випробувального приладу типу вогнегасника є достатня кількість робочого розчину піноутворювача. Розраховують середнє значення тривалості гасіння і проміжку часу до повторного займання. Допустима розбіжність між результатами дослідів, отриманими одним оператором за постійних умов випробувань, не повинна перевищувати $\pm 15\%$ відносно середнього арифметичного значення.

4.2.8 Якщо тривалість гасіння не перевищує 300 с і проміжок часу до повторного займання перевищує 60 с або не більше ніж через 300 с після закінчення подавання піни настає затухання полум'я і проміжок часу до повторного займання перевищує 60 с, беруть декого більшого діаметра і виконують дії, описані у 4.2.2-4.2.7.

4.2.9 Підбираючи дека різного діаметра, визначають максимальний діаметр макетного вогнища пожежі, за якого виконуються умови, вказані у 4.2.8, і мінімальний його діаметр, за якого ці умови не виконуються.

4.2.10 Інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача у разі гасіння піною низької кратності розраховують за формулою (2), критичну інтенсивність його подавання – за формулою (3).

5 Вимоги безпеки

5.1 До випробувань допускаються особи, які ознайомились із цією методикою і паспортом на випробувальне обладнання, а також пройшли інструктаж з безпеки праці на робочому місці.

5.2 Робоче місце має бути забезпечене медичною аптечкою з типовим набором для хімічних лабораторій і споряджене вогнегасником "ВП-2".

5.3 Випробування повинні проводити щонайменше дві особи, забезпечених захисним одягом.

5.4 Під час випробувань не допускається присутність сторонніх осіб на відстані менше ніж 10 м від макетного вогнища пожежі і випробувального обладнання.

5.5 У разі виникнення аварійної ситуації необхідно негайно знеструмити компресор, у разі необхідності погасити полум'я у макетному вогнищі (або, у разі виникнення розливів, поза його межами) за допомогою вогнегасника, і повідомити про це керівника випробувань, службу безпеки праці та адміністрацію.

Розробники:

старший науковий
співробітник НДЦ №2  В.О.Боровиков

науковий співробітник
НДЦ №2  О.М.Слуцька

Нормоконтроль:

науковий співробітник
НДЦ №4  Л.Л.Запольський

Метрологічна
перевірка:

молодший науковий
співробітник НДЦ №4  С.А.Міщенко

Група охорони праці,
техніки безпеки та
пожежної безпеки

провідний інженер  О.Д.Морозовська



АТЕСТАТ № 506

на Методику визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності,
що розроблена НДЦ №2 УкрНДІПБ МНС України

За результатами первинної атестації,

проведеної в НДЦ №2 УкрНДІПБ МНС України 16 травня 2006 р.

атестаційною комісією, створеною наказом начальника УкрНДІПБ МНС України від 28.02.2006 р. №23,

визнано, що Методика визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності,

якою передбачено всі необхідні і достатні умови, засоби і процедури випробувань та правила прийняття рішень за результатами випробувань, дозволяється до використання.

Термін дії атестата 16 травня 2008 р.

Начальник УкрНДІПБ МНС України



М.Я.Откідач

ПРОТОКОЛ № 459

первинної атестації методики визначення тривалості гасіння
і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів
у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності

16 травня 2006 р.

Комісія у складі:

голови – начальника НДЦ №4

В.І.Згурі

та членів: начальника відділу НДЦ №1

В.С.Куликівського

заступника начальника відділу НДЦ №2

С.Д.Кухарішина

старшого наукового співробітника НДЦ №2

С.В.Пономарьова

наукового співробітника НДЦ №4

Л.Л.Запольського

молодшого наукового співробітника НДЦ №4

С.А.Міщенко

створена наказом начальника УкрНДПБ МНС України від 28.02.2006 р. №23, провела атестацію методики тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння піною низької кратності відповідно до Програми та методики атестації з метою визначення придатності методики до відтворення результатів випробувань з необхідною точністю, а також дійсних значень нормованих точесних характеристик паспортним даним.

