

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Войтович Тетяна Мирославівна

УДК 614.8

ДИСЕРТАЦІЯ


ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ “ПІДШАРОВОГО” ПОЖЕЖОГАСІННЯ В РЕЗЕРВУАРАХ З НАФТОПРОДУКТАМИ

Спеціальність 261 – пожежна безпека

Галузь знань 26 – цивільна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

 Т. М. Войтович

Науковий керівник Ковалишин Василь Васильович, доктор технічних наук,
професор

Львів – 2020

АНОТАЦІЯ

Войтович Т.М. Вдосконалення технології “підшарового” пожежогасіння в резервуарах з нафтопродуктами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека». – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Львів, 2020.

Дисертаційна робота присвячена розв’язанню актуальної науково-технічної задачі – вдосконаленню технології “підшарового” пожежогасіння в резервуарах з нафтопродуктами.

Незважаючи на значний прогрес технологій, у тому числі й у сфері пожежної безпеки, пожежі рідин у резервуарах з нафтою і нафтопродуктами залишаються одними з найскладніших для ліквідації. “Підшаровий” спосіб гасіння таких пожеж є найбезпечнішим для особового складу рятувальників, протипожежної техніки та обладнання.

Для його реалізації використовують саме піноутворювач (пінний концентрат) із фторованими стабілізаторами, водний розчин якого здатен самовільно розтікатись, покривати поверхню нафти і нафтопродуктів тонкою плівкою, яка пригнічує дифузію горючих парів. На сучасному етапі розвитку нашої країни дослідженню цього питання приділено недостатньо уваги.

Викладено проблеми гасіння пожеж в резервуарах, а також особливості їх ліквідації подаванням робочих розчинів фторсинтетичних піноутворювачів під шар горючої речовини.

Під час виконання дисертаційної роботи були використані: комплексний метод досліджень, який включав аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень з питань розроблення і застосування водопінних вогнегасних речовин; гравіметричний метод для дослідження впливу інгібіторів корозії на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів; фізико-хімічні методи – термодинамічний; метод обробки статистичних даних; методи математичного

моделювання для теоретичної оцінки параметрів руху затоплених струменів піни низької кратності в резервуарі із нафтопродуктом, які будуть оптимальними для транспортування піни крізь шар пального на його поверхню.

Спроековано експериментальну установку для моделювання пожеж в резервуарах. Проведено дослідження з визначення вогнегасної ефективності ряду піноутворювачів вітчизняного виробництва під час “підшарового” гасіння резервуарів.

Згідно планування експериментів для визначення оптимальної інтенсивності та тиску в системі “підшарового” подавання робочих розчинів піноутворювачів загального і спеціального призначення для гасіння бензину необхідно провести не менше 4 дослідів.

Визначено тривалість гасіння нафтопродуктів, а також експериментально визначено інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів загального і спеціального призначення: для гасіння горіння бензину ($0,1 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) та дизельного палива ($0,08 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$).

Проаналізовано відповідність інтенсивностей до нормативних значень.

Встановлено, що чинні вітчизняні нормативні документи потребують змін щодо інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів при “підшаровому” гасінні нафти і нафтопродуктів в резервуарах.

Визначено, що у разі використання піноутворювачів загального призначення для гасіння горіння бензину і дизельного палива “підшаровим” способом, необхідна більша інтенсивність подавання, ніж з використанням фторсинтетичних піноутворювачів (не менше $0,135 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$).

Причиною є наявність у піноутворювачах спеціального призначення фторвуглеводневого компонента, який надає піні інертності до вуглеводних речовин, а також здатності утворювати плівку, яка розтікається по поверхні пального і значно зменшує швидкість його випаровування.

Під час гасіння реальних пожеж вертикальних сталевих резервуарів з нафтою та нафтопродуктами “підшаровим” способом використання піноутворювачів загального призначення є неможливим, оскільки в резервуарі зі

значною висотою піна, генерована з робочого розчину піноутворювача цього типу, руйнується під впливом вуглеводнів.

За результатами гасіння бензину “підшаровим” способом визначено, що тривалість руйнування піни на основі піноутворювача загального призначення після гасіння становила до 6 хвилин, а на основі плівкоутворювального піноутворювача – більше 12 хвилин.

Спроектовано установку для дослідження швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту, адже від неї напряду залежить швидкість гасіння пожеж у вертикальних сталевих резервуарах.

Встановлено залежність швидкості підйому піни низької кратності крізь шар дизельного палива від тиску в системі: із збільшенням тиску подавання, швидкість підйому пропорційно зростає.

Розроблено математичну модель руху затопленого невільного пінного струменя в середовищі моторного палива, яка адекватно описує реальні фізичні процеси, що відбуваються під час “підшарового” гасіння пожеж у вертикальних сталевих резервуарах.

Визначено параметри руху затоплених струменів піни низької кратності в резервуарі з нафтопродуктом, які будуть оптимальними для транспортування піни через товщу палива на його поверхню.

Визначено, що початкова швидкість руху затопленого пінного струменя характеризується значним згасанням: від 36 до 1,5 м/с із подальшим її зростанням завдяки дії сили Архімеда.

Високі значення початкової швидкості струменя призводять до руйнування піни і відповідно гіршого гасіння пожежі: збільшення початкової швидкості пінного струменя із 10 до 18 м/с приводить до 50 % втрати піни. Зменшення початкової швидкості пінного струменя за заданої інтенсивності подавання слід здійснювати шляхом збільшення відповідної кількості пінних струменів із початковою швидкістю в діапазоні від 2 до 3 м/с.

Встановлено, що значення енергії турбулентності затопленого пінного струменя є основним чинником руйнування піни. Відношення максимальних

значень енергії турбулентності пінних струменів близьке до 10 (9,88), а відношення відповідних їм значень товщини піни на поверхні нафтопродукту в баку близьке до 3 (2,57), тобто присутня нелінійна залежність між значенням енергії турбулентності пінного струменя та руйнування піни в ньому.

Пінні струмені слід розміщувати по колу радіуса, за якого б зберігався їх взаємний вплив, а швидкість збірної пінного струменя не перевищувала б рекомендованих для конкретного нафтопродукту максимальних значень (3 або 6 м/с). Це призводить до покращення стійкості руху збірної струменя, зменшення руйнування піни в процесі її переміщення та недопущення виносу палива на поверхню горіння.

Зроблені від реалізації математичної моделі рішення повністю узгодились з результатами, отриманими під час експериментальних досліджень з гасіння макетної пожежі класу В в установці, яка є зменшеним варіантом резервуара РВС-5000.

Наведено результати експериментального дослідження впливу інгібіторів корозії алкілімідозоліну і алкілімідозоліну М на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення. Описано методику визначення ефективності цих інгібіторів корозії.

Виявлено, що швидкість корозії металевих пластин, які витримували в розчинах з алкілімідозоліном і алкілімідозоліном М, значно менша, ніж без інгібітора. Залежно від виду піноутворювача, інгібітор алкілімідозолін зменшує швидкість корозії у 1,9-3,5 рази, а алкілімідозолін М – у 5-18,2 рази.

За результатами випробувань з'ясовано, що за змінної температури корозійна активність робочих розчинів піноутворювачів більша, ніж із випробуваннями при кімнатній температурі.

Додаванням інгібітора корозії алкілімідозоліну М до піноутворювачів «Барс S-1» та «Пірена» у герметично закритих корпусах вогнегасників протягом 30 діб встановлено, що додавання алкілімідозоліну М зменшує швидкість корозії у 1,4-1,7 рази.

Результати дослідження можуть бути використані для розробки водопінних

вогнегасників, а також під час експлуатації стаціонарних систем пінного пожежогасіння.

Удосконалено методику розрахунку основних параметрів системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами: додано розрахунок сил і засобів для “підшарового” способу подавання робочих розчинів піноутворювачів.

Наведено приклади розрахунку для резервуара типу РВС-10000, згідно із запропонованою нами методикою, а також методикою, описаною у вітчизняних нормативних документах.

Визначено, що запас піноутворювача при “підшаровому” гасінні згідно із запропонованою нами методикою, становив 15,15 м³, що більш, ніж у 2 рази менше, ніж для поверхневого гасіння стволами ГПС-600.

Розраховано технічні параметри системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом для різної тривалості гасіння, типів резервуарів та видів палива, що зберігаються в них.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розкритті особливостей гасіння резервуарів з нафтопродуктами із застосуванням ряду піноутворювачів вітчизняного виробництва “підшаровим” способом.

Вперше експериментально встановлено нормативні інтенсивності подавання робочих розчинів ряду піноутворювачів загального і спеціального призначення вітчизняного виробництва для гасіння горіння бензину та дизельного палива “підшаровим” способом.

Вперше змодельовано за допомогою програмного продукту SolidWorks Flow Simulations параметри руху затопленого невільного пінного струменя в середовищі моторного палива, які адекватно описують реальні фізичні процеси.

Вперше встановлено вплив інгібіторів корозії алкілімідозоліну та алкілімідозоліну М на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення.

Вперше за результатами визначення таких показників якості палива цетановий індекс, густина, температура спалаху, а також фракційний склад встановлено, що дизельне паливо, яке піддавалося гасінню із застосуванням

плівкоутворювальних піноутворювачів, може бути придатним до використання за призначенням.

Обґрунтовано зміни та доповнення до вітчизняних нормативних документів, що стосуються нормативних інтенсивностей подавання робочих розчинів піноутворювачів.

Таким чином, була вирішена актуальна науково-технічна задача – вдосконалення технології “підшарового” пожежогасіння в резервуарах з нафтою та нафтопродуктами.

Ключові слова: піноутворювач, “підшарове” гасіння, пожежі в резервуарах, нафтопродукти, бензин, дизельне паливо, інгібітор корозії, алкілімідозолін, алкілімідозолін М.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В., Кошеленко, В. В. (2017). Дослідження впливу інгібіторів корозії на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів. *Пожежна безпека*, 30, 16-21.

2. Ковалишин, В. В., Кирилів, Я. Б., Гусар, Б. М., Войтович, Т. М., Ковалишин, Вол. В., Корнієнко, А. О., Чернецький, В. В. (2017). Перспективи гасіння пожеж водопінними вогнегасниками. *Пожежна безпека*, 31, 49-58.

3. Войтович, Т. М., Гусар, Б. М., Ковалишин, В. В., Кошеленко, В. В., Грушовінчук, О. В. (2018). Дослідження вітчизняних піноутворювачів для “підшарового” гасіння. *Пожежна безпека*, 32, 5-14.

4. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В., Чернецький, В. В. (2019). Особливості проектування і розрахунку системи “підшарового” гасіння. *Пожежна безпека*, 34, 21-27.

Статті у науковому журналі, що входить до бази даних Scopus:

5. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В., Новіцький, Я. М., Войтович, Д. П., Пастухов, П. В., Фірман, В. М. (2020). Вплив параметрів руху затоплених пінних струменів на “підшарове” гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 3, 10(105), 6-17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206032>

Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В. (2017). Аналіз досліджень та існуючих методик, що стосуються зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів: [в 2 ч.] (23-24 березня 2017 р., м. Львів)*, 1, 16-18.

7. Войтович, Т. М. (2017). Дослідження впливу інгібіторів на зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (18-19 травня 2017 р., м. Черкаси)*, 183-184.

8. Ковалишин, В. В., Войтович, Т. М. (2017). Зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. *Проблеми екології та енергозбереження: матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції (20-24 вересня 2017 р., м. Миколаїв)*, 174-176.

9. Ковалишин, В. В., Войтович, Т. М. (2017). Дослідження корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції (10-11 жовтня 2017 р., м. Київ)*, 204-207.

10. Ковалишин, В. В., Кирилів, Я. Б., Войтович, Т. М., Гусар, Б. М. (2017). Перспективи розвитку пінного гасіння. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції (10-11 жовтня 2017 р., м. Київ)*, 207-210.

11. Ковалишин, В. В., Марич, В. М., Войтович, Т. М., Гусар, Б. М. (2018). Використання екологічно прийнятних вогнегасних речовин. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (14 вересня 2018 р., м. Львів)*, 42-43.

12. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В. (2019). Дослідження швидкості підйому піни низької кратності крізь шар горючої речовини. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (28-29 березня 2019 р., м. Львів)*, 12-14.

13. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В. (2019). Дослідження дизельного палива на доцільність використання за призначенням після його гасіння плівкоутворюючими піноутворювачами. *Проблеми екології та енергозбереження: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції (20-22 вересня 2019 р., м. Миколаїв)*, 161-162.

ABSTRACT

Voitovych T.M. Improvement of the Subsurface Extinguishing Technology in Tanks with Petroleum Products. – PhD dissertation manuscript.

Dissertation for obtaining a Doctor of Philosophy, majoring in 261 - Fire Safety. Lviv State University of Life Safety, Lviv, 2020.

The dissertation offers a solution to an urgent scientific problem – an improvement of the subsurface fire extinguishing technology in tanks with oil and petroleum products.

Despite significant technology progress, including advances in the fire safety field, extinguishing of oil and petroleum products tank fires remains one of the most difficult ones. A subsurface method of tank fires fighting is the safest method for the rescue workers, fire trucks, and firefighting equipment. Implementation of this method requires the use of foam concentrate with fluorinated stabilizing agents, an aqueous

solution of which can spread and cover the surface of oil and petroleum products with a thin film which reduces diffusion of combustible vapors. Until now, the study of this method has been insufficient.

The dissertation outlines problems of the tank fires fighting as well as particularities of tank fires extinguishing by supplying fluorosynthetic foam concentrate under the layer of a combustible substance.

The following research methods were used in the dissertation: a combination of analysis and generalization of technological advances in development and usage of foam fire extinguishers; gravimetric method to analyze the influence of corrosion inhibitors on corrosive properties of foam concentrate solutions; one of physicochemical methods – thermodynamic method; statistical data analysis; methods of mathematical modeling for the purpose of theoretical estimation of the movement parameters of submerged low expansion foam jets in a tank with motor fuel that would be optimal for transporting foam through the fuel layer to its surface.

An experimental unit has been designed to simulate tank fires. Experimental studies have been conducted to determine fire fighting efficiency of domestically produced foam concentrates in subsurface tank fires fighting.

According to the outlined experiment schedule to determine optimal application rate and pressure values in the subsurface general and special-purpose foam solutions' application system, it was necessary to conduct at least four experiments to obtain the results.

The duration of petroleum products' fire fighting was calculated. Also, the application rate of foam solutions of general and special-purpose foam concentrates was experimentally determined, both for gasoline fire extinguishing ($0.1 \text{ l/m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) and for diesel fuel ($0.08 \text{ l/m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

A correspondence of the application rate to regulatory values has been analyzed. The analysis has shown that existing domestic regulatory documents require changes in application rate requirements for the foam solutions during the subsurface fighting fires in tanks with oil and petroleum products.

It was determined experimentally that a higher application rate was required when using general-purpose foam concentrate for the subsurface extinguishing of gasoline and diesel fuel fires compared to situations when fluorosynthetic foam-concentrate is used (not less than $0,135 \text{ l/m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$). The reason is that special-purpose foam concentrates contain a fluorocarbon ingredient which blocks the reaction of foam to carbohydrate substances and deactivates the ability of the foam to form a film that spreads over the fuel surface and significantly reduces the rate of fuel evaporation.

During fighting real fires in vertical steel tanks with oil and petroleum products, the use of general-purpose foam concentrate for applying foam directly into the fuel layer is impossible, as being contained in a tank with a significant height, this type of foam concentrate decomposes when exposed to hydrocarbons.

It was determined that the destruction time of a general-purpose foam concentrate-based foam after the subsurface extinguishing of gasoline was up to 6 minutes and for film-forming foam concentrate-based foam – more than 12 minutes.

As a part of the research, an experimental unit for calculation of the raising speed of low expansion foam in a combustible substance was created. It was necessary as the speed of fire extinguishing in vertical steel tanks directly depended on this value. It was determined that there was a linear correlation between the low expansion foam's raising speed and the pressure in the system. The higher the supply pressure, the higher is foam's raising speed.

A calculation method of the subsurface extinguishing of oil and petroleum products tank fires with low expansion foam was described.

A mathematical model of the movement of a submerged non-free foam jet in a petroleum products medium was developed. This model adequately describes the real physical processes that occur during subsurface fire fighting in vertical steel tanks.

The movement parameters of submerged low expansion foam jets in a tank with motor fuel were determined as those that would be optimal for transporting foam through the fuel layer to its surface. It was specified that the movement of the submerged foam spray is characterized by a significant attenuation from 36 to 1.5 m/s of the initial velocity with its subsequent increase due to the Archimedes' principle.

High values of the initial speed of the foam jet lead to the destruction of the foam and, accordingly, slow down fire fighting: an increase in initial speed of the foam jet from 10 to 18 m/s leads to the destruction of 50% of the foam. A decrease in the initial speed of the foam jet at a given supply strength should be carried out by increasing the corresponding number of foam jets with an initial speed in the range from 2 to 3 m/s.

It was determined that turbulent energy of the submerged foam jet is the main reason of the foam destruction. Dependency of the maximum turbulence energy values of the foam jets is approximately 10 (9.88), and the dependency of the corresponding values of the foam thickness on the surface of petroleum product in a tank approximately equals 3 (2.57). This means that there is non-linear correlation between the turbulence energy of the foam jet and the foam destruction in it.

Foam jets should be applied in a circumferential direction at which their mutual influence would be preserved, and the speed of the combined foam spray should not exceed the maximum values recommended for a particular oil product (3 or 6 m/s). It helps to improve the stability of the combined foam spray, to decrease the destruction of the foam during its movement, and to prevent the movement of the fuel to the combustion surface. The decisions made upon the implementation of the mathematical model are fully consistent with the results obtained during the experimental tests on extinguishing a class B model fire in a designed unit that represents a scaled-down version of the RVS-5000 tank.

The results of an experimental study of the influence of corrosion inhibitors alkylimidazoline and alkylimidazoline M on corrosive properties of general and special-purpose foam concentrate solutions are presented. A technique to determine the effectiveness of these corrosion inhibitors is described.

It was found that the corrosion rate of metal plates that were kept in solutions with alkylimidazoline and alkylimidazoline M was significantly lower compared to the one without an inhibitor. Depending on the foam concentrate type, alkylimidazoline reduces the corrosion rate by 1.86-3.5 times, and alkylimidazoline M – by 5-18.2 times.

Also, according to the test results, it was found that the corrosive activity of foam

concentrate solutions was higher at changing temperatures than at room temperature.

It was determined that addition of alkyimidazoline M reduced the corrosion rate by 1.4-1.7 times. These results were obtained by adding the corrosion inhibitor to the foam concentrates “Bars S-1” and “Pirena”, which were enclosed in hermetically sealed extinguisher cylinders for 30 days. The research results can be used for the development of foam fire extinguishers, and the usage of fixed foam fire fighting units.

Calculation methodology of the main parameters of the subsurface extinguishing system of fires in oil and petroleum products tanks, in particular, a calculation method for requirements and resources needed for subsurface application of foam solutions was offered.

Examples of calculations for the RVS-10000 tank were provided. These calculations have been conducted based on both the proposed methodology and methods outlined in domestic regulatory documents.

It was found that foam compound supply in cases when the offered subsurface fire fighting methodology was used, was equal 15.15 m^3 , which is two times bigger than in case of surface fire fighting using HPS-600.

Technical parameters of the subsurface extinguishing system of fires in oil and petroleum products tanks for various types of tanks, duration of extinguishing and fuels have been calculated.

The scientific novelty of obtained results consists in detailed analysis and description of particularities of the subsurface fire fighting of fires in tanks with oil and petroleum products with the help of domestic foam agents.

For the first time regulatory values of the general and special-purpose domestic foam concentrates' application rate used for subsurface fire fighting of oil and petroleum were experimentally determined.

Also, with the help of SolidWorks Flow Simulations program a simulation of the movement of a submerged non-free foam jet in a petroleum products medium was developed. Moreover, this simulation adequately describes the real physical processes that occur during the fire fighting process.

The influence of corrosion inhibitors alkylimidazoline and alkylimidazoline M on corrosive properties of general and special-purpose foam concentrate solutions were presented for the first time.

This work has also proved that diesel fuel that was left after fire fighting process with film-forming foam concentrate-based foam, can still be used as intended. This conclusion was made based on analysis of the following quality characteristics of the fuel: cetane index, density, flash point, and fractional composition.

The dissertation provides grounds for changes in existing domestic regulatory documents related to application rate requirements for the foam solutions.

Thus, the important and urgent scientific problem of improving the subsurface fire fighting technology in tanks with oil and petroleum products was resolved.

Key words: foam concentrate, subsurface fire fighting, tank fires, petroleum products, gasoline, diesel fuel, corrosion inhibitor, alkylimidazoline, alkylimidazoline M.

List of publications of the applicant

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

Articles in the scientific professional editions of Ukraine, which are included in the international scientrometric bases:

1. Voitovych, T. M. Kovalyshyn, V. V., & Koshelenko, V. V. (2017). Doslidzhennia vplyvu inhibitoriv korozii na koroziinu aktyvnist' robochykh rozchyniv pinoutvoriuvachiv [Research on influence of corrosion inhibitors on corrosion activity of working solutions of foaming agents]. *Pozhezhna bezpeka [Fire Safety]*, 30, 16-21. [in Ukrainian].

2. Kovalyshyn, V. V., Kyryliv, Y. B., Gusar, B. M., Voitovych, T. M., Kovalyshyn, Vol. V., Korniyenko, A. O., & Chernetsky V. V. (2017). Doslidzhennia vplyvu inhibitoriv korozii na koroziinu aktyvnist' robochykh rozchyniv

pinoutvoriuvachiv [Prospects of fire extinguishing with water fire extinguishers]. *Pozhezhna bezpeka [Fire Safety]*, 31, 49-58. [in Ukrainian].

3. Voitovych, T. M., Husar, B. M., Kovalyshyn, V. V., Koshelenko, V. V., & Hrushovinchuk, O. V. (2018). Doslidzhennia vitchyznianykh pinoutvoriuvachiv dlia “pidsharovoho” hasinnia [Research on domestically produced fire-fighting foam agents for subsurface fire extinguishing]. *Pozhezhna bezpeka [Fire Safety]*, 32, 5-14. [in Ukrainian]. DOI i:10.32447/20786662.32.2018.01.

4. Voitovych, T. M., Kovalyshyn, V. V., & Chernetskyi, V. V. (2019). Osoblyvosti proektuvannia i rozrakhunku systemy “pidsharovoho” hasinnia [Design and calculation specifics of the subsurface fire extinguishing system]. *Pozhezhna bezpeka [Fire Safety]*, 34, 21-27. [in Ukrainian]. DOI:10.32447/20786662.34.2019.04.

Article in the scientific edition, which included in the Scopus database:

5. Voitovych, T. M., Kovalyshyn, V. V., Novitskyi, Y. M., Voytovych, D. P., Pastukhov, P. V., & Firman, V. M. (2020). Vplyv parametriv rukhu zatoplenykh pinnykh strumeniv na “pidsharove” hasinnia pozhezh v rezervuarakh z naftoproduktamy [Influence of flooded foam jets’ motion parameters on subsurface extinguishing of fires in tanks with petroleum products]. *Skhidno-Yevropeis'kyi zhurnal peredovykh tekhnolohii [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies]*, 3, 10(105), 6-17. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206032>.

Abstracts certifying the approbation of the dissertation materials:

6. Voitovych, T. M., Kovalyshyn, V. V. (2017) Analiz doslidzhen' ta isnuichykh metodyk, shcho stosuiut'sia znyzhennia koroziinoi aktyvnosti robochykh rozchyniv pinoutvoriuvachiv [Analysis of research and existing methods for reducing the corrosion activity of working solutions of foaming agents]. *Problemy ta perspektyvy rozvytku systemy bezpeky zhyttiediial'nosti: Zbirnyk naukovykh prats' XII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh, kursantiv ta studentiv (23-24 bereznia 2017 r., m. Lviv)*. [Problems and prospects of life safety

system development: materials of the XII International research and practical conference of young scientists, cadets and students (March 23-24, 2017, Lviv)], 1, 16-18. [in Ukrainian].

7. Voitovych, T. M. (2017) Doslidzhennia vplyvu inhibitoriv na znyzhennia koroziinoi aktyvnosti robochykh rozchyniv pinoutvoryuvachiv [Investigation of the effect of inhibitors on the reduction of corrosion activity of working solutions of foaming agents]. *Teoriia i praktyka hasinnia pozhezh ta likvidatsii nadzvychainykh situatsii: materialy VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (18-19 travnia 2017 r., m. Cherkasy)*. [Theory and practice of firefighting and emergency management: materials of the VIII International scientific-practical conference (May 18-19, 2017, Cherkasy)], 183-184. [in Ukrainian].

8. Kovalyshyn, V. V., Voitovych, T. M. (2017) Znyzhennia koroziinoi aktyvnosti robochykh rozchyniv pinoutvoriuvachiv [Reduction of corrosion activity of working solutions of foaming agents]. *Problemy ekolohii ta enerhozberezhennia: materialy XII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (20-24 veresnia 2017 r., m. Mykolaiv)*. [Problems of ecology and energy saving in shipbuilding: materials of the XII international scientific and technical conference (September 20-24, 2017, Mykolaiv)], 174-176. [in Ukrainian].

9. Kovalyshyn, V. V., Voitovych, T. M. (2017) Doslidzhennia koroziinoi aktyvnosti vodnykh rozchyniv vohnehasnykh rehovyn [Investigation of corrosion activity of aqueous solutions of fire extinguishing substances]. *Suchasnyi stan tsyvil'noho zakhystu Ukrainy ta perspektyvy rozvytku: materialy XIX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (10-11 zhovtnia 2017 r., m. Kyiv)*. [The current state of civil defense of Ukraine and prospects for development: materials of the XIX International scientific-practical conference (October 10-11, 2017, Kyiv)], 204-207. [in Ukrainian].

10. Kovalyshyn, V. V., Kyryliv, Y. B., Voitovych, T. M., Gusar, B. M. (2017) Perspektyvy rozvytku pinnoho hasinnia [Prospects for the development of foam extinguishing]. *Suchasnyi stan tsyvil'noho zakhystu Ukrainy ta perspektyvy rozvytku: materialy XIX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (10-11 zhovtnia 2017*

r., m. Kyiv). [The current state of civil defense of Ukraine and prospects for development: materials of the XIX International scientific-practical conference (October 10-11, 2017, Kyiv)], 207-210. [in Ukrainian].

11. Kovalyshyn, V. V., Marych, V. M., Voitovych, T. M., Gusar, B. M. (2018) Vykorystannia ekolohichno pryiniatnykh vohnehasnykh rehovyn [Use of environmentally friendly extinguishing agents]. *Ekolohichna bezpeka yak osnova staloho rozvytku suspil'stva. Yevropeis'kyi dosvid i perspektyvy: materialy III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (14 veresnia 2018 r., m. Lviv)*. [Ecological safety as the basis of sustainable development. european experience and perspectives: materials of the III International scientific and practical conference (September 14, 2018, Lviv)], 42-43. [in Ukrainian].

12. Voitovych, T. M., Kovalyshyn, V. V. (2019) Doslidzhennia shvydkosti pididomu piny nyz'koi kratnosti kriz' shar horiuchoi rehovyny [Investigation of the rate of rise of low-density foam through a layer of combustible substance]. *Problemy ta perspektyvy rozvytku systemy bezpeky zhyttiediial'nosti: Zbirnyk naukovykh prats' XIV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh, kursantiv ta studentiv (28-29 bereznia 2019 r., m. Lviv)*. [Problems and prospects of life safety system development: materials of the XIV International research and practical conference of young scientists, cadets and students (March 28-29, 2019, Lviv)], 12-14. [in Ukrainian].

13. Voitovych, T. M., Kovalyshyn, V. V. (2019) Doslidzhennia dyzel'noho palyva na dotsil'nist' vykorystannia za pryznachenniam pislia yoho hasinnia plivkoutvoriuiuchymy pinoutvoriuvachamy [Research of diesel fuel on expediency of use on purpose after its extinguishing by film-forming foaming agents]. *Problemy ekolohiyi ta enerhozberezhennya v sudnobuduvanni: materialy XIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (20-24 veresnia 2019 r., m. Mykolaiv)*. [Problems of ecology and energy saving in shipbuilding: aterials of the XIII international scientific and technical conference (September 20-22, 2019, Mykolaiv)], 161-162. [in Ukrainian].

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ.....	23
ВСТУП.....	24
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМ “ПІДШАРОВОГО” ГАСІННЯ ПОЖЕЖ У ВЕРТИКАЛЬНИХ СТАЛЕВИХ РЕЗЕРВУАРАХ З НАФТОЮ ТА НАФТОПРОДУКТАМИ.....	35
1.1. Піноутворювачі для “підшарового” гасіння.....	35
1.1.1. Фторсинтетичні плівкоутворювальні піноутворювачі. Їх застосування у гасінні пожеж “підшаровим” способом.....	39
1.2. Аналіз тенденцій, що стосуються пожеж у резервуарах з нафтою та нафтопродуктами.....	43
1.2.1. Статистика пожеж у резервуарах з нафтою та нафтопродуктами.....	45
1.2.2. Особливості гасіння пожеж у резервуарних парках з нафтою та нафтопродуктами “підшаровим” способом.....	48
1.3. Аналіз проблем, пов’язаних із корозійною активністю робочих розчинів піноутворювачів.....	55
1.3.1. Аналіз існуючих досліджень, що стосуються зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів.....	56
1.4. Аналіз нормативних документів для використання піноутворювачів для “підшарового” гасіння.....	57
1.5. Висновки.....	61
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПІННИХ ЗАТОПЛЕНИХ СТРУМЕНІВ.....	62
2.1. Теоретичні викладки математичних основ теорії затоплених струменів.....	62
2.2. Розрахунок параметрів руху затоплених струменів в САПР SolidWorks Flow Simulations.....	63
2.2.1. Опис основних теоретичних положень САПР SolidWorks Flow Simulations.....	63

2.2.2. Побудова математичної моделі в середовищі SolidWorks Flow Simulations.....	66
2.2.3. Визначення основних параметрів руху затоплених пінних струменів в резервуарі з бензином.....	68
2.2.3.1. Рух вертикального пінного струменя Ø 100 мм.....	68
2.2.3.2. Визначення параметрів руху пінних струменів різних діаметрів...	71
2.2.3.3. Визначення оптимального розташування вертикальних пінних струменів.....	73
2.2.3.4. Визначення параметрів руху одного центрально розташованого струменя із пінопроводу Ø320 мм.....	77
2.2.3.5. Визначення параметрів руху множинного струменя із десяти вертикальних струменів Ø100 мм.....	80
2.2.4. Визначення конструктивних параметрів системи подавання пінних струменів.....	87
2.2.5. Експериментальне дослідження параметрів руху затоплених пінних струменів у фізичній моделі резервуара із нафтопродуктом.....	92
2.2.5.1. Методика проведення випробувань з визначення вогнегасної ефективності та коефіцієнта руйнування плівкоутворювальної піни при її подаванні під шар нафтопродукту.....	92
2.2.5.2. Експериментальне дослідження руху піни в середовищі нафтопродукту в фізичній моделі резервуара.....	95
2.2.5.3. Експериментальні дослідження з гасіння модельного вогнища пожежі класу В у фізичній моделі резервуара з дизельним паливом.....	105
2.3. Висновки.....	108
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ “ПІДШАРОВОГО” ГАСІННЯ РЕЗЕРВУАРІВ З НАФТОПРОДУКТАМИ.....	109
3.1. Визначення вогнегасної ефективності вітчизняних піноутворювачів під час “підшарового” гасіння нафтопродуктів.....	109

3.1.1. Методика визначення вогнегасної ефективності під час “підшарового” гасіння нафтопродуктів.....	109
3.1.2. Експериментальні дослідження вогнегасної ефективності під час “підшарового” гасіння нафтопродуктів.....	111
3.2. Визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту.....	117
3.2.1. Методика визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту.....	117
3.2.2. Експериментальне дослідження швидкості підйому піни низької кратності крізь шар дизельного палива.....	119
3.3. Визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин.....	120
3.3.1. Методика експериментальних досліджень з визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин.....	120
3.3.2. Експериментальне дослідження впливу інгібіторів корозії алкілімідозоліну та алкілімідозоліну М на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів.....	124
3.4. Планування експерименту з визначення вогнегасної ефективності піноутворювача «Барс АFFF» під час “підшарового” гасіння бензину марки А-92.....	126
3.5. Висновки.....	136
РОЗДІЛ 4. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	138
4.1. Дослідження дизельного палива на можливість використання за призначенням після його гасіння плівкоутворювальними піноутворювачами.....	138
4.2. Рекомендації до методики розрахунку основних параметрів системи “підшарового” гасіння.....	139
4.3. Технічні параметри системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом.....	141

4.4. Розрахунок загальних витрат піноутворювача для гасіння резервуара РВС-10000.....	143
4.5. Рекомендації щодо коригування вітчизняних нормативних документів.....	145
4.5.1. Рекомендації щодо коригування Інструкції щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами: НАПБ 05.035-2004.....	145
4.5.2. Рекомендації щодо коригування ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа».....	147
4.6. Висновки.....	148
ВИСНОВКИ	149
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	152
ДОДАТКИ	165
ДОДАТОК А. Результати випробувань з визначення корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів без і з додаванням алкілімідозоліну М та алкілімідозоліну М.....	165
ДОДАТОК Б. Фото металевих пластин після проведення випробування на корозійну стійкість робочих розчинів піноутворювачів без і з додаванням алкілімідозоліну М та алкілімідозоліну М	167
ДОДАТОК В. Технічні параметри системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом.....	170
ДОДАТОК Д. Протокол випробувань палива дизельного.....	173
ДОДАТОК Е. Протокол «Визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин».....	176
ДОДАТОК Ж. Методика-програма проведення випробувань «Дослідження вогнегасної ефективності вітчизняних піноутворювачів при “підшаровому” гасінні нафтопродуктів».....	182
ДОДАТОК К. Методика-програма проведення випробувань «Визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин»	188

ДОДАТОК Л. Методика-програма проведення випробувань «Дослідження швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту».....	194
ДОДАТОК М. Методика-програма проведення випробувань «Дослідження вогнегасної ефективності та коефіцієнту руйнування плівкоутворювальної піни при її подаванні під шар нафтопродукту».....	199
ДОДАТОК Н. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи від ГУ ДСНС України у Львівській області.....	205
ДОДАТОК П. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи від Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.....	207
ДОДАТОК Р. Акт впровадження результатів дисертаційної роботи від ТзОВ «Науково-виробниче товариство «Вогнеборець».....	209
ДОДАТОК С. Список опублікованих праць за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	212

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ

AFFF	aqueous film forming foam (фторсинтетичний плівкоутворювальний піноутворювач)
ВПГ	високонапірний піногенератор
ГР	горюча рідина
ГПС	генератор піни середньої кратності
ДП	дизельне паливо
ПАР	поверхнево активні речовини
ПУ	піноутворювач
ПФЕ	повний факторний експеримент
РВС	резервуар вертикальний сталевий
РР	робочий розчин
СПГ	система “підшарового” гасіння

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Гасіння резервуарів з нафтою та нафтопродуктами є складним процесом, для реалізації якого необхідно залучати велику кількість сил та засобів. Пожежі на об'єктах нафтової промисловості часто мають стрімкий розвиток і затяжний характер, вони є надзвичайно небезпечними для працівників та рятувальників, які їх ліквідовують.

Прикладом цього бути служили такі масштабні аварії, як вибух на найбільшому у Венесуелі нафтопереробному заводі «Атусау», який трапився 25 серпня 2012 року. Під час вибуху загинуло 48 осіб, 151 людина травмована. Пожежу гасили три дні, вона охопила три величезних нафтових резервуари. Інша катастрофа трапилась на одному з заводів мексиканської нафтової компанії «Ретех» 19 вересня 2012 року. Вогонь за мить охопив завод. В результаті пожежі 30 людей загинуло, ще 126 травмовано [73]. З недавніх випадків – пожежа на нафтохімічному заводі Deer Park (Техас, США), яка трапилась 17 березня 2019 року і тривала 4 дні, в результаті чого було знищено десять резервуарів. Експерти оцінили збиток у розмірі близько 1 млрд доларів США [92].

Варто також згадати сумнозвісну пожежу на нафтобазі у Васильківському районі — масштабна техногенна катастрофа, спричинена вибухом і подальшим займанням нафтопродуктів на нафтобазі біля села Крячки Васильківського району Київської області, що почалася 8 червня 2015 року (рис.1). Про ліквідацію пожежі було оголошено аж 20 червня. Пожежа становила серйозну небезпеку, оскільки поруч розташована військова частина з бойовим арсеналом. Внаслідок пожежі на нафтобазі загинуло шестеро осіб, із них троє — рятувальники, ще принаймні 18 осіб травмовано [53].



Рис. 1. Пожежа на нафтобазі «БРСМ-нафта» у Васильківському районі Київської області

Протипожежний захист нафтової та нафтохімічної промисловості багато в чому забезпечується завдяки використанню як засобу гасіння пожеж піни різної кратності. Як відомо, ряд властивостей води ускладнює чи унеможлиблює її застосування для гасіння певних горючих рідин і твердих горючих матеріалів. Зокрема, водою, що подається у вигляді компактних струменів, не можна гасити водонерозчинні горючі рідини, густина яких менша за густину води (ці рідини спливають на поверхню води і продовжують горіти) [50]. Тому для їх гасіння застосовують інші вогнегасні речовини, зокрема, піноутворювачі, з водних розчинів яких за допомогою спеціального обладнання генерують піну [24, 110].

Головною перевагою використання піни є, одночасно з її ізолювальною здатністю, охолодження розчином піноутворювача зони пожежі, що забезпечує надійність гасіння, зниження імовірності повторного займання і утворення вибухонебезпечної суміші парів пального з повітрям.

У роботі [124] вказується, що нинішні системи пожежогасіння сховищ нафти не можуть задовольнити потреби гасіння пожеж великих резервуарів з плаваючою покрівлею. Результати показують, що працездатність існуючої системи пожежогасіння повинна бути підвищена щонайменше в 6–10 разів. У роботах [94, 120, 125] описано вирішення цих проблем за допомогою систем пожежогасіння газонаповненою (компресійною) піною (CAFS) різними вогнегасними речовинами. Проблематика полягає у відсутності науково

обґрунтованих даних про оптимальні співвідношення компонентів у складі газонаповненої піни для гасіння пожеж різних класів (або ці дані є комерційною таємницею фірм-виробників) [15].

Варіантом подолання цих труднощів може бути гасіння пожеж із застосуванням піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів типу AFFF, які є відносно нечутливими до впливу вуглеводнів і поряд з перевагами, які має вогнегасна піна, мають ще одну – утворення водної плівки на поверхні нафтопродукту, що зменшує доступ окисника до полум'я. Експериментально досліджено цей метод у роботі [112], де автори експериментально встановили мінімальну інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача, яка є ефективною для гасіння резервуарів при різних температурних умовах.

Механізм пожежогасіння дизельного палива із застосуванням піноутворювачів класу AFFF був ретельно проаналізований у роботі [123], але залишилися невирішеними питання, пов'язані з подаванням робочих розчинів піноутворювачів цього типу під шар нафтопродукту, що горить. У міжнародних наукових базах обмаль робіт, у яких досліджується інтенсивність подавання робочих розчинів піноутворювачів типу AFFF в шар нафтопродукту як ефективного і разом з тим найбезпечнішого способу гасіння резервуарів з нафтою та нафтопродуктами [24]. Одна з найважливіших його переваг перед традиційним способом, де піну подають зверху, полягає в захищеності особового складу пожежних підрозділів та техніки, які розташовуються за обвалуванням і менше піддаються безпосередній небезпеці від викиду або закипання палаючої нафти. Також “підшаровий” спосіб подавання робочих розчинів піноутворювачів не залежить від погодних умов і характеризується меншою витратою вогнегасної речовини, оскільки вся піна подається безпосередньо в резервуар.

У роботах [57, 60, 86, 90, 101, 105, 111] розроблено механізми та моделі гасіння нафти та нафтопродуктів “підшаровим” способом.

Найбільший вклад у дослідження та розвиток системи “підшарового” гасіння внесли Шароварніков С.О., Шароварніков О.Ф., Воєвода С.С., Безродний І.Ф., Кокорін В.В., Молчанов В.П. та інші. Роботи, проведені ними, спрямовано

на розробку механізмів та моделей гасіння нафти і нафтопродуктів “підшаровим” способом, а саме: досліджено гасіння пожеж нафти і нафтопродуктів, у тому числі “підшаровим” способом, вивчено чинники, що знижують вогнегасну ефективність “підшарової” системи під час гасіння полум'я нафтопродуктів [60, 86, 87]. У роботі [90] вивчено гасіння сумішевих палив фторсинтетичними піноутворювачами в резервуарах “підшаровим” способом, а у [57] досліджено проблеми ефективного гасіння пожеж, а також вплив піни на тривалість гасіння пожеж у вертикальних сталевих резервуарів під час її подавання в шар пального.

У чинній в Україні нормативній базі є недостатньо інформації, присвяченої “підшаровому” гасінню. Аналізуючи нормативні документи в галузі забезпечення пожежної безпеки резервуарних парків [47, 75], слід зазначити, що методики для визначення технічних параметрів системи пожежогасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами, а також інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів є однаковими, і для “підшарового” гасіння, і для подавання піни на поверхню резервуара, що горить. Доцільним є розглянути і дослідити кожен спосіб гасіння пожеж в резервуарах з нафтою і нафтопродуктами окремо [24].

Також дослідженню вітчизняних піноутворювачів присвячено чимало праць, але таких де вони застосовуються у “підшаровому” гасінні практично немає [19].

Відтак, є необхідність детальнішого вивчення основних параметрів системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом, а також їх експериментального дослідження з визначення вогнегасної ефективності піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального і спеціального призначення вітчизняного виробництва.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.
Дисертаційна робота проводилась у відповідності до науково-дослідної роботи «Визначення параметрів “підшарового” гасіння для вітчизняних

піноутворювачів», (державний реєстраційний номер №0119U002941), в якій здобувачка була відповідальним виконавцем.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є підвищення ефективності гасіння пожеж у вертикальних сталевих резервуарах для зберігання нафтопродуктів експериментальним та теоретичним вдосконаленням технології “підшарового” гасіння.

Для досягнення зазначеної мети потрібно вирішити такі задачі:

- провести аналіз сучасного стану “підшарового” пожежогасіння для вертикальних сталевих резервуарів та виявити можливі шляхи його вдосконалення;
- експериментально визначити рекомендовані інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів загального і спеціального призначення вітчизняного виробництва “підшаровим” способом для гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами, зіставити їх з існуючими нормативними значеннями;
- вдосконалити математичну модель для оптимізації способів подавання робочих розчинів піноутворювачів;
- розробити способи захисту трубопроводів для “підшарового” гасіння від прояву корозії;
- визначити можливість використання дизельного палива за призначенням після його гасіння піноутворювачами;
- вдосконалити методику розрахунку основних параметрів системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом, згідно з нею розрахувати технічні параметри та розробити практичні рекомендації щодо системи “підшарового” пожежогасіння.

Об’єкт дослідження – процеси припинення горіння під час гасіння пожеж у вертикальних сталевих резервуарах для зберігання нафтопродуктів із застосуванням плівкоутворювальних піноутворювачів “підшаровим” способом.

Предмет дослідження – вплив чинників, що характеризують процес пожежогасіння “підшаровим” способом, на процес припинення горіння резервуарів для зберігання нафтопродуктів.

Методи досліджень. Під час виконання дисертаційної роботи були використані: комплексний метод досліджень, який включав аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень з питань розроблення і застосування водопінних вогнегасних речовин; гравіметричний метод для дослідження впливу інгібіторів корозії на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів; фізико-хімічні методи – термодинамічний; метод обробки статистичних даних; методи математичного моделювання для теоретичної оцінки параметрів руху затоплених струменів піни низької кратності в резервуарі із нафтопродуктом, які будуть оптимальними для транспортування піни крізь шар пального на його поверхню.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розкритті особливостей гасіння резервуарів з нафтопродуктами із застосуванням ряду піноутворювачів вітчизняного виробництва “підшаровим” способом.