Атестацію методики визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння піною низької кратності проведено на майданчику для проведення вогневих випробувань на пожежно-випробувальному полігоні УкрНДПБ МНС України.

Зафіксовано такі умови проведення випробувань:

- температура повітря, °С 21;
- відносна вологість повітря, % 52;
- атмосферний тиск, кПа 100,0.

Перелік і характеристики засобів виміррювальної техніки (ЗВТ), використаних під час атестації, наведено у таблиці 1.

В результаті зовнішнього огляду встановлено:

- нормативні документи є у наявності;
- наявні ЗВТ відповідають переліку таблиці 3 Програми та методики атестації і мають повірочні тавра або свідоцтва про повірку.

Під час атестації використано піноутворювач спеціального призначення для гасіння пожеж “S.F.P.M. 6/6” виробництва фірми “Eau et Feu S. A.” (Франція).

Таблиця 1 – Засоби виміральної техніки, які використовувались під час атестації

Назва і тип засобу вимірювання	Заводський номер	Точність вимірювання	Діапазон вимірювання	Клас точності	Дата наступної повірки
Манометр	695	$\pm 0,02$ МПа	від 0,02 МПа до 1,60 МПа	2	04.2007
Секундомір СОС пр-26-2-000	0958	$\pm 0,4$ с; $\pm 1,9$ с	від 0 до 60 с; від 0 до 60 хв.	2	11.2006
Циліндр 1-100	б/н	± 1 см ³	від 10 см ³ до 100 см ³	–	–
Циліндр 1-1000	б/н	± 10 см ³	від 60 см ³ до 100 см ³	–	–
Циліндр 1-2000	б/н	± 20 см ³	від 160 см ³ до 100 см ³	–	–
Термометр ТЛ-2	73	± 1 °С	від –30°С до 70°С	–	02.2007
Барометр-анероїд М-67	716	± 1 мм рт. ст.	від 600 мм рт. ст. до 800 мм рт. ст.	2	02.2007
Психрометр МВ-4М	20797	$\pm 4\%$; $\pm 0,2$ °С	від 10% до 100%; від –10°С до 50°С	2	02.2007
Анемометр АСО-3	13854	$\pm(0,1+0,05V)$ м/с	від 0,3 м/с до 5,0 м/с	2	10.2007

Результати визначення дійсних точносних характеристик установки під час проведення атестації наведено у таблицях 2, 3.

Розраховуємо довірчі границі невилученої систематичної похибки визначення часу, зумовленої неточністю секундоміра:

$$\theta_{\tau_1}(P) = \pm \left(0,4 + \frac{1,5}{3540} \cdot (107,4 - 60) \right) = \pm 0,42 \text{ с.}$$

Розраховуємо довірчі границі невилученої систематичної похибки визначення тривалості гасіння:

$$\theta_{\tau}(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{0,42^2 + 0,1^2 + 0,3^2 + 0,3^2} = \pm 0,7 \text{ с.}$$

Розрахувавши середнє арифметичне відхилення результатів визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), дістанемо:

$$S(\bar{\tau}) = \pm 1,9 \text{ с.}$$

Розраховуємо випадкову похибку результату визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1):

$$\varepsilon_{\tau}(P) = \pm 2,571 \cdot 1,9 = \pm 4,9 \text{ с.}$$

Розраховуємо співвідношення $\frac{\theta_{\tau}(P)}{S(\bar{\tau})}$:

$$\frac{\theta_{\tau}(P)}{S(\bar{\tau})} = \frac{0,7}{1,9} = 0,4.$$

Таблиця 2 – Результати визначення тривалості гасіння піною низької кратності макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1) діаметром 624 мм (пальне – бензин марки “А-76”) і проміжку часу до повторного займання

Назва параметра, розмірність	Номер досліду						Середні арифметичні значення	Вимоги НД	Висновок про відповідність
	1	2	3	4	5	6			
Тривалість гасіння, с	107,4	98,6	100,2	104,6	111,0	102,2	104,0	не більше 180	відповідає
Проміжок часу до повторного займання, с	455,4	473,0	438,6	434,0	412,2	426,8	440,0	не менше 60	відповідає

Таблиця 3 – Результати визначення тривалості гасіння піною низької кратності макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2) діаметром 381,6 мм (пальне – ацетон) і проміжку часу до повторного займання

Назва параметра, розмірність	Номер досліду						Середні арифметичні значення	Вимоги НД	Висновок про відповідність
	1	2	3	4	5	6			
Тривалість гасіння, с	88,6	92,4	90,0	84,8	95,6	97,2	91,4	не більше 300	відповідає
Проміжок часу до повторного займання, с	305,2	298,6	284,4	301,8	280,6	276,0	291,1	не менше 60	відповідає

Оскільки $\frac{\theta_r(P)}{S(\tau)} < 0,8$, $\Delta_r(P) = \varepsilon_r(P) = \pm 4,9$ с.

Таким чином, тривалість гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1) піною низької кратності $\tau = (104,0 \pm 4,9)$ с.

Стандартна невизначеність за типом А результату визначення тривалості гасіння вогнища пожежі класу В (підклас В1) дорівнює середньому квадратичному відхиленню результатів визначення тривалості його гасіння, тобто $u_A(\tau) = S(\tau) = \pm 1,9$ с.

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), зумовлену неточністю секундоміра:

$$u_{B1}(\tau) = \pm \frac{0,42}{\sqrt{3}} = \pm 0,24 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), зумовлену неточністю зчитування показів секундоміра:

$$u_{B2}(\tau) = \pm \frac{0,2}{\sqrt{3}} = \pm 0,12 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), зумовлену реакцією оператора під час включення секундоміра:

$$u_{B3}(\tau) = \pm \frac{0,3}{\sqrt{3}} = \pm 0,17 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), зумовлену реакцією оператора під час виключення секундоміра:

$$u_{B4}(\tau) = \pm \frac{0,3}{\sqrt{3}} = \pm 0,17 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результату визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1):

$$u_E(\tau) = \pm \sqrt{0,24^2 + 0,12^2 + 0,17^2 + 0,17^2} = \pm 0,36 \approx \pm 0,4 \text{ с.}$$

Розраховуємо сумарну стандартну невизначеність результату визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1):

$$u_c(\tau) = \pm \sqrt{1,9^2 + 0,4^2} = \pm 2,0 \text{ с.}$$

Розраховуємо розширену невизначеність результату визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1):

$$U_p(\tau) = \pm 2 \cdot 2,0 = \pm 4,0 \text{ с.}$$

Таким чином, тривалість гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1) піною низької кратності $\tau = (104,0 \pm 4,9) \text{ с.}$

Розраховуємо довірчі границі невилученої систематичної похибки визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), зумовленої неточністю секундоміра:

$$\theta_{it}(P) = \pm \left(0,4 + \frac{1,5}{3540} \cdot (473,0 - 60) \right) = \pm 0,58 \text{ с.}$$

Розраховуємо довірчі границі невилученої систематичної похибки визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1):

$$\theta_r(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{0,58^2 + 0,2^2 + 0,3^2 + 0,3^2 + (0,05 \cdot 473,0)^2} = \pm 23,7 \text{ с.}$$

Розрахувавши середнє арифметичне відхилення результатів визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), дістанемо:

$$S(\bar{t}) = \pm 8,3 \text{ с.}$$

Розраховуємо випадкову похибку результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1):

$$\varepsilon_t(P) = \pm 2,571 \cdot 8,3 = \pm 21,4 \text{ с.}$$

Розраховуємо співвідношення $\frac{\theta_t(P)}{S(\bar{t})}$:

$$\frac{\theta_t(P)}{S(\bar{t})} = \frac{23,7}{8,3} = 2,9.$$

Оскільки $0,8 < \frac{\theta_t(P)}{S(\bar{t})} < 8$, похибка результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1) дорівнює:

$$\Delta_t(P) = \pm 0,73 \cdot (23,7 + 21,4) = \pm 32,9 \text{ с.}$$

Таким чином, проміжок часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1) $t = (440,0 \pm 32,9) \text{ с.}$