Вперше:

- експериментально встановлено нормативні інтенсивності подавання робочих розчинів ряду піноутворювачів загального і спеціального призначення вітчизняного виробництва для гасіння горіння бензину ($0,1 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) та дизельного палива ($0,08 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) “підшаровим” способом;

- змодельовано за допомогою програмного продукту SolidWorks Flow Simulations параметри руху затопленого невеликого пінного струменя в середовищі моторного палива, які адекватно описують реальні фізичні процеси; встановлено, що значна енергія турбулентності $0,05-0,5 \text{ Дж/кг}$ є силовим фактором руйнування піни, а збільшення початкової швидкості пінного струменя із 10 до 18 м/с призводить до 50% втрати піни;

- встановлено вплив інгібіторів корозії алкілімідозоліну та алкілімідозоліну М на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів загального та спеціального призначення («БАРС S-1», «БАРС АFFF», «Пірена»,

«Альпен»), а саме: алкілімідозолін зменшує швидкість корозії у 1,9-3,5 рази, алкілімідозолін М – у 5-18,2 рази залежно від марки піноутворювача;

- за результатами визначення таких показників якості палива цетановий індекс, густина, температура спалаху, а також фракційний склад встановлено, що дизельне паливо, яке піддавалося гасінню із застосуванням плівкоутворювальних піноутворювачів, може бути придатним до використання за призначенням.

Подальшого розвитку набули:

- методика розрахунку технічних параметрів системи пожежогасіння резервуарів для зберігання нафти і нафтопродуктів “підшаровим” способом;

- методи досліджень, а саме:

- розроблено експериментальну установку та методику проведення досліджень з визначення інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів для гасіння нафтопродукту “підшаровим” способом;
- розроблено експериментальну установку, а також методику дослідження для визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту;
- розроблено експериментальну установку, а також методику дослідження вогнегасної ефективності та коефіцієнта руйнування піни, генерованої з робочих розчинів плівкоутворювальних піноутворювачів, під час подавання під шар нафтопродукту.

Удосконалено:

- науково-методичну базу забезпечення пожежної безпеки резервуарних парків щодо дотримання необхідної інтенсивності подавання робочих розчинів плівкоутворювальних піноутворювачів під шар нафтопродукту.

Практичне значення і реалізація одержаних результатів.

Розроблені математичні моделі, методи випробувань та експериментальні установки дали змогу підвищити ефективність гасіння піною, генерованою з робочих розчинів плівкоутворювальних піноутворювачів, “підшаровим”

способом. Також результати досліджень є підґрунтям для подальшого удосконалення нормативної бази, яка стосується “підшарового” гасіння.

Запропоновані параметри системи “підшарового” гасіння є основою для впровадження у практику гасіння пожеж класу В підрозділами ДСНС України. Реалізацію результатів роботи здійснено шляхом використання “підшарового” способу подавання робочих розчинів плівкоутворювальних піноутворювачів на полігоні у тренувальному резервуарі із запропонованими нормативними інтенсивностями, як варіант підвищення ефективності гасіння резервуарів з нафтопродуктами.

На ТЗОВ «Науково-виробниче товариство «Вогнеборець» в результаті витримки робочих розчинів піноутворювачів «Барс S-1» та «Пірена» у герметично закритих корпусах вогнегасників протягом 30 діб з додаванням інгібітора корозії встановлено, що додавання алкілімідозоліну М зменшує швидкість корозії у 1,4-1,7 рази.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Львівського державного університету безпеки життєдіяльності у викладанні на кафедрі пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт дисциплін «Пожежна тактика», «Тактика пожежогасіння та рятувальних робіт», а також на кафедрі ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій дисципліни «Пожежна техніка». В лекційних курсах навчальних дисциплін використані теоретичні положення та методичні підходи дисертаційної роботи щодо гасіння пожеж в резервуарах з нафтою та нафтопродуктами подаванням робочих розчинів піноутворювачів під шар горючої рідини, зокрема, використання плівкоутворювальних піноутворювачів і установки для випробування піноутворювачів під час гасіння пожеж “підшаровим” способом.

Особистий внесок здобувача полягає у самостійному аналізі вітчизняних та закордонних джерел з теми роботи, формулюванні науково-прикладної проблеми у сфері пожежної безпеки, мети, завдань, об’єкта та предмета досліджень. Авторка брала участь у розробці теоретичних методів досліджень,

організації та проведенні всіх експериментальних робіт, обробці їх результатів та формулюванні висновків.

Участь авторки у роботах, опублікованих у співавторстві така: у роботі [1] проведено аналіз проблем, пов'язаних з корозійною активністю вогнегасних речовин, досліджено гравіметричним методом корозійну активність водних розчинів вогнегасних речовин, а також проведено обробку результатів досліджень; у роботі [2] розраховано вплив температури та кількості теплоти на експлуатаційні властивості водопінних вогнегасників; у роботі [3] проведено розробку методики, підготовку експериментів, обробку, розрахунок і аналіз отриманих результатів дослідження вогнегасної ефективності піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів вітчизняного виробництва, під час “підшарового” гасіння резервуарів, а також розраховано інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів для гасіння горіння бензину та дизельного палива і проаналізовано відповідність їх до нормативних значень; у роботі [4] розраховано технічні параметри системи пожежогасіння згідно з запропонованою методикою визначення основних параметрів системи протипожежного захисту резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом для різних типів резервуарів, видів нафтопродукту, концентрацій піноутворювача тощо; у роботі [5] проаналізовано літературні джерела, розроблено методику досліджень, а також оброблено їх результати з визначення параметрів руху затоплених струменів піни низької кратності в резервуарі з нафтопродуктом, які будуть оптимальними для транспортування піни через товщу палива на його поверхню; у роботі [6] проаналізовано дослідження та існуючі методики, що стосуються зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів; у роботі [8] розраховано залежності швидкості корозії робочих розчинів піноутворювачів від інгібітора корозії; у роботі [9] проведено обробку результатів випробувань дослідження корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин; у роботі [10] проведено дослідження впливу високої температури на вогнегасник ВВП-9; у роботі [11] проведено аналіз літературних джерел, що містять інформацію щодо

екологічно прийнятих вогнегасних речовин; у роботі [12] проведено аналіз літератури, розробку методики та експериментальної установки, а також експериментальні дослідження швидкості підйому плівкоутворювальної піни низької кратності крізь шар нафтопродукту; у роботі [13] проведено експериментальні дослідження та відбір зразків дизельного палива на лабораторний аналіз з визначення можливості його використання за призначенням після гасіння із застосуванням плівкоутворювальних піноутворювачів.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на доповідях, наукових семінарах та науково-технічних радах Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а також на науково-практичних конференціях різного рівня: XII Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів “Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності” (Львів, 23-24 березня 2017); XIV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів. “Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності” (Львів, 28-29 березня 2019); XII Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів “Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності” (Львів, 23-24 березня 2017); VIII Міжнародна науково-практична конференція «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (Черкаси, 18-19 травня 2017); XII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екології та енергозбереження» (Миколаїв, 20-24 вересня 2017); XIX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (Київ, 10-11 жовтня 2017); III Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» (Львів, 14 вересня 2018); XIV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (Львів, 28-29 березня 2019); XIII Міжнародна

науково-технічна конференція «Проблеми екології та енергозбереження» (Миколаїв, 20-22 вересня 2019).

Публікації. За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 13 наукових праць, з яких 4 статті у виданнях, включених ДАК України до переліку фахових, одна стаття у науковому журналі, що входить до бази даних Scopus та 8 тез доповідей на конференціях.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та 13 додатків. Загальний об'єм дисертації становить 164 сторінки та включає 66 рисунків, 20 таблиць та 125 джерел використаної літератури.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМ “ПІДШАРОВОГО” ГАСІННЯ ПОЖЕЖ У ВЕРТИКАЛЬНИХ СТАЛЕВИХ РЕЗЕРВУАРАХ З НАФТОЮ ТА НАФТОПРОДУКТАМИ

1.1. Піноутворювачі для “підшарового” гасіння

Необхідність зниження наслідків і збитків від масштабних та складних пожеж в резервуарах зі зберігання нафти і нафтопродуктів призвела до вивчення більш надійних і ефективних засобів гасіння на таких підприємствах, а саме – піни. Залежно від специфіки захищуваного об’єкта використовуються різні види піноутворювачів і піни різної кратності.

Піна – просторова плівково-чарункова структура системи типу газ-рідина, яка характеризується кратністю і стійкістю [35, 36].

Кратність піни – відношення об’єму піни до об’єму робочого розчину піноутворювача, з якого її одержано.

Піна високої кратності – піна з кратністю більше ніж 200.

Піна середньої кратності – піна з кратністю більше ніж 20, але не більше ніж 200.

Піна низької кратності – піна з кратністю не більше ніж 20 [35].

Піноутворювач (ПУ) – речовина, яка під час змішування з водою у відповідних співвідношеннях утворює робочий розчин, що здатний генерувати піну в разі використання відповідного обладнання, а також змочувальний розчин [35, 36].

Робочий розчин піноутворювача (РР ПУ) – розчин ПУ певної концентрації у воді, що забезпечує отримання піни відповідної кратності і вогнегасної здатності в разі використання відповідного обладнання в умовах спеціальних випробувань [35, 36].

ПУ для гасіння пожеж поділяються на дві класифікаційні групи залежно від їх властивостей, а також об’єктів та умов застосування: ПУ загального призначення та ПУ спеціального призначення. Номенклатура показників якості

ПУ, а також технічні вимоги до них та методи випробувань встановлюються [35, 36].

Можливість утворення піни зумовлена наявністю у складі ПУ поверхнево активних речовин (ПАР). ПУ загального призначення – це ПУ, що здатні утворювати піну низької, середньої та високої кратності з РР, а також змочувальні розчини для гасіння пожеж класів А і В згідно з ДСТУ EN 2 [43]. ПУ спеціального призначення – це ПУ, що здатні утворювати робочі та змочувальні розчини, придатні для гасіння пожеж класів А і В, згідно з ДСТУ EN 2 [43], або будь-якого з них, чи такі, що придатні до застосування з морською водою як розчинником. Плівкоутворювальні ПУ спеціального призначення – це ПУ, виготовлені на основі фторованих й інших ПАР, і здатні утворювати плівку з водного розчину ПУ на поверхні горючих рідин (ГР), яка характеризується здатністю до самовідновлення після механічного руйнування, а також зниженням швидкості дифузії парів ГР [35, 79].

За здатністю розкладатись під дією мікрофлори водоймищ і ґрунтів ПУ поділяються на біологічно “м’які” (біологічна здатність до розкладання 80% і більше) і біологічно “жорсткі” (біологічна здатність до розкладання менше 80%) [46, 55].

Основою ПУ є ПАР, які забезпечують можливість генерування піни і зниження поверхневого натягу водних розчинів, а також можуть забезпечувати здатність утворювати плівку на поверхні ГР, яка зменшує дифузію горючих парів з неї. У більшості випадків в рецептурі ПУ вводять добавки, які надають їм показників якості, регламентованих вимогами нормативних документів, чи спеціальних властивостей (наприклад, підвищену морозостійкість). Як розчинник у складі ПУ використовують воду, в окремих випадках для підвищення розчинності компонентів і забезпечення однорідності ПУ за низьких температур до їх рецептур вводять також неорганічні та органічні речовини. [46].

За хімічним складом ПУ поділяються на такі, що виготовлені із синтетичної сировини, і такі, що виготовлені переважно із сировини природного походження (з добавками синтетичних ПАР та інших хімічних речовин чи без них).

Умовні позначення основних типів ПУ для гасіння пожеж:

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

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

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

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

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

- “AR” (alcohol resistant) чи “ATC” (alcohol type concentrate), що додається до позначення будь-якого типу ПУ (наприклад, “FFFP AR”, “S AR”, “AFFF/ATC”), означає, що він придатний для гасіння як водонерозчинних, так і водорозчинних ГР. До водонерозчинних ГР належать нафта, бензин, гас, мазут, мастило, бензол, циклогексан тощо, до водорозчинних ГР – спирти, органічні кислоти, альдегіди, кетони, розчинники для лакофарбової промисловості тощо [46].

Під час гасіння пожеж в резервуарах з аварійним витіканням нафти використовують низькократну піну, отриману із розчинів фторсинтетичних ПУ, а під час гасіння пожежі в приміщеннях насосної з перекачування нафтопродуктів використовують високократні піни (більше 400).

Горіння горючих речовин проходить в паровій фазі за наявності і доступу кисню повітря, тому для припинення пожежі достатньо припинити доступ в зону

реакції одного із компонентів – пального або окиснювача, або відділити ці компоненти просторово.

Вогнегасна ефективність піни визначається, насамперед, її здатністю різко знижувати швидкість надходження парів пального в зону горіння, а також комплексом фізико-хімічних параметрів. Причому, залежно від призначення найважливішими властивостями піни можуть бути такі, як ізолювальна здатність, термічна стійкість, в'язкість, граничне напруження зсуву, кратність, самовільне розтікання, охолодження розчином ПУ зони пожежі, що забезпечує надійність гасіння, зниження імовірності повторного займання і утворення вибухонебезпечної суміші парів пального з повітрям тощо. Забезпечення цих властивостей здійснюється вибиранням складу розчину ПУ і способу отримання піни [83].

Відповідно до документа [14], робочу концентрацію ПУ в РР слід приймати за технічними умовами на ПУ, але у всіх випадках не менше:

- для ПУ загального призначення – не менше 6% при використанні води для приготування РР жорсткістю до 5 ммоль/л, не менше 9% при використанні води для приготування РР жорсткістю більше 5 до 15 ммоль/л і не менше 12% при використанні морської води для приготування РР ПУ;

- для ПУ цільового призначення (плівкоутворювальних) – не менше 3% при використанні води для приготування РР жорсткістю до 15 ммоль/л і не менше 6% при використанні морської води.

Слід зазначити, що таке нормування наразі застаріло через появу на ринку України численних нових типів і марок ПУ, концентрація РР яких, так само як чутливість зазначених розчинів до твердості води, відрізняються від даних, взятих за основу під час розроблення цитованих норм. Так, наприклад, ПУ «Sthamex AFFF 3 %», «ППЛВ-(Універсал)» марок «103», «103М» застосовуються у 3 % концентрації, а «Барс S-1», «Барс S-1 m», «Пірена», «Альпен», «Софір», «ППЛВ-(Універсал)» марок «106», «106М» – в 6 %, а деяких навіть 1 % («Pyrocool AFFF 1 %»). Таку відмінність пов'язано з природою ПАР, на основі яких виготовлені ці ПУ.

ПУ загального призначення набули найширшого застосування в практиці пожежогасіння і протипожежного захисту об'єктів різного призначення в Україні завдяки відносно низькій ціні та доступності сировини, а також відпрацьованій технології їх виробництва.

Рецептури ПУ спеціального призначення розробляються з таким розрахунком, щоб надати їм необхідних спеціальних властивостей, яких не мають ПУ загального призначення (наприклад, підвищеної стійкості піни до зневоднювання, зниженої швидкості її руйнування під дією водонерозчинних та (або) водорозчинних ГР чи теплового випромінювання полум'я, підвищеної морозостійкості, придатності до застосування з морською водою, плівкоутворювальної здатності тощо) [50].

1.1.1. Фторсинтетичні плівкоутворювальні піноутворювачі . Їх застосування у гасінні пожеж “підшаровим” способом

Фторсинтетичні ПУ вперше були розроблені на початку 70-х років фірмою ЗМ (США), застосування яких в рецептурах ПУ різко підвищило їх вогнегасну ефективність [68, 83]. ПУ спеціального призначення виробляються в Україні починаючи з 1999 року [12].

Піни низької кратності, отримані на основі ПУ спеціального призначення з фторованими ПАР, володіють особливими властивостями, які обумовлені наднизьким поверхневим натягом РР цих речовин. Цей ефект дає змогу запобігти змішуванню піни з паливом і забезпечує утворення і самовільне розтікання водного розчину із піни по поверхні нафтопродукту у вигляді тонкої водної плівки [83, 100, 122]. Ці ПУ отримали загальну назву – водні плівкоутворювальні піни. До цієї групи належать вітчизняні ПУ: «Барс АFFF», «Софір АFFF», «ППЛВ-(Універсал)» марок 103, 103М, 106, 106М та інші.

У разі введення до складу ПУ, виготовлених на основі природної чи синтетичної сировини, певних фторвмісних ПАР, поверхневий натяг їх водних розчинів стає нижчим, ніж поверхневий натяг вуглеводневих рідин. Як правило, поверхневий натяг РР плівкоутворювальних ПУ дорівнює 16...18 мН/м, що

зумовлює можливість утворення водної плівки на поверхні водонерозчинних ГР [46].

За природою поверхнево активної основи ПУ діляться на протеїнові (фторпротеїнові) і синтетичні (фторсинтетичні). Найбільш перспективними є плівкоутворювальні ПУ на основі фторсинтетичних ПАР [54, 83].

Гасіння рідин піною, що утворюється з РР ПУ, які не мають плівкоутворювальних властивостей, відбувається внаслідок охолодження їх поверхні та ізолювання від кисню повітря шаром піни. У разі застосування плівкоутворювальних ПУ ізолювання поверхні рідини відбувається саме завдяки утворенню на ній водної плівки, яка перешкоджає випаровуванню ГР з поверхні [46]. Швидкість розтікання піни визначається її реологічними властивостями [26], залежить від умов ПУ і її величина значно нижча від швидкості розтікання плівки [83].

Плівкоутворювальна піна забезпечує не тільки швидке гасіння рідини, але і високий опір повторному займанню від дії розжарених металевих поверхонь. Вона практично не втрачає вогнегасної та ізолювальної ефективності під час “жорсткого” контакту з водонерозчинними ГР і може подаватися безпосередньо на їх поверхню [46].

У цьому разі формується водна плівка між піною та нафтопродуктом, яка покриває поверхню паливної рідини разом із щільним шаром піни [118]. Тим часом випаровування водяної пари зменшує концентрацію кисню та інтенсивність горіння, пригнічуючи випаровування речовини, що горить [123].

Застосування плівкоутворювальних ПУ для гасіння пожеж у резервуарах, де зберігаються нафта і нафтопродукти, дає змогу ліквідувати горіння навіть у тих випадках, коли конструкції резервуарів частково зруйновано і утворились закриті зони (“кишені”) [121]. Це зумовлено здатністю плівкоутворювальної піни розтікатись по поверхні рідини, що зберігається у резервуарі, та обтікати конструкції, частково занурені в неї. ПУ АFFF можуть застосовуватись для гасіння водонерозчинних ГР подаванням піни низької кратності як на поверхню, так і під шар рідини, що зберігається у резервуарі (“підшарове” гасіння)

[105, 111]. В останньому випадку для одержання піни низької кратності необхідно використовувати високонапірні піногенератори (ВПГ) [46].

У іноземному документі [70] представлено показники якості фторвмісних плівкоутворювальних ПУ для “підшарового” гасіння:

- кінематична в'язкість концентрату ПУ – не вище 200 мм²/с;
- водневий показник рН РР ПУ – 6,5-9,0;
- поверхневий натяг РР ПУ – не вище 17,5 мН/м;
- міжфазовий поверхневий натяг на межі з гептаном – не менше 2,5 мН/м;
- кратність піни – не менше 6;
- температура замерзання – не більше мінус 15;
- час гасіння при інтенсивності подавання РР ПУ (0,030±0,003) кг/м²·с⁻¹ –

не більше 50 с [70].

Механізм проникнення парів пального крізь шар піни визначається структурою межі контакту піни з розчинником і характером їх взаємодії.

Структура шару на межі піни з рідким паливом залежить від відношення величин поверхневого натягу розчину в пінних плівках і горючої рідини. Умовою розтікання водного розчину по поверхні вуглеводню є зниження вільної енергії системи після утворення водної плівки, тобто поверхнева енергія вуглеводню і водної плівки повинна бути нижчою, ніж у вихідного вуглеводню [17, 83].

$$f_{1/0} = \sigma_0 - (\sigma_1 + \sigma_{10}) > 0 \quad (1.1)$$

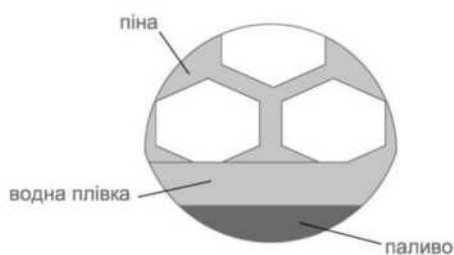
де $f_{1/0}$ – коефіцієнт розтікання розчину поверхнею вуглеводню; $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_{10}$ – поверхневий натяг водного розчину, горючої речовини і межа розчин-вуглеводень, відповідно.

Самовільне розтікання водної плівки відбудеться за умови $f_{1/0} > 0$, в цьому випадку плівка буде рівноважною і стійкою. Якщо показник розтікання розчину ПУ горючою рідиною додатний, то можливе формування проміжного шару. Ця

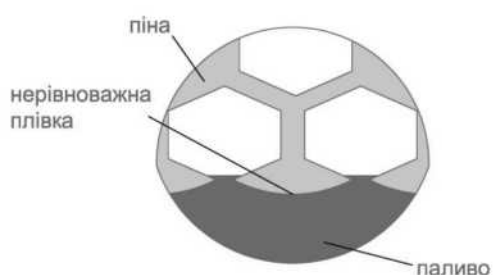
структура найбільш ефективна у зниженні швидкості випаровування пального, оскільки всю поверхню покрито шаром плівки [83].

Гасіння плівкоутворювальною піною досягається навіть за наявності ділянок поверхні горючої речовини, не покритих піною, а повторне підпалювання нафтопродукту сильно ускладнене.

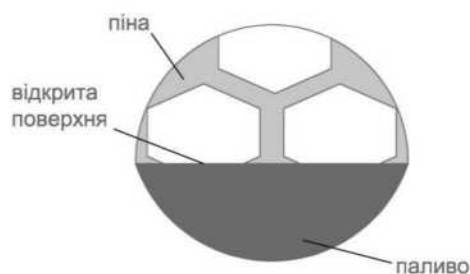
На рис. 1.1 показано ефективність ізолювальної дії водної плівки, яка перешкоджає випаровування бензину, а також його повторному займанню в умовах експерименту з гасіння вогнища пожежі низькократною піною, отриманою з РР фторсинтетичного ПУ. Параметри ПУ відповідали умовам фрагмента на рис. 1.1 а. Наявність водної плівки на “відкритих” ділянках поверхні бензину запобігає повторному займанню пального [83].



а)



б)



в)

Рис. 1.1. Фрагмент структури проміжного шару піни з горючою речовиною: а) наявність рівноважної плівки, яка самовільно розтікається; б) можливість утворення нерівноважної плівки; в) відсутність водної плівки [83]

Ситуація “б” і “в” реалізується за заниженої концентрації ПУ або коли молекули ПУ випали в осад в результаті взаємодії з солями, або ж якщо концентрат ПУ не встиг розчинитись у воді за короткий проміжок часу від моменту ежекції у водний потік до попадання в піногенератор [83].

Причина термічного розпаду піни, стабілізованої звичайними вуглеводними ПАР, полягає у втраті поверхневої активності їх молекул за температури РР вже за температур, вищих за 60...70°C. За цих температур молекули ПАР десорбуються з межі розділу розчин-повітря, плівка піни втрачає стійкість і шар бульбашок руйнується [83].

Піни, отримані з водних розчинів фторованих ПАР, характеризуються підвищеною термічною стійкістю. На відміну від вуглеводних ПАР, фторовані не втрачають поверхневої активності і не десорбуються з поверхні пінних плівок навіть у разі нагрівання РР до температури 90...95°C [83].

1.2. Аналіз тенденцій, що стосуються пожеж у резервуарах з нафтою та нафтопродуктами

Пожежі рідин у резервуарах з нафтою і нафтопродуктами є одними з найскладніших для гасіння, вони характеризуються величезними матеріальними і екологічними збитками, небезпекою для життя та здоров'я людей [25]. Пожежна небезпека резервуарів з нафтою і нафтопродуктами визначається

можливістю утворення горючої (вибухонебезпечної) концентрації парів як всередині, так і зовні резервуара [76].

Основними джерелами запалювання є: удари блискавки (грозові розряди), розряди статичної електрики, механічні іскри від пошкоджень і порушення регламенту виконання операцій, самозаймання пірофорних відкладів, а також іскри пускової, регулювальної апаратури, електроприводів засувки й іншого обладнання.

Основними шляхами поширення пожежі в резервуарних парках може бути дихальна арматура (патрубки), пролиті нафтопродукти, горючі пароповітряні суміші, які утворюються у разі загазованості території [7].

Фізична природа викиду нафтопродуктів при пожежах в резервуарах пов'язана з перегріванням і випаровуванням підтоварної води [59]. Час, протягом якого гомотермічний шар нафти, прогрітий в результаті горіння в резервуарі до температури кипіння, досягає рівня підтоварної води або води, введеної в резервуар в процесі гасіння пожеж, залежить від теплових втрат в навколишнє середовище через бокову поверхню резервуара [9, 10].

Якщо нафта містить емульговану воду, за допомогою якої її витісняють з пластів землі, то під час пожежі нафта першочергово буде деемульгуватись і вода з верхнього шару нафти опуститься на дно резервуара. У міру вигорання температура поверхневого шару перевищить 100°C і з поширенням углиб велика зона емульсії перегріється по відношенню до емульгової води. В результаті виникне закипання краплин води і з резервуара почне вилитися спінена нафта. Як викид, так і спінювання нафти різко ускладнюють процес гасіння пожежі, тому коли горить нафта, необхідно вживати дієвих заходів для охолодження резервуара, але у цьому разі всіляко уникати попадання води на розігріту поверхню пального [7].

Під час пожежі в резервуарі утворюється і горить потік пароповітряної суміші. Горіння у цьому разі є дифузійним і турбулентним [11]. Дифузійне горіння – процес горіння неоднорідної (попередньо не перемішаної) горючої суміші, в якому суттєву роль відіграють процеси дифузії окисника до фронту

полум'я. Турбулентне горіння – це процес, за якого масообмін здійснюється не тільки завдяки молекулярній, але і турбулентній дифузії, в результаті макроскопічного вихрового руху газоподібних шарів горючої суміші [31].

Газодинамічний режим горіння залежить від лінійної швидкості руху горючої речовини і характеризується критерієм Рейнольдса:

$$Re = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\mu}, \quad (1.2)$$

де v – лінійна швидкість газового потоку, м/с; l – характерний розмір, м; ρ – густина потоку, кг/м³; μ – динамічна в'язкість, Н·с/м².

Якщо $Re < 2300$, то режим руху шарів горючої суміші ламінарний, за умови $2300 < Re < 10000$ – перехідний, а при значеннях $Re > 10000$ – турбулентний [31].

1.2.1. Статистика пожеж у резервуарах з нафтою та нафтопродуктами

З кожним роком в Україні все більш актуальною стає проблема запобігання пожежам та їх ліквідації. Зростає виробництво і споживання нафти та нафтопродуктів, під час зберігання, транспортування та використання яких необхідно забезпечувати пожежовибухобезпеку [19].

У відкритих зарубіжних літературних джерелах містяться лише уривчасті статистичні дані про пожежі в резервуарах, що траплялися в різних країнах. Спостерігається загальна тенденція до підвищення пожежної небезпеки таких об'єктів зі збільшенням одиничної місткості резервуарів [31].

Проаналізувавши літературу [1, 82, 87, 91], можна дійти висновку, що близько 90 % всіх пожеж припадає на резервуари вертикальні сталеві (РВС). З них на горіння бензину припадає близько половини, а на горіння нафти – від третини до чверті. Частка пожеж з іншими ГР, такими як дизельне паливо (ДП), гас, мазут за різними даними варіюється від 14 до 24 %. В 60% пожеж на початковому етапі спостерігається вихід з ладу автоматичних систем

пожежогасіння, аналогічно у близько 60 % випадків пожежі супроводжуються утворенням “кишень” [31].

У роботах [8, 93, 95, 96, 98, 99, 113-116, 119] наведені деякі дані з резервуарних пожеж в розвинених країнах. Щорічні матеріальні втрати та кількість жертв від пожеж і вибухів неухильно зростають і досягають таких значних величин, що боротьба з ними набуває важливого державного значення. Достатньо, наприклад, відмітити, що лише в США щорічні збитки від пожеж і вибухів сягають 5 млрд доларів [72].

У роботі [115] представлено результати огляду літератури, спрямованого на збір інформації про пожежі в резервуарах, зокрема про їх гасіння. В результаті аналізу було виявлено, що до 2003 року найчастіше гасили “підшаровим” способом саме у США.

Половина всіх випадків пожеж в США трапилася в резервуарах з плаваючою покрівлею і понтоном, оскільки саме такий вид резервуарів є найбільш поширеним у США. Це пов'язано з великою їх економічністю і меншою втратою нафтопродукту [31].

Що стосується України, на її території відбувається 2 пожежі на кожні 3 роки, чверть із них мають затяжний характер [31]. Після розпаду СРСР сталася суттєва дезорганізація в усіх галузях господарчої діяльності. З відомих причин власники нафтовидобувних, нафтопереробних та інших підприємств не поспішають оприлюднювати інформацію про пожежі, що трапилися на них. Тому зведеної інформації про пожежі в резервуарах, що сталися на території нашої держави після отримання незалежності, в доступній літературі не знайдено [13].

Одна з наймасштабніших пожеж не лише в Україні, а й у Європі виникла 8 червня 2015 року на нафтобазі «БРСМ-нафта». Всього до ліквідації пожежі було задіяно 939 чоловік та 117 одиниць техніки. Завдяки діям рятувальників у перші 12 годин вдалося запобігти розповсюдженню вогню за межі території нафтобазы, зокрема на поруч розташовану нафтобазу «КЛЮ», військову базу, де зберігалися боєприпаси [33].

Пожежа виникла у денний час доби. Через відсутність обвалування і щільне розташуванням резервуарів створилися умови для їх швидкого прогріву, пошкодження, займання та виливу ЛЗР. Швидкому розповсюдженню пожежі сприяли пізні оповіщення, сильний вітер, велика завантаженість легкозаймистими та ГР (бензин, дизельне паливо, мастило в металевих наземних резервуарах об'ємом 900 м³, 400 м³, 75 м³, 50 м³), внаслідок чого пожежа охопила більшу частину території нафтобази. Мало місце дуже сильне щільне задимлення [49].

На території нафтобази були наявні: бензин, дизельне паливо, суміш неконденційних фракцій нафтопродуктів, газоподібний пропан.

Відсутність належного водопостачання, систем пожежогасіння, раннього виявлення, а також нахилу рельєфу у бік пожежного водоймища ТОВ «Побутрембудматеріали» значно ускладнювало дії з гасіння пожежі. Також передбачений вимогами [14] пожежний пост з пересувною системою пінного пожежогасіння та організацією цілодобового чергування особового складу на території об'єкта був відсутній.

На початковому етапі пожежі для проведення пінної атаки було недостатньо сил та засобів, а також недостатньо запасу ПУ. Лише через 3 години від початку повідомлення про пожежу вдалось забезпечити подавання РР ПУ на місце розливу, а через 4 години проведено першу пінну атаку [49].

Перші пінні атаки позитивного результату не дали у зв'язку з постійним витоком ЛЗР з арматури та пошкоджених резервуарів, швидким розповсюдження пожежі та високою температурою.

Керівник гасіння пожежі оголосив про повну ліквідацію пожежі лише 20 червня 2015 року [49].

Якщо підприємство було б забезпечене стаціонарною системою “підшарового” гасіння або мало у наявності достатню кількість плівкоутворювального ПУ для проведення пінних атак на початкових стадіях пожежі, таких наслідків можна було б уникнути.

1.2.2. Особливості гасіння пожеж у резервуарних парках з нафтою та нафтопродуктами “підшаровим” способом

Систему “підшарового” гасіння (СПГ) було застосовано вперше у сорокових роках минулого століття у Великобританії для гасіння резервуара, в якому горіло ДП. Для цього у резервуар через технологічний трубопровід було введено піну, отриману з РР протеїнового ПУ. Температура спалаху нафтопродукту була настільки високою, що внаслідок потрапляння на поверхню холодної горючої рідини, що піднімалася разом з піною, горіння припинилось [6, 88].

З початком виробництва плівкоутворювальних ПУ з’явилися перспективи освоєння гасіння резервуарів з нафтою та нафтопродуктами “підшаровим” способом. Дослідження способу гасіння пожеж у резервуарах шляхом подавання РР ПУ безпосередньо під шар нафтопродукту почалися у США у 1972 році [50].

Впровадження “підшарового” способу подавання піни в розвинених країнах почалось в 70-х роках минулого століття [97, 103, 106, 108, 109]. Пізніше впровадження методу “підшарового” подавання РР ПУ на основі плівкоутворювальних ПУ відбувалось і на пострадянському просторі [16, 56, 81, 84, 85, 88].

В теперішній час тривають роботи з удосконалення “підшарового” методу гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами [31]. Надійність підшарової системи була доведена дослідженнями [32, 60-62, 104, 117].

В Україні перша СПГ впроваджена на НПС “Кременчук” ДАТ “Придніпровські магістральні нафтопроводи” для захисту резервуарів з нафтою об’ємом 10000 м³. Систему спроектовано спеціалістами ВАТ “Інститут транспорту нафти”. В системі застосовано новітню на той час автоматизовану систему дозування ПУ з використанням резервуарів з еластичним балоном і дозаторами широкого діапазону виробництва фірми “Svenska Skum” [50].

Система автоматизації, яка впроваджена на об’єкті, передбачає:

- організацію централізованого контролю і керування процесом пінного пожежогасіння з місцевого диспетчерського пункту;

- підвищення ефективності експлуатації системи і скорочення матеріальних збитків під час пожежі завдяки оперативності надання інформації і організації автоматичного пожежогасіння;

- збільшення термінів періодичності обслуговування і скорочення термінів проведення ремонтних робіт технічних засобів автоматичної системи пожежогасіння.

Впроваджена автоматизована система забезпечує комплексну автоматизацію процесу збирання інформації і вирішення задач з контролювання та управління процесом пінного гасіння пожежі об'єктів на НПС "Кременчук". Система успішно пройшла випробування і введена в експлуатацію [50].

"Підшаровий" спосіб гасіння пожеж у резервуарах має такі переваги:

- СПГ дає змогу ліквідувати горіння у резервуарі незважаючи на руйнування верхнього поясу і наявність ділянок, закритих зверху;

- ефективність дії системи "підшарового" гасіння мало залежить від тривалості розвитку пожежі і температури, до якої може нагрітись нафта чи нафтопродукт внаслідок горіння;

- у разі гасіння "підшаровим" способом уся піна потрапляє в резервуар, що дає змогу зменшити витрату ПУ;

- СПГ добре сполучається з технологією газового пожежогасіння;

- СПГ дає змогу збільшити ефективний об'єм резервуара;

- під час пожежі в резервуарі практично виключається пошкодження обладнання СПГ від вибухів і теплових потоків;

- ефективність "підшарового" способу гасіння практично не залежить від атмосферних явищ (вітру, опадів) [46, 50].

СПГ придатні для гасіння рідких вуглеводнів (насамперед нафти і нафтопродуктів), що зберігаються у вертикальних сталевих резервуарах зі стаціонарною покрівлею (без понтона чи з понтоном). У разі оснащення СПГ резервуарів з понтоном, необхідно забезпечити потрапляння усієї піни в кільцевий зазор між стінкою резервуара і понтоном. Під час розрахунків

виходять з необхідності подавання піни на всю поверхню дзеркала рідини у резервуарі за умови гасіння пересувними системами пожежогасіння [50].

“Підшаровий” спосіб гасіння не повинен застосовуватись для гасіння:

- водорозчинних рідин, наприклад, спиртів, складних ефірів, кетонів, альдегідів та інших рідин, для гасіння яких потрібно застосовувати ПУ, придатні для гасіння таких рідин (ПУ типу “AR”);

- ГР, які зберігаються за температур вищих ніж 80°C та/або мають кінематичну в'язкість $100\text{ мм}^2/\text{с}$ і вище [44];

Також “підшаровий” спосіб гасіння не повинен застосовуватись для протипожежного захисту:

- резервуарів у яких зберігаються нафта і нафтопродукти, динамічна в'язкість яких за найнижчої можливої температури зберігання перевищує $0,4\text{ Па}\cdot\text{с}$ (деякі марки мазуту, а також мастила, горючі бітуми);

- технологічних установок, де зберігаються рідини, нагріті до температури понад 90°C [50].

У документі [14] описані вимоги до пожежної охорони на складах з нафтою та нафтопродуктами. На таких об'єктах стаціонарні автоматичні системи пожежогасіння слід передбачати, як правило, для гасіння пожежі наземних резервуарів номінальним об'ємом 5000 м^3 і більше. Також в резервуарних парках необхідно забезпечувати пожежогасіння повітряно-механічною піною середньої кратності. Пожежогасіння піною низької кратності допускається передбачати для резервуарів під час її подавання в шар нафти або нафтопродукту.

Для генерування і подавання піни низької кратності під шар пального в резервуар можуть використовуватися високонапірні піногенератори типу “ВПГ” та інші високонапірні піно генератори [25].

На стаціонарних СПГ на резервуарах (крім резервуарів з плаваючою покрівлею) мінімальна кількість пристроїв для введення піни під шар рідини потрібно приймати згідно з таблицею 1.1 [44].

Таблиця 1.1

Вимоги щодо кількості пристроїв для введення піни у системах “підшарового” і “псевдопідшарового” гасіння

Діаметр резервуара, м	Кількість пристроїв для введення піни	
	у випадку рідин з температурою спалаху не вище ніж 40°C	у випадку рідин з температурою спалаху вище ніж 40°C
Не більше ніж 24 включно	1	1
Більше ніж 24 до 36 включно	2	1
Більше ніж 36 до 42 включно	3	2
Більше ніж 42 до 48 включно	4	2
Більше ніж 48 до 54 включно	5	2
Більше ніж 54 до 60 включно	6	3
Більше ніж 60	6 + 1 на кожні 465 м ² площі поверхні рідини для резервуарів, в яких вона перевищує 2827 м ²	3 + 1 на кожні 700 м ² площі поверхні рідини для резервуарів, в яких вона перевищує 2827 м ²

Як було сказано вище, резервуари рекомендується захищати системами пожежогасіння плівкоутворювальною піною низької кратності, генерованої з РР фторсинтетичних ПУ (типу АFFF).

В СПГ резервуара рекомендується передбачати лінію розчинопроводів для подавання РР плівкоутворювального ПУ до ВПГ і далі низьократною плівкоутворювальною піною пінопроводами через зворотний клапан на запобіжну розривну мембрану, потім, через засувку біля стінки резервуара, всередину, безпосередньо в нафту або нафтопродукт через пінну насадку, яка гасить швидкість потоку емульсованої піни через нафту і нафтопродукти [7].

Принципову схему генерування і подавання піни представлено на рис. 1.2.

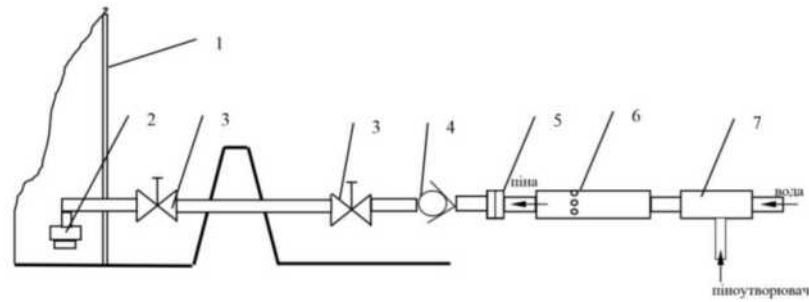


Рис. 1.2. Принципова схема системи “підшарового” пожежогасіння з використанням незалежного пінопроводу для подавання РР ПУ під шар продукту: 1 – резервуар; 2 – пінна насадка; 3 – засувки; 4 – зворотний клапан; 5 – мембрана; 6 – піногенератор; 7 – пінозмішувач [50, 87]

Пінні насадки розташовуються в певних місцях лінії розводки пінопроводів всередині резервуара, як правило, для рівномірного розподілу піни вільною поверхнею пального і для швидшого залучення в процес перемішування всієї маси пального в резервуарі (рис. 1.3) [7].

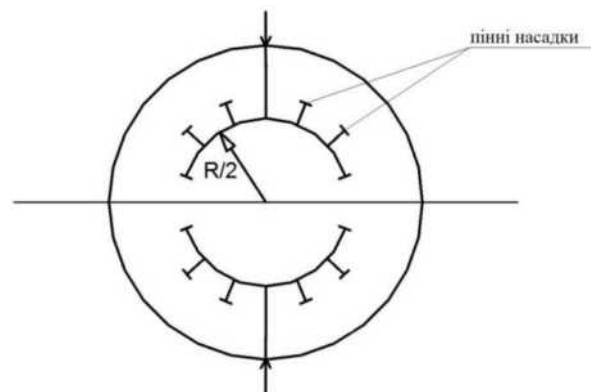


Рис. 1.3. Принципова схема розташування пінних насадок всередині резервуара

Напірні вузли пінопроводів рекомендується розташовувати на відстані не більше 50 м від гідрантів протипожежного водозабезпечення.

Кількість вводів для подавання РР ПУ до напірних вузлів і піни до системи внутрішньої розводки автоматичної СПГ доцільно передбачувати в кількості не менше двох [7].

Не рекомендується проектувати максимальну довжину пінопроводу від ВПГ до найбільш віддаленої точки вводу в середину резервуара більшу за 10 м. У разі протяжності трубопроводу більше 60 м піна, сформована на перших 10 м, почне розшаровуватися: повітря буде підніматися вгору, а водна емульсія буде продовжувати рухатися знизу [102, 117]. Відповідно оптимальна протяжність пінопроводу повинна становити 15-50 м [60].

В обвалуванні наземно рекомендується розташовувати таке обладнання:

- пінопроводи;
 - зворотні клапани;
 - розривні мембрани;
 - корінні засувки, які розділяють зовнішню і внутрішню розводку пінопроводів;
- патрубки з фланцевим з'єднанням і заглушкою для випробування автоматичної системи пожежогасіння і промивки внутрішньої і зовнішньої розводки пінопроводу [7].

Діаметр перетину запобіжних мембран, зворотних клапанів, корінних засувок, як правило, відповідає діаметру пінопроводу.

Розривні запобіжні мембрани в СПГ призначені для:

- герметизації пінопроводів, які з'єднуються з резервуаром з нафтою і нафтопродуктами;
- гарантованого підтримування тиску стовпа нафти або нафтопродуктів з боку резервуара;
- прориву розривної діафрагми і відкриття прохідного перетину пінопроводу під час спрацьовування піногенератора [7].

Засувки пінопроводів в обвалуванні рекомендується встановлювати на відстані не більше 1 м від стінки резервуара. Вони можуть бути в положенні «Відкрито» і закриватись після гасіння для заміни запобіжної мембрани. За корінною засувкою на зовнішньому пінопроводі рекомендується установка розривної запобіжної мембрани та зворотного клапана. Патрубок, який закінчується фланцевим з'єднанням із заглушкою для візуальної перевірки

працездатності системи подавання піни в нижню частину резервуара і промивки внутрішньої та зовнішньої розводки пінопроводу, може бути встановлений на зовнішньому пінопроводі між напірним вузлом і зворотним клапаном [7].

У зимовий період за низьких температур зовнішнього повітря для запобігання замерзанню корінної засувки на зовнішньому пінопроводі зворотного клапана і розривної мембрани доцільно забезпечити їх постійне нагрівання до плюсової температури [7].

Як вихідні дані для розрахунку і проектування рекомендуються:

- генеральний план резервуарного парку;
- геометричні розміри та конструкція резервуарів;
- температура спалахування горючої речовини;
- наявна система пожежогасіння;
- наявна система водозабезпечення;
- джерела енерго- і теплозабезпечення;
- наявна система автоматизації;
- діапазон температури, тиску і вологості повітря, в якому розміщуються складові частини системи пожежогасіння;
- тип ПУ і концентрації його РР;
- вид і тактико-технічні характеристики протипожежного обладнання, яке пропонується використовувати;
- розрахункова (нормативна) тривалість гасіння пожежі (точніше, розрахункова тривалість подавання піни) [7, 25].