Стандартна невизначеність за типом А результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1) дорівнює середньому квадратичному відхиленню результатів визначення цього проміжку часу, тобто $u_A(\bar{t}) = S(\bar{t}) = \pm 8,3 \text{ с.}$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), зумовлену неточністю секундоміра:

$$u_{B1}(t) = \pm \frac{0,58}{\sqrt{3}} = \pm 0,34 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), зумовлену неточністю зчитування показів секундоміра:

$$u_{B2}(t) = \pm \frac{0,2}{\sqrt{3}} = \pm 0,12 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), зумовлену реакцією оператора під час включення секундоміра:

$$u_{B3}(t) = \pm \frac{0,3}{\sqrt{3}} = \pm 0,17 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), зумовлену реакцією оператора під час виключення секундоміра:

$$u_{B4}(t) = \pm \frac{0,3}{\sqrt{3}} = \pm 0,17 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1), зумовлену неточністю визначення моменту повторного займання:

$$u_{B4}(t) = \pm \frac{0,05 \cdot 473,0}{\sqrt{3}} = \pm 13,72 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1):

$$u_B(t) = \pm \sqrt{0,34^2 + 0,12^2 + 0,17^2 + 0,17^2 + 13,72^2} = \pm 13,8 \text{ с.}$$

Розраховуємо сумарну стандартну невизначеність результату визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1)

$$u_c(\tau) = \pm \sqrt{8,3^2 + 13,8^2} = \pm 16,1 \text{ с.}$$

Розраховуємо розширену невизначеність результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1):

$$U_p(\tau) = \pm 2 \cdot 16,1 = \pm 32,2 \text{ с.}$$

Таким чином, проміжок часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1) $t = (440,0 \pm 32,2) \text{ с.}$

Розраховуємо довірчі границі невилученої систематичної похибки визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовленої неточністю секундоміра:

$$\theta_{\tau_1}(P) = \pm \left(0,4 + \frac{1,5}{3540} \cdot (97,2 - 60) \right) = \pm 0,41 \text{ с.}$$

Розраховуємо довірчі границі невилученої систематичної похибки визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2):

$$\theta_{\tau}(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{0,41^2 + 0,1^2 + 0,3^2 + 0,3^2} = \pm 0,7 \text{ с.}$$

Розраховувавши середнє арифметичне відхилення результатів визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), дістанемо:

$$S(\bar{\tau}) = \pm 1,9 \text{ с.}$$

Розраховуємо випадкову похибку результату визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2):

$$\varepsilon_{\tau}(P) = \pm 2,571 \cdot 1,9 = \pm 4,9 \text{ с.}$$

Розраховуємо співвідношення $\frac{\theta_{\tau}(P)}{S(\bar{\tau})}$:

$$\frac{\theta_{\tau}(P)}{S(\bar{\tau})} = \frac{0,7}{1,9} = 0,4.$$

Оскільки $\frac{\theta_{\tau}(P)}{S(\bar{\tau})} < 0,8$, $\Delta_{\tau}(P) = \varepsilon_{\tau}(P) = \pm 4,9 \text{ с.}$

Таким чином, тривалість гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2) піною низької кратності $\tau = (91,4 \pm 4,9) \text{ с.}$

Стандартна невизначеність за типом А результату визначення тривалості гасіння вогнища пожежі класу В (підклас В2) дорівнює середньому квадратичному відхиленню результатів визначення тривалості його гасіння, тобто $u_A(\bar{\tau}) = S(\bar{\tau}) = \pm 1,9 \text{ с.}$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовлену неточністю секундоміра:

$$u_{B1}(\tau) = \pm \frac{0,41}{\sqrt{3}} = \pm 0,24 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовлену неточністю зчитування показів секундоміра:

$$u_{B2}(\tau) = \pm \frac{0,2}{\sqrt{3}} = \pm 0,12 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовлену реакцією оператора під час включення секундоміра:

$$u_{B3}(\tau) = \pm \frac{0,3}{\sqrt{3}} = \pm 0,17 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовлену реакцією оператора під час виключення секундоміра:

$$u_{B4}(\tau) = \pm \frac{0,3}{\sqrt{3}} = \pm 0,17 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результату визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2):

$$u_B(\tau) = \pm \sqrt{0,24^2 + 0,12^2 + 0,17^2 + 0,17^2} = \pm 0,36 \approx \pm 0,4 \text{ с.}$$