З погляду на результати проведених досліджень запропоновано певні рекомендації із обладнання резервуарів різних конструкцій системами пожежогасіння:

- резервуари зі стаціонарною покрівлею слід захищати стаціонарними системами пожежогасіння з подаванням піни середньої або низької кратності на поверхню рідини, з подаванням піни низької кратності в нижню частину резервуара як безпосередньо в нафтопродукт (“підшаровий” спосіб), так і через

еластичний рукав з виходом на поверхню пального (“псевдопідшаровий” спосіб);

- резервуари з понтоном і стаціонарною покрівлею слід захищати стаціонарними системами з подаванням піни низької кратності зверху або зверху і під шар пального;

- резервуари з плаваючою покрівлею слід захищати стаціонарними системами з подаванням піни середньої кратності в кільцевий зазор між стінкою резервуара і краєм плаваючої покрівлі, з подаванням піни низької кратності одночасно в кільцевий зазор між стінкою резервуара і краєм плаваючої покрівлі і під шар пального, з подаванням хладону, що міститься в ємкостях на плаваючій покрівлі, в кільцевий зазор і подаванням піни низької кратності, що утворюється з РР плівкоутворювального ПУ, під шар пального, з подаванням газопорошкового потоку по усій площі кільцевого зазору [50].

1.3. Аналіз проблем, пов’язаних із корозійною активністю робочих розчинів піноутворювачів

Термін придатності ПУ від 3 років і більше. Але у більшості випадків на підприємствах ПУ зберігаються в ємностях систем автоматичного пожежогасіння, в яких зберігаються готові РР ПУ. Зазвичай такі посудини виготовляють з металевих, залізобетонних конструкцій. В такому випадку, знижується вогнегасна ефективність піни і значно погіршуються її властивості, що пов’язано з явищем корозії [12, 18, 19]. Цей негативний процес відбуватиметься не так швидко, якщо РР ПУ зберігати у посудинах (резервуарах), виготовлених з нержавіючої сталі, скла, полімерних матеріалів, в тому числі в сталевих з внутрішнім полімерним покриттям. Найгіршим варіантом є зберігання РР ПУ в посудинах, виготовлених з вуглецевої сталі. В такому випадку вони можуть зберігатися лише місяць [12].

Таку ж проблему, як у резервуарів автоматичних систем пожежогасіння, можна спостерігати у водопінних вогнегасників, термін зберігання яких є досить недовгим. Однією з причин є взаємодія компонентів РР ПУ з посудиною

(резервуаром), що призводить до корозійного руйнування. Це явище негативно впливає на розчин ПУ, наслідками чого є зниження якості і вогнегасної здатності заряду, забивання (заростання продуктами корозії) випускного отвору. Для запобігання перебігу останнього процесу можна використовувати інгібітори корозії, які зменшують вплив ПУ на стінки посудини, де він зберігається, і як наслідок забруднення його продуктами корозії [20].

Отже, для підвищення рівня протипожежного захисту об'єктів лише ефективнішим застосуванням водних і водопінних вогнегасних речовин, необхідно вирішити насамперед задачі підвищення їхньої вогнегасної здатності, а також зниження корозійної активності шляхом введення до їхніх рецептур відповідних функціональних добавок [20].

1.3.1. Аналіз існуючих досліджень, що стосуються зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів

У роботі [48] описано дослідження впливу карбаміду та гідрофосфату амонію на корозійну активність РР ПУ загального призначення «Пегас», «Сніжок-1», плівкоутворювальних ПУ «ППЛВ-(Універсал)» марки 106 та «АFFF-106».

Результати досліджень показали, що карбамід практично не впливає на корозійну активність РР, а гідрофосфат амонію призводить до зниження швидкості корозії вуглецевої сталі в 1,3-4,2 рази залежно від природи ПУ.

Також ця проблематика розглядається у роботі [69], у якій вивчено вплив інгібіторів корозії діамонійфосфату, динатрійфосфату, а також карбаміду і їх композицій на корозійну активність ПУ «Синтек» і «Бар'єр-плівкоутворювальний». Як результат встановлено, що при додаванні 0,5 % карбаміду в РР ПУ з концентрацією 1 % діамонійфосфату в складі, спостерігається синергетичний ефект дії добавок, і корозійна активність розчину «Синтек» знижується в 8 разів, а «Бар'єр-плівкоутворювальний» – в 6 разів. Максимально можливе зниження корозійної активності розчинів ПУ «Синтек» (в 1,5 рази) і «Бар'єр-плівкоутворювальний» (в 3 рази) з 1 % динатрійфосфату

спостерігається у разі введенні карбаміду в кількості, що забезпечує концентрацію 0,25 % і 0,5 % відповідно [20, 23].

1.4. Аналіз нормативних документів для використання піноутворювачів для “підшарового” гасіння

Вивченням питання гасіння пожеж у вертикальних сталевих резервуарах подаванням РР ПУ в шар речовини займались: Боровиков В. О., Антонов А. В., Шароварніков А. Ф., Шароварніков С. А., Воєвода С. С., Молчанов В. П., Корольченко А. Я., Ляпін А. В., Кокорін В. В. та інші інші [6, 58, 86, 87, 89, 90].

У роботі [86] описано сучасні способи протипожежного захисту резервуарів, включаючи комбіновану СПГ пожеж нафтопродуктів в резервуарах підвищеної місткості. Також у роботах [89, 90] описано результати досліджень, які показують, що сумішеві палива (в склад яких входять спирти і компоненти, які дають змогу краще суміщати спирти з бензином) можна гасити “підшаровим” способом, але у разі використання ПУ, до складу яких, на додаток до фторованих ПАР (стабілізаторів піни), входять полімерні компоненти. Це пов’язано з тим, що гасіння сумішевих палив піною ускладнюється руйнуванням піни спиртами.

Розрахунок тривалості гасіння “підшаровим” способом горючих речовин в резервуарах РВС-700, РВС-2000 і РВС-5000, а також експериментальні дослідження, в яких змінювалась кількість пінних насадок і питома витрата піни, було представлено у роботі [87]. Спостерігалось підвищення значень тривалості гасіння на відміну від розрахункових, що може бути пов’язано з додатковим впливом розжарених бортів резервуарів.

Слід зазначити, що дослідженню вітчизняних ПУ присвячено чимало праць, але таких де вони застосовуються у “підшаровому” гасінні практично немає [19].

Для систем пожежогасіння витрати вогнегасних речовин (засобів пожежогасіння) визначають, виходячи з інтенсивності їх подавання. У своїх дослідженнях ми аналізували документи [14, 44, 47, 77, 107], де вказані нормативні інтенсивності подавання РР ПУ для гасіння пожеж у резервуарах.

У документі [47] зазначені нормативні інтенсивності подавання РР ПУ загального та спеціального призначення для гасіння пожеж у резервуарах з нафтою і нафтопродуктами з температурою спалаху 28°C і нижче, а також вищою за 28°C (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Інтенсивність подавання РР ПУ для гасіння пожеж у резервуарах

Найменування нафтопродукту	Інтенсивність подавання РР ПУ спеціального призначення, л/м ² ·с ⁻¹		Інтенсивність подавання РР ПУ загального призначення, л/м ² ·с ⁻¹
	піна низької кратності	піна середньої кратності	Піна середньої кратності
Нафта та нафтопродукти з температурою спалаху 28°C і нижче та рідини, які нагріті до температури, вищої за температуру спалаху	0,08	0,08	0,08
Нафта та нафтопродукти з температурою спалаху понад 28°C	0,05	0,05	0,05

Інтенсивність подавання піни низької кратності не повинна перевищувати 0,14 л/м²·с⁻¹, у протилежному випадку має місце інтенсивне перемішування і захоплення пального піною, що спливає через шар пального на його поверхню. Забруднення піни палим знижує ефективність гасіння [6].

Також нормативні інтенсивності описані у вітчизняному в документі [14], де сказано, що для систем пінного пожежогасіння витрату РР ПУ слід приймати:

- 0,08 л/м²·с⁻¹ – під час гасіння нафти і нафтопродуктів з температурою спалаху 28 °C і нижче, піною середньої кратності ПУ загального призначення і піною низької кратності;

- $0,05 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ – під час гасіння нафти і нафтопродуктів з температурою спалаху $28 \text{ }^\circ\text{C}$ і нижче, піною середньої кратності ПУ спеціального (цільового) призначення, і під час гасіння нафти і нафтопродуктів з температурою спалаху вище $28 \text{ }^\circ\text{C}$ незалежно від ПУ, які застосовуються [14].

Натомість в іноземному документі [77] додатково вказується нормативна інтенсивність подавання РР фторвмісних ПУ для гасіння пожеж в резервуарах з бензином, гасом і ДП, отриманим із газового конденсату, а також уточнюється спосіб подавання РР ПУ (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Нормативна інтенсивність подавання піни низької кратності для гасіння нафти і нафтопродуктів в резервуарах

Вид нафтопродукту	Нормативна інтенсивність подавання, $\text{л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$							
	Піна низької кратності						Піна середньої кратності	
	Фторвмісні ПУ (за винятком АFFF и FFFF)		Фторсинтетичні ПУ типу АFFF		Фторпротеїнові ПУ типу FFFP		Фторовані ПУ	ПУ загального призначення
	на поверхню	в шар	на поверхню	в шар	на поверхню	в шар		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нафта та нафтопродукти з температурою спалаху $28 \text{ }^\circ\text{C}$ і нижче	0,08	0,12	0,07	0,10	0,07	0,10	0,05	0,08

Продовж. табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Нафта та нафтопродукти з температурою спалаху вище 28°C	0,06	0,10	0,05	0,08	0,05	0,08	0,05	0,05
Стабільний газовий конденсат	0,10	0,20	0,10	0,12	0,10	0,14	0,12	0,30
Бензин, гас, ДП, отримане із газового конденсату	0,08	0,12	0,08	0,10	0,08	0,10	0,10	0,15

У іншому іноземному документі [107] вказані нормативні значення інтенсивності подавання РР ПУ під час “підшарового” гасіння для резервуарів зі стаціонарною покрівлею. У цьому разі значення мінімальної інтенсивності подавання 4,1 л/хв м⁻² (0,068 л/с·м⁻²) є однаковими для різних типів вуглеводнів: з температурою спалаху між 37,8 °С і 60 °С, нижче 37,8°C, а також для сирової нафти. Максимальна рекомендована інтенсивність подавання становить 8,1 л/хв·м⁻² (0,135 л/с·м⁻²).

У вітчизняному нормативному документі [44], що стосується стаціонарних систем пінного пожежогасіння, представлено формулу розрахунку мінімальної інтенсивності подавання у разі застосування піни низької і середньої кратності:

$$q = q_{th} \cdot f_c \cdot f_o \cdot f_H \quad (1.3)$$

де q_{th} – номінальна інтенсивність подавання РР ПУ, л/м²·хв⁻¹; її потрібно приймати такою, яка дорівнює 4 л/м²·хв⁻¹ (0,067 л/м²·с⁻¹); f_c – поправковий коефіцієнт, який враховує клас ПУ, згідно з EN 1568 [39-42]; f_o – поправковий коефіцієнт, який враховує тип об'єкта; f_H – поправковий коефіцієнт, який враховує відстань між насадками і захищеною поверхнею у дренчерних системах делюж, розташованих поза межами будинків; його потрібно приймати

таким, що дорівнює 1,0, якщо ця відстань менша ніж 5 м, і таким, що дорівнює 1,25, якщо вона перевищує 5 м (тільки для систем пожежогасіння піною низької кратності).

Поправковий коефіцієнт, який враховує тип об'єкта f_0 передбачає використання “підшарового” способу подавання РР ПУ ($f_0=1$) і тривалість роботи 60 хвилин. Тобто мінімальна інтенсивність подавання РР плівкоутворювального ПУ становить $0,067 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ незалежно від виду горючої речовини. Цього коефіцієнта не є достатньо для врахування особливостей СПГ, тому ця формула потребує вдосконалення.

1.5. Висновки

На підставі розгляду сучасного стану проблем “підшарового” гасіння пожеж у вертикальних сталевих резервуарах з нафтою та нафтопродуктами потрібно вирішити такі задачі:

- експериментально визначити рекомендовані інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів загального і спеціального призначення вітчизняного виробництва “підшаровим” способом для гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами, зіставити їх з чинними нормативними значеннями;
- вдосконалити математичну модель для оптимізації способів подавання робочих розчинів піноутворювачів;
- розробити способи захисту трубопроводів для “підшарового” гасіння від прояву корозії;
- визначити можливість використання дизельного палива за призначенням після його гасіння піноутворювачами;
- вдосконалити методику розрахунку основних параметрів системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом, згідно з нею розрахувати технічні параметри та розробити практичні рекомендації щодо системи “підшарового” пожежогасіння.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПІННИХ ЗАТОПЛЕНИХ СТРУМЕНІВ

2.1. Теоретичні викладки математичних основ теорії затоплених струменів

Струменевими називають течії рідини або газу, які не обмежені твердим руслом (стінками) і мають певну (скінченну) витрату.

Струмінь, який не обмежений твердими стінками, називається вільним.

Струмінь вважається затопленим, якщо він розповсюджується в просторі, зайнятому однорідною рідиною (краплинною чи газоподібною).

Теоретичні та експериментальні дослідження показали: струмінь, який виходить із отвору з насадкою в умовах плавного окреслення (контура) входу в насадку і за умови, що тиск на виході із нього не нижчий від «критичного» (на випадок витікання газу), поступово розширюється у вигляді конуса і завдяки в'язкості втягує в рух рідину, яка його оточує. Таким чином струменем і довкіллям відбувається обмін масою, тому в напрямку руху струменя його маса збільшується [4].

Розглядатимемо струмені, які є результатом витікання транзитної речовини крізь сопла (насадки) і отвори в стінках. Транзитна речовина – це рідина або газ, які витікають із отвору або сопла.

За величиною густини транзитної речовини і середовища, струмені поділяють на :

- $\rho_1 > \rho_2$ – вільні незатоплені;
- $\rho_1 = \rho_2$ – вільні затоплені;
- $\rho_1 < \rho_2$ – невольні затоплені,

де ρ_1 – густина транзитної речовини, ρ_2 – середовища.

За швидкістю витікання транзитної речовини:

- $M < 1$ – дозвукові;
- $M > 1$ – надзвукові.

За величиною тиску витікання рідини:

- $p < 1$ МПа – низького тиску;
- $1 < p < 5$ МПа – середнього тиску;
- $5 < p < 50$ МПа – високого тиску;
- $p > 50$ МПа – надвисокого тиску.

За характером зміни тиску з часом:

- стаціонарні;
- нестаціонарні;
- пульсуючі, якщо різка зміна p від 0 до $p_{\text{раб}}$.

За режимом течії:

- ламінарні;
- турбулентні.

За формою початкового перерізу струменя:

- плоскі;
- осесиметричні;
- невизначеної форми [27].

2.2. Розрахунок параметрів руху затоплених струменів в САПР SolidWorks Flow Simulations

2.2.1. Опис основних теоретичних положень САПР SolidWorks Flow Simulations

Для теоретичних досліджень параметрів руху затоплених пінних струменів використовували програмний продукт SolidWorks Flow Simulations [3-5], який призначено для розв'язування прикладних задач в області аерогідродинаміки та теплопередачі моделюванням відповідних фізичних процесів. SolidWorks Flow Simulations є повністю інтегрованим додатком САПР-системи SolidWorks і може ефективно використовуватись для розрахунків силової (стаціонарної та нестаціонарної) взаємодії між твердими тілами та потоком рідини (газу) у випадку їх взаємного руху; впливу різних фізичних чинників на рух текучого

середовища; вирішення проблем теплообміну; розрахунку руху твердих і/або рідких частинок в потоці газу або рідини.

Математична модель будується шляхом геометричного проектування реального об'єкта в середовищі SolidWorks [45] з подальшим автоматичним обміном необхідною інформацією між SolidWorks Flow Simulations та SolidWorks. Рух текучого середовища і теплообмін між тілами моделюється з допомогою рівнянь Нав'є – Стокса, які в нестационарній формі описують закони збереження маси, імпульсу та енергії.

Ця система рівнянь збереження маси, імпульсу та енергії нестационарного просторового потоку в декартовій системі координат $(x_i, i=1,2,3)$ набуває такого виду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k) &= 0, \\ \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{\partial P}{\partial x_i} &= S_i, \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}((\rho E + P)u_k + q_k - \tau_{ik}u_i) &= S_k u_k + Q_H, \end{aligned} \quad (2.1)$$

де t – час, u – швидкість текучого середовища, ρ – густина текучого середовища, S_i – зовнішні масові сили, що діють на одиничну масу текучого середовища, E – повна енергія одиничної маси текучого середовища, Q_H – теплота, що виділяється джерелом теплоти в одиничному об'ємі текучого середовища, τ_{ik} – тензор в'язких напружень зсуву, q_i – дифузійний тепловий потік, нижні індекси означають підсумовування за трьома координатними напрямками.

Для ньютонівських рідин тензор напружень від дії сил в'язкості визначають таким чином:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}, \quad (2.2)$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості, δ – дельта-функція Кронекера, k – коефіцієнт турбулентної в'язкості.

Дифузійний тепловий потік моделюється за допомогою рівняння

$$q_i = - \left(\frac{\mu_i}{Pr} + \frac{\mu_i}{\sigma_c} \right) c_p \frac{\partial T}{\partial x_k}, k = 1, 2, 3, \quad (2.3)$$

Для стискуваних середовищ (газів) використовується рівняння стану такого виду:

$$\rho = \rho(P, T, y), \quad (2.4)$$

де $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)$ – вектор концентрацій компонентів текучого середовища.

Для газів використовується рівняння стану ідеального газу $\rho = \frac{P}{RT}$, де R –

газова стала модельованого газу, яка для суміші газів визначається як

$R = R_{унів} \sum_{i=1}^N \frac{y_i}{M_i}$, де M_i – молекулярна маса i -го компонента газу. Для врахування

залежності від температури використовується рівняння

$$\rho = \left[\sum_{i=1}^N \frac{y_i}{\rho_{0i}} (1 + \beta_{Ti} (T - T_0)) \right]^{-1}, \quad (2.5)$$

де β_{Ti} – коефіцієнт об'ємного теплового розширення i -го компонента, ρ_{0i} – густина i -го компонента за певної температури T_0 .

Вплив гравітації моделюється з допомогою члена S_i , що входить в (2.1) як зовнішня масова сила:

$$S_i = -\rho g_i, \quad (2.6)$$

де g_i – i -та складова (вздовж i -тої осі системи координат) вектора гравітаційного прискорення.

Значний інтерес для нашого випадку становлять багатоконпонентні течії. Зміна концентрації компонентів суміші в просторі внаслідок дифузії моделюється таким рівнянням:

$$\frac{\partial \rho y_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k y_i) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left((D_{ij} + D'_{ij}) \frac{\partial y_j}{\partial x_k} \right), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (2.7)$$

де y_i – концентрація i -го компонента суміші, N – число компонентів, D – коефіцієнт дифузії.

Крім цього, використовуються рівняння стану текучого середовища, а залежність теплопровідності компонентів середовища від температури описується відомими емпіричними формулами.

Для розв'язку задачі безперервна нестационарна математична модель дискретизується як за простором, так і за часом. Для цього вся розрахункова область покривається сіткою, грані чарунок якої паралельні до координатних площин декартової системи координат. Сітка генерується автоматично з можливістю впливу на розміри чарунок для покращення точності розрахунку. Розрахунки здійснюються методом скінченних об'ємів [4].

2.2.2. Побудова математичної моделі в середовищі SolidWorks Flow Simulations

Постановка задачі дослідження. Необхідно визначити параметри руху затоплених струменів піни низької кратності в резервуарі з нафтопродуктом (бензин), які будуть оптимальними для транспортування піни крізь шар нафтопродукту на його поверхню.

Спроектуємо в SolidWorks [4] модель резервуара із такими (типовими) внутрішніми розмірами $\text{Ø}15000 \times 21000$ мм з сталевими стінками товщиною 25 мм (рис. 2.1). Внизу резервуара (концентрично) розмістимо джерело пінного струменя – торець пінопроводу певного діаметра, що спрямований вертикально вгору. Резервуар відкритий.

Початкові та граничні умови. Початкову температуру стінок та середовища приймемо рівною 293,2 К (за замовчуванням). Атмосферний тиск становить 101325 Па (за замовчуванням). Попередньо встановлена необхідна продуктивність джерела $Q=0,2 \text{ м}^3/\text{с}$. Діаметр трубопроводу приймемо 100 мм. (СПП-12). Питома густина піни низької кратності $\rho=100 \text{ кг/м}^3$; динамічна в'язкість піни $\eta=0,0135 \text{ Па}\cdot\text{с}$; питома густина бензину $\rho=750 \text{ кг/м}^3$; динамічна в'язкість бензину $\eta=0,00053 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

В загальних налаштуваннях відмітимо нестационарність процесу та «ввімкнемо» гравітацію.

Мета розрахунку визначається цілями. Ціль – це фізичний параметр, який розраховується у всій області (глобальна ціль), на заданій поверхні (поверхнева ціль) чи у заданій точці (точкова ціль). Значення цілі задається конкретним параметром або описується рівнянням [5]. Розрахунок ведеться до тих пір, поки цей параметр (або параметри) не будуть досягнуті. У випадку нестационарності процесу визначається ще й час, протягом якого була досягнута ціль (або цілі). У нашому випадку, наприклад, можна вказати бажану товщину піни (середнє, мінімальне, максимальне значення) на поверхні нафтопродукту як функцію її тиску і визначити час, протягом якого пінні струмені (струмінь) певних параметрів транспортуватимуть її на цю поверхню. Можна ж навпаки, задати час і визначити товщину піни на поверхні.

В меню «цілі розрахунку» для початку встановимо масові витрати середовища. Це означає, що розрахунок триватиме до тих пір, поки цілі в об'ємі моделі будуть змінюватися, тобто масові витрати на вході і виході мають стати незмінними, або ці зміни повинні відбуватися в межах похибки. Тобто повинен

встановитися стаціонарний процес. Проміжок часу до встановлення стаціонарного процесу в цьому випадку і буде шуканою величиною.

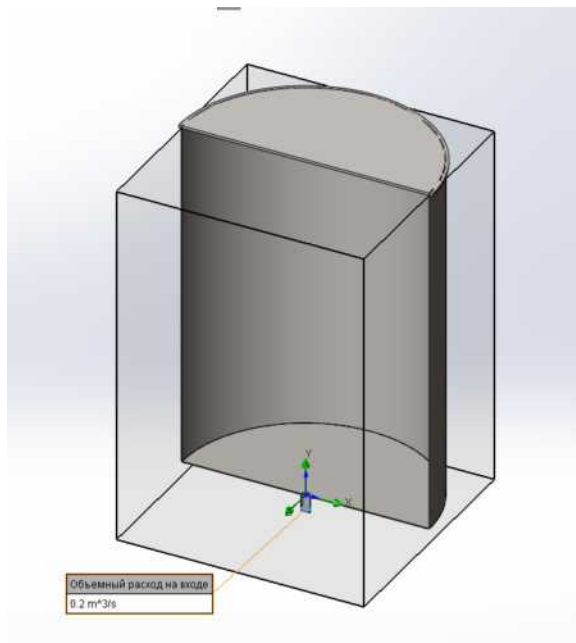
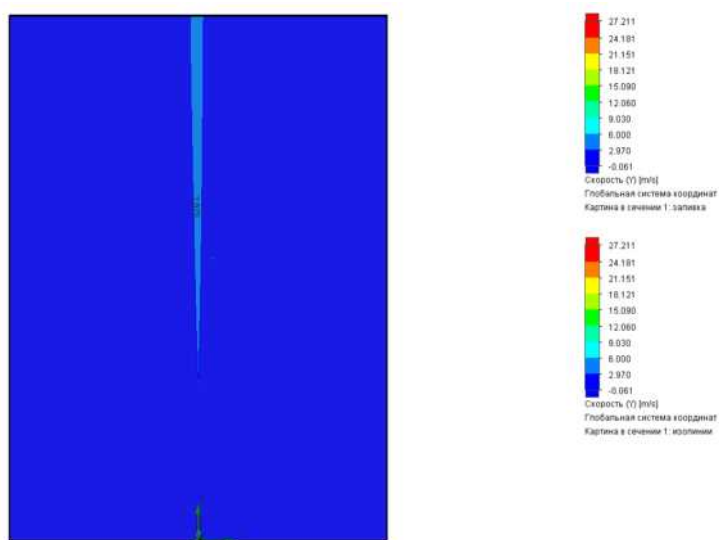


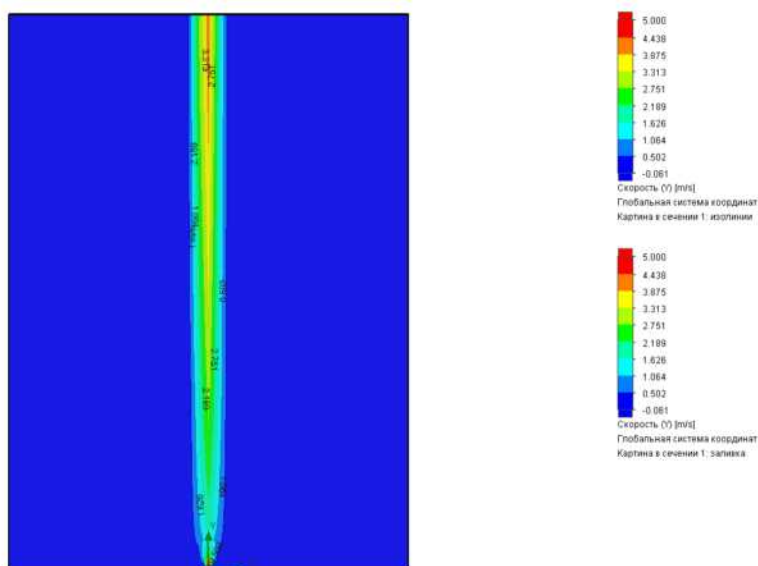
Рис.2.1. Модель резервуара із вертикальним подаванням пінного струменя

2.2.3. Визначення основних параметрів руху затоплених пінних струменів в резервуарі з бензином

2.2.3.1. Рух вертикального пінного струменя $\varnothing 100$ мм



a)



б)

Рис. 2.2. Хромограма вертикальної швидкості середовища:
а) нефільтрована; б) фільтр 5 м/с

На рис. 2.2 представлено результати досліджень – хромограма вертикальної швидкості затопленого пінного струменя (далі струменя). Процес набував стаціонарності протягом 180 с, тобто надалі все буде незмінно.

Хромограма на рис. 2.2 а є нефільтрованою, а отже і незручною для сприймання. Однак із неї випливає, що максимальне значення вертикальної швидкості струменя становить 27,2 м/с. Якщо перерахувати середню швидкість струменя із відомих аналітичних залежностей, то для цих параметрів вона дорівнюватиме 25,46 м/с. Як відомо [17], максимальне значення швидкості рідини в трубопроводі є дещо більшим від середнього, тому прийmemo цей факт як такий, що підтверджує адекватність нашої моделі реальному фізичному процесу.

Використовували фільтр швидкості значенням 5 м/с. Це означає, що до швидкостей, із значенням понад 5 м/с, використовували максимально “теплий” колір хромограми, а всі менші значення отримували відповідний відтінок.

Як видно із рис. 2.2 б, швидкість струменя різко згасає, а потім, під дією сили Архімеда, зростає. Цей факт підтверджується відомими аналітичними та експериментальними дослідженнями дещо подібних випадків [2].

Для можливості кращого аналізу побудуємо графічну залежність вертикальної швидкості струменя від координати його довжини (координати висоти резервуара). Для цього, на площині хромограми проведемо вертикальну лінію з центра струменя на поверхню резервуара. Система SolidWorks Flow Simulations будує графічну залежність вказаного параметра, у цьому випадку вертикальної швидкості на цій лінії (рис.2.3).

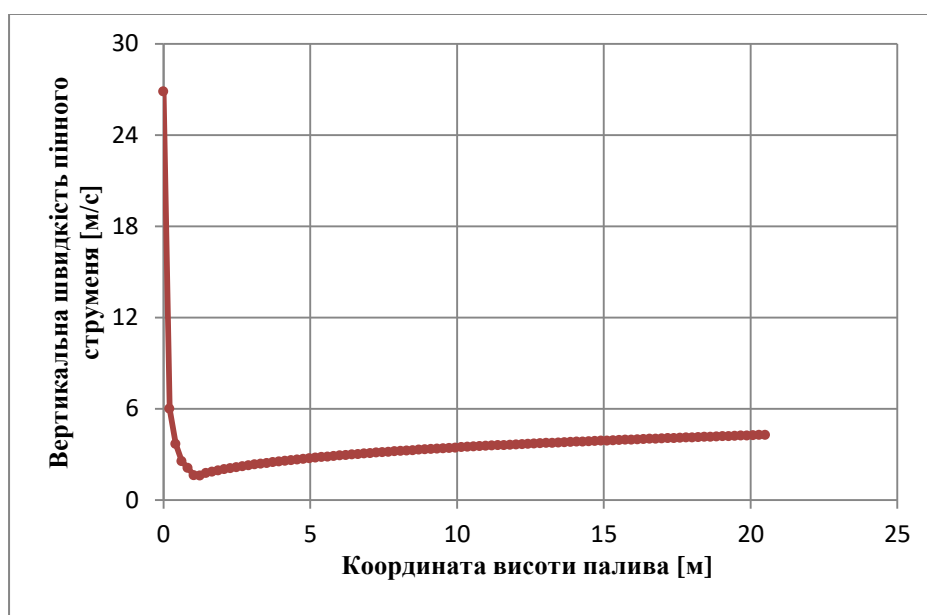


Рис. 2.3. Залежність вертикальної швидкості пінного струменя від координати висоти резервуара

Як видно із аналізу рис. 2.3, швидкість струменя згасає від 27,2 м/с до 1,6 м/с на довжині 1,24 м, після чого починає наростати до значення 4,27 м/с біля поверхні нафтопродукту.

На окрему увагу заслуговує факт відсутності стабілізації швидкості. Як відомо з аналізу формули Стокса [17], рух тіла у в'язкій рідині стабілізується завдяки пропорційності сили опору квадрату (або іншому степеню) швидкості. В нашому випадку, струмінь (стабілізований) відносно сил опору є тілом нескінченної довжини, яке не омивається на торцях, тому визначити його швидкість використовуючи формулу Стокса неможливо, що підтверджується відомими положеннями теорії руху затоплених струменів [2, 27]. Цей факт теж вказує на добру адекватність результатів досліджень моделі.

Щоб детальніше розглянути цей процес побудуємо графічну залежність швидкості струменя впоперек резервуара на його різних висотах (рис. 2.4).

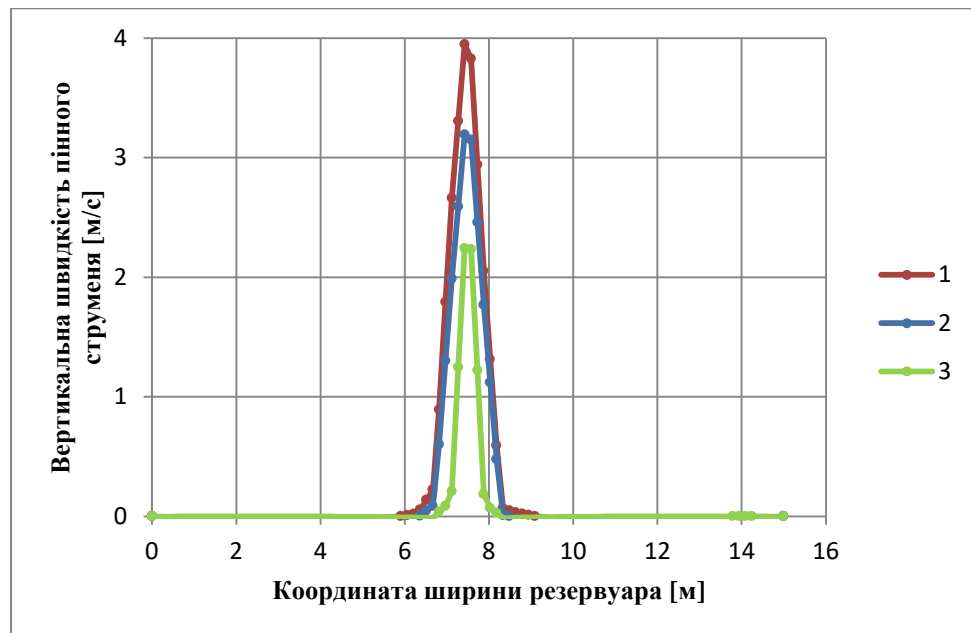


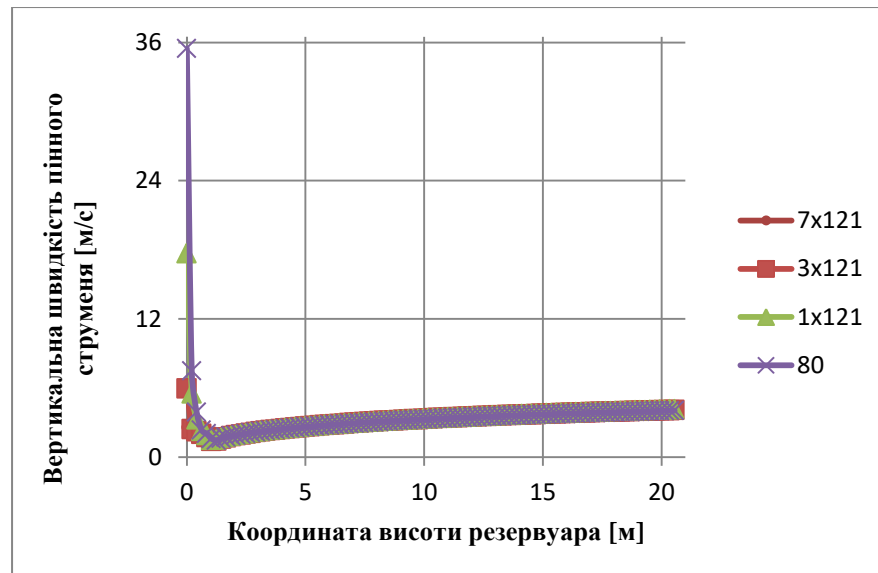
Рис. 2.4. Залежність вертикальної швидкості пінного струменя від координати ширини резервуара на його різних висотах (1 – 20,5 м; 2 – 10,5 м; 3 – 0,5 м)

Як видно із рис. 2.4, ширина струменя спочатку зростає, а потім залишається незмінною, причому швидкість струменя зростає весь час. Це можна пояснити лише дією сили Архімеда.

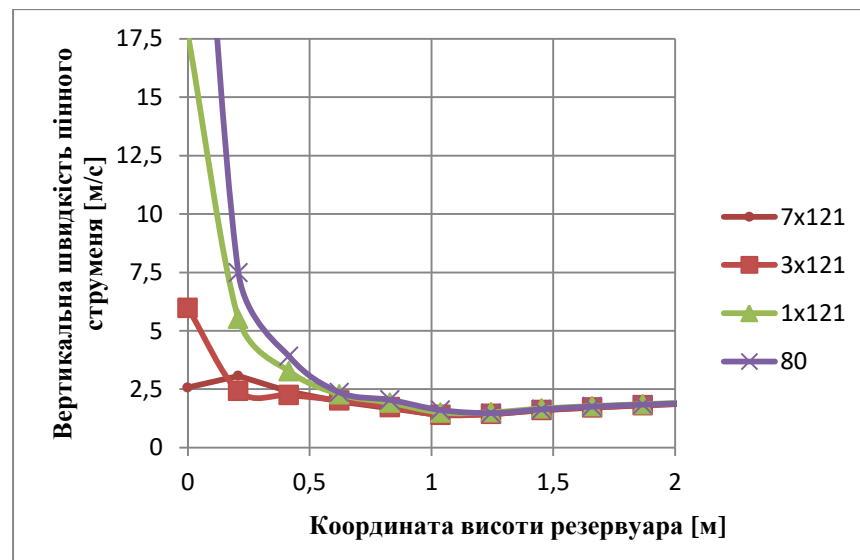
Із проведеного аналізу руху затопленого невідного струменя можна зробити висновок, що початкова швидкість струменя несуттєво впливає на його подальший рух. Параметри руху такого струменя визначаються лише різницею густин середовищ та їх в'язкістю.

2.2.3.2. Визначення параметрів руху пінних струменів різних діаметрів

Для підтвердження такої гіпотези проведемо дослідження руху струменів із різними початковими швидкостями. Графічну залежність вертикальної швидкості таких струменів від їх довжини подано на рис. 2.5 а.



а)



б)

Рис. 2.5. Залежність вертикальної швидкості пінного струменя від координати висоти резервуара та його початкової швидкості: а) у нормальному діапазоні швидкостей; б) у збільшеному діапазоні швидкостей від 0 до 10 м/с.

З метою отримання різних початкових швидкостей струменів, потік піни, забезпечуваний генератором з незмінною витратою, подавали через трубопроводи різного діаметра, а саме $\varnothing 80$ мм; $\varnothing 121$ мм; 3 струмені $\varnothing 121$ мм та 7 струменів $\varnothing 121$ мм.

Як видно із аналізу обох рисунків, швидкості струменів із різними початковими швидкостями протягом 1,25 м зменшуються до одного і того ж значення 1,5 м/с, а потім зростають разом до 4 м/с.

Отже, гіпотеза про те, що на параметри руху невеликих затоплених струменів впливає лише різниця густини піни та середовища, в якому він затоплений, є правильною. Звичайно, вплив сил в'язкості традиційно залишається в силі.

Слід відмітити, що чим більшою буде початкова швидкість струменя, тим сприятливішими будуть умови для руйнування піни. Тому початкову швидкість струменя слід обмежувати з метою зменшення втрат піни при її транспортування в зону горіння, тобто на поверхню нафтопродукту.

Слід також зауважити, що в нормах [44] існує обмеження на швидкість введення пінного струменя під шар палива значенням не більше 3 або 6 м/с для різних середовищ з метою зменшення винесення нафтопродукту в зону горіння разом із піною.

2.2.3.3. Визначення оптимального розташування вертикальних пінних струменів

В рекомендаціях [7] рекомендується розташовувати струмені вздовж кола середнього радіуса резервуара. Однак в нормах [14] таких рекомендацій немає, тому з метою визначення оптимального розташування струменів на дні резервуара по колу певного радіуса проводили такі дослідження.

Моделювали поверхню бензину як ідеально відполіроване дно резервуара, на яке крізь отвір або отвори певного діаметра подається піна низької кратності (рис. 2.6). До того як подавалася піна, резервуар було заповнено повітрям із тиском навколишнього середовища. Висоту резервуара приймали 3 м. Оскільки система SolidWorks Flow Simulations в цей час ще не моделює двофазних середовищ рідина + газ, моделювали піну низької кратності як газ із параметрами піни, а саме: показник адіабати 1,27; молекулярна маса 2,4 кг/моль; питома густина 100 кг/м³.

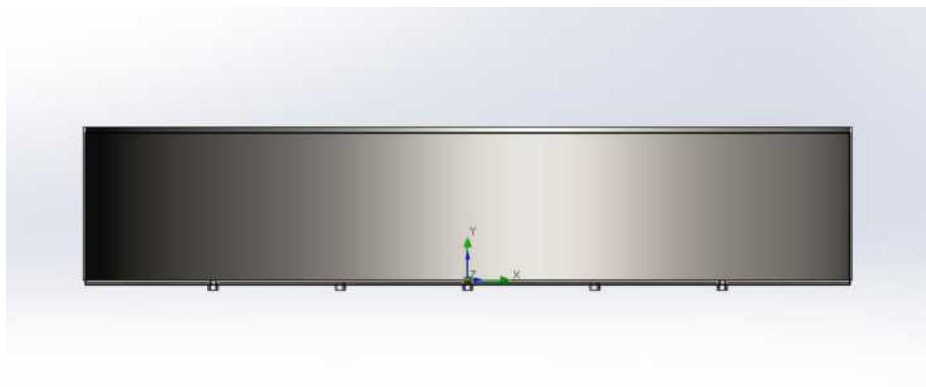


Рис. 2.6. Модель поверхні резервуара

Для розрахунку задавалися тривалістю заповнення піною резервуара з повітрям. Цей проміжок часу визначали виходячи з необхідної середньої товщини піни величиною 200 мм. Якщо продуктивність генератора піни становить $0,2 \text{ м}^3/\text{с}$, а діаметр резервуара 15 м, то проміжок часу, за який піна досягне 0,2 м становить 177 с. Саме це значення часу задавали як мету розрахунків.

На рис. 2.7 представлено результат розрахунку процесу наповнення поверхні резервуара піною протягом 177 с – хромограму тиску на поверхні.

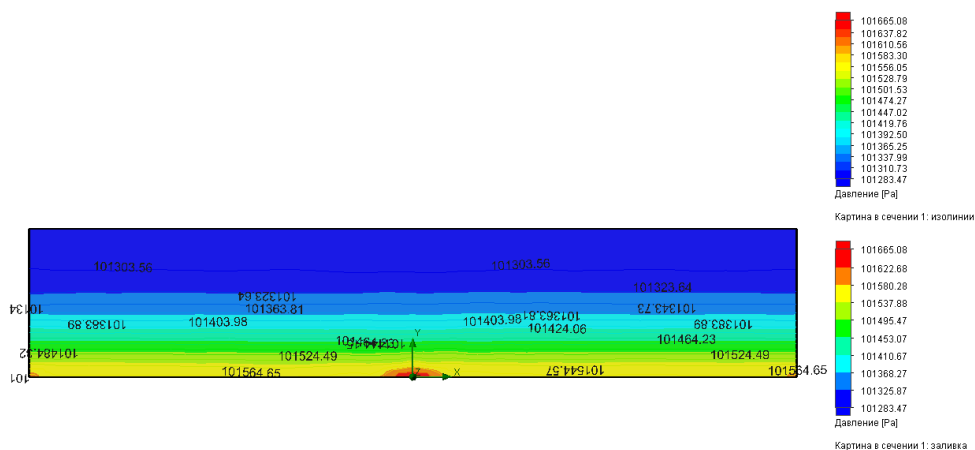


Рис. 2.7. Значення тиску піни на поверхні бензину

Як видно із хромограми (рис. 2.7) значення тиску зростають із наближенням до поверхні, а в місці виходу піни спостерігається максимум.

Для того щоб визначити густину піни, від тиску на поверхні слід відняти тиск атмосфери та значення тиску повітря в резервуарі. З метою мінімізації похибки приймемо, що висота стовпа повітря в резервуарі дорівнює висоті резервуара.

Результати розрахунків представлено на рис. 2.8. Графічну залежність побудовано на лінії діаметра резервуара.



Рис. 2.8. Залежність товщини піни від координати ширини резервуара у випадку одного центрального струменя (1 – значення товщини шару піни; 2 – середнє значення товщини піни на поверхні)

Як видно із рис. 2.8, піна має шар висотою близько 100 мм та шириною близько 2000 мм, а середнє значення товщини піни на поверхні становить 234 мм замість 200 мм. Тобто похибка обчислень становить + 34 мм, або +17 %.

Наступна модель має 4 впускних отвори, сумарна площа яких дорівнює площі попереднього отвору. Продуктивність і тривалість подавання ті ж самі.

Результати обчислень представлені на рис. 2.9.