Розраховуємо сумарну стандартну невизначеність результату визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2):

$$u_c(\tau) = \pm \sqrt{1,9^2 + 0,4^2} = \pm 2,0 \text{ с.}$$

Розраховуємо розширену невизначеність результату визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2):

$$U_p(\tau) = \pm 2 \cdot 2,0 = \pm 4,0 \text{ с.}$$

Таким чином, тривалість гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2) піною низької кратності $\tau = (91,4 \pm 4,0) \text{ с.}$

Розраховуємо довірчі границі невилученої систематичної похибки визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовленої неточністю секундоміра:

$$\theta_{11}(P) = \pm \left(0,4 + \frac{1,5}{3540} \cdot (305,2 - 60) \right) = \pm 0,51 \text{ с.}$$

Розраховуємо довірчі границі невилученої систематичної похибки визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2):

$$\theta_r(P) = \pm 1,1 \cdot \sqrt{0,51^2 + 0,2^2 + 0,3^2 + 0,3^2 + (0,05 \cdot 305,2)^2} = \pm 16,8 \text{ с.}$$

Розрахувавши середнє арифметичне відхилення результатів визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), дістанемо:

$$S(\bar{i}) = \pm 5,0 \text{ с.}$$

Розраховуємо випадкову похибку результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2):

$$\varepsilon_r(P) = \pm 2,571 \cdot 5,0 = \pm 12,9 \text{ с.}$$

Розраховуємо співвідношення $\frac{\theta_i(P)}{S(t)}$:

$$\frac{\theta_i(P)}{S(t)} = \frac{16,8}{5,0} = 3,4.$$

Оскільки $0,8 \cdot \frac{\theta_i(P)}{S(t)} < 8$, похибка результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2) дорівнює:

$$\Delta(P) = \pm 0,73 \cdot (16,8 + 12,9) = \pm 21,7 \text{ с.}$$

Таким чином, проміжок часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2) $t = (29,1 \pm 21,7) \text{ с.}$

Стандартна невизначеність за типом А результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2) дорівнює середньому квадратичному відхиленню результатів визначення цього проміжку часу, тобто $u_A(t) = S(t) = \pm 5,0 \text{ с.}$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовлену неточністю секундоміра:

$$u_{B1}(t) = \pm \frac{0,41}{\sqrt{3}} = \pm 0,24 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовлену неточністю зчитування показів секундоміра:

$$u_{B2}(t) = \pm \frac{0,2}{\sqrt{3}} = \pm 0,12 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовлену реакцією оператора під час включення секундоміра:

$$u_{B3}(t) = \pm \frac{0,3}{\sqrt{3}} = \pm 0,17 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовлену реакцією оператора під час виключення секундоміра:

$$u_{B4}(t) = \pm \frac{0,3}{\sqrt{3}} = \pm 0,17 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результатів визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2), зумовлену неточністю визначення моменту повторного займання:

$$u_{B5}(t) = \pm \frac{0,05 \cdot 305,2}{\sqrt{3}} = \pm 8,81 \text{ с.}$$

Розраховуємо стандартну невизначеність за типом В результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2):

$$u_B(t) = \pm \sqrt{0,24^2 + 0,12^2 + 0,17^2 + 0,17^2 + 8,81^2} = \pm 8,9 \text{ с.}$$

Розраховуємо сумарну стандартну невизначеність результату визначення тривалості гасіння макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2):

$$u_c(\tau) = \pm \sqrt{5,0^2 + 8,9^2} = \pm 10,2 \text{ с.}$$

Розраховуємо розширену невизначеність результату визначення проміжку часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В2):

$$U_p(\tau) = \pm 2 \cdot 10,2 = \pm 20,4 \text{ с.}$$

Таким чином, проміжок часу до повторного займання макетного вогнища пожежі класу В (підклас В1) $\tau = (291,1 \pm 20,4) \text{ с.}$

Висновки та рекомендації комісії:

1. Методика визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності придатна до відтворення результатів випробувань з необхідною точністю.
2. Дійсні значення нормованих точносних характеристик, які забезпечує методика визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності, відповідають паспортним значенням.
3. На підставі результатів атестації методику визначення тривалості гасіння і критичної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів у разі гасіння горючих рідин піною низької кратності визнано придатною для проведення випробувань.
4. Чергову атестацію провести у травні 2008 року.