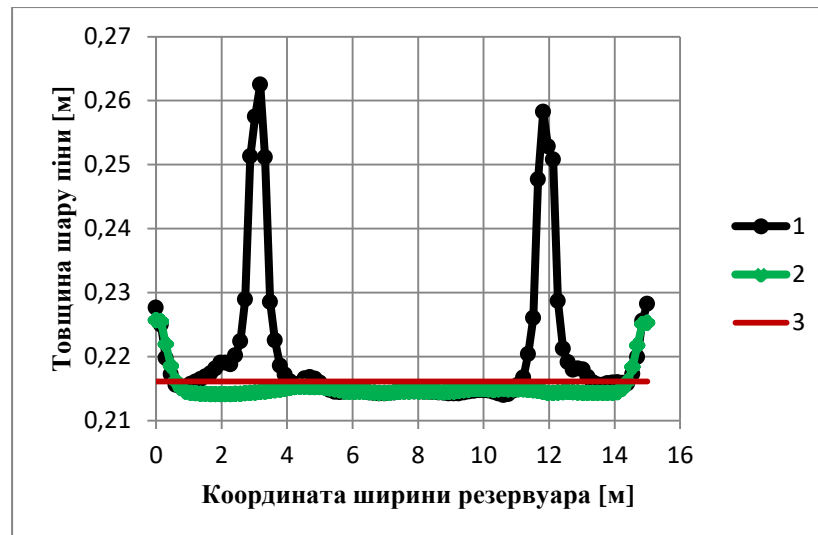


Рис. 2.9. Залежність товщини піни від координати ширини резервуара у випадку чотирьох струменів (1 – лінія проведена через впускні отвори; 2 – лінія проведена поміж впускні отвори; 3 – середнє значення товщини піни на поверхні)

Як видно із рис. 2.9, середнє значення товщини піни на площі становить 216 мм, або +8%, що вказує на вищу точність розрахунків.

Наступна модель має 7 впускних отворів (6 + 1), сумарна площа яких дорівнює площі попередніх отворів. Продуктивність і тривалість подавання ті ж самі. Результати обчислень представлені на рис. 2.10.

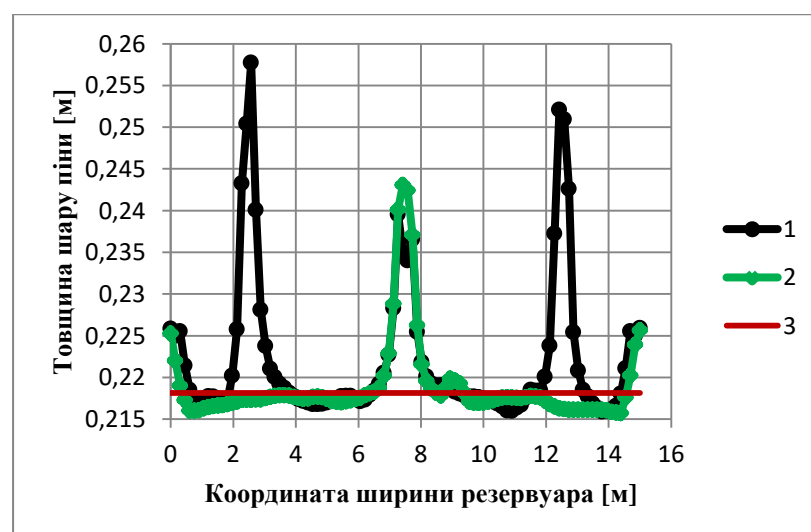


Рис. 2.10. Залежність товщини піни від координати ширини резервуара у випадку семи струменів (1 – лінія проведена через три впускні отвори; 2 – лінія через один центральний впускний отвір; 3 – середнє значення товщини на поверхні)

Як видно з рис. 2.10, середнє значення товщини піни на площі становить 218 мм або +9%, що вказує на високу точність розрахунків.

З проведеного аналізу можна констатувати, що різниця товщини піни у всіх трьох випадках коливається у межах похибки розрахунків, тобто товщина піни на поверхні резервуара залежить від продуктивності генератора піни та часу подавання і зовсім не залежить від кількості отворів та їх розташування.

Також слід відмітити, що точність результатів моделювання коливається від 8 до 17 %, що характерно для чисельних методів.

Гіпотеза. Якщо розташування струменів не має значення для швидкості заповнення поверхні піною, то воно може мати значення для руху самих струменів.

Струмені труться об навколишній шар нафтопродукту і таким чином взаємодіють з ним. Результат взаємодії – гальмування струменів і, як наслідок, можливе руйнування піни та винос пального в зону горіння. Чим більшим буде гальмування, тим більшим буде винос пального та руйнування піни.

Об'єм пального, що виноситься струменем, дорівнює товщині шару пального на поверхні струменя. Товщина шару піни прямо пропорційна швидкості струменя та в'язкості піни. Щодо площі поверхні струменя, то чим товстішим буде струмінь, тим меншою буде площа поверхні повного об'єму, оскільки об'єм прямо пропорційний квадрату діаметра струменя, а площа поверхні – лише діаметру.

Для підтвердження цієї гіпотези провели ряд досліджень.

2.2.3.4. Визначення параметрів руху одного центрально розташованого струменя з пінопроводу Ø320 мм

Для зменшення початкової швидкості до прийнятних значень збільшимо площу попереднього пінопроводу (Ø100 мм) в 10 разів, тобто приймемо Ø320 мм (точне значення 316 мм).

Графічна залежність швидкості струменя від його довжини (координати висоти резервуара) представлена на рис. 2.11.

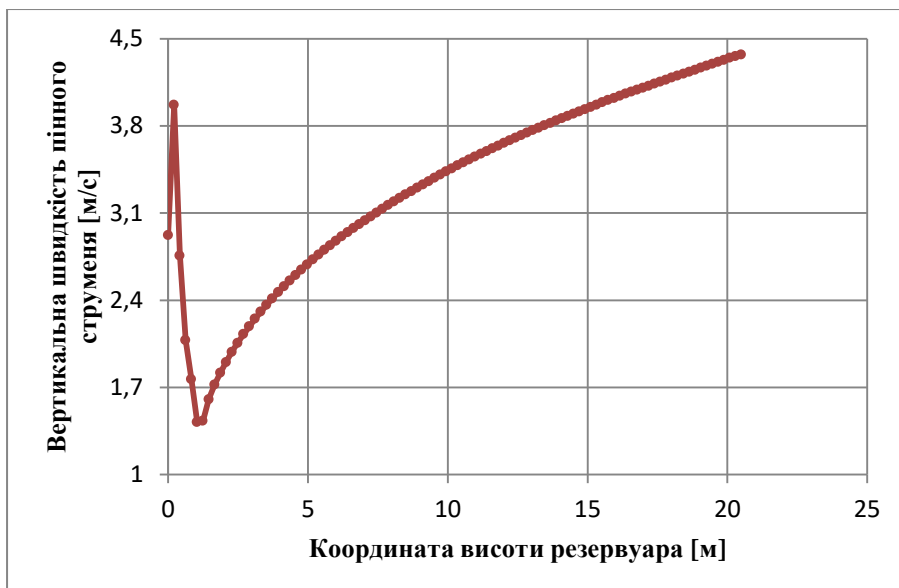


Рис. 2.11. Залежність вертикальної швидкості пінного струменя від координати висоти резервуара

Як видно із рис. 2.11, швидкість перед гальмуванням збільшується, тобто слід дослідити стійкість руху струменя або його турбулентність, що представлено на рис. 2.12.

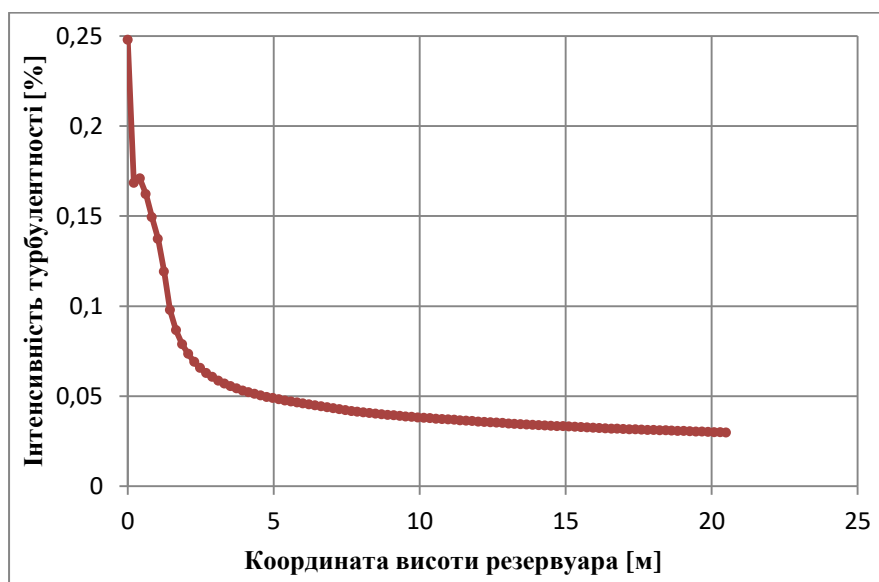


Рис. 2.12. Залежність інтенсивності турбулентності пінного струменя від координати висоти резервуара

Як видно з рис. 2.12, в струмені спостерігається незначна турбулентність, яка в цілому не впливає на впорядкований рух струменя. Подальше збільшення

діаметра пінопроводу ($\text{Ø}500$ мм) призводить до суттєвої втрати стійкості руху, тобто до значної турбулентності, яка впливає на його рух (рис. 2.13 та рис. 2.14).

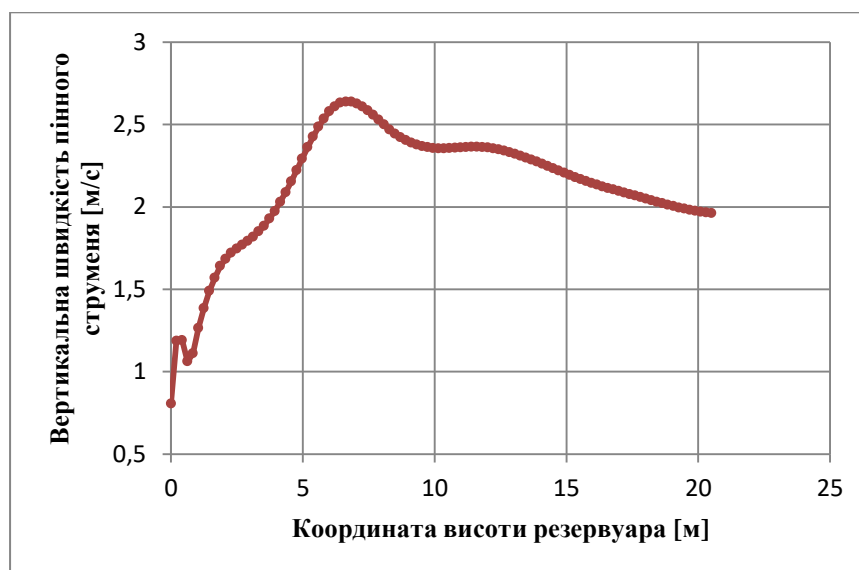


Рис. 2.13. Залежність вертикальної швидкості пінного струменя від координати висоти резервуара

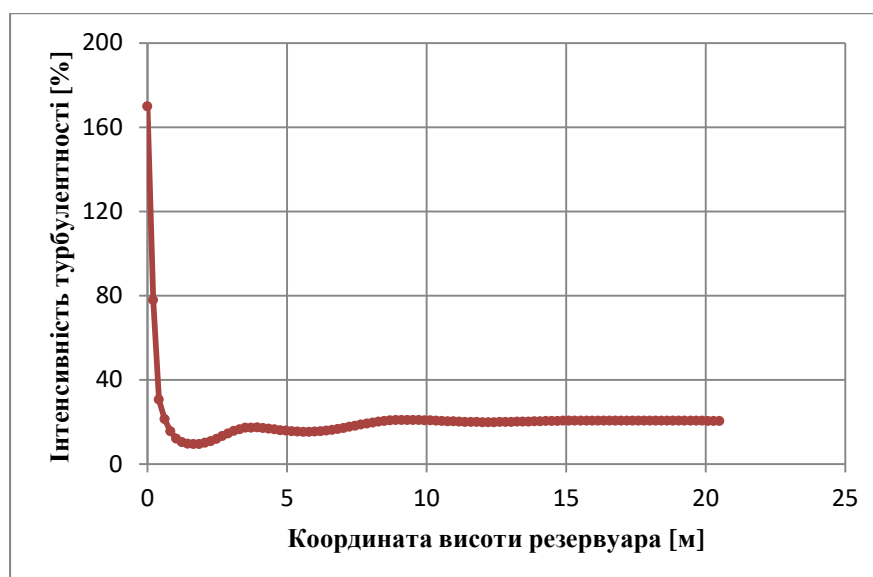


Рис. 2.14. Залежність інтенсивності турбулентності пінного струменя від координати висоти резервуара

Як видно з рис. 2.13 та рис. 2.14, збільшення товщини струменя за незмінної швидкості (приблизно 4 м/с) призводить до виникнення турбулентного руху. Отже, гасіння початкової швидкості пінного струменя десятикратним збільшенням площі трубопроводу є нераціонально.

2.2.3.5. Визначення параметрів руху множинного струменя із десяти вертикальних струменів $\varnothing 100$ мм

Розглянемо рух системи вертикальних струменів, розташованих по колу деякого діаметра, як спосіб гасіння швидкості на виході піно проводу. Наприклад, якщо вхідний пінопровід має діаметр 100 мм, то ввівши піну із нього в пучок із 10 таких же пінопроводів ми отримаємо в 10 разів меншу швидкість.

I. Рух множини струменів, що розташовані вздовж кола середнього радіуса резервуара [7].

Хромограму вертикальної швидкості рух пінних струменів представлено на рис. 2.15.

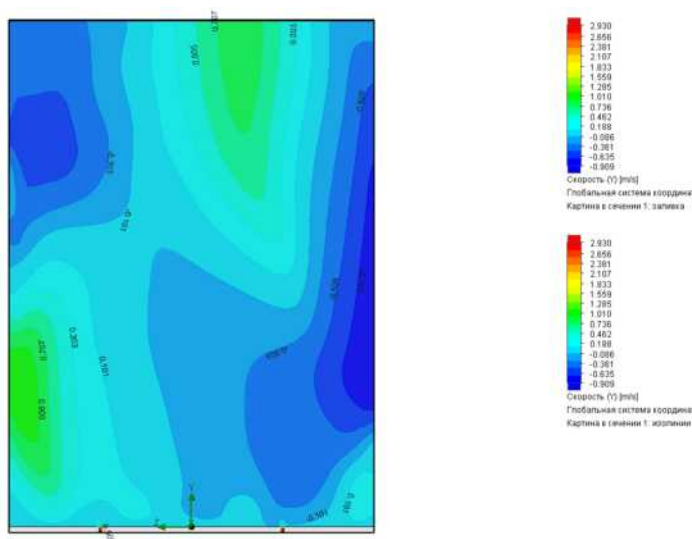


Рис. 2.15. Хромограма вертикальної швидкості десяти вертикальних пінних струменів $\varnothing 100$ мм, що розташовані вздовж кола середнього радіуса резервуара

Як видно із хромограми (рис. 2.15), значення початкової швидкості струменів 2,9 м/с є цілком достатнім для збурення нафтопродукту в резервуарі та його інтенсивного перемішування із піною. Причиною є втрата стійкості руху струменів. Графічну залежність вертикальної швидкості одного пінного струменя із системи на вертикальній прямій, що відкладена від центра пінопроводу, представлено на рис. 2.16.



Рис. 2.16. Залежність вертикальної швидкості пінного струменя від координати висоти резервуара

Як видно із рис. 2.16, струмінь перебуває в режимі вільного руху, про що свідчить його турбулентність, графічну залежність якої від довжини струменя подано на рис. 2.17.

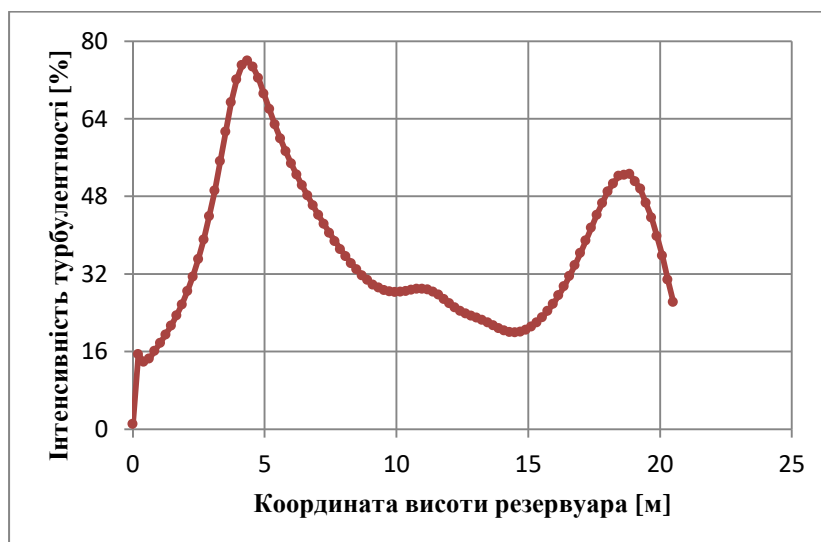


Рис. 2.17. Залежність інтенсивності турбулентності пінного струменя від координати висоти резервуара

Для з'ясування причини втрати стійкості руху досліджували модель руху одного струменя з цієї системи.

II. Визначення параметрів руху одного окремого струменя із їх множини.

Хромограму вертикальної швидкості руху струменя представлено на рис. 2.18.

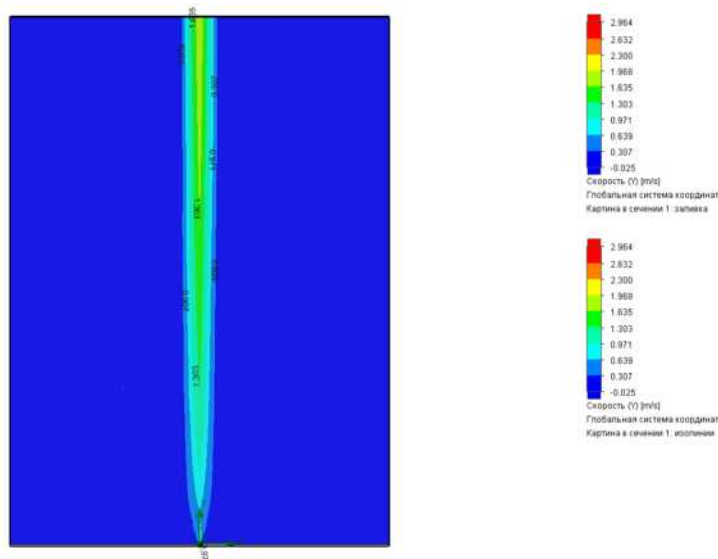


Рис. 2.18. Хромограма вертикальної швидкості одного окремого пінного струменя ($\text{Ø}100$ мм) із множини, що розташовані вздовж кола середнього радіуса резервуара (множини розташованих по колу середнього радіуса резервуара)

Як видно із хромограми (рис. 2.18), рух струменя стійкий, про що також вказують графічні залежності швидкості струменя від його довжини (рис. 2.19) та інтенсивності турбулентності на довжині струменя (рис. 2.20).



Рис. 2.19. Залежність вертикальної швидкості пінного струменя від координати висоти резервуара

Як впливає із порівняльного аналізу рис. 2.19 та рис. 2.11, кінцеві швидкості струменів різні. Те, що вони різні за однакових початкових швидкостей, вказує на різну інтенсивність гальмування струменів. Очевидно, що товстіший струмінь гальмується менше.

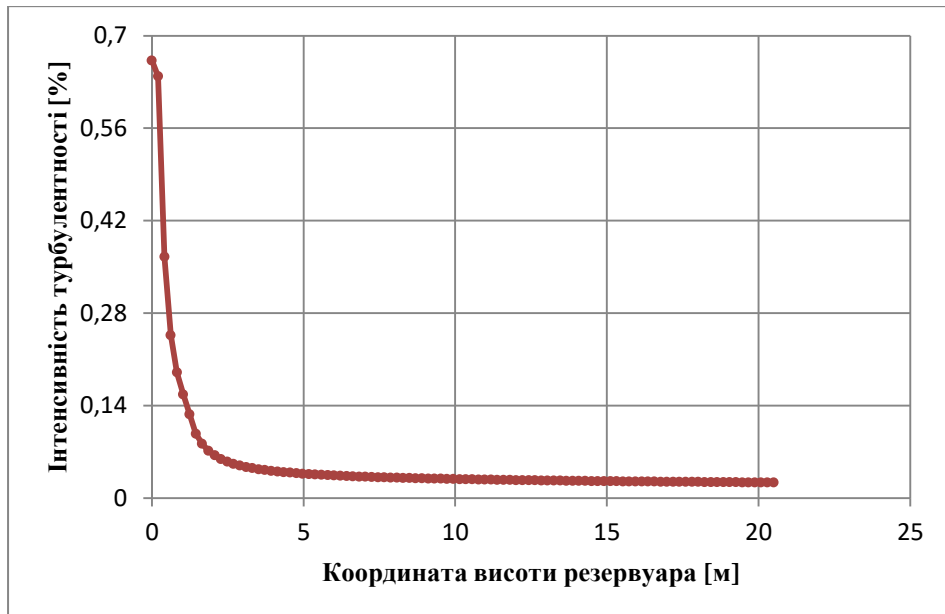


Рис. 2.20. Залежність інтенсивності турбулентності пінного струменя від координати висоти резервуара

На рис. 2.20 зображено інтенсивність турбулентності окремого пінного струменя, порівняння якої із системою струменів однозначно вказує на негативний взаємовплив сусідніх струменів на стійкість їх руху.

Отже, радіус розташування струменів має вирішальне значення для стійкості їх руху.

III. Рух множини струменів, що розташовані вздовж кола малого радіуса.

Проводили дослідження моделі резервуара із десятьма вертикальними струменями, пінопроводи яких розташовано вздовж кола діаметром 450 мм. Всі інші параметри ті самі, що і в попередньому випадку.

Хромограму вертикальної швидкості пінних струменів подано на рис. 2.21.

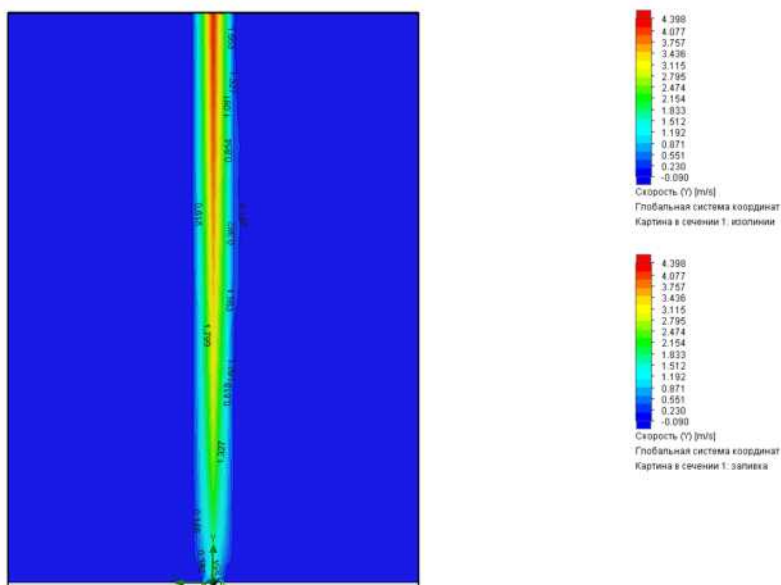


Рис. 2.21. Хромограма вертикальної швидкості десяти пінних струменів ($\text{Ø}100$ мм), що розташовані вздовж кола діаметром 450 мм

Як видно із хромограми (рис. 2.21), всі окремі струмені під час виходу з пінопроводів зливаються в один збірний стабільний струмінь з яскраво вираженим зростанням швидкості в його центрі.

Графічну залежність швидкості збірного струменя від координати висоти резервуара представлено на рис. 2.22.

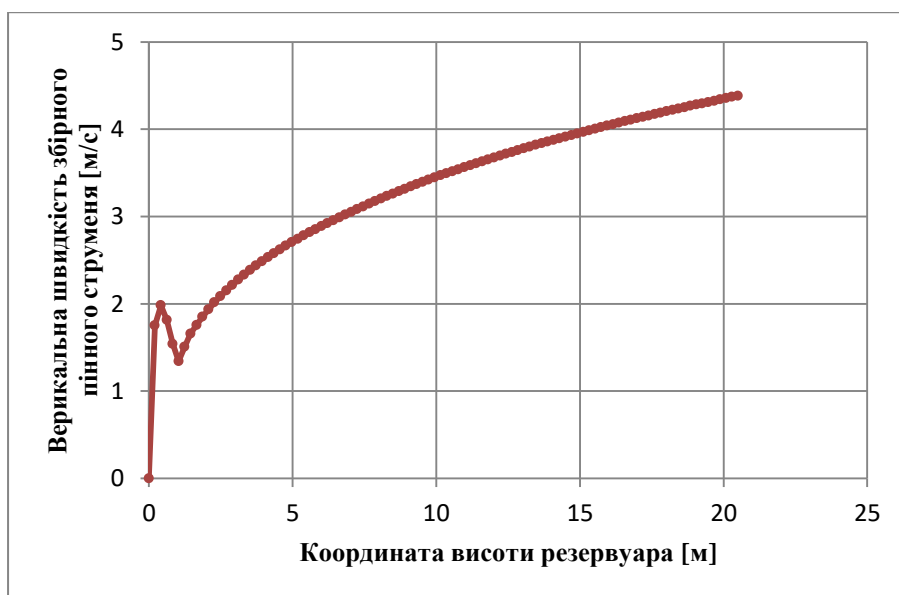


Рис. 2.22. Залежність вертикальної швидкості збірного пінного струменя від координати висоти резервуара

Як видно із рис. 2.22, вертикальна швидкість збірного струменя є стабільною на всій своїй довжині, причому починається вона з нуля, оскільки пінопровід в центрі відсутній. Відсутність пінопроводу в центрі кола зумовлює кращу стійкість руху збірного струменя.

Графічну залежність інтенсивності турбулентності збірного струменя від координати висоти резервуара представлено на рис. 2.23.



Рис. 2.23. Залежність інтенсивності турбулентності збірного пінного струменя від координати висоти резервуара

Як видно із рис. 2.23, рух збірного струменя стабільний на всій його довжині.

Графічну залежність вертикальної швидкості збірного пінного струменя на вертикальній лінії, проведеній від центра пінопроводу до верху резервуара, показано на рис. 2.24.

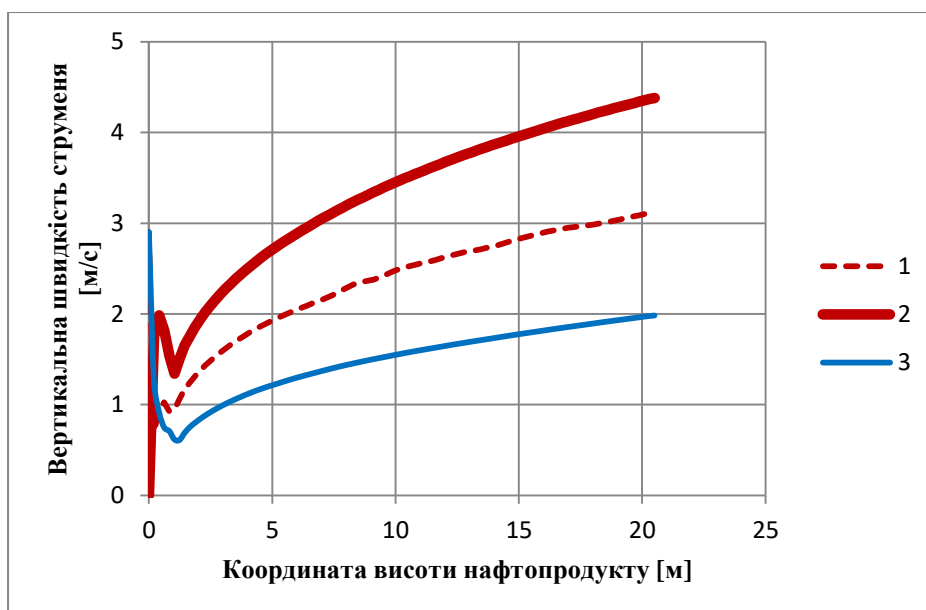


Рис. 2.24. Залежність вертикальної швидкості пінних струменів від координати висоти нафтопродукту (1 – в центрі одного із десяти пінного струменя; 2 – в центрі збірному із десяти пінного струменя; 3 – в центрі окремого одинокого пінного струменя із аналогічними вихідними даними)

Як видно з рис. 2.24, швидкість пінного струменя в центрі окремого із десяти пінних струменів (лінія 1) є в півтора раза меншою від швидкості по його центру (лінія 2).

Високе значення швидкості в центрі збірному струменя можна пояснити його низьким гальмуванням об середовище нафтопродукту, оскільки сумарна площа поверхні такого струменя буде значно меншою від сумарної площі поверхонь десятих окремих струменів. Струмені ніби частково “ховаються” один за одного від дії середовища, внаслідок чого взаємно підсилюють швидкість руху збірному струменя.

Це призводить як до зменшення руйнування піни, так і до зменшення виносу пального на поверхню резервуара.

Для підтвердження правильності зробленого висновку, на рис. 2.24 лінією 3 наведено графічну залежність вертикальної швидкості окремого пінного струменя (рис. 2.19) із множини пінних струменів, розташованих вздовж кола середнього діаметра резервуара.

Як видно із рис. 2.24, швидкість збірного пінного струменя є більш ніж вдвічі вищою за швидкість окремого.

2.2.4. Визначення конструктивних параметрів системи подавання пінних струменів

I. Горизонтальне подавання.

Оскільки живлення системи із десяти вертикальних пінних струменів здійснюється від одного генератора піни низької кратності із одним горизонтально розташованим пінопроводом, то з метою спрощення конструкційної схеми подавання піни розташовували пінопроводи теж горизонтально в центрі резервуара вздовж кола $\varnothing 450$ мм. Цьому ще й сприяє факт швидкого затухання швидкості струменя на виході пінопроводу, тобто горизонтальна швидкість струменів згасне і під дією сили Архімеда сформується збірний вертикальний пінний струмінь.

Хромограму вертикальної швидкості збірного пінного струменя під час горизонтального подавання десяти окремих струменів зображено на рис. 2.25.

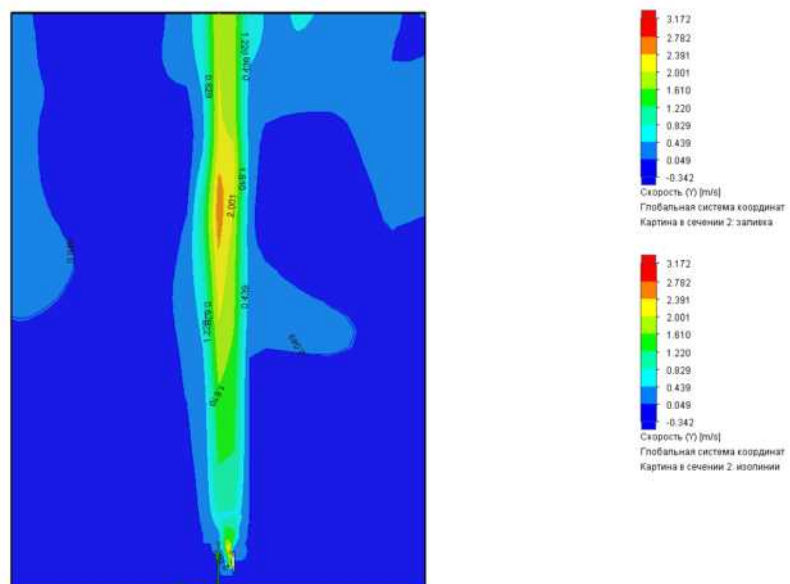


Рис. 2.25. Хромограма вертикальної швидкості пінних струменів під час горизонтального подавання десяти окремих струменів

Як видно з рис. 2.25, початкова горизонтальна швидкість струменів негативно впливає на стійкість руху збірного вертикального руху, хромограму якого під час вертикального подавання зображено на рис. 2.21.

Графічну залежність збірного пінного струменя від координати висоти резервуара подано на рис. 2.26.

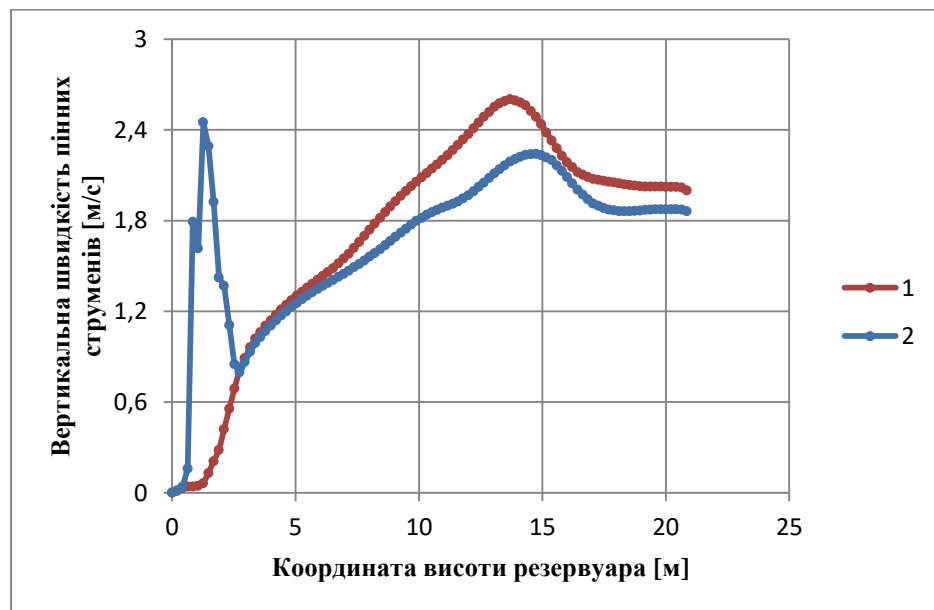


Рис. 2.26. Залежність вертикальної швидкості пінних струменів від координати висоти резервуара (1 – швидкість збірного струменя; 2 – швидкість окремого струменя)

Як видно з рис. 2.26, рух такого струменя нестійкий.

II. Вертикальне подавання.

Модель системи вертикального подавання пінних струменів складається із центральної горизонтальної труби діаметром 530 мм (рис. 2.27), з якої виходить шість загнутих вгору по радіусу 500 мм трубопроводів Ду 125 мм та входить горизонтально через дифузор один трубопровід Ду 100 мм. Загнуті вгору пінопроводи розташовуються вздовж кола діаметром 340 мм.

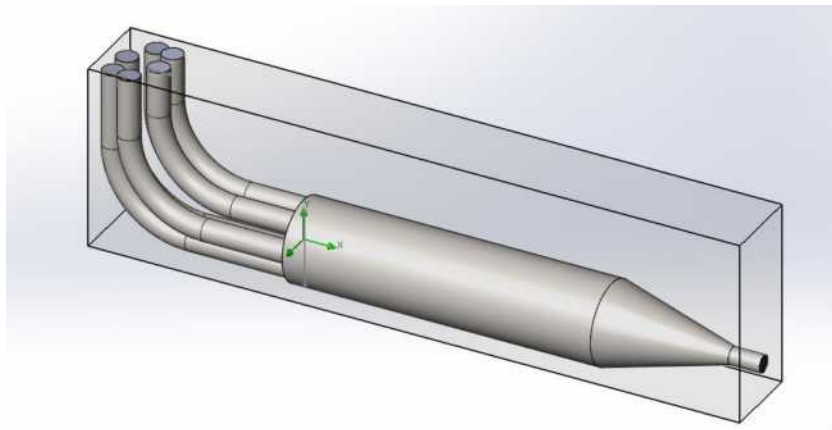


Рис. 2.27. Модель системи подавання вертикальних пінних струменів

Результат дослідження моделі – хромограму швидкості руху піни пінопроводом, представлено на рис. 2.28.

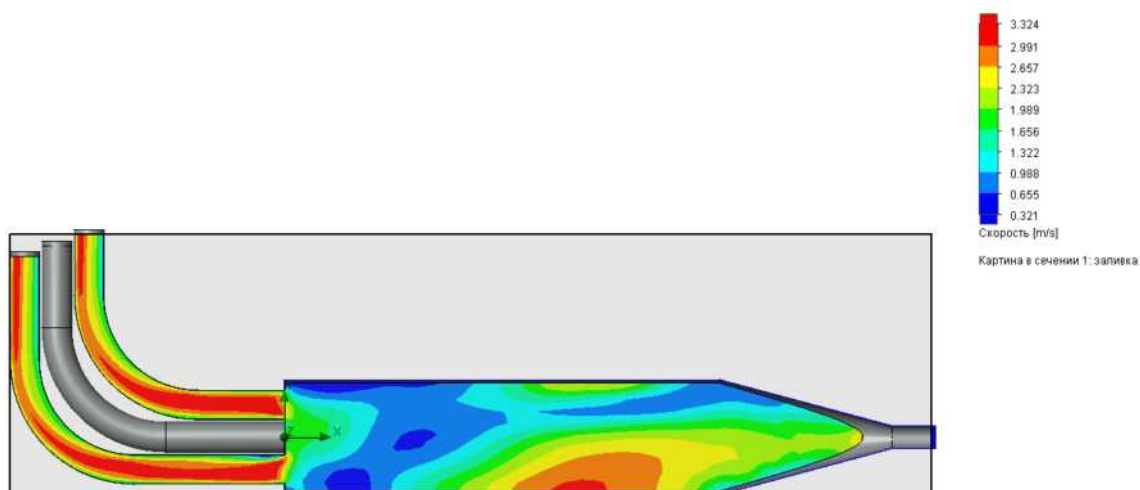


Рис. 2.28. Хромограма швидкості піни

Як видно із аналізу рис. 2.28, швидкість піни на виході окремих пінопроводів набуває однакових значень.

Для можливості кращого аналізу будували графічну залежність горизонтальної швидкості піни на виході горизонтального трубопроводу $\text{Ø}530$ мм (рис. 2.29) та графічну залежність вертикальної швидкості піни на виході вертикальних трубопроводів Ду125 мм (рис. 2.30).

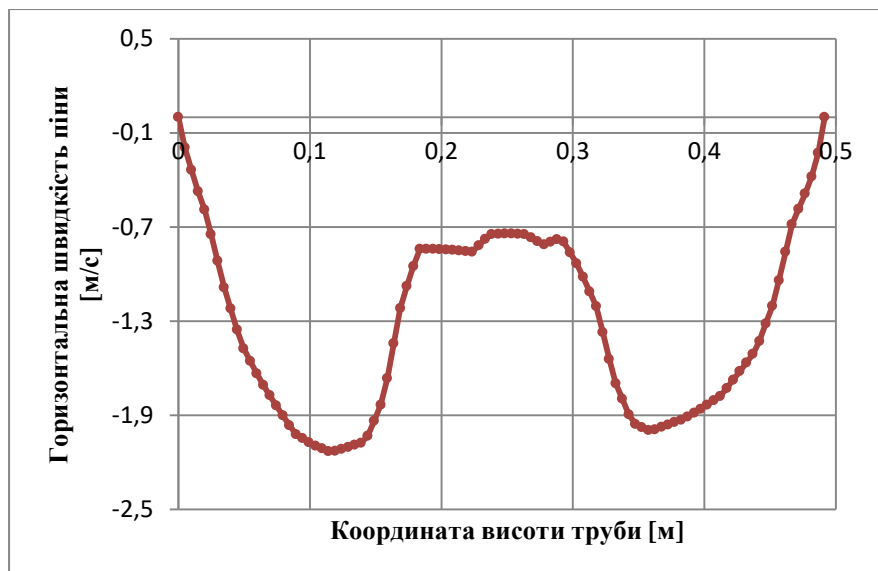


Рис. 2.29. Залежність горизонтальної швидкості пінних струменів від координати висоти труби $\text{Ø}530$ мм біля входу у випускні трубопроводи

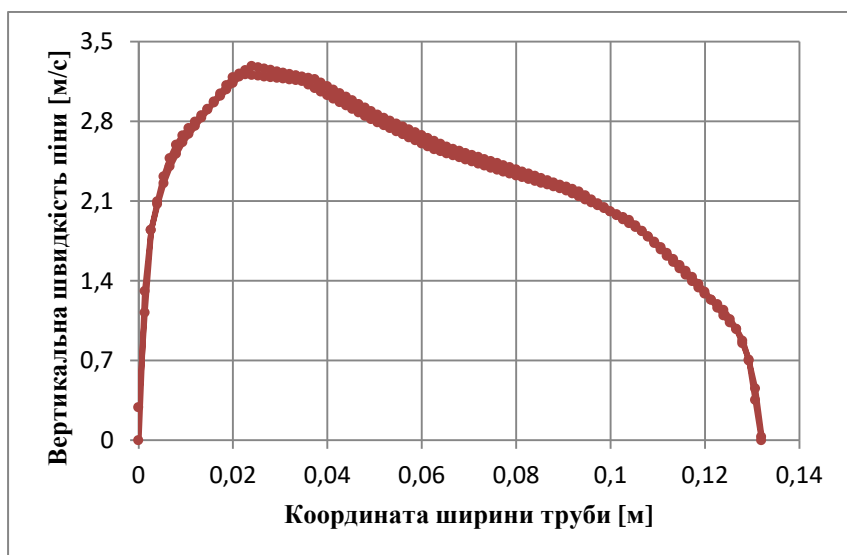


Рис. 2.30. Залежність вертикальної швидкості піни на виході випускних трубопроводів від координати ширини випускної труби $D_u 125$ мм

Як впливає із аналізу графічних залежностей (рис. 2.29 та рис. 2.30), подавання піни в окремих пінопроводах будуть однаковими, хоча швидкості їх мають дещо несиметричний профіль, вирівняти який можна збільшенням довжини вертикальних пінопроводів. Однак це призведе до труднощів використання такої системи у випадку резервуара з рухомою покрівлею.

Тому проведемо дослідження моделі із шістьма вертикальними пінопроводами із Ду125 мм, розташованими по колу діаметром 340 мм із несиметричним профілем швидкості.

Результати дослідження такої моделі – хромограму вертикальної швидкості збірного пінного струменя та графічну залежність струменя від його довжини представлено на рис. 2.31 та рис. 2.32.

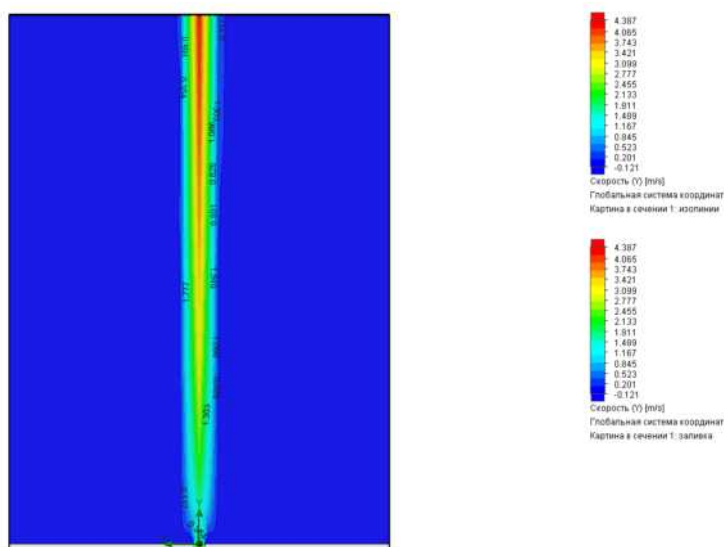


Рис. 2.31. Хромограма вертикальної швидкості пінного струменя, що виходить з шістьох вертикальних пінопроводів із Ду125 мм, розташованих вздовж кола діаметром 340 мм



Рис. 2.32. Залежність вертикальної швидкості збірного пінного струменя від координати висоти резервуара

Як видно із рис. 2.31 та рис. 2.32, перехід від 10 пінопроводів Ду 100 до шести Ду125 не вносить жодних змін в параметри руху збірного струменя.

2.2.5. Експериментальне дослідження параметрів руху затоплених пінних струменів у фізичній моделі резервуара із нафтопродуктом

2.2.5.1. Методика проведення випробувань з визначення вогнегасної ефективності та коефіцієнта руйнування плівкоутворювальної піни при її подаванні під шар нафтопродукту

Експериментальні дослідження параметрів руху затопленого пінного струменя в середовищі нафтопродукту проводять у зменшеній фізичній моделі резервуара, що служить для зберігання нафтопродукту (рис. 2.33).