Атестацію провели:

Голова комісії

Члени комісії:

	В.І.Згуря
	В.С.Куликівський
	С.Д.Кухарішин
	С.В.Пономарьов
	Л.Л.Запольський
	С.А.Міщенко

Атестацію підготували:

старший науковий співробітник НДЦ №2

науковий співробітник НДЦ №2

	В.О.Боровиков
	О.М.Слуцька

Додаток В

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту
канд. техн. наук



В.С. Кропивницький

“ 14 ” 2018 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Слущкої Оксани Михайлівни за темою “Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж”, на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – “Пожежна безпека”

Складено комісією:

голова комісії – заступник начальника УкрНДІЦЗ (з цивільного захисту) канд. техн. наук, ст. наук. співроб. Коваленко Віталій Володимирович.

Члени комісії:

начальник науково-дослідного центру заходів цивільного захисту УкрНДІЦЗ д-р наук з держ. упр., доцент Андрієнко Микола Васильович;

заступник начальника науково-випробувального центру – начальник відділу речовин і матеріалів канд. техн. наук Добростан Олександр Васильович.

Комісія перевірила і цим Актом засвідчує, що результати дисертаційної роботи Слущкої Оксани Михайлівни за темою: “Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж” впроваджено шляхом використання у розробках Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту (Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки), а саме:

ДСТУ 3789:2015 *Пожежна безпека. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробування;*

ДСТУ 3615:2016 *Пожежна безпека. Піноутворювачі для гасіння пожеж. Наставови щодо поводження з вогнегасними речовинами, використовуваними у стаціонарних системах пінного пожежогасіння;*

Інструкції про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння, затвердженої наказом МНС України від 24.11.2008 № 851;

Рекомендацій щодо гасіння пожеж у спиртосховищах, які містять етиловий спирт, затверджених МНС України 22.01.2009;

Довідника керівника гасіння пожежі (ISBN 978-617-635-087-3).

Голова комісії

В.В. Коваленко

Члени комісії:

М.В. Андрієнко

О.В. Добростан

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова ТК 25 “Пожежна безпека та протипожежна техніка”
канд. техн. наук

 В.С. Кропивницький

“14” 08 2018 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Слуцької Оксани Михайлівни за темою “Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж”

Цей Акт засвідчує, що результати дисертаційної роботи Слуцької О.М. за темою “Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж” впроваджено їх використанням у розробках ТК 25 “Пожежна безпека та протипожежна техніка”, а саме:

ДСТУ 3789:2015 Пожежна безпека. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробування;

ДСТУ 8615:2016 Пожежна безпека. Піноутворювачі для гасіння пожеж. Наставни щодо поводження з вогнегасними речовинами, використовуваними у стаціонарних системах пінного пожежогасіння.

Заступник Голови ТК 25,
канд. техн. наук, ст. наук, співроб.



В.В. Коваленко

Відповідальний секретар ТК 25,
канд. техн. наук, ст. наук, співроб.



В.В. Ніжник

ЗАТВЕРДЖУЮ

Президент – Голова Правління ГО «Український союз пожежної та техногенної безпеки»



Б.С.Платкевич

«16» серпня 2018 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Слущкої Оксани Михайлівни

«Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж»

Цей Акт підтверджує, що результати дисертаційної роботи Слущкої О.М. за темою «Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж» впроваджено їх використанням у розробленні нормативних документів, якими унормовано порядок контролювання якості піноутворювачів, що зберігаються в резервуарах стаціонарних систем гінного пожежогасіння, під час проведення робіт з підтримання експлуатаційної придатності таких систем.