Встановлюються такі критерії подібності та фізичні обмеження:

– характер руху піни в пінопроводі та пінного струменя в середовищі нафтопродукту – турбулентний;

– значення початкової швидкості пінних струменів має бути в діапазоні від 2 до 20 м/с;

– межі області пінного струменя не повинні взаємодіяти із стінками резервуара;

– вертикальна швидкість пінного струменя повинна згаснути до мінімального значення перш, ніж струмінь дістанеться до поверхневого шару нафтопродукту;

– інтенсивність подавання РР ПУ має бути достатньою для гасіння пожежі на поверхні нафтопродукту;

– значення кратності піни має бути в діапазоні 7–10.

Структурна схема експериментальної установки представлена на рис. 2.33.

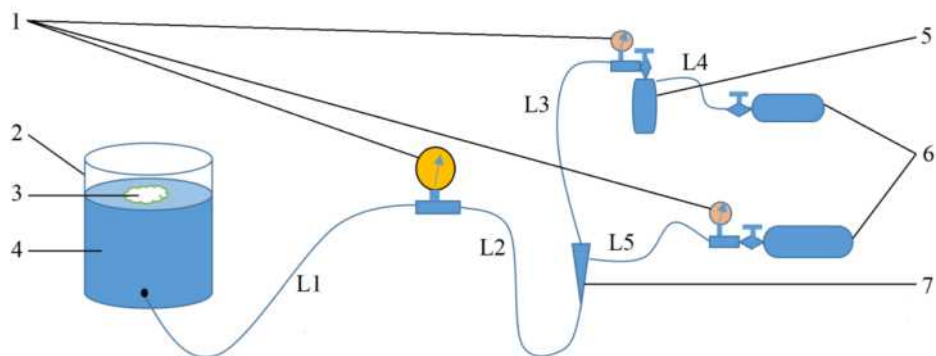


Рис. 2.33. Структурна схема експериментальної установки для визначення коефіцієнта руйнування піни під час подавання РР ПУ в шар нафтопродукту:
 1 – манометри; 2 – металевий резервуар; 3 – піна; 4 – нафтопродукт; 5 – резервуар з РР ПУ (вогнегасник); 6 – балон зі стиснутим повітрям або інертним газом; 7 – інжектор (скляний)

В експериментальній установці використовують:

– манометр ОБМВ1-100 із діапазоном вимірювань тиску від -1 до $1,5 \text{ кгс/см}^2$, клас точності 2,5 [37];

– пластикові трубки з внутрішнім діаметром 10 мм та такими значеннями довжин: $L1=470$ мм; $L2=1000$ мм; $L3=950$ мм; $L4=770$ мм; $L5=950$ мм;

– вогнегасник місткістю 2 л;

– металевий резервуар із внутрішнім діаметром 398 мм та висотою 440 мм.

Випробування проводять на відкритому повітрі за температури навколишнього середовища $10-25^\circ\text{C}$.

Готують 6 % РР плівкоутворювального ПУ «БАРС АFFF» у кількості 2 л. Щоб уникнути інтенсивного спінювання, готують РР ПУ, заливаючи розрахункову кількість води та ПУ у корпус вогнегасника і ретельно перемішують. Встановлюють запірно-пускову арматуру [35].

Металевий резервуар встановлюють на рівній площині землі та наливають в резервуар ДП. Висота шару нафтопродукту становить 180 та 360 мм.

Відкривають вентиль редуктора і встановлюють тиск повітря у на манометрах.

Подають весь РР ПУ під шар нафтопродукту.

Фіксують проміжок часу від початку подавання РР ПУ до повного його виходу з корпусу вогнегасника.

Закривають вентиль балона і скидають тиск у корпусі вогнегасника.

Товщину піни на поверхні нафтопродукту вимірюють металевою лінійкою після повного закінчення її подавання у чотирьох точках і розраховують середнє арифметичне значення. Після цього розраховують об'єм піни, що утворилася.

Кратність піни визначають за формулою

$$K = \frac{V_{\text{піни}}}{V_{\text{ррпу}}} \quad (2.8)$$

де $V_{\text{піни}}$ – об'єм піни, що утворилася; $V_{\text{ррпу}}$ – об'єм РР ПУ, що подавалася.

Повторюють випробування за різних значень тиску.

В процесі проведення робіт проводять відеофіксацію та вимірюють значення таких параметрів: тиску на виході із вогнегасника, тиску на вході в резервуар та проміжок часу подавання РР ПУ [65].

Фото експериментальної установки для визначення коефіцієнта руйнування піни під час “підшарового” гасінні нафтопродуктів представлено на рис. 2.34.

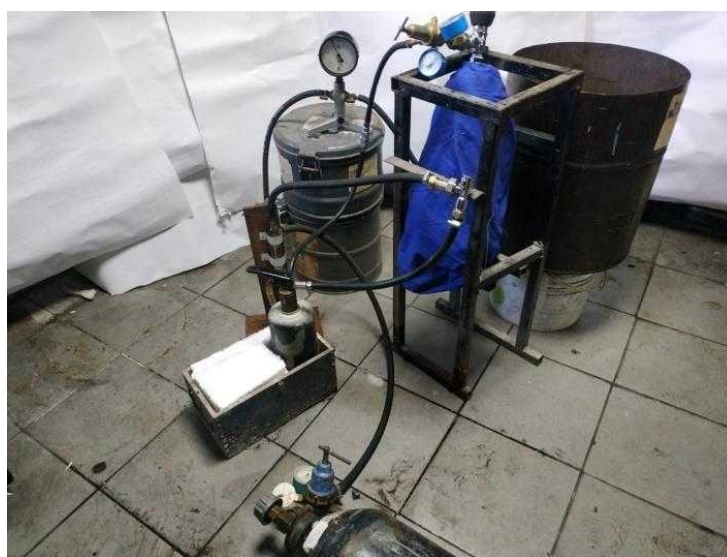


Рис. 2.34. Експериментальна установка для визначення коефіцієнта руйнування піни при “підшаровому” гасінні нафтопродуктів

2.2.5.2. Експериментальне дослідження руху піни в середовищі нафтопродукту в фізичній моделі резервуара

Оброблені дані експериментальних досліджень – графічну залежність висоти піни на поверхні дизельного палива від проміжку часу її витікання – представлено на рис. 2.35.

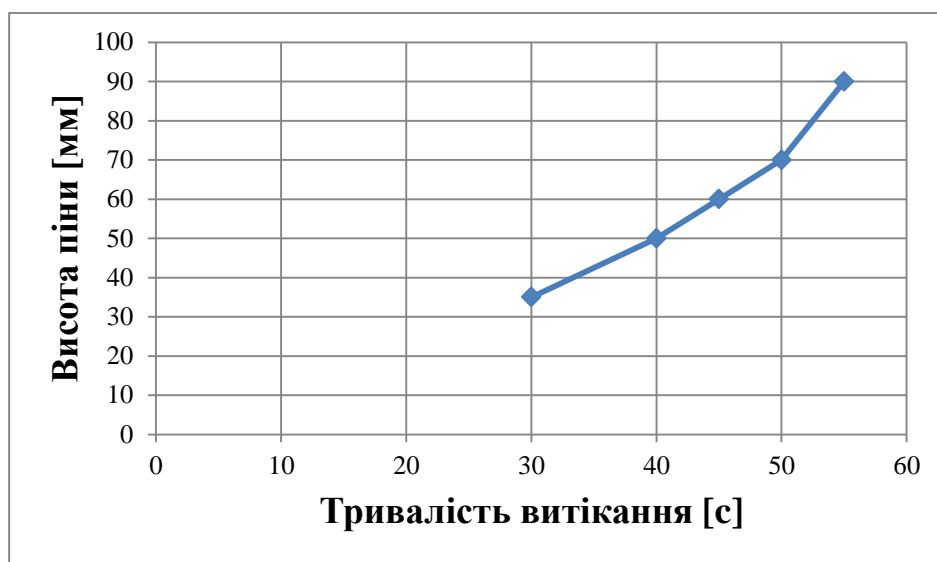


Рис. 2.35. Залежність висоти піни на поверхні дизельного палива від тривалості її витікання

Як видно із графіка (рис. 2.35), збільшення тривалості витікання піни (зменшення її швидкості) призводить до збільшення товщини піни на поверхні нафтопродукту.

Знаючи об'єм ПУ та кратність піни, визначали максимально можливу висоту піни на поверхні дизельного палива. Максимальне значення висоти становить 137 мм. Тоді, маючи експериментальні значення товщини, визначали втрати піни в процесі її подавання (рис. 2.36).

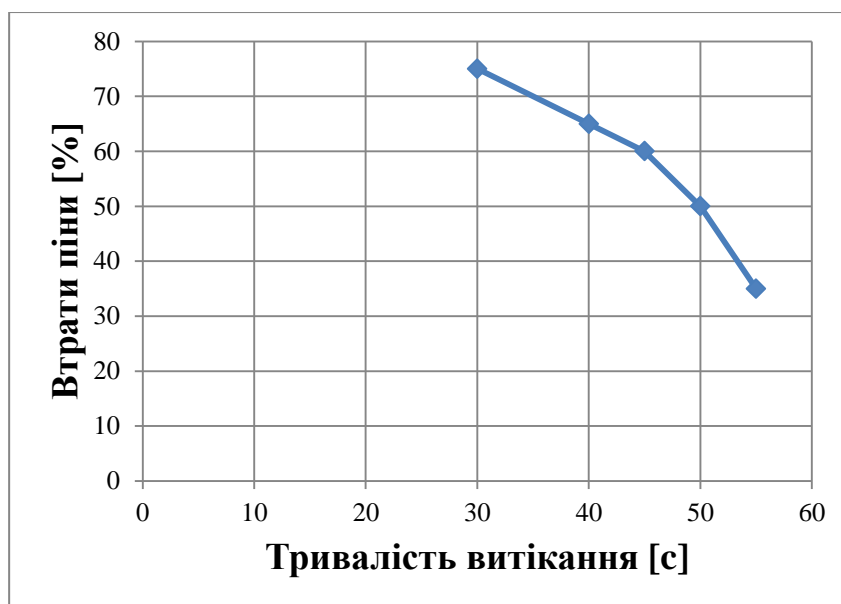


Рис. 2.36. Залежність втрат піни на поверхні дизельного палива від тривалості витікання

Як видно із рис. 2.36, втрати піни обернено пропорційні до тривалості її витікання. Тобто збільшення швидкості витікання пінного струменя із пінопроводу в середовище нафтопродукту призводить до більш інтенсивного руйнування піни, а отже і до більших її втрат.

Для більш повного вивчення цієї проблеми, а також підтвердження основних припущень під час проведення попередніх теоретичних досліджень та оцінки адекватності отриманих там результатів, проводили аналогічні теоретичні дослідження.

Моделювали експериментальну установку в середовищі SolidWorks Flow Simulation із аналогічними параметрами руху піни, що відповідають мінімальним та максимальним значенням показників експериментальних досліджень.

Мінімальні об'ємні витрати піни становлять $0,0003636 \text{ м}^3/\text{с} = 0,36 \text{ л/с}$, що відповідає четвертій точці на графіку (час 55 с, рис. 2.35). Експериментально встановлена кратність піни $K=8,5$.

Результати моделювання (хромограми та отримані із них графічні залежності) руху піни по пінопроводу та пінного струменя в середовищі

дизельного палива за температури навколишнього середовища 14 °С представлені на рис. 2.37–2.41.

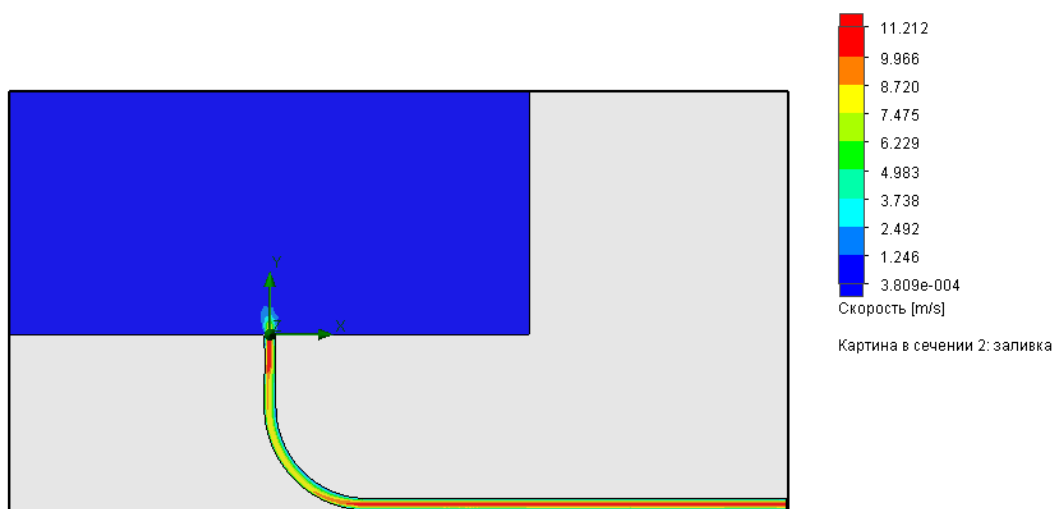


Рис. 2.37. Хромограма швидкості руху піни та дизельного палива

Як видно із рис. 2.37, максимального значення швидкості руху піни набуває в пінопроводі (11 м/с). Рух піни має турбулентний характер. Занурений у дизельне паливо пінний струмінь швидкість втрачає.

Для кращого виявлення параметрів руху затопленого пінного струменя фільтрували хромограму до більш сприятливих значень його швидкості, наприклад, встановлювали верхнє значення швидкості 1 м/с. Це означає, що всі значення швидкості, більші за 1 м/с, будуть відображені лише червоним кольором, а менші – матимуть градацію кольорів.

Результати фільтрування хромограми швидкості руху піни представлено на рис. 2.38.

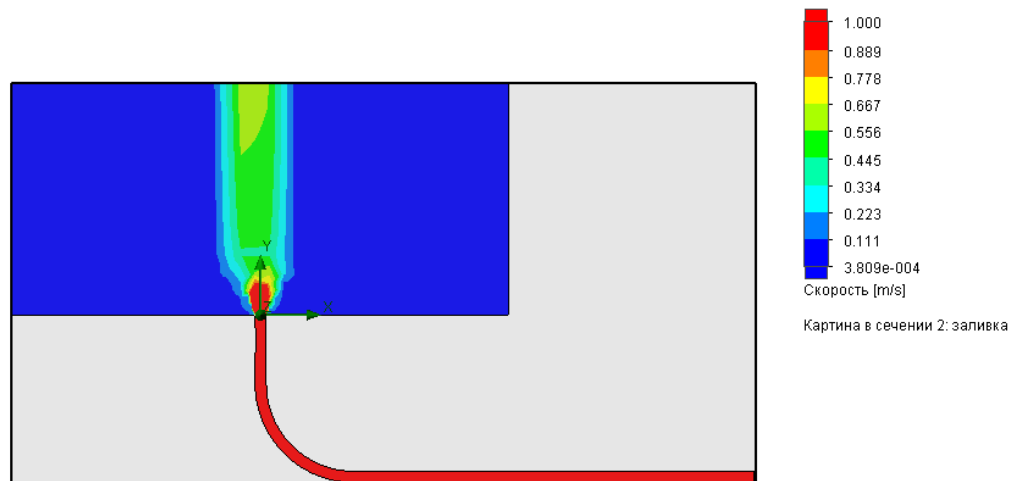


Рис. 2.38. Хромограма швидкості ($V < 1$ м/с)

Як видно із рис. 2.38, швидкість руху затопленого в дизельному паливі пінного струменя різко згасає, що підтверджується теоретичними та експериментальними дослідженнями.

Середина згаслого розширеного пінного струменя дещо зміщена ліворуч від центра пінопроводу. Також візуально помітний наслідок дії сили Архімеда – зростання вертикальної швидкості згаслого пінного струменя.

Зміщення (вліво) осі пінного струменя відносно осі пінопроводу пояснюється наявністю деякої залишкової горизонтальної швидкості піни, набутої під час її руху на горизонтальній ділянці пінопроводу.

Кількісний аналіз параметрів руху затопленого пінного струменя можна здійснити, використавши можливість у середовищі Solid Works Flow Simulation побудови графічної залежності на безпосередньо накресленій лінії (лініях) поверх досліджуваної хромограми.

Проведемо вертикальну лінію від центра сопла пінопроводу (рис. 2.38) і побудуємо графічну залежність вертикальної швидкості руху пінного струменя від довжини цієї лінії, тобто координати висоти дизельного палива в баку (рис. 2.39).

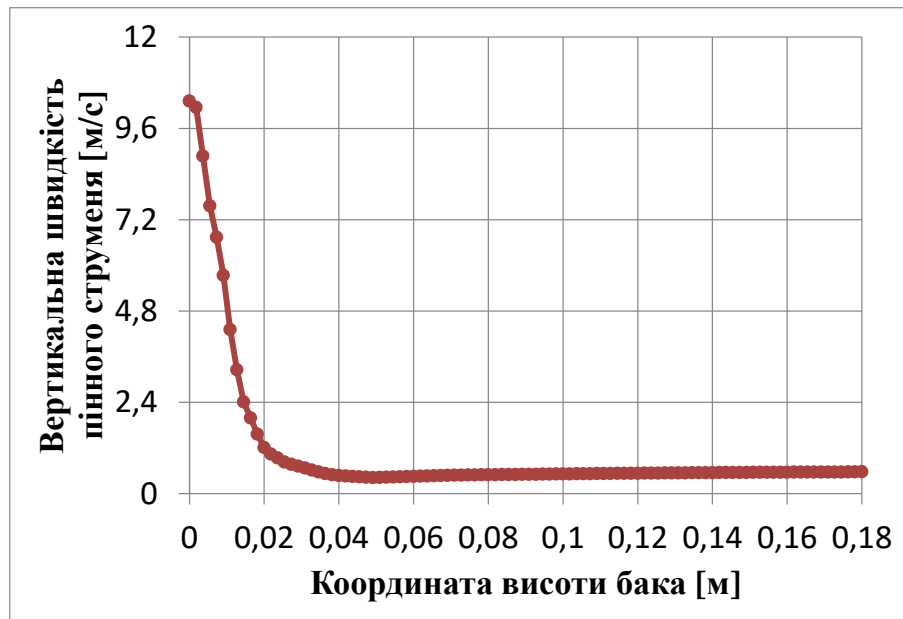


Рис. 2.39. Графічна залежність вертикальної швидкості пінного струменя від координати висоти дизельного палива

Як видно з рис. 2.39, швидкість пінного струменя різко згасає (від 10,32 м/с до 0,42 м/с) і потім починає повільно наростати (до 0,57 м/с), але це зростання швидкості обмежується висотою дизельного палива в баку (180 мм).

Отже, цілком справджується одна із необхідних умов фізичної моделі, а саме: вертикальна швидкість пінного струменя повинна згаснути до мінімального значення перш ніж струмінь дістанеться до поверхневого шару нафтопродукту.

Для визначення руху всього середовища проводили три горизонтальні лінії на хромограмі (рис. 2.38) на різних висотах бака. Першу лінію проводили в найнижчій частині бака (5 мм над дном – для відходу від пристінкового шару), другу – рівно посередині його висоти, третю – у найвищій частині, тобто на поверхні дизельного палива.

Побудовану таким чином графічна залежність вертикальної швидкості руху середовища від ширини бака на різних рівнях висоти нафтопродукту представлено на рис. 2.40.

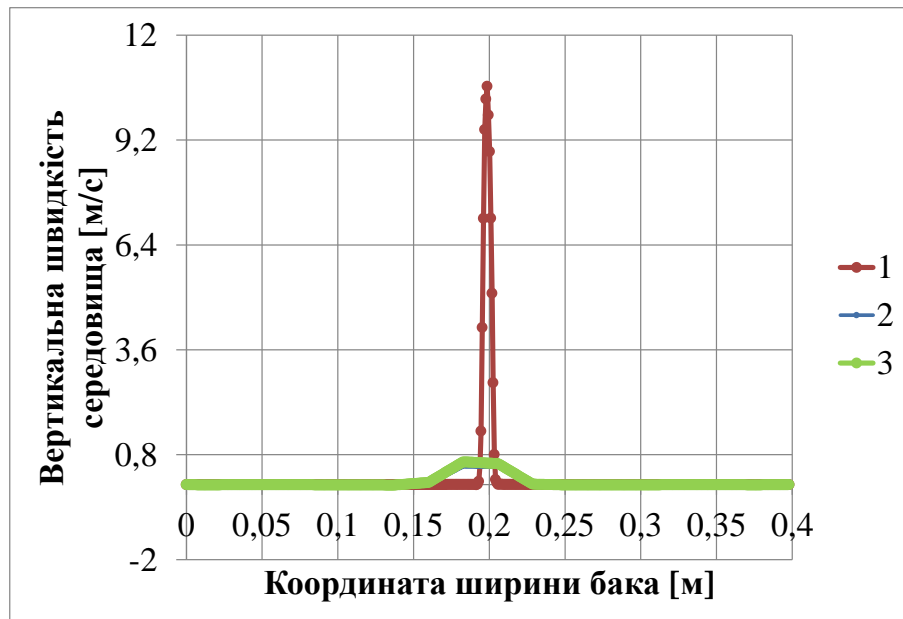


Рис. 2.40. Графічна залежність вертикальної швидкості руху середовища бака від його ширини на різних рівнях висоти дизельного палива (1 – низ бака; 2 – середина рівня палива; 3 – поверхня палива)

Як видно із рис. 2.40, вертикальна швидкість затопленого струменя в нижній частині бака набуває максимальних значень, струмінь в цьому місці вузький. З висотою бака струмінь ширшає, а його швидкість зменшується. Нафтопродукт, який межує з зоною струменя, опускається донизу із швидкістю 0,009–0,014 м/с. Звичайно, тут наявна і горизонтальна швидкість нафтопродукту, яка вказує на його рух від центра до периферії, що за браком місця та значимості фактора в роботі не розглядається.

Графік підтверджує правдивість ще однієї із умов фізичного моделювання, а саме: межі області пінного струменя не повинні взаємодіяти із стінками резервуара.

Розглянемо тепер характер руху затопленого пінного струменя в середовищі нафтопродукту.

Графічну залежність інтенсивності турбулентності від координати висоти дизельного палива в баку представлено на рис. 2.41.

Для кращого аналізу графічної залежності креслили дві вертикальні лінії, одну, як і раніше, із центра струменя, а другу зміщували ліворуч разом із зміщенням струменя на 60 мм.

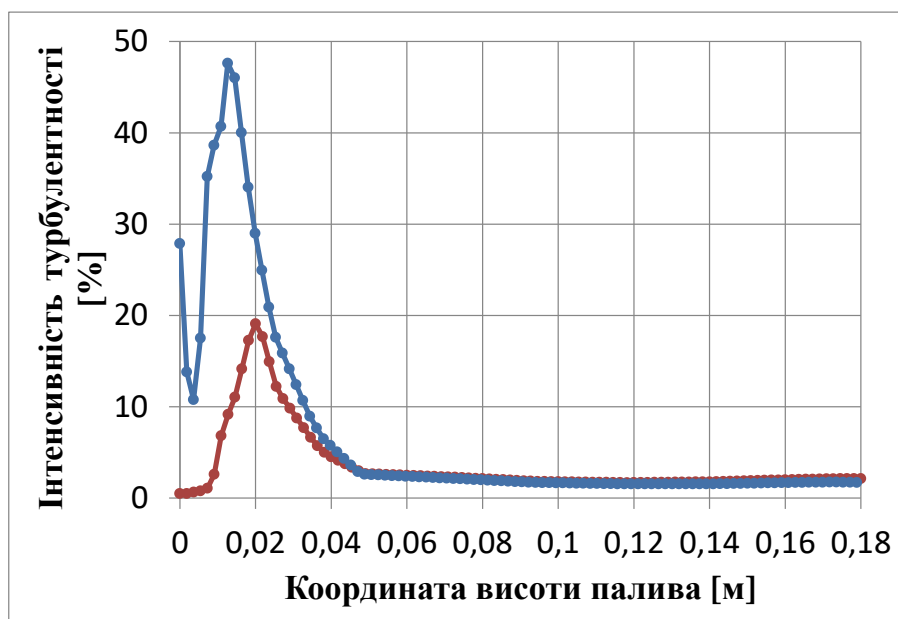


Рис. 2.41. Графічна залежність інтенсивності турбулентності від координати висоти дизельного палива: червона лінія – у центрі струменя; синя – зміщення на 60 мм ліворуч до максимального значення

Як видно з рис. 2.41, значення інтенсивності турбулентності в безпосередній близькості до пінного струменя становить 48 %.

Графік підтверджує правдивість ще однієї з умов фізичного моделювання – характер руху піни в пінопроводі та пінного струменя в середовищі нафтопродукту є турбулентним.

Однак, як зазначалося вище, значний практичний інтерес для цього випадку становить енергія турбулентності як силовий фактор руйнування пінного струменя.

Для отримання графічної залежності енергії турбулентності від координати висоти нафтопродукту використаємо ті ж дві прямі лінії (як і в попередньому випадку), тільки накладемо їх на відповідну хромограму.

Графічну залежність енергії турбулентності від координати висоти дизельного палива представлено на рис. 2.42.



Рис. 2.42. Графічна залежність енергії турбулентності від координати висоти дизельного палива: червона лінія – у центральній частині струменя; синя – зміщення на 60 мм ліворуч до максимального значення

Як видно із рис. 2.42, максимальне значення енергії турбулентності становить 0,053 Дж/кг.

Аналогічні теоретичні дослідження моделі проводились у випадку максимальних об'ємних витрати піни, які становлять $0,00067 \text{ м}^3/\text{с} = 0,67 \text{ л/с}$, що відповідає першій точці на графіку (час 30 с, рис. 2.35). Експериментально встановлена кратність піни $K=8,5$.

Результати моделювання оброблені так само, як і у випадку з мінімальними витратами, і для зручності аналізу накладені на попередні.

На рис. 2.43 представлено графічну залежність вертикальної швидкості пінних струменів із різними об'ємними витратами від координати висоти шару дизельного палива.

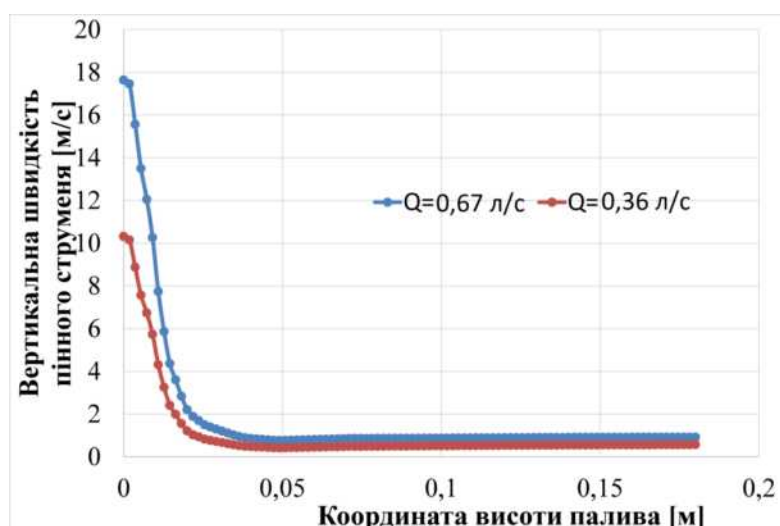


Рис. 2.43. Залежність вертикальної швидкості пінних струменів різної продуктивності від координати висоти дизельного палива

Як видно з рис. 2.43, максимальне значення вертикальної швидкості пінного струменя із вдвічі більшою продуктивністю майже вдвічі більше (17,64 м/с проти 10,32 м/с). Таку невідповідність можна пояснити нелінійною залежністю опору пінопроводу від швидкості протікання піни при турбулентному русі.

На рис. 2.44 представлено графічну залежність інтенсивності турбулентності пінних струменів з різними об'ємними витратами від координати висоти шару дизельного палива в баку.

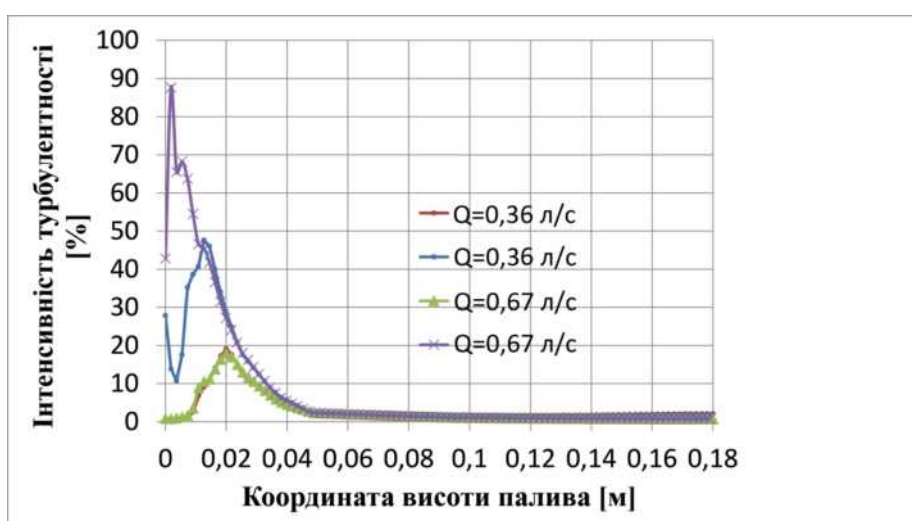


Рис. 2.44. Графічна залежність інтенсивності турбулентності пінних струменів різної продуктивності від координати висоти дизельного палива: червона і зелена лінії – у центральній частині струменя; синя і фіолетова – зміщення на 60 мм ліворуч до максимального значення

Аналіз графічної залежності (рис. 2.44) показує, що інтенсивність турбулентності обох пінних струменів пропорційна їх швидкостям.

Графічну залежність енергії турбулентності пінних струменів різної продуктивності від координати висоти дизельного палива в баку представлено на рис. 2.45.

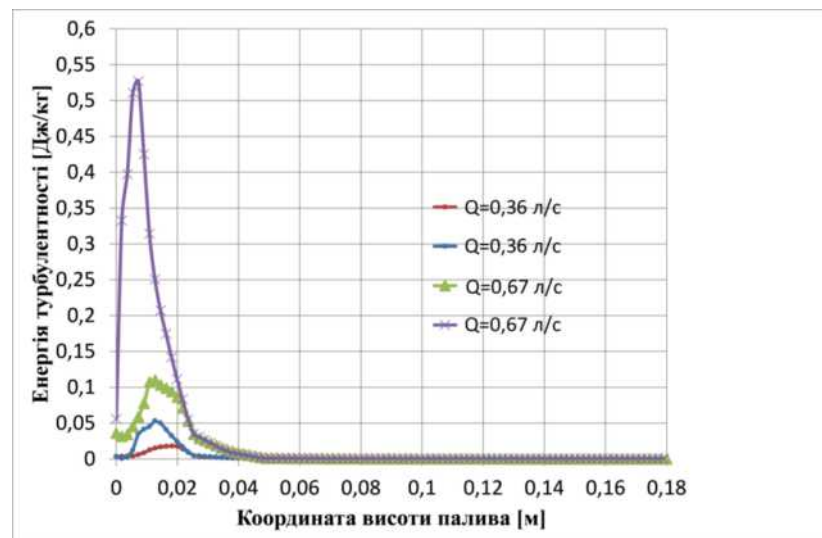


Рис. 2.45. Графічна залежність енергії турбулентності пінних струменів різної продуктивності від координати висоти бака: червона і зелена лінії – зміщення на 60 мм ліворуч до максимального значення; синя і фіолетова – зміщення на 60 мм ліворуч до максимального значення

Як видно з рис. 2.45, максимальні значення енергії турбулентності затоплених пінних струменів не пропорційні максимальним значенням їх швидкостей. Енергія турбулентності пінного струменя із вдвічі більшими витратами майже в 10 разів більша від енергії струменя, об'ємні витрати якого є вдвічі меншими.

З цього можна зробити висновок, що значення енергії турбулентності затопленого пінного струменя є основним чинником руйнування піни.

Враховуючи той факт, що відношення максимальних значень енергії турбулентності пінних струменів близьке до 10 (9,88), а відношення відповідних їм значень товщини піни на поверхні дизельного палива в баку близьке до 3

(2,57), можна зробити висновок про нелінійну залежність між значенням енергії турбулентності пінного струменя та руйнуванням піни в ньому.

Отже ефективною для гасіння пожежі інтенсивність подавання РР ПУ слід забезпечувати необхідною кількістю пінних струменів відповідного діаметра при якомога меншій їх початковій швидкості.

2.2.5.3. Експериментальні дослідження з гасіння модельного вогнища пожежі класу В у фізичній моделі резервуара з дизельним паливом

На основі гіпотез, отриманих з математичної моделі, та експериментів, що описані вище, проводили дослідження з визначення швидкості гасіння дизельного палива плівкоутворювальним ПУ «Барс АFFF» “підшаровим” способом на спроектованій установці (рис. 2.33).

Експериментальні дослідження з гасіння макетної пожежі проводили аналогічно, як на першому етапі (п. 2.2.5.1), але перед подаванням РР ПУ підпалювали дизельне паливо в металевому резервуарі за допомогою факела вручну. Вимірювали проміжок часу від початку подавання РР ПУ до повного гасіння модельного вогнища пожежі. Розраховували кількість використаного РР, кратність піни, а також інтенсивність подавання РР ПУ [65].

Етапи проведення випробування з гасіння макетної пожежі класу В у фізичній моделі резервуара з дизельним паливом зображені на рис. 2.46.

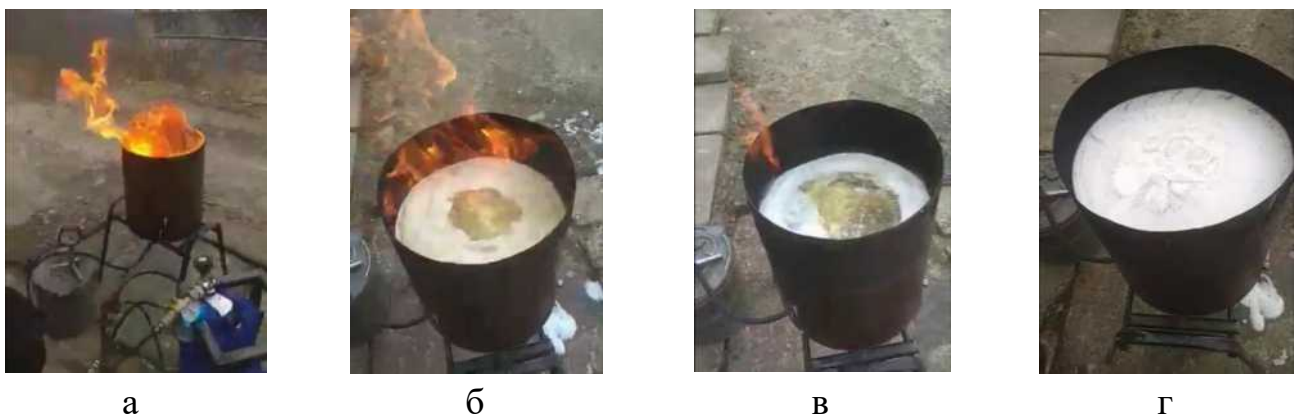


Рис. 2.46. Етапи проведення випробування з гасіння модельного вогнища пожежі класу В у фізичній моделі резервуара з дизельним паливом: а – вільне горіння бензину; б, в – процес “підшарового” гасіння; г – припинення горіння

В результаті експериментальних досліджень було визначено, що під час подавання РР ПУ з декількох пінних струменів, розташованих посередині дна резервуара, гасіння відбувалось швидше, ніж зміщення на 60 мм ліворуч до максимального значення збоку резервуара при аналогічних тисках в лінії. Гасіння модельного вогнища пожежі відбувається ефективніше зміщення на 60 мм ліворуч до максимального значення РР ПУ з декількох пінних струменів, причому межі області пінного струменя не повинні взаємодіяти із стінками резервуара. Таким чином підвищували інтенсивність подавання РР ПУ, не збільшуючи тиск в системі і відповідно не руйнуючи піну. Результати гасіння дизельного палива пінними струменями, що подаються під шар нафтопродукту, подано в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Результати гасіння дизельного палива пінними струменями, що подаються під шар нафтопродукту

№ досліджу	ПУ	$V_{пу}, 10^{-3}, \text{м}^3$	$h_{дп}, \text{м}$	$\tau_{гас}, \text{с}$	$h_{пін}, \text{м}$	$V_{пін}, 10^{-3}, \text{м}^3$	Кратність піни	$P_{вогн}, \text{атм}$	$P_{лінь}, \text{атм}$	Примітка
1.	Барс АFFF	2	0,26	20	0,065	8,06	4,03	2,5	0,4	погашено
2.	Барс АFFF	2	0,26	13	0,06	7,44	3,72	4	0,75	погашено
3.	Барс АFFF	2	0,26	10	0,05	6,2	3,1	5	1	погашено
4.	Барс АFFF	2	0,26	9	0,045	5,58	2,79	6	1,5	погашено
5.	Барс АFFF	2	0,26	8	0,035	4,34	2,17	7	2,5	не погашено

Як видно з табл. 2.1, у разі досягнення великих тисків гасіння не відбувається.

На рис. 2.47 зображено графічну залежність тривалості гасіння ДП від тиску в лінії трубопроводів.

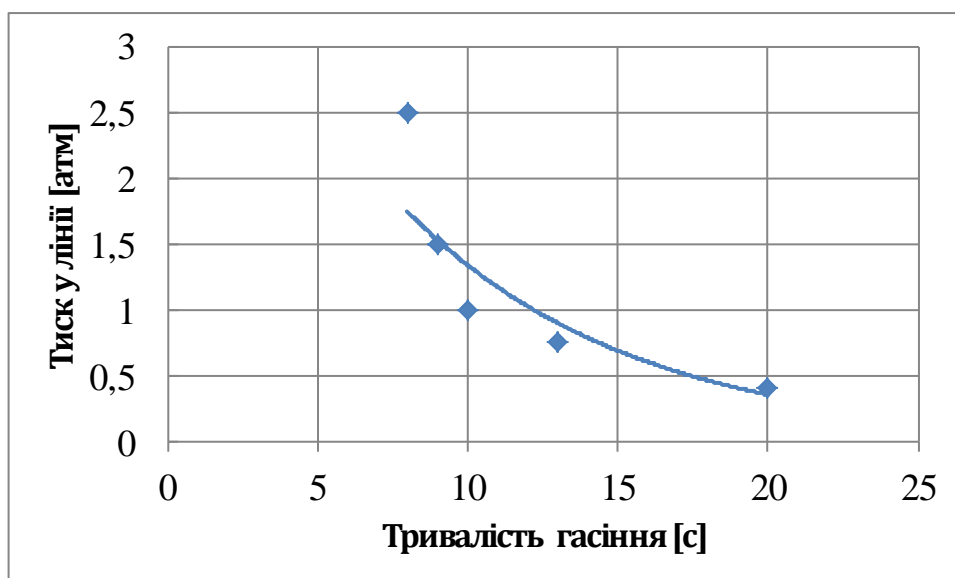


Рис. 2.47. Графічна залежність тривалості гасіння ДП від тиску в лінії

Як видно із рис. 2.47, тривалість гасіння ДП зменшується із зростанням тиску, а у разі досягнення в лінії тиску 2,5 атмосфер гасіння не відбулося. Також з графіка видно, що сильне зростання тиску в лінії від 1 до 1,5 атмосфер незначно пришвидшило гасіння (з 10 до 9 секунд). Причиною є руйнування піни через значну енергію турбулентності, що є силовим фактором руйнування пінного струменя.

Графічну залежність висоти пінного шару від тиску в лінії представлено на рис. 2.48.

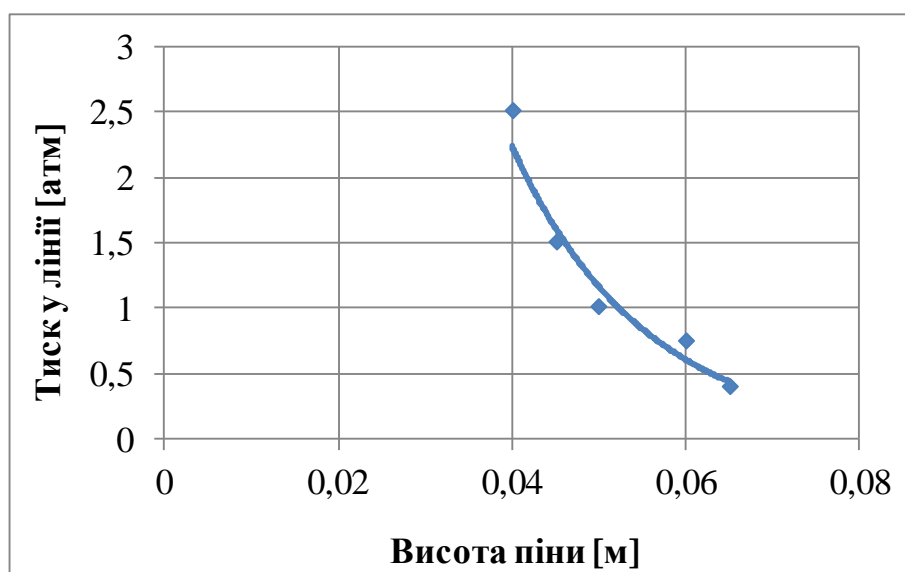


Рис. 2.48. Графічна залежність висоти пінного шару від тиску в лінії

Аналіз графічної залежності (рис. 2.48) показує, що із збільшенням тиску висота шару піни, що утворюється на поверхні ДП, зменшується. Це також доводить, що за високого тиску піна руйнується більш інтенсивно внаслідок значної енергії турбулентності струменів РР ПУ [24].

2.3. Висновки

1. Встановлено, що математична модель руху затопленого невіЛЬНОГО пінного струменя в середовищі нафтопродукту адекватно описує реальні фізичні процеси. Рух затопленого пінного струменя в середовищі нафтопродукту характеризується значним згасанням його початкової швидкості із подальшим її зростанням завдяки сили Архімеда.

2. Виявлено, що рух затопленого пінного струменя в резервуарі із нафтопродуктом характеризується значним згасанням від 36 до 1,5 м/с його початкової швидкості. Значення, до якого згасає швидкість струменя, не залежить від значення його початкової швидкості.

3. Підтверджено, що високі значення початкової швидкості струменя призводять до руйнування піни. Збільшення початкової швидкості пінного струменя із 10 до 18 м/с призводить до 50 % втрати піни.

4. Виявлено, що зменшення початкової швидкості пінного струменя при заданій інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів слід здійснювати збільшенням відповідної кількості пінних струменів із початковою швидкістю в діапазоні від 2 до 3 м/с.

5. Встановлено, що пінні струмені слід розміщувати по колу такого радіуса, при якому зберігався б їх взаємний вплив, а швидкість збірного пінного струменя не перевищувала б рекомендованих для конкретного нафтопродукту максимальних значень (3 або 6 м/с). Це призводить до покращення стійкості руху збірного струменя, зменшення руйнування піни в процесі її переміщення та недопущення виносу нафтопродукту на поверхню горіння.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ “ПІДШАРОВОГО” ГАСІННЯ РЕЗЕРВУАРІВ З НАФТОПРОДУКТАМИ

3.1. Визначення вогнегасної ефективності вітчизняних піноутворювачів під час “підшарового” гасіння нафтопродуктів

3.1.1. Методика визначення вогнегасної ефективності під час “підшарового” гасіння нафтопродуктів

Для визначення вогнегасної ефективності піни, генерованої з РР ПУ загального і спеціального призначення вітчизняного виробництва при “підшаровому” гасінні резервуарів спроектовано експериментальну установку, а також розроблено методику проведення випробувань (рис. 3.1).