Директор ПП «НТЦ – УСВППП»

О.А.Бенедищук

Завідувач сектором експертиз з питань пожежної та техногенної безпеки ДП «Укрдержбудекспертиза»

А.Г.Бушиленко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор ТОВ "Пайрокул"

І.М.Крупка

серпня 2018 р.



АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Слуцької Оксани Михайлівни за темою

“Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж”

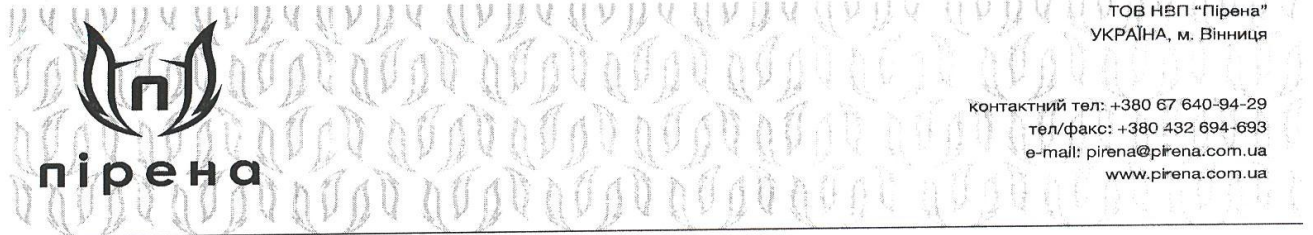
Цей Акт підтверджує, що результати дисертаційної роботи Слуцької О.М. за темою “Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж” (науковий керівник – Боровиков В.О.) впроваджено урахуванням у роботі ТОВ “Пайрокул” результатів проведених аналітичних досліджень щодо ефективності піноутворювачів залежно від специфіки об’єктів захисту і наявних горючих речовин і матеріалів.

Цей Акт не накладає на ТОВ “Пайрокул” жодних фінансових зобов’язань перед Слуцькою С.М. Боровиковим В.О. і він не стосується питань, пов’язаних з правом інтелектуальної власності.

Заступник директора



С.М Жерлиця



ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор

ТОВ «НВП «Пірена»

О.В.Грищенко

«22» серпня 2018 р.

**Акт**

**впровадження результатів дисертаційної роботи Слуцької Оксани Михайлівни за темою
“Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж”**

Цей Акт засвідчує, що результати дисертаційної роботи Слуцької О.М. за темою “Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж” впроваджено у діяльність ТОВ НВП “Пірена” у частині вдосконалення методик контролювання їх показників якості під час приймально-здавальних випробувань, що проводяться лабораторією підприємства.

Підписання цього Акту не означає визнання ТОВ НВП “Пірена” жодних фінансових зобов'язань перед здобувачем і він не може використовуватися як аргумент під час з'ясування питань, пов'язаних з правом інтелектуальної власності.

Заступник генерального директора

М.О.Чуднечов

Начальник відділу сертифікації та стандартизації

О.В.Гринюк/

Провідний хімік

Є.О.Козачинський

ЗАТВЕРДЖУЮ

Виконавчий директор ТОВ “Марко Лтд.”

Л.І.Руденко



“ 20 ” серпня 2018 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Слуцької Оксани Михайлівни за темою

“Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж”

Цей Акт засвідчує, що результати дисертаційної роботи Слуцької О.М. за темою “Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж” впроваджено урахуванням результатів досліджень у розробленні методик випробувань піноутворювачів лабораторією ТОВ “Марко Лтд.”, а також їх використанням під час розроблення за участю ТОВ “Марко Лтд.” національного стандарту України ДСТУ 8615:2016 *Пожезна безпека. Піноутворювачі для гасіння пожеж. Настанови щодо поводження з вогнегасними речовинами, використовуваними у стаціонарних системах пінного пожежогоасіння.*

Цей Акт не накладає на ТОВ “Марко Лтд.” жодних зобов'язань і його не призначено для використання у разі виникнення питань фінансового характеру, а також суперечок стосовно права інтелектуальної власності.