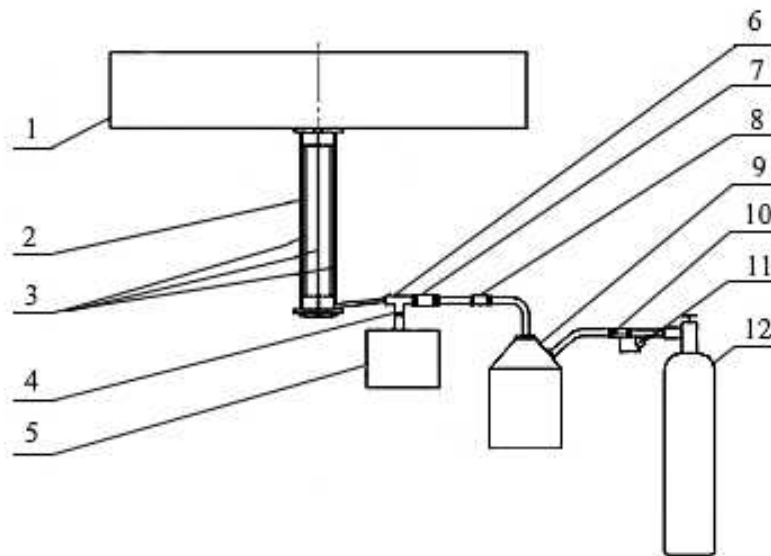


Рис. 3.1. Установка для випробування ПУ для “підшарового” способу гасіння нафтопродуктів УПШГ-1:

- 1 – деко; 2 – скляна колба; 3 – стягуючі штанги; 4 – кран зливу нафтопродукту; 5 – резервуар для зливу нафтопродукту; 6 – трійник; 7 – зворотний клапан; 8 – кран подавання РР ПУ; 9 – резервуар з РР ПУ; 10 – редуктор; 11 – манометр; 12 – балон зі стиснутим повітрям або інертним газом

Розміри установки УПШГ-1:

- висота борта дека – 200 мм;

- діаметр дека – 1100 мм;
- висота скляної колби – 500 мм;
- діаметр скляної колби – 50 мм.

Випробування проводять на відкритому повітрі за швидкості вітру поблизу модельного вогнища не більше 3 м/с і температури навколишнього середовища 10-25°C, температури РР ПУ $(17,5 \pm 2,5)^\circ\text{C}$ і температури нафтопродукту $(17,5 \pm 2,5)^\circ\text{C}$ [35].

Готують 6% РР ПУ загального або спеціального призначення в кількості 10 л. Щоб уникнути інтенсивного спінювання, готують РР ПУ, заливаючи розрахункову кількість води та ПУ у вогнегасник, ретельно перемішують. Встановлюють запірно-пускову арматуру.

Деко модельного вогнища встановлюють на рівній площині землі та заливають у нього воду і нафтопродукт у кількості по 10 літрів.

Відкриваємо вентиль редуктора і встановлюють тиск повітря у вогнегаснику.

Підпалювання нафтопродукту в деку проводять за допомогою факела вручну.

На першому етапі випробувань підпалюють ДП. Після охоплення полум'ям всієї площі поверхні ДП, чекають ще 60 секунд і починають гасіння. Визначають проміжок часу від початку подавання РР ПУ до повного гасіння [28, 76].

Закривають вентиль балона і скидають тиск у корпусі вогнегасника.

Вимірюють залишок РР ПУ, що залишився у корпусі вогнегасника та розраховують кількість використаного РР ПУ, витрату, а також інтенсивність подавання РР ПУ.

Повторюють випробування за різних тисків, а також для різних видів ПУ.

На другому етапі випробувань аналогічні експериментальні дослідження проводять для бензину.

Якщо гасіння було успішним, проводимо додаткове дослідження на визначення імовірності повторного займання. Для цього відкритий тигель з полум'ям розміщують в деко і чекають протягом 120 секунд.

Під час проведення випробувань необхідно забезпечити виконання правил безпеки праці, затверджених [46, 71].

Результати досліджень записують у табл. 3.1 [29].

Таблиця 3.1

Результати експериментальних досліджень гасіння ПУ загального і спеціального призначення

№ досліджу	ПУ	V, л	$\tau_{\text{гас}},$ с	$S_{\text{гас}},$ м ²	P, атм	Q, л/с	I, л/м ² ·с ⁻¹	Примітка
1.								
2.								

3.1.2. Експериментальні дослідження вогнегасної ефективності під час “підшарового” гасіння нафтопродуктів

За методикою, описаною в документі [29] та у п. 3.1.1, проведено експериментальні дослідження з гасіння ДП (табл. 3.2) та бензину (табл. 3.3).

У випробуваннях використано РР ПУ загального і спеціального призначення з концентрацією 6%.

Результати дослідів гасіння ДП представлені у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Результати експериментальних досліджень гасіння ДП піною, генерованою з РР ПУ загального і спеціального призначення

№ досліджу	ПУ	V, л	$\tau_{\text{гас}},$ с	$S_{\text{гас}},$ м ²	P, атм	Q, л/с	I, л/м ² ·с ⁻¹	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Барс AFFF	9	155	0,95	1	0,058	0,061	не погашено

Продовж. табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.	Барс АFFF	9	150	0,95	1,5	0,06	0,077	погашено
3.	Барс АFFF	8,5	115	0,95	3	0,074	0,078	погашено
4.	Барс АFFF	7,5	75	0,95	4	0,1	0,105	погашено
5.	Барс АFFF	6,835	56	0,95	5	0,1225	0,129	погашено
6.	Барс АFFF	5,8	38	0,95	6	0,1525	0,16	погашено
7.	ППЛВ- (Універсал)	9	140	0,95	1,3	0,064	0,068	не погашено
8.	ППЛВ- (Універсал)	9	120	0,95	1,5	0,075	0,079	погашено
9.	Барс S-1	7,6	48	0,95	6	0,158	0,165	погашено
10.	Бар'єр	7,92	48	0,95	6	0,165	0,174	погашено
11.	Альпен	7,7	48	0,95	6	0,16	0,169	погашено

Для гасіння ДП інтенсивність подавання РР ПУ загального призначення становила від $0,165 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ до $0,174 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ за тиску 6 атмосфер.

Для плівкоутворювальних ПУ гасіння відбувалось за тиску подавання від 1 атм до 6 атм. Гасіння не було досягнуто за інтенсивності подавання $0,061 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ і тиску 1 атм для «Барс АFFF» та $0,068 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ і тиску 1,3 атм для ПУ «ППЛВ-(Універсал)».

Найнижча інтенсивність подавання РР ПУ, за якої було погашено вогнище становила $\sim 0,08 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ за тиску 1,5 атм, що на $0,03 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ більше від нормативної, зазначеної у вітчизняних документах [14, 47].

На рис. 3.2 можна побачити залежність витрати ПУ «Барс АFFF» від тиску в системі. Як бачимо на графіку, у разі збільшенні тиску в системі витрата ПУ зростає [19].

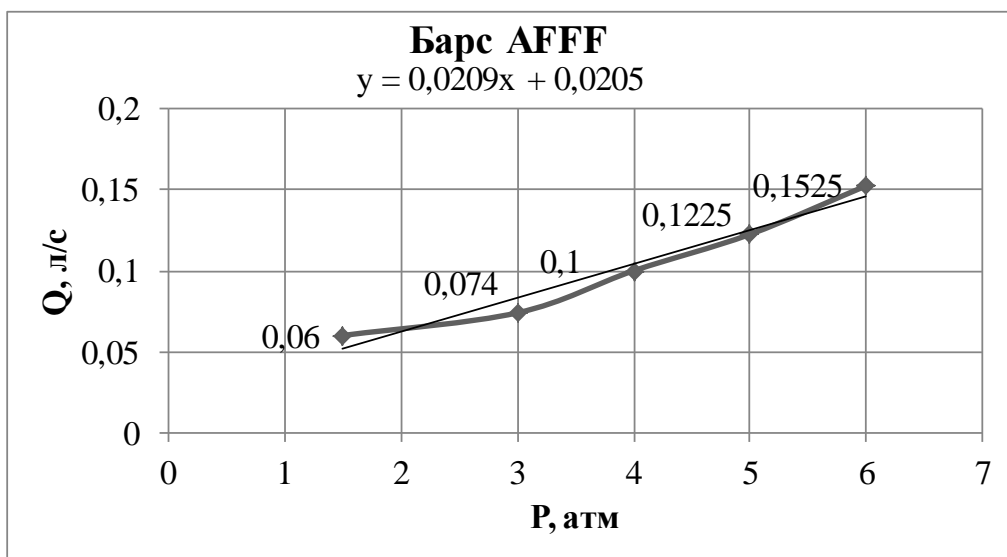


Рис. 3.2. Залежність витрати ПУ «Барс АFFF» від тиску в системі «підшарового» гасіння резервуара з ДП для експериментальної установки УПШГ-1

З параболічної залежності (рис. 3.3), яка отримана на підставі розрахунків бачимо, що тривалість гасіння зростає зі зменшенням інтенсивності подавання РР ПУ «Барс АFFF» [19].

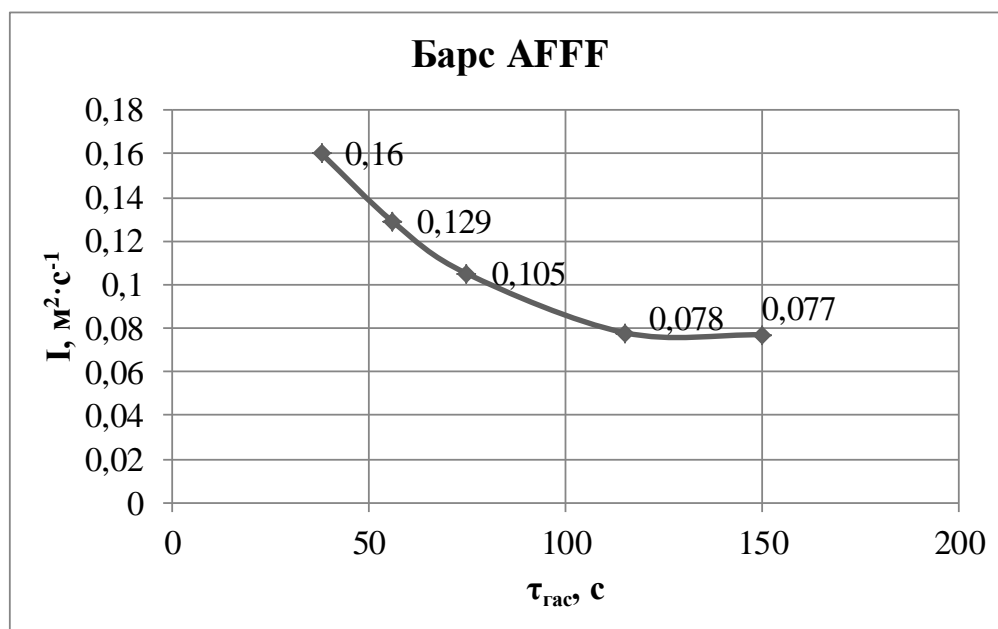


Рис. 3.3. Залежність інтенсивності подавання РР ПУ «Барс АFFF» від тривалості гасіння резервуара з ДП

Етапи гасіння бензину марки А-92 на установці УПШГ-1 “підшаровим” способом представлено на рис. 3.4.



а)

б)

в)

Рис. 3.4. Етапи гасіння бензину на установці УПШГ-1 “підшаровим” способом: а – вільне горіння бензину; б – процес “підшарового” гасіння; в – припинення горіння

Результати дослідів з гасіння бензину марки А-92 представлено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Результати експериментальних досліджень гасіння бензину марки А-92 піною, генерованою з РР ПУ загального і спеціального призначення

№ дослідю	ПУ	V, л	$\tau_{\text{гас}}$, с	$S_{\text{гас}}$, м ²	P, атм	Q, л/с	I, л/м ² ·с ⁻¹	Примітка
1.	Софір	10	100	0,95	6	0,1	0,105	не погашено
2.	Софір	8,5	65	0,95	8	0,131	0,138	погашено
3.	Барс S-1 м	10	98	0,95	6	0,102	0,107	не погашено
4.	Барс S-1 м	5,5	43	0,95	8	0,128	0,135	погашено
5.	Барс AFFF	9,25	100	0,95	5	0,0925	0,097	погашено
6.	Барс AFFF	8,1	85	0,95	6	0,095	0,1	погашено
7.	Барс AFFF	6,8	69	0,95	7	0,099	0,104	погашено
8.	Барс AFFF	2,9	27	0,95	8	0,107	0,113	погашено
9.	Барс AFFF	3	25	0,95	10	0,12	0,126	погашено

Як видно з таблиці 3.3, за тиску в системі 6 атмосфер піна, генерована з РР ПУ загального призначення, не погасила бензин, що горів. Полум'я було успішно ліквідоване лише за тиску 8 атмосфер та інтенсивності подавання РР

ПУ $0,135 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, що на $0,055 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ більша за нормативну, зазначену в документах [14, 47].

При використанні ПУ спеціального призначення «Барс АFFF» мінімальна інтенсивність подавання РР ПУ становила $\sim 0,1 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, що на $0,02 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ більша за нормативну, зазначену у документах [14, 47].

Для успішного гасіння полум'я ПУ «Барс АFFF» достатньо було 5 атмосфер, на відміну від 8 атмосфер – у разі використання ПУ загального призначення. Це пов'язано з тим, що фторсинтетичні плівкоутворювальні ПУ типу АFFF містять фторвуглеводний компонент, який надає піні інертності до вуглеводних речовин, що значно зменшує імовірність забруднення піни нафтопродуктами. Крім цього, фторвуглеводний компонент знижує поверхневий натяг водного розчину ПУ до величини меншої, ніж у нафтопродуктів. Внаслідок цього плівка розчину, яка виділяється з піни, розтікається поверхнею горючої речовини і значно зменшує швидкість її випаровування [7, 19].

На рис. 3.5 представлено параболічну залежність, яка демонструє: що більша інтенсивність подавання РР ПУ «Барс АFFF», то менша тривалість гасіння [19].

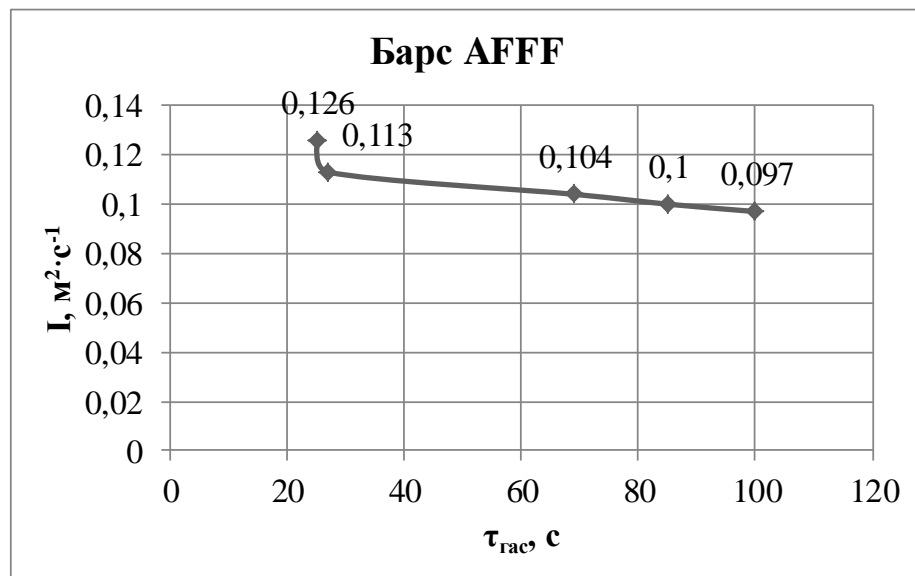


Рис. 3.5. Залежність інтенсивності подавання РР ПУ «Барс АFFF» від тривалості гасіння резервуара з бензином марки А-92

На поданому нижче графіку зображено прямолінійну залежність між тиском і витратою РР ПУ «Барс АFFF» (рис. 3.6) [19].

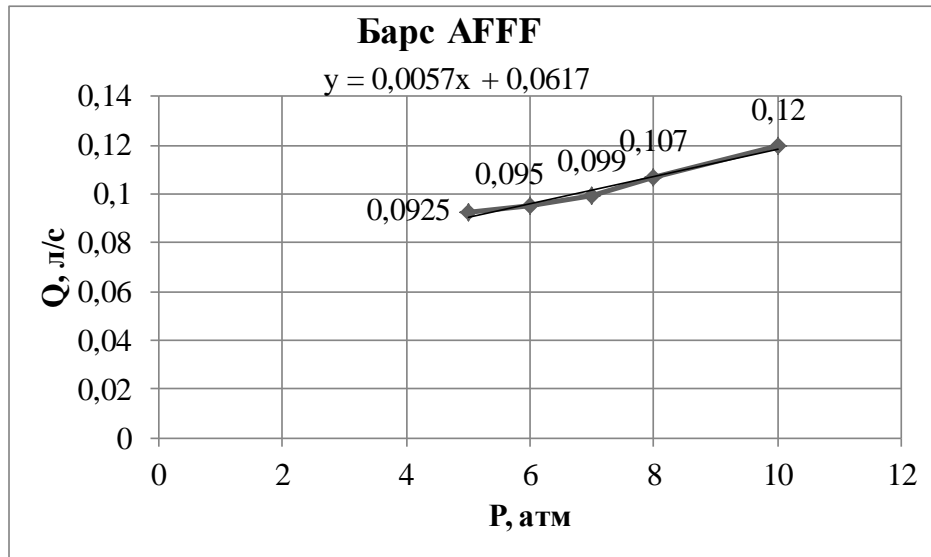


Рис. 3.6. Залежність витрати ПУ «Барс АFFF» від тиску в системі «підшарового» гасіння резервуара з бензином марки А-92 для експериментальної установки УПШГ-1

Під час експериментів на бензині визначено, що стійкість піни на основі ПУ загального призначення становила до 6 хвилин, а на основі плівкоутворювального ПУ – більше 12 хвилин [19]. Особливістю плівкоутворювального ПУ є запобігання повторному займанню нафтопродукту після часткового руйнування піни. Стійкості такої піни достатньо, щоб були охолоджені металеві елементи до температури, за якої неможливе повторне займання нафтопродукту [60].

Процес проведення дослідів на можливість повторного займання бензину зображено на рис. 3.7.



Рис. 3.7. Фрагмент процесу проведення випробування на можливість повторного займання бензину

3.2. Визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту

3.2.1. Методика визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту

Для досліду спроектовано експериментальну установку УВШПП-1, яку зображено на рис. 3.8.

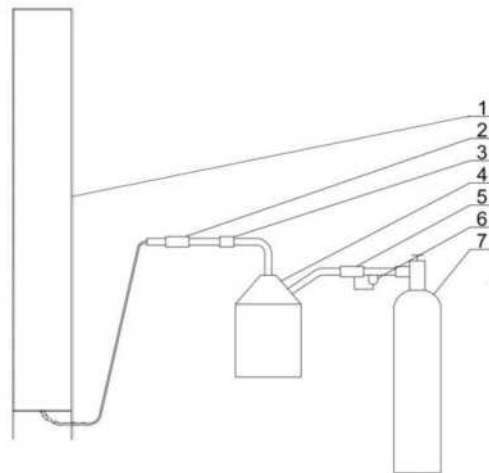


Рис. 3.8. Установка для визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту УВШПП-1:

1 – скляна колба; 2 – зворотний клапан; 3 – кран подавання РР ПУ;
4 – резервуар з РР ПУ; 5 – редуктор; 6 – манометр; 7 – балон зі стиснутим повітрям або інертним газом

Випробування проводять на відкритому повітрі.

Готують 6% РР плівкоутворювального ПУ вітчизняного виробництва у кількості 2 л. Щоб уникнути інтенсивного спінювання, готують РР ПУ, заливаючи розрахункову кількість води та ПУ у вогнегасник і ретельно перемішують.

Встановлюють запірно-пускову арматуру.

Скляну трубу встановлюють на горизонтальній поверхні землі та заливають до неї нафтопродукт у кількості 15 літрів.

Вимірюють висоту шару нафтопродукту.

Відкривають вентиль редуктора і встановлюють тиск повітря у вогнегаснику.

Подають РР ПУ в дно скляної труби.

Проміжок часу від початку подавання піни до її появи на поверхні нафтопродукту вимірюють секундоміром.

Товщину піни на поверхні нафтопродукту вимірюють металевою лінійкою після повного закінчення її подавання.

Вимірюють залишок РР ПУ у вогнегаснику.

Розраховують об'єм піни, що утворилась ($V_{\text{піни}}$).

Кратність піни визначають за формулою (2.8).

Розраховують витрату РР ПУ (Q), а також швидкість підйому піни ($v_{\text{підй}}$).

Під час проведення випробувань необхідно забезпечити виконання правил безпеки праці, затверджених [46].

Результати записують в таблицю 3.4 [63].

Таблиця 3.4

Результати експериментальних досліджень з визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту

№ досліджу	ПУ	$P_{\text{под}}$, атм	Q , л/с	$v_{\text{підй}}$, м/с
1.				
2.				

3.2.2. Експериментальне дослідження швидкості підйому піни низької кратності крізь шар дизельного палива

За методикою, викладеною у п. 3.2.1 та в документі [63], експериментально визначено швидкість підйому піни низької кратності крізь шар ДП.

Результати записано в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Результати експериментальних досліджень з визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар ДП

№ досліджу	ПУ	$P_{\text{под, атм}}$	$Q, \text{ л/с}$	$v_{\text{підй, м/с}}$
1.	Барс АFFF	1	0,028	0,138
2.	Барс АFFF	1,5	0,045	0,163
3.	Барс АFFF	2	0,055	0,183
4.	Барс АFFF	3	0,059	0,2
5.	Барс АFFF	3,5	0,065	0,225

Процес проведення випробування зображено на рис. 3.9.



Рис. 3.9. Процес випробування з визначення швидкості підйому піни крізь шар нафтопродукту

Кратність піни становила 3-4.

На графіку (рис. 3.10) можна побачити залежність швидкості підйому піни низької кратності крізь шар ДП від тиску в системі. Зі збільшенням тиску в системі швидкість підйому піни зростає.

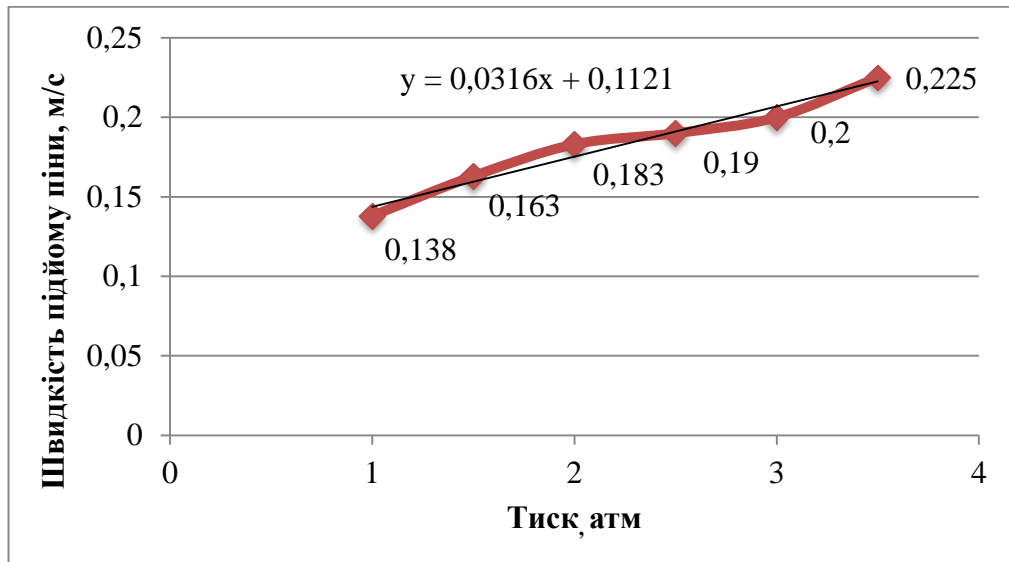


Рис. 3.10. Залежність швидкості підйому піни низької кратності крізь шар ДП від тиску в системі експериментальної установки УВШПП-1

Залежність швидкості підйому піни низької кратності крізь шар ДП від тиску в системі є пропорційною [21].

3.3. Визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин

3.3.1. Методика експериментальних досліджень з визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин

Дослідження з визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин проводяться гравіметричним методом, який описано в нормативних документах [34, 64] і який полягає у визначенні середньої швидкості втрати маси металевих пластини марки СтЗ, занурених у корозійне середовище протягом 30 діб.

Ще один метод визначення корозійної стійкості описаний в документі [78]. Його особливістю є проведення випробувань в динамічних умовах в апаратах для випробувань за атмосферного і підвищеного тиску.

Згадані вище методики визначення корозійної активності описані в нормативних документах, які затверджені ще в СРСР. Тому необхідно оновити та удосконалити вітчизняну нормативну базу, яка стосується цієї проблематики, а також здійснювати адаптацію та апробацію європейських методик [20].

У випробуваннях використано методику [74], яку вдосконалено – додано експериментальні дослідження з визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин за змінної температури [66]. Суть методу випробувань полягає в експериментальному визначенні середньої швидкості втрати маси з одиниці площі металевих пластин під час їх експонування у водному розчині вогнегасної речовини.

Умови проведення випробувань:

- температура повітря від 15 °С до 25 °С;
- атмосферний тиск від 84 кПа до 106 кПа;
- відносна вологість повітря від 30 % до 95 %;
- температура досліджуваних розчинів від 17 °С до 23 °С.

Готують скляні циліндричні посудини та металеві пластини з розрахунку по 2 пластини на кожну посудину. Скляні посудини промивають дистильованою водою і споліскують розчином, що досліджується. Визначають об'єм розчину, який необхідно залити в скляні посудини, щоб він покрив підвішені пластини до половини їх висоти.

Металеві пластини шліфують шкуркою, промивають ацетоном і протирають шліфувальним папером. Нумерують пластини, зважують, записують номери пластин, значення їх маси та номери посудин. Заливають досліджуваний розчин у посудини.

Випробування І. Пластини підвішують на підставки за допомогою гачків, опускають підставки з пластинами у скляні посудини з досліджуваним розчином і герметично закривають кришкою (рис. 3.11).

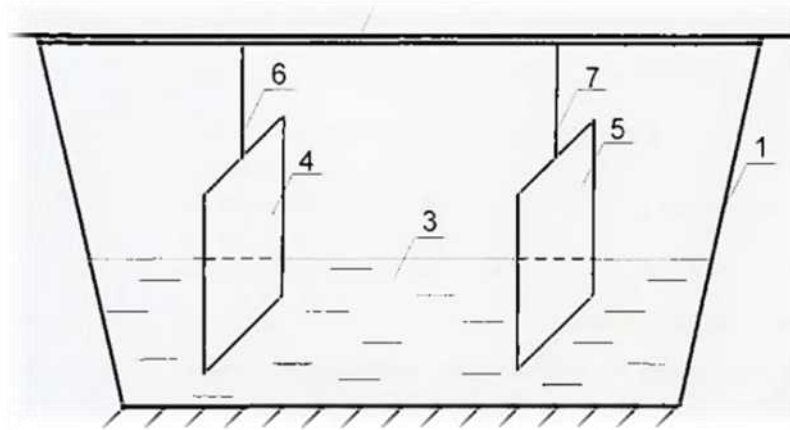


Рис. 3.11. Схема розташування пластин у досліджуваному розчині
 1 – ексікатор (посудина); 2 – кришка; 3 – водний розчин; 4, 5 – пластини;
 6, 7 – гачки для підвішування пластин

Після витримки пластин у розчині вогнегасної речовини протягом 30 діб визначають втрату маси пластин. Для цього виймають їх з посудини, промивають водою і проводять травлення, повністю занурюючи пластини в 10 % розчин виннокислого амонію або виннокислого натрію на 1,5-2 години. Пластини знову промивають дистильованою водою, витирають насухо фільтрувальним папером і зважують.

Визначають величину втрати маси пластини як різницю результатів зважування після обробки (експозиції в досліджуваному розчині і травлення) та перед обробкою.

Площу поверхні контакту пластин з розчином вогнегасної речовини визначають вимірюванням лінійних розмірів тієї частини пластини, яку було занурено в розчин. Повторне використання металевих пластин і розчинів вогнегасних речовин не допускається.

Випробування II. Проводять аналогічно з випробуванням I, але витримка пластин проводиться за змінної температури (табл. 3.6) у шафі-термостаті і в морозильній камері, згідно з ДСТУ 3675-98 [67].

Повна витримка у процесі повного циклу (стадії 1 – 4) не повинна перевищувати 120 год. Загальна тривалість випробування становить вісім температурних циклів.

Таблиця 3.6

Температурні цикли витримки металевих пластин у РР ПУ

Стадія	Тривалість витримки, год	Температура, °С
1	24 ± 1	t _{min}
2	Не менше 24	20 ± 5
3	24 ± 1	60 ± 5
4	Не менше 24	20 5

Обробку результатів проводять візуальним контролем, за яким визначають тип корозії. У випадку суцільної корозії корозійну активність водного розчину вогнегасної речовини оцінюють за величиною середньої питомої швидкості втрати маси пластин, визначеної після експонування в розчині протягом 30 діб.

Середню питому швидкість втрати маси пластини v_n (кг/м²·с⁻¹) розраховують за формулою

$$v_n = \frac{P}{S \cdot \tau} \quad (3.1)$$

де P – втрата маси пластини, кг; S – площа поверхні контакту пластин з розчином вогнегасної речовини, м²; τ – тривалість експозиції пластини в розчині вогнегасної речовини, с [51].

За результат визначення корозійної активності приймають середнє арифметичне значення результатів двох паралельних вимірювань.

Концентрація ПУ у РР ПУ становить 6 %.

Допустима розбіжність між результатами паралельних вимірювань, які отримано за однакових умов випробувань з довірчою імовірністю 0,95, не повинна перевищувати ± 10 % відносно середнього арифметичного значення.

Отримані значення параметрів представлено у вигляді табл. 3.7 [66, 74].

Таблиця 3.7

Результати експериментальних досліджень

№	Назва ПУ	Концентрація ПУ в РР ПУ	Назва інгібітора	Кількість інгібітора корозії у РР ПУ, %	Номер пластин	Швидкість корозії, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Відносна похибка, %	Температура випробування, $^{\circ}\text{C}$
1.								
2.								

3.3.2. Експериментальне дослідження впливу інгібіторів корозії алкілімідозоліну та алкілімідозоліну М на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів

Метою експериментального дослідження було визначення корозійної активності РР ПУ без інгібітора корозії, а також з додаванням інгібіторів корозії алкілімідозоліну та алкілімідозоліну М.

Результати лабораторних досліджень, проведених згідно з методикою, описаною в документі [64] та у п. 3.3.1, наведено в табл. 3.8. Більш детальну таблицю з результатами випробувань представлено в додатку А.

Таблиця 3.8

Результати випробувань з визначення корозійної активності РР ПУ

№	ПУ	Номери пластин	Концентрація ПУ в РР, %	Інгібітор корозії	Кількість інгібітора корозії у РР ПУ, %	Температура випробування	Швидкість корозії, $\cdot 10^{-8} \text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	БАРС S-1	1,2	6	алкілімідозолін М	0,1	змінна	0,68±0,02
2.	БАРС S-1	3,4	6	алкілімідозолін	0,1	змінна	1,12±0,06
3.	БАРС S-1	27, 28	6	—	—	змінна	3,42±0,05

Продовж. табл. 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8
4.	БАРС S-1	5, 6	6	алкілімідозолін М	0,1	кімнатна	0,1±0,01
5.	БАРС S-1	9, 10	6	алкілімідозолін	0,1	кімнатна	0,51±0,02
6.	БАРС S-1	29, 30	6	–	–	кімнатна	1,82±0,05
7.	БАРС АFFF	7, 8	6	алкілімідозолін М	0,1	кімнатна	0,07±0,01
8.	БАРС АFFF	11, 12	6	алкілімідозолін	0,1	кімнатна	0,45±0,02
9.	БАРС АFFF	31, 32	6	–	–	кімнатна	0,84±0,02
10.	Пірена	23, 24	6	алкілімідозолін М	0,1	кімнатна	0,3±0,01
11.	Пірена	25, 26	6	алкілімідозолін	0,1	кімнатна	0,44±0,03
12.	Пірена	33, 34	6	–	–	кімнатна	1,58±0,29

З табл. 3.8 встановлено, що швидкість корозії металевих пластин у РР ПУ з інгібіторами значно менша, ніж корозія у РР ПУ без інгібіторів.

Фото пластин після проведення випробування на корозійну стійкість РР ПУ подано в додатку Б.

Отримані залежності швидкості корозії пластин в РР ПУ різних марок від концентрації інгібітора корозії наочніше представлено на рис. 3.12.

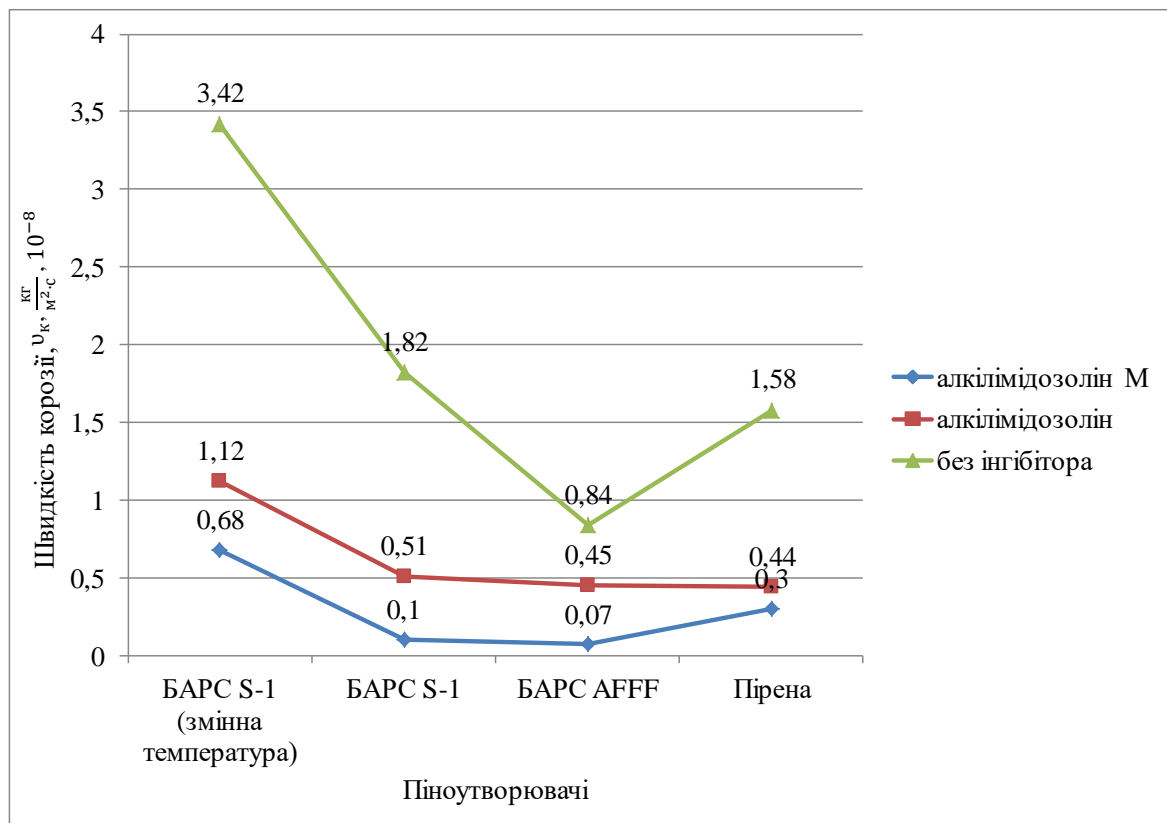


Рис. 3.12. Залежність швидкості корозії пластин в РР ПУ різних марок від концентрації інгібітора корозії

З рис. 3.12 видно, що за підвищеної температури корозійна активність РР ПУ «Барс S-1» значно зростає порівняно з випробуваннями за кімнатної температури (у 1,9-6,8 раза, залежно від виду інгібітору корозії чи його відсутності). Це дає підставу щодо доцільності випробувань за змінних умов, адже температура приміщень, в яких зберігаються готові РР ПУ, може коливатись [23, 52].

Також з аналізу результатів видно, що інгібітор корозії алкілімідозолін М у всіх випробуваннях проявив себе краще, ніж інгібітор корозії алкілімідозолін (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Зміна швидкості корозії металевих пластин у середовищі з інгібітором порівняно з середовищем без інгібітора

№	ПУ	Зменшення швидкості корозії з інгібітором	
		алкілімідозолін	алкілімідозолін М
1.	БАРС S-1 (змінна температура)	у 3,1 раза	у 5 разів
2.	БАРС S-1	у 3,5 раза	у 18,2 раза
3.	БАРС АFFF	у 1,9 раза	у 12 разів
4.	Пірена	у 3,5 раза	у 5,2 раза

Ще одним етапом випробувань була витримка РР ПУ «Пірена» і «Барс S-1» у герметично закритих корпусах вогнегасників протягом 30 діб з додаванням інгібітора корозії алкілімідозоліну М, в результаті чого встановлено, що швидкість корозії зменшується у 1,4–1,7 раза, ніж у відповідних РР ПУ без інгібітора [18, 23].

3.4. Планування експерименту з визначення вогнегасної ефективності піноутворювача «Барс АFFF» під час “підшарового” гасіння бензину марки А-92

Планування експерименту проводилось згідно з [30].

Повним факторним експериментом (ПФЕ) називається такий експеримент, під час реалізації якого визначається значення параметра

оптимізації за всіх можливих поєднаннях рівнів варіювання факторів. Якщо ми маємо справу з k факторами, кожний з яких може встановлюватися на q рівнях, то для того, щоб здійснити повний факторний експеримент, необхідно поставити $N = q^k$ дослідів. Найбільшого розповсюдження набули експерименти, в яких фактори варіюють на двох рівнях, тобто експерименти типу 2^k .

Як відомо, планування, проведення і обробка результатів ПФЕ складається з таких обов'язкових етапів: кодування факторів; складання план-матриці експерименту; рандомізація дослідів; реалізація плану експерименту; перевірка відтворності дослідів; перевірка адекватності лінійної моделі; оцінка значущості коефіцієнтів регресії.

Відповідно до завдань роботи, необхідно встановити функцію відгуку у вигляді лінійної поліноміальної математичної моделі за результатами експериментальних досліджень впливу тиску подавання РР ПУ в установку для «підшарового» гасіння в межах $p = 5 \dots 10$ атм та інтенсивності подавання РР ПУ в межах $I = 0,097 \dots 0,126$ л/м²·с⁻¹ на тривалість τ гасіння бензину.

Кодування факторів необхідне для перетворення натуральних факторів в безрозмірні величини, щоб мати нагоду побудувати стандартну ортогональну план-матрицю експерименту. Для перетворення натуральних змінних в кодові X_i , заповнюють таблицю кодування змінних на двох рівнях (табл. 3.10). Як нульовий рівень факторів зазвичай вибирають центр інтервалу, в якому передбачається вести експеримент.

Таблиця 3.10

Кодування факторів

Інтервал варіювання та рівень факторів	Інтенсивність I , л/м ² ·с ⁻¹	Тиск p , атм
Нульовий рівень, $x_{i0} = 0$	0,1115	7,5
Інтервал варіювання, δ_i	0,0145	2,5
Нижній рівень, $x_i = -1$	0,097	5
Верхній рівень, $x_i = +1$	0,126	10
Кодове позначення	x_1	x_2

Зв'язок між кодовим і натуральним виразом фактора задається формулою

$$X_i = \frac{X_i - x_{i0}}{\delta_i}, \quad (3.2)$$

де X_i – натуральне значення фактора; x_{i0} – значення i -го фактора на нульовому рівні; δ_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Складання план-матриці експерименту здійснюється таким чином: наприклад, для x_1 рівні чергують в кожному досліді, для x_2 – через два досліді, для x_3 паралельних – через чотири і т.д. План-матриця для цього прикладу приведена в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Умови та результати дослідів

Дослід	x_1	x_2	$x_1 x_2$	y_1	y_2	$y_{\text{сеп}} = \frac{y_1 + y_2}{2}$
1	- 1	- 1	+ 1	95	105	100
2	+ 1	- 1	- 1	87	83	85
3	- 1	+ 1	- 1	70	68	69
4	+ 1	+ 1	+ 1	23	31	27

Рандомізація дослідів. Природно, що на проміжок часу до прибуття впливають не тільки x_1 і x_2 , але ще ряд чинників, які можуть бути взагалі невідомі досліднику. Для того, щоб внести елемент випадковості впливу цих факторів на результат експерименту, а це необхідно для обґрунтованого використання апарату математичної статистики, встановлюється випадковий порядок постановки дослідів в часі. Ця процедура і називається рандомізацією. Для її здійснення користуються таблицями випадкових чисел, за допомогою яких виконують нібито витягання номерів з урни. В цьому разі, наприклад, отримали таку послідовність проведення дослідів: 2,4,1,3,2,3,4,1. В цій послідовності кожне поєднання рівнів (номери дослідів) трапляється двічі.

Паралельні досліди передбачаються для оцінки відтворюваності процесу і проведення статистичних оцінок.

Реалізацію плану експерименту представлено в табл. 3.11. Приведений план експерименту є розширеною матрицею, оскільки введено стовпець x_1x_2 , що дозволяє оцінити коефіцієнт регресії у разі взаємодії факторів.

Перевірка відтворюваності дослідів. За однакового числа паралельних дослідів на кожному поєднанні рівнів факторів відтворюваність процесу перевіряється за критерієм Кохрена. Для цього визначали дисперсії розсіювання результатів дослідів за залежністю

$$S_{pi}^2 = \frac{\Delta_i^2}{2}, \quad (3.3)$$

де Δ_i – різниця між двома паралельними дослідями; $\Delta_i = y_{1i} - y_{2i}$.

$$S_{p1}^2 = \frac{(10)^2}{2} = 50; S_{p2}^2 = \frac{(4)^2}{2} = 8; S_{p3}^2 = \frac{(2)^2}{2} = 2; S_{p4}^2 = \frac{(8)^2}{2} = 32.$$

Після цього визначали значення критерія Кохрена,

$$G = \frac{S_{pimax}^2}{\sum_{i=1}^N S_{pi}^2} \leq G_{(0,05;f_n;f_b)}, \quad (3.4)$$

де S_{pi}^2 – дисперсія, яка характеризує розсіювання результатів дослідів на відповідному поєднанні рівнів факторів; S_{pimax}^2 – найбільша з дисперсій у рядках плану (у випадку, якщо всі дисперсії однакові за значенням, за найбільше значення приймають будь-яке одне значення з усіх визначених); $G_{(0,05;f_n;f_b)}$ – табличне значення критерія Кохрена при 5% рівні значущості (табл. 3.12); $f_n = N$ – число незалежних дослідів; $f_b = m - 1$ – число ступенів вільності кожної оцінки; m – число паралельних (повторних) дослідів (в нашому випадку $m=2$).

Тоді

$$G = \frac{50}{50 + 8 + 2 + 32} = 0,5435 < G_{(0,05;4;1)} = 0,9065.$$

Відтворюваність процесу забезпечується.

Визначали дисперсію відтворюваності (похибку дослід)

$$S_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_{pi}^2}{N}, \quad (3.5)$$

тоді

$$S_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_{pi}^2}{N} = \frac{50 + 8 + 2 + 32}{4} = 23.$$

Таблиця 3.12

Значення $G_{(0,05;f_n;f_b)}$

f_n	f_b		
	1	2	3
2	0,9985	0,9750	0,9392
3	0,9669	0,8709	0,7977
4	0,9065	0,7679	0,6841
5	0,8412	0,6838	0,5981
6	0,7808	0,6161	0,5321
7	0,7271	0,5612	0,4800
8	0,6798	0,5157	0,4377

Визначення коефіцієнтів регресії.

У випадку, коли процес відтворюється, розраховували коефіцієнти регресії b_0, b_i, b_{ij}

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_{\text{сер.}i}}{N} = \frac{100 + 85 + 69 + 27}{4} = \frac{281}{4} = 70,25;$$

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N x_1 y_{\text{сер.}i}}{N} = \frac{(-1) \cdot 100 + (+1) \cdot 85 + (-1) \cdot 69 + (+1) \cdot 27}{4} = -14,25;$$

$$b_2 = \frac{\sum_{i=1}^N x_2 y_{\text{сер.}i}}{N} = \frac{(-1) \cdot 100 + (-1) \cdot 85 + (+1) \cdot 69 + (+1) \cdot 27}{4} = -22,25;$$

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^N x_1 x_2 y_{\text{сер.}i}}{N} = \frac{(+1) \cdot 100 + (-1) \cdot 85 + (-1) \cdot 69 + (+1) \cdot 27}{4} = -6,75.$$

В цьому випадку отримано таке рівняння:

$$y = 70,25 - 14,25x_1 - 22,25x_2 - 6,75x_1x_2. \quad (3.6)$$

Перевірка адекватності лінійної моделі виконується за критерієм Фішера.

Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_b^2} \leq F_{(0,05; f_{\text{ад}}; f_b)}, \quad (3.7)$$

де $S_{\text{ад}}^2$ – дисперсія адекватності;

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{\text{сер.}i} - y_{\text{мод.}i})^2}{N - m - 1}, \quad (3.8)$$

де $N=4$ – число незалежних оцінок дисперсії (кількість незалежних дослідів); $m=2$ – число паралельних дослідів (число повторних дослідів); $y_{\text{сер}}$ – середнє значення відгуку в i -му досліді; $y_{\text{мод.}i}$ – розраховане за моделлю значення відгуку в i -му досліді (за залежністю (5)); $F_{(0,05; f_{\text{ад}}; f_b)}$ – критерій Фішера за 5 %-го рівня значущості з числом ступенів вільності дисперсії адекватності; $f_{\text{ад}} = N - m - 1$ та числом ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_b = N$ (табл. 3.13).

$$y_{\text{мод.}1} = 70,25 - 14,25(-1) - 22,25(-1) - 6,75(+1) = 100;$$

$$y_{\text{мод.2}} = 70,25 - 14,25(+1) - 22,25(-1) - 6,75(-1) = 85;$$

$$y_{\text{мод.3}} = 70,25 - 14,25(-1) - 22,25(+1) - 6,75(-1) = 69;$$

$$y_{\text{мод.4}} = 70,25 - 14,25(+1) - 22,25(+1) - 6,75(+1) = 27.$$

Тоді за формулою (3.8)

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_{\text{сер}} - y_{\text{мод.}i})^2}{N - m - 1} = \frac{(0)^2 + (0)^2 + (0)^2 + (0)^2}{4 - 2 - 1} = 0.$$

Критерій Фішера

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_b^2} = \frac{0}{23} = 0.$$

Тобто модель (3.6) адекватна.

Таблиця 3.13

Значення $F_{(0,05;f_{\text{ад}};f_b)}$

$f_b = N$	$f_{\text{ад}} = N - m - 1$	
	1	2
1	161,45	199,5
2	18,513	19,0
3	10,128	9,5521
4	7,7086	6,9443
5	6,6079	5,7861
6	5,9874	5,1433
7	5,5914	4,7374
8	5,3177	4,4590

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії виконується за критерієм Стьюдента. Коефіцієнт вважаємо значущим, якщо виконується нерівність

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05;f_b)} \frac{S_b}{\sqrt{N}} \quad (3.9)$$

де $t_{(0,05;f_b)}$ – табличне значення критерію Стюдента за 5 %-го рівня значущості з числом ступенів свободи $f_b = N$ (табл. 3.14).

Таблиця 3.14

Значення $t_{(0,05;f_b)}$

$f_b = N$	$t_{(0,05;f_b)}$
1	12,71
2	4,30
3	3,18
4	2,78
5	2,57
6	2,45
7	2,36
8	2,31

$t_{(0,05;f_b)} = 2,78$. Тоді

$$\Delta b = 2,78 \frac{\sqrt{23}}{\sqrt{4}} = 6,67.$$

В цьому випадку всі коефіцієнти регресії значущі, тому що вони за модулем більші за значення 6,67. Незначущий коефіцієнт перед чинником означає, що цей чинник не впливає (або впливає незначимо) на параметр оптимізації і тому такий член регресії знімається з математичної моделі, тобто з отриманої емпіричної залежності.

Перетворення рівняння з кодованими факторами у вигляд з натуральними змінними. Для перетворення рівняння (3.6) з кодованими факторами у вигляд з натуральними змінними використовували залежність (3.2). Тоді тривалість гасіння τ дорівнюватиме

$$\tau = 70,25 - 14,25 \frac{I - 0,1115}{0,0145} - 22,25 \frac{p - 7,5}{2,5} - 6,75 \left(\frac{I - 0,1115}{0,0145} \right) \left(\frac{p - 7,5}{2,5} \right),_{XB}$$

$$\tau = 70,25 - \frac{14,25 \cdot I - 1,5889}{0,0145} - \frac{22,25 \cdot p - 166,875}{2,5} - 6,75 \left(\frac{I \cdot p - 7,5 \cdot I - 0,1115 \cdot p + 0,83625}{0,036} \right) =$$

$$70,25 - 982,7586 \cdot I + 109,5793 - 8,9 \cdot p + 66,75 - 6,75 \cdot (27,7778 \cdot I \cdot p - 208,3333 \cdot I - 3,0972 \cdot p + 23,2292) = 246,5793 - 982,7586 \cdot I - 8,9 \cdot p -$$

$$187,5 \cdot I \cdot p + 1406,2498 \cdot I + 20,9061 \cdot p - 156,7971 = 89,7822 + 423,4912 \cdot I + 12,0061 \cdot p - 187,5002 \cdot I \cdot p.$$

В кінцевому вигляді модель для визначення тривалості гасіння бензину “підшаровим” способом залежно від тиску в системі і від інтенсивності подавання РР ПУ

$$\tau = 89,78 + 423,49 \cdot I + 12,01 \cdot p - 187,50 \cdot I \cdot p.$$

На підставі отриманої залежності графічні залежності будуть:

- 1) $\tau = f(I)$ за p на нульовому рівні ($p = 7,5$ атм).
- 2) $\tau = f(p)$ за I на нульовому рівні ($I = 0,1115$ л/м²·с⁻¹).

Кількість точок на графіку для отриманих залежностей:

$$N_1 = \sqrt{\frac{I_{max}}{I_{min}}} + 3 = \sqrt{\frac{0,126}{0,097}} + 3 = 4;$$

$$N_2 = \sqrt{\frac{p_{max}}{p_{min}}} + 3 = \sqrt{\frac{10}{5}} + 3 = 4.$$

Крок для отриманих залежностей:

$$K_1 = \frac{I_{max} - I_{min}}{N_1 - 1} = \frac{0,126 - 0,097}{4 - 1} = 0,0097 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)};$$

$$K_1 = \frac{p_{max} - p_{min}}{N_2 - 1} = \frac{10 - 5}{4 - 1} = 1,67 \text{ атм.}$$

Складені дані для отриманих залежностей:

$$\begin{aligned} 1) \quad I_1 &= 0,097 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}); \\ I_2 &= 0,1067 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}); \\ I_3 &= 0,1164 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}); \\ I_4 &= 0,126 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}). \end{aligned}$$

$$\tau_{11} = 89,78 + 423,49 \cdot 0,097 + 12,01 \cdot 7,5 - 187,50 \cdot 0,097 \cdot 7,5 = 84,5 \text{ с};$$

$$\tau_{12} = 89,78 + 423,49 \cdot 0,1067 + 12,01 \cdot 7,5 - 187,50 \cdot 0,1067 \cdot 7,5 = 74,97 \text{ с};$$

$$\tau_{13} = 89,78 + 423,49 \cdot 0,1164 + 12,01 \cdot 7,5 - 187,50 \cdot 0,1164 \cdot 7,5 = 65,43 \text{ с};$$

$$\tau_{14} = 89,78 + 423,49 \cdot 0,126 + 12,01 \cdot 7,5 - 187,50 \cdot 0,126 \cdot 7,5 = 56 \text{ с}.$$

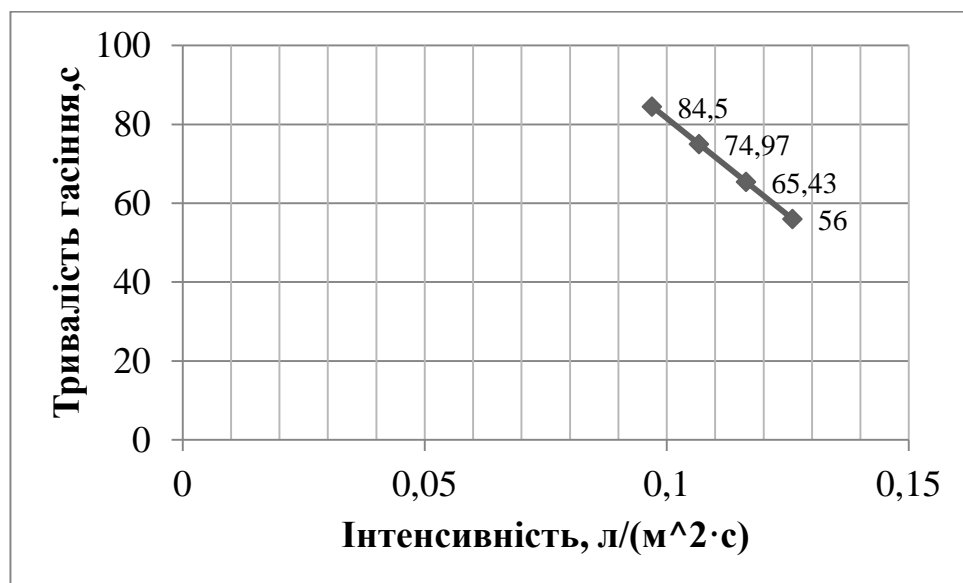


Рис. 3.13. Залежність тривалості гасіння (τ) від інтенсивності подавання РР ПУ (I)

$$\begin{aligned} 2) \quad p_1 &= 5 \text{ атм}; \\ p_2 &= 6,67 \text{ атм}; \\ p_3 &= 8,34 \text{ атм}; \\ p_4 &= 10 \text{ атм.} \end{aligned}$$

$$\tau_{21} = 89,78 + 423,49 \cdot 0,1115 + 12,01 \cdot 5 - 187,50 \cdot 0,1115 \cdot 5 = 92,5 \text{ с};$$

$$\tau_{22} = 89,78 + 423,49 \cdot 0,1115 + 12,01 \cdot 6,67 - 187,50 \cdot 0,1115 \cdot 6,67 = 77,64 \text{ с};$$

$$\tau_{23} = 89,78 + 423,49 \cdot 0,1115 + 12,01 \cdot 8,34 - 187,50 \cdot 0,1115 \cdot 8,34 = 62,77 \text{ с};$$

$$\tau_{24} = 89,78 + 423,49 \cdot 0,1115 + 12,01 \cdot 10 - 187,50 \cdot 0,1115 \cdot 10 = 48 \text{ с}.$$

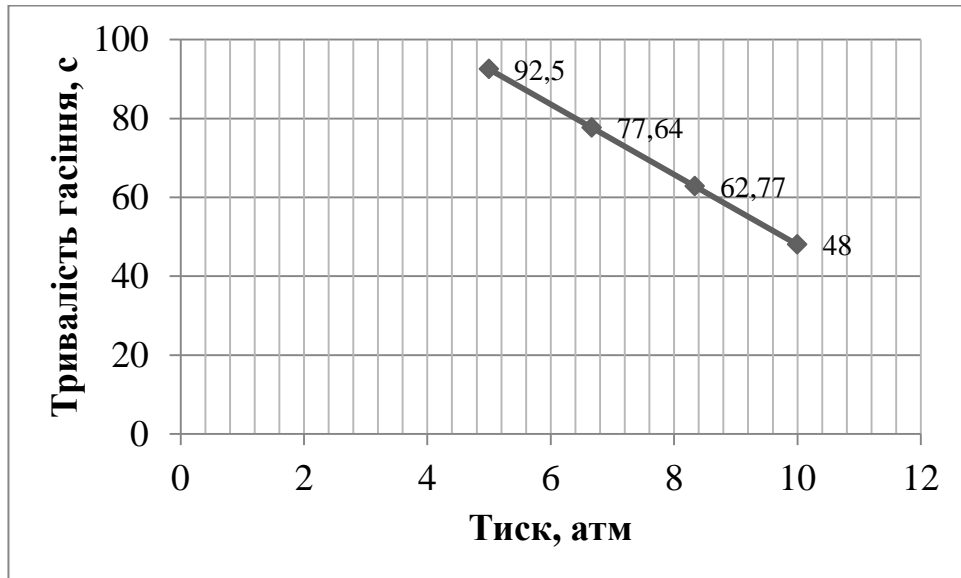


Рис. 3.14. Залежність тривалості гасіння (τ) від тиску подавання РР ПУ (p)

3.5. Висновки

1. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що корозійна активність робочих розчинів піноутворювачів з додаванням інгібіторів корозії алкілімідозоліну і алкілімідозоліну М значно зменшується. Залежно від виду піноутворювача, інгібітор алкілімідозолін зменшує швидкість корозії у 1,9-3,5 рази, а алкілімідозолін М – у 5-18,2 рази.

2. Встановлено, що за змінної (підвищеної) температури корозійна активність робочого розчину піноутворювача «Барс S-1» зростає у 1,9-6,8 разів залежно від інгібітора корозії чи його відсутності у порівнянні з випадком його зберігання за кімнатної температури, що цілком узгоджується з правилом Вант-Гоффа.

3. Витримка робочих розчинів піноутворювачів «Пірена» і «Барс S-1» у герметично закритих корпусах вогнегасників протягом 30 діб з додаванням

інгібітора корозії алкілімідозоліну М показала, що в цьому випадку швидкість корозії зменшується у 1,4-1,7 раза порівняно із зразками без інгібітора.

4. Розроблено експериментальну установку, а також методику проведення випробувань для визначення вогнегасної ефективності піноутворювачів під час “підшарового” гасіння. Експериментально визначено інтенсивності подавання ряду вітчизняних робочих розчинів плівкоутворювальних піноутворювачів для “підшарового” гасіння бензину ($0,1 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) та дизельного палива ($0,08 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) в резервуарах і проаналізовано відповідність їх до нормативних значень. Встановлено, що існуючі вітчизняні нормативні документи потребують змін щодо інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів під час “підшарового” гасіння нафтопродуктів в резервуарах.

5. В результаті експериментів з “підшарового” гасіння бензину встановлено, що стійкість піни на основі піноутворювачів загального призначення становить до 6 хвилин, а на основі плівкоутворювального піноутворювачів – більше 12 хвилин.

6. Під час дослідження швидкості підйому піни крізь шар дизельного палива встановлено, що співвідношення між швидкістю підйому піни низької кратності крізь шар пального і тиском в системі має пропорційну залежність.

7. Згідно з плануванням експериментів, для визначення оптимальної інтенсивності та тиску в “підшаровій” системі подавання робочих розчинів піноутворювачів для гасіння бензину необхідно провести не менше 4 дослідів.

РОЗДІЛ 4 ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Дослідження дизельного палива на можливість використання за призначенням після його гасіння плівкоутворювальними піноутворювачами

У дослідженні перевірено, як змінюється склад дизельного палива після його гасіння піною, генерованою з РР плівкоутворювальних ПУ, щоб на основі результатів зробити висновок, чи можна таке паливо використовувати за призначенням.

Готують зразки ДП для лабораторного дослідження таким чином.

У посудину діаметром 30 см заливають 2,5 літри ДП, підпалюють його і чекають, коли полум'я повністю охопить усю площу дзеркала рідини. У різних дослідах горіння тривало 60, 120, 180 і 240 секунд. Після цього проводять “підшарове” гасіння фторсинтетичним плівкоутворювальним ПУ «Барс АFFF».

Після успішного гасіння зразки зливають у посудини, щоб паливо відділилось від піни і відбирають необхідний зразок ДП.

На лабораторний аналіз відправлено 5 зразків ДП: чистий зразок, а також 4 зразки, які горіли протягом 60, 120, 180, 240 секунд і кодувались: 10, 11, 12, 13, 14 відповідно.

Результати лабораторного аналізу вказані в протоколі випробувань палива дизельного ВЦ ПАТ «Укртатнафта», який представлено в додатку Д.

Усі показники зразків, які піддавались гасінню піною, генерованою з РР ПУ, залишилися в межах допустимої норми, згідно з [38].

З отриманих результатів можна зробити висновок, що ДП, яке горіло та яке гасили піною, генерованою з РР плівкоутворювального ПУ, можна використовувати за призначенням. Це має неабияке практичне і економічне значення для нафтової промисловості [22]. Зазначене твердження справедливе принаймні для випадків його гасіння стаціонарними системами, коли проміжок часу від моменту займання до спрацьовування системи пожежогасіння і, відповідно, проміжок часу до припинення горіння ДП відносно невеликі.

4.2. Рекомендації до методики розрахунку основних параметрів системи “підшарового” гасіння

Розрахунок сил і засобів для гасіння пожежі є важливим елементом забезпечення протипожежного захисту складів з нафтою та нафтопродуктами.

Пожежогасіння піною низької кратності допускається передбачати для резервуарів під час подавання її РР ПУ в шар нафти або нафтопродукту [14].

Технічні параметри системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами описані у вітчизняних нормативних документах [47, 75], але описана в них методика є однаковою і для “підшарового” гасіння, і для подавання піни на поверхню палива, яке горить.

Пропонується виконувати розрахунок основних параметрів СПГ за допомогою таких формул [7, 25]:

1. Кількість ВПГ, необхідних для гасіння резервуара ($N_{\text{ВПГ}}$, шт.), розраховується за формулою:

$$N_{\text{ВПГ}} = \frac{I_{\text{н}} \cdot S_{\text{г}}}{Q_{\text{ВПГ}}}, \quad (4.1)$$

де $I_{\text{н}}$ – нормативна інтенсивність подавання РР ПУ, л/м²·с⁻¹; $S_{\text{г}}$ – площа гасіння (площа горизонтального перерізу резервуара), м²; $Q_{\text{ВПГ}}$ – витрата РР ПУ через ВПГ, л/с.

Отриманий результат округляють до цілого числа $N_{\text{ВПГ}}$ в більшу сторону.

2. Фактична інтенсивність подавання РР ПУ ($I_{\text{ф}}$, л/м²·с⁻¹) розраховується таким чином:

$$I_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{ВПГ}} \cdot N_{\text{ВПГ}}}{S_{\text{г}}}. \quad (4.2)$$

3. Розрахунковий запас РР ПУ, необхідний для однократного гасіння пожежі в резервуарі ($V_{\text{ррпу}}$, л), визначається за формулою:

$$V_{\text{ррпу}} = I_{\text{ф}} \cdot S_{\text{г}} \cdot t, \quad (4.3)$$

де t – розрахункова (нормативна) тривалість гасіння, с.

4. Розрахунковий запас концентрату ПУ, необхідний для гасіння пожежі в резервуарі ($V_{пу}$, л), визначається таким чином:

$$V_{пу} = \frac{V_{ррпу} \cdot C}{100}, \quad (4.4)$$

де C – концентрація ПУ, % об.

Для отримання та подавання піни низької кратності під шар пального в резервуар можуть використовуватися високонапірні піногенератори типу “ВПГ” та інші високонапірні піногенератори, сертифіковані в Україні. Основні характеристики високонапірних піногенераторів типу “ВПГ” представлені в табл. 4.1 [47].

Таблиця 4.1

Основні параметри піногенераторів типу ВПГ

Найменування параметра	Значення для типорозмірів			
	ВПГ-10	ВПГ-20	ВПГ-40	ВПГ10/30
Робочий тиск перед стволом, МПа (кгс/см ²)	0,6-0,9(6-9)	0,6-0,9(6-9)	0,6-0,9(6-9)	0,6-0,9(6-9)
Кратність піни	Не менше 3	Не менше 3	Не менше 3	Не менше 3
Витрати вогнегасної речовини за концентрації ПУ в РР 6 %, дм ³ /с				
	РР ПУ	10 ± 2	20 ± 3	40 ± 5
	ПУ	0,6	1,2	2,4
	води	9,4	18,8	37,6
				10-30
				0,6-1,8
				9,4-28,2

Описаний розрахунок сил і засобів для гасіння пожеж у резервуарах “підшаровим” способом пропонується ввести у нормативні документи [47, 75, 78].

4.3. Технічні параметри системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом

Згідно з методикою, запропонованою у п. 4.2, представлено розрахунок основних параметрів СПГ для резервуара типу РВС-10000.

Як нафтопродукт використано бензин.

Слід відмітити, що в чинному нормативному документі ВБН В.2.2-58.1-94 [14] запас піноутворювача і води на приготування розчину піноутворювача слід приймати з умови забезпечення трикратної витрати на одну пожежу з врахуванням заповнення розчинопроводів, а розрахункова тривалість гасіння стаціонарних систем слід приймати 10 хв. У новішому нормативному документі ДСТУ Б EN 13565-2:2013 [44] такий запас піноутворювача не передбачається, а тривалість роботи стаціонарної СПГ становить 60 хв.

Рекомендуємо дотримуватись норм, передбачених документом ДСТУ Б EN 13565-2:2013 [44].

1. За формулою (4.1) визначено розрахункову кількість ВПГ, необхідних для гасіння резервуара.

Нормативна інтенсивність подавання РР ПУ вказана в нормативному документі [47] ($0,08 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ – для бензину і $0,05 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ – для ДП), але вона вказана лише для піни низької кратності, без уточнення способу її подавання (в шар пального чи на його поверхню).

Згідно з результатами випробувань, на установці для “підшарового” гасіння (п. 3.1.2) визначено, що інтенсивності подавання РР ПУ для гасіння горіння бензину і ДП становлять $0,1 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ та $0,08 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ відповідно [19].

Діаметр резервуара взято з табличних значень оптимальних розмірів вертикальних і горизонтальних циліндричних резервуарів для РВС-10000 ($D=28,5 \text{ м}$) [14, 50, 87].

У такому випадку площа горизонтального перерізу резервуара:

$$S_{\Gamma} = \frac{3,14 \cdot 28,5^2}{4} = 637,6 \text{ м}^2.$$

Витрату РР ПУ приймали для ВПГ-10 ($Q_{\text{ВПГ}} = 10 \text{ л/с}$).

Після отримання всіх вихідних даних, розрахункова кількість ВПГ:

$$N_{\text{ВПГ}} = \frac{0,1 \cdot 637,6}{10} = 6,4 \approx 7.$$

2. Фактичну інтенсивність подавання РР ПУ визначають за формулою (4.2):

$$I_{\Phi} = \frac{10 \cdot 7}{637,6} = 0,11 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}.$$

3. Розрахунковий запас РР ПУ, необхідний для гасіння пожежі в резервуарі розраховується згідно формули (4.3).

$$V_{\text{ррпу}} = 0,11 \cdot 637,6 \cdot 10 \cdot 60 = 252490 \text{ л.}$$

4. Розрахунковий запас концентрату ПУ, необхідний для гасіння пожежі в резервуарі 6 % РР ПУ ($V_{\text{пу}}$, л), визначають за формулою (4.4):

$$V_{\text{пу}} = \frac{252490 \cdot 6}{100} = 15149,4 \text{ л} = 15,15 \text{ м}^3.$$

Розрахуємо для порівняння ще розрахунковий запас РР ПУ та трикратний запас концентрату ПУ згідно із ВБН В.2.2-58.1-94 [14]. Тоді необхідний для гасіння пожежі в резервуарі запас ПУ згідно з формулами (4.3, 4.4) становитиме:

$$V_{\text{ррпу}} = 0,11 \cdot 637,6 \cdot 10 \cdot 60 = 42081,6 \text{ л};$$

$$V_{\text{пу}} = \frac{42081,6 \cdot 6}{100} = 2525 \text{ л};$$

$$V_{\text{пу}}^3 = 3 \cdot V_{\text{пу}} = 3 \cdot 2525 = 7575 \text{ л} = 7,575 \text{ м}^3.$$

Такі ж розрахунки проведено для інших типів резервуарів, а також різних видів нафтопродукту та тривалостей гасіння [25]. Усі результати представлено в додатку В (табл. В.1).

4.4. Розрахунок загальних витрат піноутворювача для гасіння резервуара РВС-10000

Для порівняння наведемо приклад методики розрахунку сил і засобів для гасіння пожеж у резервуарах, описаної у вітчизняних нормативних документах [47, 75]. Вихідні дані беремо аналогічні минулому прикладу.

1. Кількість генераторів піни середньої кратності (ГПС) для гасіння резервуара:

$$N_{\text{ГПС}} = \frac{S_{\text{рез}} \cdot I_{\text{р}}}{g_{\text{ГПС}}}, \quad (4.6)$$

де $S_{\text{рез}}$ – площа резервуара, який горить, м^2 (для РВС-10000 – $S_{\text{рез}}=637,6 \text{ м}^2$); $I_{\text{р}}$ – інтенсивність подавання РР ПУ на гасіння пожежі в резервуарі $\text{л}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ (як було зазначено вище, нормативні інтенсивності подавання РР ПУ $I_{\text{р}}=0,1 \text{ л}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ для бензину і $I_{\text{р}}=0,08 \text{ л}/\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ для ДП); $g_{\text{ГПС}}$ – витрати ГПС, л/с (для ГПС-600 $g_{\text{ГПС}} = 6 \text{ л/с}$).

Звідси отримано:

$$N_{\text{впг}} = \frac{637,6 \cdot 0,1}{6} = 10,6 \approx 11.$$

2. Необхідний запас ПУ для гасіння пожежі, л:

$$W_{\text{пу}} = N_{\text{гпс}} \cdot g_{\text{гпс}} \cdot \tau_{\text{п.п.}} \cdot K, \quad (4.7)$$

де $\tau_{\text{п.п.}}$ – розрахункова тривалість подавання піни, с (згідно з документом [47] розрахункова тривалість гасіння стволами ГПС для гасіння нафти та нафтопродуктів з температурою спалаху 28°C і нижче становить 50 хвилин); K – коефіцієнт запасу ПУ. Запас ПУ необхідно приймати у кількості, яка дорівнює трикратному запасу ПУ, необхідного для забезпечення подавання піни протягом розрахункової тривалості її подавання [47].

Необхідний запас РР ПУ:

$$W_{\text{пу}} = 11 \cdot 6 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 3 = 594000 \text{ л.}$$

3. Необхідний запас концентрату ПУ для гасіння пожежі в резервуарі:

$$W_{\text{пу}}^{\text{к}} = \frac{W_{\text{пу}} \cdot C}{100}. \quad (4.8)$$

Аналогічно попередньому розрахунку, взято 6% РР ПУ, тоді запас ПУ становитиме:

$$W_{\text{пу}}^{\text{к}} = \frac{594000 \cdot 6}{100} = 35640 \text{ л} = 35,64 \text{ м}^3.$$

Для аналогічної пожежі запас ПУ у разі “підшарового” гасіння, згідно із запропонованою нами методикою, становив 15,15 м³, що більш, ніж у 2 рази менше, ніж для поверхневого гасіння стволами ГПС-600. Це є суттєвою перевагою “пішарового” способу гасіння.

4.5. Рекомендації щодо коригування вітчизняних нормативних документів

Важливою складовою для впровадження результатів наукових досліджень в практику є складання рекомендацій до змін до чинних нормативних документів, таких як інструкції, накази, довідники та інші нормативи щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами, призначені для працівників Державної служби з надзвичайних ситуацій для застосування під час гасіння пожеж у резервуарах, а також під час здійснення організаційно-підготовчих заходів (підготовка особового складу, розробка планів пожежогасіння, проведення пожежно-тактичних навчань тощо).

Основними оперативно-тактичними діями пожежних підрозділів, спрямованими на гасіння пожежі в резервуарах, є:

- розвідка пожежі;
- охолодження резервуара, що горить, та сусідніх резервуарів;
- підготовка та проведення пінної атаки [47].

Рекомендації стосуватимуться оперативно-тактичних дій, пов'язаних з підготовкою та проведенням пінної атаки, оскільки в чинних нормативних документах не нормуються розрахункові витрати засобів пожежогасіння саме під час подавання РР плівкоутворювального ПУ під шар нафтопродукту.

4.5.1. Рекомендації щодо коригування Інструкції щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами: НАПБ 05.035-2004

1) У пункті 5.3.1 розділу 5.3. Нормативні інтенсивності подавання пінних засобів “ДСТУ 3789-98” замінити на “ДСТУ 3789-2015”.

2) Табл. 4.2 (табл.1 пункту 5.3.2) викласти у такій редакції:

Таблиця 4.2

Інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача для гасіння пожеж у резервуарах

Найменування нафтопродукту	Подавання піни під шар	Подавання піни на поверхню		
	Інтенсивність подавання РР фторованого плівкоутворювального ПУ, л/м ² ·с ⁻¹	Інтенсивність подавання РР ПУ спеціального призначення, л/м ² ·с ⁻¹		Інтенсивність подавання РР ПУ загального призначення, л/м ² ·с ⁻¹
	Піна низької кратності	Піна низької кратності	Піна середньої кратності	Піна середньої кратності
Нафта та нафтопродукти з температурою спалаху 28°C і нижче та рідини, які нагріті до температури вищої за температуру спалаху	0,1	0,08	0,08	0,08
Нафта та нафтопродукти з температурою спалаху вище 28°C	0,08	0,05	0,05	0,05

Примітка: Спосіб подавання піни низької кратності під шар нафти (нафтопродукту) може бути застосований тільки для гасіння резервуарів, що обладнані системою “підшарового” гасіння. Для отримання піни необхідно використовувати робочі розчини фторованих плівкоутворювальних піноутворювачів (піноутворювачів спеціального призначення).

У разі гасіння пожеж у резервуарах пінними лафетними стволами необхідно застосовувати піну низької кратності, що утворюється з робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення. Інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача рекомендується приймати не менше 0,11 л/(м²·с) для гасіння нафти та нафтопродуктів з температурою спалаху 28°C і нижче та рідин, які нагріті до температури вищої за температуру спалаху та 0,08 л/(м²·с) для гасіння нафти та нафтопродуктів з температурою спалаху вище

28°C. Не рекомендується застосовувати пінні лафетні стволи як основний засіб, для гасіння пожеж у резервуарах об'ємом понад 3000 м³.

Для гасіння автомобільного палива з добавками ізопропілового або метилового спирту необхідно застосовувати піноутворювачі спеціального призначення. Якщо концентрація спирту в паливі 5 % і більше, інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача рекомендується приймати не менше 0,11 л/(м²·с). Не рекомендується застосовувати пінні лафетні стволи. У разі гасіння газового конденсату піною середньої кратності, що утворюється з робочих розчинів піноутворювачів загального призначення, інтенсивність подавання робочого розчину рекомендується приймати не менше 0,3 л/(м²·с), а у разі гасіння піною, генерованою з робочих розчинів піноутворювачів спеціального призначення, – не менше 0,11 л/(м²·с).

3) Пункт 5.3.4 доповнити:

“Для отримання та подавання піни низької кратності під шар пального в резервуар можуть використовуватися високонапірні піногенератори типу “ВПП” та інші високонапірні піногенератори”.

4.5.2. Рекомендації щодо коригування ВБН В.2.2-58.1-94 «Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа»

1) Пункт 17.2.15 розділу 17.2 Пожежогасіння, організація пожежної охорони доповнити:

“Для систем “підшарового” пожежогасіння інтенсивність подавання розчину піноутворювача слід приймати:

- 0,1 л/с на м² – під час гасіння нафти і нафтопродуктів з температурою спалаху 28 °С і нижче піною низької кратності, генерованою з робочих розчинів плівкоутворювальних піноутворювачів спеціального призначення;

- 0,08 л/с на м² – під час гасіння нафти і нафтопродуктів з температурою спалаху вище 28°C піною низької кратності, генерованою з робочих розчинів плівкоутворювальних піноутворювачів спеціального призначення”.

4.6. Висновки

1. Перевірено, як змінюється склад дизельного палива після його гасіння із застосуванням плівкоутворювальних піноутворювачів, і зроблено висновок, що дизельне паливо, яке гасили з їх застосуванням стаціонарними системами пожежогасіння, можна використовувати за призначенням.

2. Вдосконалено методику розрахунку основних параметрів системи “підшарового” гасіння, оскільки описана у вітчизняних нормативних документах методика [47, 75] є однаковою і для “підшарового” гасіння, і для подавання піни на поверхню резервуара, що горить. Було враховано рекомендовані в роботі інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів, а також технічні параметри системи “підшарового” гасіння рекомендовані у нормативному документі ДСТУ Б EN 13565-2:2013 [44].

3. Проведено розрахунок основних параметрів системи “підшарового” гасіння для резервуара типу РВС-10000, а також виконано аналогічні розрахунки для різних типів резервуарів, видів нафтопродукту та тривалості гасіння, результати яких представлено у вигляді таблиці.

4. Проведено порівняння результатів, отриманих згідно з запропонованою методикою розрахунку основних параметрів системи “підшарового” гасіння, а також згідно з методикою, описаною у вітчизняних нормативних документах. Визначено, що запас ПУ при “підшаровому” гасінні, згідно із запропонованою нами методикою, становив 15,15 м³, що більш, ніж у 2 рази менше, ніж для поверхневого гасіння стволами ГПС-600.

5. Представлено рекомендації щодо коригування нормативних документів: НАПБ 05.035-2004 [47] та ВБН В.2.2-58.1-94 [14], а саме запропоновано інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів для пожежогасіння нафтопродуктів “підшаровим” способом.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішено актуальну науково-технічну задачу з удосконалення технології “підшарового” пожежогасіння в резервуарах для зберігання нафти і нафтопродуктів, зокрема:

1. Розроблено експериментальну установку, а також методику проведення випробувань для дослідження вогнегасної ефективності піноутворювачів під час “підшарового” гасіння. Проведено випробування, в результаті яких встановлено, що інтенсивність подавання робочих розчинів ряду піноутворювачів вітчизняного виробництва для гасіння горіння бензину становить $0,1 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, а для дизельного палива – $0,08 \text{ л/м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$. Визначено, що стійкість піни, генерованої з робочого розчину піноутворювача загального призначення становить до 6 хвилин, а піни, генерованої з робочого розчину плівкоутворювального піноутворювача – більше 12 хвилин. Встановлено, що чинні вітчизняні нормативні документи потребують змін щодо нормативної інтенсивності подавання робочих розчинів піноутворювачів під час “підшарового” гасіння нафти і нафтопродуктів в резервуарах.

2. Удосконалено методику визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин, до якої було додано дослідження за змінної температури навколишнього середовища. За змінної (підвищеної) температури корозійна активність робочих розчинів піноутворювачів «Барс S-1» значно зростає порівняно з випадком їх зберігання за кімнатної температури, а саме в 1,9-6,8 раза залежно від інгібітора корозії чи його відсутності.

3. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що корозійна активність робочих розчинів піноутворювачів з додаванням інгібітора корозії алкілімідозоліну зменшується у 1,9-3,5 раза, а алкілімідозоліну М – у 5-18,2 раза залежно від марки піноутворювача («БАРС S-1», «БАРС АFFF», «Пірена», «Альпен»).

4. Розроблено математичну модель руху затопленого невеликого пінного струменя в середовищі нафтопродукту, яка адекватно описує реальні фізичні процеси, що відбуваються під час “підшарового” гасіння пожеж у вертикальних

сталевих резервуарах. Визначено параметри руху затоплених струменів піни низької кратності в резервуарі з нафтопродуктом, які будуть оптимальними для транспортування піни крізь шар нафтопродукту на його поверхню. Встановлено, що рух затопленого пінного струменя в резервуарі з нафтопродуктом характеризується значним згасанням його початкової швидкості: від 36 м/с до 1,5 м/с із подальшим її зростанням завдяки дії сили Архімеда. Значення, до якого згасає швидкість струменя, не залежить від значення його початкової швидкості. Збільшення початкової швидкості пінного струменя з 10 м/с до 18 м/с призводить до втрати 50 % об'єму піни.

5. Встановлено, що значення енергії турбулентності затопленого пінного струменя є основним чинником руйнування піни. Відношення максимальних значень енергії турбулентності пінних струменів близьке до 10 (9,88), а відношення відповідних їм значень товщини піни на поверхні нафтопродукту в посудині близьке до 3 (2,57), тобто наявна нелінійна залежність між значенням енергії турбулентності пінного струменя та руйнуванням піни в ньому. Необхідну для гасіння пожежі інтенсивність подавання робочого розчину піноутворювача піни слід забезпечувати необхідною кількістю пінних струменів відповідного діаметра при якомога меншій їх початковій швидкості.

6. Встановлено, що зменшення початкової швидкості пінного струменя за заданої інтенсивності подавання слід здійснювати збільшенням відповідної кількості пінних струменів із початковою швидкістю в діапазоні від 2 м/с до 3 м/с. Пінні струмені слід розміщувати вздовж кола такого радіуса, за якого зберігався б їх взаємний вплив, а швидкість збірного пінного струменя не перевищувала б рекомендованих для конкретного нафтопродукту максимальних значень (3 м/с або 6 м/с). Це призводить до підвищення стійкості руху збірного струменя, зменшення руйнування піни в процесі її переміщення та недопущення виносу нафтопродукту з об'єму на поверхню.

7. Встановлено в результаті лабораторних досліджень, що дизельне паливо можна використовувати за призначенням після його гасіння плівкоутворювальними піноутворювачами. Зазначене твердження справедливе

принаймні для випадків його гасіння стаціонарними системами, коли проміжок часу від моменту займання до спрацьовування системи пожежогасіння і, відповідно, проміжок часу до припинення горіння дизельного палива відносно невеликі.

8. Удосконалено методику розрахунку основних параметрів систем пожежогасіння для захисту резервуарів для зберігання нафти і нафтопродуктів, а саме додано розрахунок сил і засобів для “підшарового” способу подавання робочих розчинів піноутворювачів, згідно з якою розраховано технічні параметри для різних типів резервуарів, видів нафтопродукту та тривалості гасіння, а також обґрунтовано зміни та доповнення до вітчизняних нормативних документів [14, 47].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамов, Ю. А., Басманов, А. Е. (2006). *Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в резервуарных парках с нефтепродуктами*. Харьков: АГЗУ.
2. Абрамович, Г. Н. (2011). *Теория турбулентных струй. Репринтное воспроизведение издания 1960 г.* ЭКОЛИТ.
3. Алямовский, А. А. (2011). *Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation*. Москва: ДМК Пресс.
4. Алямовский, А. А. (2012). *SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург.
5. Алямовский, А. А., Собачкин, А. А., Одинцов, Е. В., Харитонович, А. И., Пономарев, Н. Б. (2008). *SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург.
6. Антонов, А. В., Боровиков, В. О., Білошицький, М. В., Цапко, Ю. В., Коваленко, І. О., Слущька, О. М., Рибалко, Т. М., Васильєва, М. В. (2002). *Провести дослідження вогнегасної ефективності півкоутворювальних піноутворювачів в разі подавання їх водних розчинів під шар горючих рідин ("підшарове гасіння")* (ДР 0101U007426). Київ: УкрНДІПБ.
7. Безродный, И. Ф. (Ред.). (2003). *Фторсинтетические пленкообразующие пенообразователи UNISERAL. Рекомендации по использованию пенообразователей UNISERALAF 15-01, UNISERALAF 15-21, UNISERALAF 22*. Москва: ООО «ПТВ-Центр».
8. Безродный, И. Ф., Гилетич, А. Н., Меркулов, В. А., Молчанов, В. П., Швырков, А.Н. (1996). *Тушение нефти и нефтепродуктов*. Москва: ВНИИПО.
9. Блинов, В. И., Худяков, Г. Н. (1961). *Диффузионное горение жидкостей*. Москва: АН СССР.
10. Блинов, В. И., Худяков, Г. Н., Петров, И. И., Реутт, В. Ч. (1958). *О движении жидкости в резервуаре при перемешивании ее струей воздуха*.

Механизм тушения пламени нефтепродуктов в резервуарах (с. 7-22). Москва: Минкоммунхоза РСФСР.

11. Бобков, С. А., Бабурин, А. В., Комраков, П. В. (2014). *Физико-химические основы развития и тушения пожаров*. Москва: Академия ГПС МЧС России.

12. Боровиков, В. О. (2003). Проблемні питання застосування піноутворювачів для гасіння пожеж. *Бизнес и безопасность*, 4, 75-78.

13. Боровиков, В. О. (2014, 1 квітня). Можливі сценарії розвитку пожеж в резервуарах для зберігання нафти і нафтопродуктів. *F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты*. http://security-info.com.ua/articles/?ELEMENT_ID=2375

14. ВБН В.2.2-58.1-94 Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа. (1994).

15. Виноградов, С. А., Шахов, С. М., Присяжнюк, В. В. (2017). Розробка системи пожежогасіння газонаповненою піною. *Проблемы пожарной безопасности*, 42, 12-21. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ppb_2017_42_5

16. Воевода, С. С. (2004). Определение пенообразующей способности пенообразователей для тушения пожаров. *Пожаровзрывобезопасность*, 6, 75-77.

17. Возняк, Л. В., Гімер, П. Р., Мердух, М. І., Паневник, О. В. (2012). *Гідравліка: навчальний посібник*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ.

18. Войтович, Т. М. (2017). Дослідження впливу інгібіторів на зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (18-19 травня 2017 р., м. Черкаси)*, 183-184.

19. Войтович, Т. М., Гусар, Б. М., Ковалишин, В. В., Кошеленко, В. В., Грушовінчук, О. В. (2018). Дослідження вітчизняних піноутворювачів для “підшарового” гасіння. *Пожежна безпека*, 32, 5-14.

20. Войтович, Т. М., Ковалишин В. В. (2017). Аналіз досліджень та існуючих методик, що стосуються зниження корозійної активності робочих

розчинів піноутворювачів. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів: [в 2 ч.] (23-24 березня 2017 р., м. Львів), 1, 16-18.*

21. Войтович, Т. М., Ковалишин В. В. (2019). Дослідження швидкості підйому піни низької кратності крізь шар горючої речовини. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (28-29 березня 2019 р., м. Львів), 12-14.*

22. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В. (2019). Дослідження дизельного палива на доцільність використання за призначенням після його гасіння плівкоутворюючими піноутворювачами. *Проблеми екології та енергозбереження: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції (20-22 вересня 2019 р., м. Миколаїв), 161-162.*

23. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В., Кошеленко, В. В. (2017). Дослідження впливу інгібіторів корозії на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів. *Пожежна безпека, 30, 16-21.*

24. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В., Новіцький, Я. М., Войтович, Д. П., Пастухов, П. В., Фірман, В. М. (2020). Вплив параметрів руху затоплених пінних струменів на “підшарове” гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами. *Східно-Європейський журнал передових технологій, 3, 10(105), 6-17.* <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206032>

25. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В., Чернецький, В. В. (2019). Особливості проектування і розрахунку системи “підшарового” гасіння. *Пожежна безпека, 34, 21-27.*

26. Горальчук, А. Б., Омельченко, С. Б., Котляр, О. В., Гринченко, О. О., Михайлов, В. М. (2016). Розробка моделі піноемульсної системи та підтвердження ролі міцності міжфазних адсорбційних шарів в забезпечення її утворення та стійкості. *Східно-Європейський журнал передових технологій, 3/11(81), 11-19.* <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.69384>

27. Горбунов, О. Д. (2016). *Конспект лекцій з дисципліни «Спеціальні питання тепломасообміну та гідрогазодинаміки» для здобувачів вищої освіти з другого (магістерського) рівня спеціальності 144 «Теплоенергетика» очної та заочної форм навчання.* Кам'янське: ДДТУ.

28. ГОСТ 9.502-82 Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов для водных систем. Методы коррозионных испытаний. (1984).

29. ГОСТ 9.506-87 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности. (1988).

30. Гуліда, Е. М. (2010). *Методичні вказівки з дисципліни «Методологія та організація наукових досліджень» для підготовки магістрів зі спеціальності «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». «Повнофакторний експеримент для визначення нелінійної залежності між параметром, який можна оптимізувати, та факторами, що впливають на зміну його значення».* Львів: ЛДУБЖД.

31. Дадашов, І. Ф. (2019). *Розвиток наукових основ гасіння горючих рідин твердими пористими матеріалами та гелеутворюючими системами.* Дис. ... д-ра техн. наук: 21.06.02. НУЦЗУ. Харків.

32. Дегаев, Е. Н., Корольченко, Д. А., Шароваников, А. Ф. (2015). *Сравнительный анализ эффективности пенообразователей для тушения пожаров нефтепродуктов по структуре коэффициента растекания. Системы обеспечения техносферной безопасности: материалы Всероссийской конференции и школы для молодых ученых (14-15 октября 2015 г., г. Таганрог),* 13-15.

33. Департамент комунікації МВС України. (2016, 8 червня). *Річниця пожежі на нафтобазі «БРСМ-нафта»: як це було (ФОТО).* https://mvs.gov.ua/ua/news/1513_Richnicya_pozhezhi_na_naftobazi_BRSM_nafta_yak_ce_bulo_FOTO_.htm

34. ДСТУ 3675-98 Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. (1998).

35. ДСТУ 3789-2015. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробувань. (2015).

36. ДСТУ 4041-2001. Піноутворювачі спеціального призначення, що використовуються для гасіння пожеж водонерозчинних і водорозчинних горючих рідин. Загальні технічні вимоги і методи випробувань. (2001).

37. ДСТУ 7224:2011. Метрологія. Манометри, мановакуумметри, вакуумметри, напороміри, тягонапороміри, тягоміри з пневматичними вихідними сигналами. Методика повірки (калібрування). (2011).

38. ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне Євро. Технічні умови. (2015).

39. ДСТУ EN 1568-1:2018 Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 1. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною середньої кратності, що подається на поверхню (EN 1568-1:2018, IDT). (2018).

40. ДСТУ EN 1568-2:2018 Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 2. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною високої кратності, що подається на поверхню (EN 1568-2:2018, IDT). (2018).

41. ДСТУ EN 1568-3:2018 Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 3. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною низької кратності, що подається на поверхню (EN 1568-3:2018, IDT). (2018).

42. ДСТУ EN 1568-4:2018 Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 4. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водорозчинних горючих рідин піною низької кратності, що подається на поверхню (EN 1568-4:2018). (2018).

43. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). (2014).

44. ДСТУ Б EN 13565-2:2013 Стационарні системи пожежогасіння. Системи пінного пожежогасіння. Частина 2. Проектування, монтування та технічне обслуговування (EN 13565-2:2009, IDT). (2013).

45. Дударева, Н. Ю., Загайко, С. А. (2007). *SolidWorks 2007*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург.

46. Інструкція про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння. Наказ від 24.11.2008 р., №851. (Міністерство надзвичайних ситуацій України). (2008).

47. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами: НАПБ 05.035-2004 від 16.02.2004 р., №75. (Міністерство надзвичайних ситуацій України). (2004).

48. Кісіль, Т. Є., Боровиков, В. О., Білошицький, М. В., Ковалишин, В. В., Антонов, А. В. (2004). Застосування карбаміду та гідрофосфіту амонію з метою покращення показників якості зарядів повітряно-пінних вогнегасників і установок пінного пожежогасіння. *Науковий вісник УкрНДІПБ*, 9, 79-91.

49. Кісільов, П. С., Майстренко, С. О., Веремієнко, В. Л., Дишкант, С. В., Комісаров, М. Г., Бебешко, Р. І., Царук, Т. П. (2015). *Опис пожежі, що сталася 8 червня 2015 року по вул. Південна, 1, в смт Глеваха Васильківського району Київської області на території нафтобази ТОВ «Побутрембудматеріали»*. ГУ ДСНС України у Київській області.

50. Ковалишин, В. В., Васильєва, О. Е., Козяр, Н. М. (2007). *Пінне гасіння*. Львів: Сполом.

51. Ковалишин, В. В., Войтович, Т. М. (2017). Дослідження корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції (10-11 жовтня 2017 р., м. Київ)*, 204-207.

52. Ковалишин, В. В., Войтович, Т. М. (2017). Зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. *Проблеми екології та енергозбереження: матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції (20-24 вересня 2017 р., м. Миколаїв)*, 174-176.

53. Ковалишин, В. В., Кирилів, Я. Б., Войтович, Т. М., Гусар, Б. М. (2017). Перспективи розвитку пінного гасіння. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції (10-11 жовтня 2017 р., м. Київ)*, 207-210.

54. Ковалишин, В. В., Кирилів, Я. Б., Гусар, Б. М., Войтович, Т. М., Ковалишин, Вол. В., Корнієнко, А. О., Чернецький, В. В. (2017). Перспективи гасіння пожеж водопінними вогнегасниками. *Пожежна безпека*, 31, 49-58.

55. Ковалишин, В. В., Марич, В. М., Войтович, Т. М., Гусар, Б. М. (2018). Використання екологічно прийнятних вогнегасних речовин. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (14 вересня 2018 р., м. Львів)*, 42-43.

56. Кокорин, В. В. (2013). *Разработка устройства для подачи огнетушащего вещества в слой ГЖ при тушении пожаров в вертикальном стальном резервуаре*. Дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. Уфа.

57. Кокорин, В. В., Романова, И. Н., Хафизов, Ф. Ш. (2012). Проблемы эффективного тушения пожаров вертикальных стальных резервуаров в слой горючего. *Нефтегазовое дело*, 3, 255-260. <https://doi.org/10.3403/30307895u>

58. Кокорин, В. В., Хафизов, Ф. Ш., Барбин, Н. М., Сатюков, Р. С. (2012). Влияние пены на время тушения пожаров в емкости при подаче ее в слой горючей жидкости. *Пожаровзрывобезопасность*, 21(10), 81-83.

59. Корольченко, Д. А., Шароварников, А. Ф. (2014). Определение параметров, влияющих на время выброса нефтепродуктов при горении в резервуаре. *Пожаровзрывобезопасность*, 23(3), 76-80.

60. Корольченко, Д. А., Шароварников, А. Ф. (2016). Факторы, снижающие огнетушащую эффективность подслоной системы при тушении пламени нефтепродуктов. *Пожаровзрывобезопасность*, 25(4), 56-67. <https://doi.org/10.18322/PVB.2016.25.04.56-67>

61. Корольченко, Д. А., Шароварников, А. Ф., Дегаев, Е. Н. (2015). Огнетушащая эффективность пены низкой кратности. *Научное обозрение*, 8, 114-120.
62. Макарова, И. П., Дегаев, Е. Н., Корольченко, Д. А., Шароварников, А. Ф. (2015). Пленкообразующая способность водных растворов панообразователей на поверхности нефтепродуктов. *Системы обеспечения техносферной безопасности: материалы Всероссийской конференции и школы для молодых ученых (14-15 октября 2015 г., г. Таганрог)*, 33-35.
63. Методика №2000/2-ПУ-13 «Визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин». Київ: УкрНДІПБ МВС України. (2000).
64. Методика-програма проведення випробувань «Визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин». Львів: ЛДУБЖД. (2019).
65. Методика-програма проведення випробувань «Дослідження вогнегасної ефективності та коефіцієнту руйнування плівкоутворювальної піни при її подаванні під шар нафтопродукту». (2019). Львів: ЛДУБЖД.
66. Методика-програма проведення випробувань «Дослідження вогнегасної ефективності вітчизняних піноутворювачів при “підшаровому” гасінні нафтопродуктів». Львів: ЛДУБЖД. (2019).
67. Методика-програма проведення випробувань «Дослідження швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту». Львів: ЛДУБЖД. (2019).
68. Мияга, М. (1987). Установки пожаротушения в нефтехранилищах путем введения пены под слой нефтепродукта. *Хайкан гидзюцу кэнкю кекаиси*, 35(6), 39-45.
69. Навроцкий, О. Д., Заневская, Ю. В., Емельянов, В. К., Васькович, Т. С. (2010). Исследование коррозионной активности пенообразующих составов для тушения пожаров. *Науковий вісник УкрНДІПБ*, 1(21), 153-159.
70. НПБ 203-98. Пенообразователи для подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие технические требования. (1998).

71. НПБ 305-2001 Пожарная техника. Заряды к воздушно-пенным огнетушителям и установкам пенного пожаротушения. Общие технические требования. Методы испытаний. (2002).

72. Петров, И. И., Реутт, В. Ч. (1960). Тушение пламени жидких топлив методом перемешивания. *Новые способы и средства тушения пламени нефтепродуктов* (с. 30-83). Москва: Гостоптехиздат.

73. Пожежа на нафтобазі у Васильківському районі. (2019, 24 травня). Українська Вікіпедія.
https://uk.wikipedia.org/wiki/Пожежа_на_нафтобазі_у_Васильківському_районі

74. Правила безпеки праці в органах та підрозділах МНС України. Наказ від 07.05.2007 року №312 (Міністерство надзвичайних ситуацій України). (2007).

75. Про затвердження Методики розрахунку сил і засобів, необхідних для гасіння пожеж у будівлях і на територіях різного призначення. Наказ від 16.12.2011 № 1341 (Міністерство надзвичайних ситуацій України). (2011).
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1341735-11#Text>

76. Про затвердження Статуту дій у надзвичайних ситуаціях органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж. Наказ від 26.04.2018 р., №340. (Міністерство внутрішніх справ України). (2018).

77. Руководство по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках: ГУГПС МВД России от 12.12.1999 г. (2000).

78. Сенчихін, Ю. М., Сировий, В. В., Крикун, О. М., Жихарев О. П. (2016). *Довідник керівника гасіння пожежі*. Київ: УкрНДІ ЦЗ.

79. Слущка, О. М. (2019). *Удосконалення системи оцінювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж*. Дис. ... канд. тех. наук: 21.06.02. ЛДУБЖД. Львів.

80. Ткаченко, С. Й., Степанова, Н. Д. (2012). *Гідрогазодинаміка (прикладні задачі)*. Вінниця: ВНТУ.
81. *Установки пожаротушения в хранилищах путем введения пены под слой нефтепродукта*. (1969). М.:ВНИИПО.
82. Чернецький, В. В. (2015). *Вплив теплових факторів пожежі на цілісність вертикальних сталевих резервуарів з нафтопродуктами*. Дис. ... канд. тех. наук: 21.06.02. ЛДУБЖД. Львів.
83. Шароварников, А. Ф. (2000). *Противопожарные пены. Состав, свойства, применение*. Москва: Знак.
84. Шароварников, А. Ф., Ефимов, А. А. (1992). Перспектива разработки и освоения “подслоного” способа тушения нефти и нефтепродуктов в резервуарах. *Пожаровзрывобезопасность*, 1, 62-67.
85. Шароварников, А. Ф., Молчанов, В. П. (1995). Подслоное тушение. *Пожарное дело*, 11, 40-41.
86. Шароварников, А. Ф., Молчанов, В. П., Воевода, С. С., Шароварников, С. А. (2007). *Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов*. Москва: Пожнаука.
87. Шароварников, А. Ф., Молчанов, В. П., Воевода, С. С., Шароварников С.А. (2002). *Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов*. Москва: Калан.
88. Шароварников, А. Ф., Молчанов, В. П., Воевода, С. С. (2000). Система подслоного тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах. Общие сведения и основные требования. *Пожаровзрывобезопасность*, 4, 36-42.
89. Шароварников, С. А. (1997). Тушение смесевых топлив в резервуарах подачей пены под слой горючего. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. ВНИИПО. Москва.
90. Шароварников, С. А., Корольченко, А. Я., Ляпин, А. В. (2014). Тушение многокомпонентных смесевых топлив фторсинтетическими пенообразователями подслоным способом. *Пожаровзрывобезопасность*, 23(6), 76-80. <https://doi.org/10.18322/pvb.2014.23.6.76-80>

91. Ширяев, Е. В., Назаров, В. П., Майзлиш, А. В., Гогин, А. А. (2014). Статистический анализ пожаров на объектах с обращением нефтепродуктов. *Технологии техносферной безопасности*, 3(55). <http://ipb.mos.ru/ttb>
92. A huge fire at a Texas chemical plant is out, 4 days after it started. (2019, 17 July). CNN. <https://edition.cnn.com/2019/03/20/us/deer-park-itc-plant-fire-Wednesday/index.html>
93. Abbasi, M. H., Benhelal, E., & Ahmad, A. (2014). Designing an Optimal Safe Layout for a Fuel Storage Tanks Farm: Case Study of Jaipur Oil Depot. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Chemical and Molecular Engineering*, 8(2), 147-155.
94. Brooks, N. (2005). CAFS straight answers for the beginner or the experienced user. *Fire Apparatus Magazine*.
95. Campbell, R. (2014). *Fires at outside storage tanks*. Quincy, MA: NFPA.
96. Chang, J., & Lin, Ch.-Ch. (2006). A study of storage tank accidents. *Journal of Loss Prevention In The Process Industries*, 19(1), 51-59. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.05.015>
97. Fittes, D. J., Griffiths, D. J., & Nash, P. (1988). The reason we use light water AFFF/AIC is because we fight. *Hazardous Cargo Bulletin*, 4, 67.
98. Haynes, J. G., & Stein, G. P. (2018). *Canadian fire department profile 2014-2016*. Quincy, MA: NFPA.
99. Hertfordshire Resilience Forum. (2007). *Buncefield multi-agency debrief report and recommendations*.
100. Jho, C. (1987). Spreading of aqueous solutions of a mixture of fluoro and hydrocarbon surfactans on liquid hydrocarbon substrates. *Journal of Colloid and Interface Science*, 117(1), 139-148.
101. Mahley, H. S. (1975). Fight tank fires, subsurface. *Hydrocarbon Process*, 54(8), 72-75.
102. McLaughlin, Ph. J. (1988). Plan B prefire planning. *Fire Engineering*, 141(3), 20-27.

103. Meldrum, D. N., Williams, J. R., & Gilroy, D. (1988). Foam system well proven against oil tanks fires. *Fire*, 993, 40.
104. Murfy, R. F. (1982). Guidelines optimize foam fire fighting system. *Oil and Gas Journal*, 4, 229–232.
105. Nakakuki, A. (1981). Historical study of fire extinguishing in oil tanks equipped with a supply system under the layer. *Haikai Hijutsu Kenko Kekaisi*, 21(2), 73-77.
106. Nash, P., & Whittle, J. (1978). Fighting fires in oil storage tanks using base injection of foam – Part 1. *Fire Technology*, 14(1), 15-27. <https://doi.org/10.1007/BF01997258>
107. NFPA 11. Standard for low-, medium-, and high-expansion foam. (2016).
108. NFPA 11-1983. Standard for low-expansion foam and combined agent system. (1983).
109. NFPA 11-1983. Standard of medium-expansion foam and combined agent system. (1983).
110. Nolan, D. P. (2011). *Handbook of fire and explosion protection engineering principles for oil, gas, chemical and related facilities*. Amsterdam: Elsevier.
111. Nurimoto, H. (1977). Firefighting installations in oil storage facilities by introducing foam under a layer of petroleum product. *Kasai*, 27(3), 11-19.
112. Pan, W., Zhang, M., Gao, X., & Mo, S. (2020). Establishment of aqueous film forming foam extinguishing agent minimum supply intensity model based on experimental method. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.103997>
113. Paullin, R.I., & Santman, L.D. (1985). *Report on San Juan Ixhauतेpec Mexico LPG accident*. Materials Transportation Bureau, US Department of Transportation, Washington, DC.
114. Pekalski, A. A. (1997). *Review of preventive and protective systems for explosion risk in the process industry*. Dutchland: TU Delft.

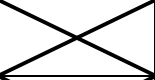

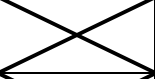





115. Persson, H., & Lzonnermark, A. (2004). *Tank fires*. SP Swedish National Testing and Research Institute.
116. Petroleum Association of Japan. (2004). *List of oil spill accidents*.
117. Sharovarnikov, A. F., & Korolchenko, D. A. (2014). Fighting fires of carbon dioxide in the closed buildings. *Applied Mechanics and Materials*, 475-476, 1344-1350. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.475-476.1344>
118. Sheinson, R. S., Williams, B. A., Green, C., Fleming, J. W., Anleitner, R., Ayers, S., & Maranghides, A. (2002). The future of aqueous film forming foam (AFFF): Performance parameters and requirements. *Proceedings of the 12th Halon Options Technical Working Conference*. NM, Albuquerque. http://www.nist.gov/el/fire_research/upload/R0201327.pdf
119. Takagi, N. (2004). Petroleum fire and explosion accidents caused by static electricity. In Y. Uehara, & T. Ogawa (Eds.), *Handbook of fire an explosion protection*. Tokyo: Technical Systems.
120. Waterous. (2019, 22 травня). *CAFSystems*. <http://waterousco.com/cafs-systems.html>
121. White, D. (2006). Make room for safety. *Industrial Fire World*, 21(1), 8-10.
122. Widetschec, O. (1977). Light water als Loschmittel. *Osterr. Feuerwehr*, 31(8), 158-160.
123. Xu, Z., Guo X., Yan, L. & Kang, W. (2020). Fire-extinguishing performance and mechanism of aqueous film-forming foam in diesel pool fire. *Case Studies in Thermal Engineering*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100578>
124. Xu-Qing, L., Quan-Zhen, L., & Hong, G. (2011). Study of fire fighting system to extinguish full surface fire of large scale floating roof tanks. *Procedia Engineering*, 11, 189-195. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.646>
125. Zhao, H., & Liu, J.-S. (2016). The feasibility study of extinguishing oil tank fire by using compressed air foam system. *Procedia Engineering*, 135, 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.080>

ДОДАТОК А

**РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАНЬ З ВИЗНАЧЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ
АКТИВНОСТІ РОБОЧИХ РОЗЧИНІВ ПІНОУТВОРІЮВАЧІВ БЕЗ І З
ДОДАВАННЯМ АЛКЛІМІДОЗОЛІНУ М ТА АЛКЛІМІДОЗОЛІНУ М**

Таблиця А.1

Результати випробувань з визначення корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів з додаванням алкілімідозоліну М та алкілімідозоліну М

№	Назва ПУ	Концентрація ПУ в РР, %	Назва інгібітора	Кількість інгібітора корозії у РР ПУ, %	Номер пластин	Різниця у вазі пластин до і після випробування, $\cdot 10^{-3}$ кг	Площа контакту пластин з РР ПУ, 10^{-3} м ²	Швидкість корозії, $\cdot 10^{-8}$ кг/м ² ·с ⁻¹	Середня швидкість корозії, $\cdot 10^{-8}$ кг/м ² ·с ⁻¹	Відносна похибка, %	Температура випробування, °С
1.	БАРС S-1	6	алкілімідозолін М	0,1	1	0,07	3,2	0,66	0,068±0,02	5	змінна температура (-3, 20,60,20)
					2	0,077	3,2	0,7			
2.	БАРС S-1	6	алкілімідозолін	0,1	3	0,097	2,8	1,06	1,12±0,06	4,8	змінна температура (-3, 20,60,20)
					4	0,101	2,64	1,17			
3.	БАРС S-1	6	алкілімідозолін М	0,1	5	0,012	3,2	0,11	0,1±0,01	9	кімнатна
					6	0,01	3,2	0,09			
4.	БАРС АFFF	6	алкілімідозолін М	0,1	7	0,008	2,96	0,08	0,07±0,01	13	кімнатна
					8	0,005	2,4	0,06			
5.	БАРС S-1	6	алкілімідозолін	0,1	9	0,046	2,88	0,49	0,51±0,02	1,7	кімнатна
					10	0,056	3,2	0,53			
6.	БАРС АFFF	6	алкілімідозолін	0,1	11	0,038	2,72	0,43	0,45±0,02	4,7	кімнатна
					12	0,043	2,8	0,47			
7.	Пірена	6	алкілімідозолін М	0,1	23	0,019	1,95	0,31	0,3±0,01	3,6	кімнатна
					24	0,02	2,2	0,29			
8.	Пірена	6	алкілімідозолін	0,1	25	0,027	2,1	0,41	0,44±0,03	6,2	кімнатна
					26	0,031	2,14	0,47			
9.	БАРС S-1	6			27	0,228	3,04	3,47	3,42±0,05	1,62	змінна температура (-3, 20,60,20)
					28	0,192	2,64	3,37			
10.	БАРС S-1	6			29	0,11	2,72	1,87	1,82±0,05	2,68	кімнатна
					30	0,122	3,2	1,77			
11.	БАРС АFFF	6			31	0,057	3,12	0,85	0,835±0,015	1,67	кімнатна
					32	0,048	2,72	0,82			
12.	Пірена	6			33	0,078	2,8	1,29	1,58±0,29	8,5	кімнатна
					34	0,097	2,4	1,87			

ДОДАТОК Б

**ФОТО МЕТАЛЕВИХ ПЛАСТИН ПІСЛЯ ПРОВЕДЕННЯ
ВИПРОБУВАННЯ НА КОРОЗІЙНУ СТІЙКІСТЬ РОБОЧИХ РОЗЧИНІВ
ПІНОУТВОРЮВАЧІВ БЕЗ І З ДОДАВАННЯМ АЛКІЛІМІДОЗОЛІНУ М
ТА АЛКІЛІМІДОЗОЛІНУ М**

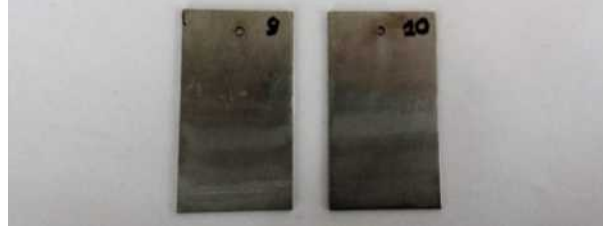
Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
БАРС S-1	6%	алксіамідозолін М	1

Змінна температура



а

Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
БАРС S-1	6%	алксіамідозолін	1



е

Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
БАРС S-1	6%	алксіамідозолін	1

Змінна температура



б

Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
БАРС АFFF	6%	алксіамідозолін	1



ж

Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
БАРС S-1	6%	алксіамідозолін М	1



в

Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
Пірена	6%	алксіамідозолін М	1



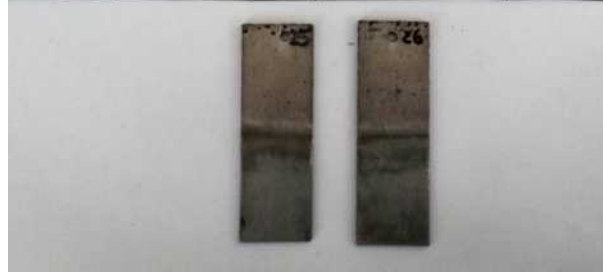
з

Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
БАРС АFFF	6%	алксіамідозолін М	1



д


Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
Пірена	6%	алксіамідозолін	1



к


Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
БАРС S-1	6%		

Змінна температура



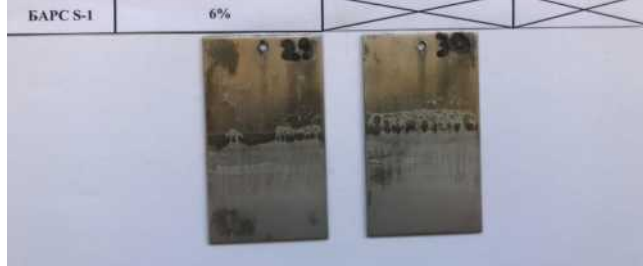
Л

Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
БАРС АFFF	6%		




Н

Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
БАРС S-1	6%		



М

Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г
Пірена	6%		



П

Рис. Б.1. Фото металевих пластин після проведення випробування на корозійну стійкість робочих розчинів піноутворювачів без і з додаванням алкілімідозоліну М та алкілімідозоліну М

ДОДАТОК В**ТЕХНІЧНІ ПАРАМЕТРИ СИСТЕМИ ГАСІННЯ РЕЗЕРВУАРІВ З
НАФТОЮ І НАФТОПРОДУКТАМИ “ПІДШАРОВИМ” СПОСОБОМ**

Таблиця В.1

Технічні параметри системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами
“підшаровим” способом

Тип резервуара	Площа горіння, м ²	Вид нафтопродукту	Нормативна інтенсивність, л/м ² ·с ⁻¹	Нормативна витрата, л/с	Кількість піногенераторів шт./при витраті л/с	Концентрація ПУ в РР, %	Трикратний запас ПУ, м ³ (тривалість гасіння 10 хв)	Трикратний запас ПУ, м ³ (тривалість гасіння 30 хв)	Трикратний запас ПУ, м ³ (тривалість гасіння 50 хв)	Запас ПУ, м ³ (тривалість гасіння 60 хв)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
РВС-5000	346,2	T _{сн} ≤ 28°C	0,10	34,62	4/10	3	2,16	6,48	10,8	4,32
						6	4,32	12,96	21,6	8,64
					2/20	3	2,16	6,48	10,8	4,32
						6	4,32	12,96	21,6	8,64
		T _{сн} > 28°C	0,08	27,7	3/10	3	1,62	4,86	8,1	3,24
						6	3,24	9,72	16,2	6,48
					2/20	3	2,16	6,48	10,8	4,32
						6	4,32	12,96	21,6	8,64
РВС-10000	637,6	T _{сн} ≤ 28°C	0,10	63,76	7/10	3	3,78	11,34	18,9	7,56
						6	7,58	22,73	37,9	15,153
					4/20	3	4,32	12,96	21,6	8,64
						6	8,61	25,92	43,2	17,28
		T _{сн} > 28°C	0,08	51,01	6/10	3	3,24	9,72	16,2	6,48
						6	6,48	19,44	32,4	12,96
					3/20	3	3,24	9,72	16,2	6,48
						6	6,48	19,44	32,4	12,96
РВС-20000	1256	T _{сн} ≤ 28°C	0,10	125,6	7/20	3	7,56	22,68	37,8	15,12
						6	15,12	45,36	75,6	30,24
					4/40	3	8,64	25,92	43,2	17,28
						6	17,28	51,84	86,4	34,56

Продовж. табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PBC-20000		$T_{\text{сн}} > 28^{\circ}\text{C}$	0,08	100,5	6/20	3	6,48	19,44	32,4	12,96
						6	12,96	38,88	64,8	25,92
					4/40	3	8,64	25,92	43,2	17,28
						6	17,28	51,84	86,4	34,56
PBC-30000	1632	$T_{\text{сн}} \leq 28^{\circ}\text{C}$	0,10	163,2	9/20	3	9,72	29,16	48,6	19,44
						6	19,44	58,32	97,2	38,88
					5/40	3	10,8	32,4	54	21,6
						6	21,6	64,8	108	43,2
		$T_{\text{сн}} > 28^{\circ}\text{C}$	0,08	130,6	7/20	3	7,56	22,68	37,8	15,12
						6	15,12	45,36	75,6	30,24
					4/40	3	8,64	25,92	43,2	17,28
						6	17,28	51,84	97,2	34,56
PBC-40000	2542	$T_{\text{сн}} \leq 28^{\circ}\text{C}$	0,10	254,2	13/20	3	14,04	42,12	70,2	28,08
						6	28,08	84,24	140,4	56,16
					7/40	3	15,12	45,36	75,6	30,24
						6	30,24	90,72	151,2	60,48
		$T_{\text{сн}} > 28^{\circ}\text{C}$	0,08	203,4	11/20	3	11,88	35,64	59,4	23,76
						6	23,76	71,28	118,8	47,52
					6/40	3	12,96	38,88	64,8	25,92
						6	25,92	77,76	129,6	51,84
PBC-50000	2892	$T_{\text{сн}} \leq 28^{\circ}\text{C}$	0,10	289,2	15/20	3	16,2	48,6	81	32,4
						6	32,4	97,2	162	64,8
					8/40	3	17,28	51,84	86,4	34,56
						6	34,56	103,68	172,8	69,12
		$T_{\text{сн}} > 28^{\circ}\text{C}$	0,08	231,4	12/20	3	12,96	38,88	64,8	25,92
						6	25,92	77,76	129,6	51,84
					6/40	3	12,96	38,88	64,8	25,92
						6	25,92	77,76	129,6	51,84

ДОДАТОК Д
ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ ПАЛИВА ДИЗЕЛЬНОГО

ФСУ-7.8-06

**ВИПРОБУВАЛЬНИЙ ЦЕНТР ПАТ «Укртатнафта»
(ВЦ ПАТ «Укртатнафта»)**

Україна, 39610, м. Кременчук Полтавської обл., вул. Свіштовська, 3
тел.: (0536) 76-85-09, факс: (0536) 76-11-80



Атестат акредитації, виданий Національним агентством з акредитації України,
зарєєстровано у Реєстрі за № 20342 від 25 березня 2019 р., дійсний до 24 березня 2024р.

2019
ДСТУ ISO 18517:2017

Затверджую
Керівник ВЦ
ПАТ «Укртатнафта»

Цех ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ
ТОВАРИСТВО
«УКРТАТНАФТА»

П.М. Агафонов

08 05 2019

МП

Протокол випробувань № 53

від 8 травня 2019р.

палива дизельного

Заявник випробувань: Державна служба України з надзвичайних ситуацій. ЛЬВІВСЬКИЙ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ. 79007, м. Львів, вул. Клепарівська,
35 тел.: (032) 233-32-40, факс: (032) 233-00-88.

(назва, повна поштова адреса, телефон, факс)

1 Підстава для випробувань

Лист № 8/702/04-27 від 29.03.2019.

2 Об'єкт випробувань

2.1 Найменування та марка продукції: паливо дизельне у поліетиленових пляшках об'ємом
по 1,5 л. кожна (пляшка № 10, пляшка № 11, пляшка № 12, пляшка № 13, пляшка № 14).

(найменування та позначення НД)

2.2 Виробник: не зазначений

(країна –виробник, назва підприємства, повна поштова адреса)

2.3 Зразки прийнято на випробування ВЦ ПАТ «Укртатнафта» 07.05.2019.

Реєстраційні номери: пляшка № 10 - реєстраційний № 53; пляшка № 11 - реєстраційний № 54; пляшка
№ 12 - реєстраційний № 55; пляшка № 13 - реєстраційний № 56; пляшка № 14 - реєстраційний № 57.

3 Характеристика випробувань

3.1 Випробування проводились в період з 7 травня 2019 року по 8 травня 2019 року.

3.2 Випробування зразків проводились на відповідність вимогам ДСТУ 7688:2015 «Паливо ди-
зельне Євро. Технічні умови»

(найменування та позначення НД)

3.3 Правила та методи випробувань встановлені згідно з п. 4.2, табл. 1 (пок. 2, 3, 6, 15) ДСТУ
7688:2015

(найменування нормативних та/або інших документів, що встановлюють процедуру випробувань)

3.4 Випробування проводились в умовах, які встановлені нормативними документами на мето-
ди випробувань та засоби вимірювальної техніки.

3.5 Опис будь-яких відхилень від процедур, які встановлені нормативними документами на ви-
пробування конкретних показників, у тому числі інформації щодо застосування нестандартних мето-
дів випробувань і процедур: відхилень не було.

Протокол № 53 від 08.05.2019

Сторінка 1. Сторінок 2.

ФСУ-7.8-06

4 Результати випробувань

Найменування показників	Норма згідно з ДСТУ 7688: 2015	Фактично одержані результати					НД на метод контролювання
		Пляшка № 10, реєстр. № 53	Пляшка № 11, реєстр. № 54	Пляшка № 12, реєстр. № 55	Пляшка № 13, реєстр. № 56	Пляшка № 14, реєстр. № 57	
1	2	3	4	5	6	7	8
1 Цетановий індекс, не менше	46,0	49,2	50,0	49,9	49,7	50,2	ДСТУ ISO 4264:2009
2 Густина за температури 15 °С, кг/м ³ , у межах - для марки Л - для марки З - для марки Арк	820-845 800-845 800-840	839,1	839,6	839,6	840,5	841,0	ДСТУ ГОСТ 31072: 2006
3 Температура спалаху в закритому тиглі, °С, не нижче	55	59	60	60	63	65	ДСТУ ISO 2719:2006
4 Фракційний склад: - за температури 250°С випаровується, % (об.), не більше - за температури 350°С випаровується, % (об.), не менше - 95 % (об.) переганяється за температури, °С, не вище	65 85 360	42,0 95,0 350,0	39,0 95,0 350,0	38,0 95,0 350,0	38,0 95,0 350,0	37,0 94,0 355,0	ГОСТ 2177-99 (метод А)

5 Додаткова інформація

5.1 Цей протокол випробувань стосується тільки зразків, підданих випробуванням, і не є підставою для визнання продукції будь-якою організацією.

5.2 Протокол випробувань складено в двох примірниках на 2-х сторінках кожний, надано по одному примірнику у ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ та ВЦ ПАТ «Укртатнафта».

5.3 Протокол випробувань не може бути повністю або частково передрукований чи розмножений без письмового дозволу ВЦ ПАТ «Укртатнафта».

Відповідальний виконавець
ВЦ ПАТ «Укртатнафта»:
Інженер з якості I категорії



О.М. Бойко

ДОДАТОК Е

**ПРОТОКОЛ «ВИЗНАЧЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ВОДНИХ
РОЗЧИНІВ ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН»**

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ

Свідоцтво про атестацію № РЛ 125/15 від 02 листопада 2015 р.
Ліцензія ДДЦІБ МНС України серія АГ № 506341 від 11.02.2011 р.

ПРОТОКОЛ № 05/08/170409

**Визначення корозійної
активності водних розчинів вогнегасних речовин**

Львів-2017

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ	
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ	
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	
№ документа	<u>05/08</u> від <u>05.09</u> 20 <u>17</u>
Всього	<u>5</u> арк. <u>1</u>
Підпис	<u>[Підпис]</u>

ПРОТОКОЛ № 05/08/17/0409

Визначення корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин

Дата проведення

випробування: 09.04.2017 р.

Умови в приміщенні:

температура, °С	18
атм. тиск, кПа	97,3
відносна вологість, %	67,5

МІСЦЕ ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ: Науково-дослідна лабораторія ЛДУБЖД.

Адреса: м. Львів, вул. Клепарівська, 35.

ЗАМОВНИК ВИПРОБУВАНЬ: ТзОВ «Науково-виробниче підприємство «Вогнеборець»

ОБ'ЄКТ ВИПРОБУВАНЬ: Піноутворювачі для гасіння пожеж типу "БАРС" ТУ У 20.41.20-20.00 - 36918251-001:2015.

1. Умови проведення випробувань

Випробування проводять в лабораторії за таких умов:

- температура повітря від 15°C до 25°C,
- атмосферний тиск від 84кПа до 106кПа,
- відносна вологість повітря від 30% до 95%,
- температура досліджуваних розчинів від 17°C до 23°C

2. Засоби випробувань

- скляні циліндричні посудини з внутрішніми розмірами (довжина, ширина, висота) не менше ніж 100 мм, які герметично закриваються кришками (наприклад, ексикаторів); в нижній частині посудини на спеціальній підставці, яка не кородує, на відстані (50±5) мм один від одного розміщено гачки для підвішування металевих пластин;
- пластини металеві плоскі шліфовані, виготовлені зі сталі Ст3 згідно ГОСТ 38088, товщиною (1,5 ± 0,1) мм, довжиною (70 ± 10) мм), шириною (40 ± 5) мм, марковані порядковими номерами;

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ	
Львівський державний університет	
безпеки життєдіяльності	
№ документа	03/08 від 09.04 2017 р.
Всього	3 арк 2
Підпис	

- ваги лабораторні згідно ГОСТ 24101-88, 2 кл. точності з межею зважування 200 г;
- термометр ТЛ-2 згідно з ГОСТ 28498, ціна поділки 1°C, діапазон вимірювань від 0°C до 100°C;
- барометр М-67, ціна поділки 1 мм рт.ст. (133 Па), діапазон вимірювання атмосферного тиску від 600 мм рт.ст. до 800 мм рт.ст. (від 79,8 кПа до 106,4 кПа);
- психрометр МВ-4М згідно з ГОСТ 6353, точність вимірювання $\pm 4\%$, відносна вологість повітря, від 10% до 100%;
- штангенциркуль згідно з ГОСТ 166-89, з ціною поділки 0,05 мм та діапазоном вимірювання від 0 до 250 мм;
- амоній виннокислий згідно з ГОСТ 4951-90 або натрій виннокислий згідно з ТУ 6-09-5400-88;
- шкурка шліфувальна паперова водостійка №00 згідно з ГОСТ 10054-82;
- папір шліфувальний лабораторний згідно з ГОСТ 12026-76;
- ацетон згідно з ГОСТ 2603-79.

Допускається використання інших засобів випробувань з аналогічними характеристиками.

3. Метод випробувань

Суть методу полягає у визначенні середньої швидкості втрати маси з одиниці площі металевих пластин під час їх експонування у водному розчині вогнегасної речовини.

4. Підготовка і проведення випробувань

4.1 Підготовка до випробувань

Готують три скляні циліндричні посудини та шість металевих пластин з розрахунку по 2 пластини на кожну посудину. Скляні посудини промивають дистильованою водою і споліскують розчином, що досліджується. Визначають об'єм розчину, який необхідно залити в скляні посудини, щоб він покрив підвішені пластини до половини їх висоти. Металеві пластини шліфують шкуркою, промивають ацетоном і протирають

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ	
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ	
ШЛІФУВАЛЬНИЙ ПАПЕР	
№ документа	5 від 03.09.2017
Всього	3 арк
Підпис	

Нумерують пластини, зважують, записують номери пластин, значення їх маси та номери посудин. Заливають досліджуваній розчин у посудини.

4.2. Проведення випробувань

Підвішують пластини на підставки за допомогою гачків, опускають підставки з пластинами у скляні посудини з досліджуваним розчином і герметично закривають кришкою.

Після витримки пластин у розчині вогнегасної речовини протягом 30 діб визначають втрату маси пластин. Для цього виймають з посудини обидві пластини, промивають водою і проводять травлення, повністю занурюючи пластини в 10 % розчин виннокислого амонію або виннокислого натрію на 1,5-2 години. Пластини знову промивають дистильованою водою, витирають насухо фільтрувальним папером і зважують. Визначають величину втрати маси пластини як різницю результатів її зважування після обробки (експозиції в досліджуваному розчині і травлення) та перед обробкою. Площу поверхні контакту пластин з розчином вогнегасної речовини визначають шляхом вимірювання лінійних розмірів тієї частини пластини, яка була занурена у розчин.

Повторне використання металевих пластин і розчинів вогнегасних речовин не допускається.

4.3. Обробка результатів

В результат візуального контролю визначають тип корозії. У випадку суцільної корозії корозійну активність водного розчину вогнегасної речовини оцінюють за величиною середньої питомої швидкості втрати маси пластин, визначеною після експонування в розчині протягом 30 діб.

Середню питому швидкість втрати маси пластини v_n (кг/м³·год) розраховують за формулою:

$$v_n = \frac{P}{S \cdot \tau} \quad (1)$$

де P – втрата маси пластини, кг;

S – площа поверхні контакту пластин з розчином вогнегасної речовини, м²;

τ – тривалість експозиції пластини в розчині вогнегасної речовини, год;

$\tau = 720$ годин.



За результат визначення корозійної активності приймають середнє арифметичне значення результатів двох паралельних вимірювань.

Допустима розбіжність між результатами паралельних вимірювань, які отримані за однакових умов випробувань з довірчою імовірністю 0,95, не повинна перевищувати $\pm 10\%$ відносно середнього арифметичного значення.

Результати досліджень

Таблиця 1

Результати випробувань з визначення корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів

№	Піноутворювач	Концентрація піноутворювача в робочому розчині, %	Інгібітор корозії	Кількість інгібітора на 1 л робочого розчину піноутворювача, г	Температура випробування	Швидкість корозії, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) \cdot 10^{-8}$
1.	Барс S-1	6	алкілімідозолін М	1	змінна*	0,68 \pm 0,02
2.	Барс S-1	6	алкілімідозолін М	1	+18 $^{\circ}$ С	0,1 \pm 0,01
3.	Барс S-1	6		–	+18 $^{\circ}$ С	1,82 \pm 0,05
4.	Барс AFFF	6	алкілімідозолін М	1	+18 $^{\circ}$ С	0,07 \pm 0,01
5.	Барс AFFF	6		–	+18 $^{\circ}$ С	0,84 \pm 0,02

* змінна температура – цикли температур згідно з ДСТУ 3734 – 98.

Згідно з результатами можна зробити наступні висновки:

- показники корозійної активності піноутворювачів Барс S-1 та Барс AFFF менші $2 \cdot 10^{-8} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, що відповідає вимогам ТУ У 20.41.20-20.0036918251-001:2015;
- швидкість корозії металевих пластин, які витримувались з інгібітором корозії алкілімідозоліном М значно менша, ніж без інгібітора;

Завідувач НДЛ

Старший науковий співробітник
к. т. н., с. н. с.

Ад'юнкт
л-т сл. ц. з.

28.05.2017 р.



В.Л. Петровський

Я.Б. Кирилів

Т.М. Войтович

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРІЯ Львівський державний університет безпеки життєдіяльності	
№ документа	03/108 від 05.05.2017 р.
Всього	5 арк. 5
Підпис	

ДОДАТОК Ж

**МЕТОДИКА-ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ
«ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕГАСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІТЧИЗНЯНИХ
ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ПРИ “ПІДШАРОВОМУ” ГАСІННІ
НАФТОПРОДУКТІВ»**

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-дослідної роботи
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності,
доктор сільськогосподарських наук,
професор



01 Андрій КУЗИК
2019 року

МЕТОДИКА-ПРОГРАМА
проведення випробувань
«ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕГАСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІТЧИЗНЯНИХ
ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ПРИ «ПІДШАРОВОМУ» ГАСІННІ
НАФТОПРОДУКТІВ»

Львів – 2019

Метою проведення випробувань була необхідність експериментальних досліджень для визначення вогнегасної ефективності піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів загального і спеціального призначення вітчизняного виробництва при “підшаровому” гасінні резервуарів з нафтопродуктами.

Місце проведення випробувань.

Науково-дослідна лабораторія пожежної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Об’єкт випробувань.

Для досягнення мети спроектовано експериментальну установку для випробування піноутворювачів подачею піни в шар нафтопродукту, що горить.

Завданням проведення експериментальних досліджень є:

- визначення часу та інтенсивності подавання плівкоутворюючих піноутворювачів і піноутворювачів загального призначення вітчизняного виробництва для гасіння дизельного палива “підшаровим” способом;
- визначення часу та інтенсивності подавання плівкоутворюючих піноутворювачів і піноутворювачів загального призначення вітчизняного виробництва для гасіння бензину “підшаровим” способом;
- визначення часу руйнування піни на основі піноутворювача загального призначення та на основі плівкоутворювального піноутворювача.

Таблиця 1

Засоби вимірювальної техніки

№ п/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки
1.	Регулятор-вимірювач	05-387	Від 0 до 1200 °С	± 2 °С
2.	Термопара ТХА	11	Від 0 до 1200 °С	
3.	Ваги ВТУ 210/ С3	1826	Від 0 до 210 г	Клас точності – 3

Обладнання:

- установка для випробування піноутворювачів для “підшарового” способу гасіння УПШГ-1;
- секундомір;
- мірні посудини;
- тигель.

Суть методу випробувань: експериментально визначити інтенсивність подавання піноутворювачів загального і спеціального призначення

вітчизняного виробництва для гасіння дизельного палива і бензину.

Умови проведення випробувань:

- температура повітря від 15-25°C;
- температура робочого розчину піноутворювача 17,5±2,5°C;
- температура пального 17,5±2,5°C;
- атмосферний тиск від 84кПа до 106кПа.

Підготовка до випробувань.

На рис. 1 зображено установку для випробування піноутворювачів для “підшарового” способу гасіння УПШГ-1 для проведення досліджень.

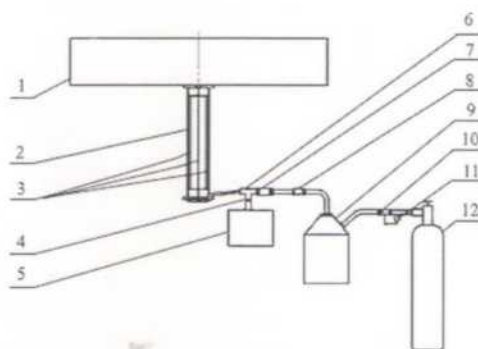


Рис. 1. Установка для випробування піноутворювачів для “підшарового” способу гасіння нафтопродуктів УПШГ-1:

- 1 – деко; 2 – скляна колба; 3 – стягуючі штанги; 4 – кран зливу нафтопродукту; 5 – резервуар для зливу нафтопродукту; 6 – трійник; 7 – зворотний клапан; 8 – кран подачі робочого розчину піноутворювача; 9 – резервуар з робочим розчином піноутворювача; 10 – редуктор; 11 – манометр; 12 – балон зі стиснутим повітрям або інертним газом.

Виставляють установку УПШГ-1 на відкрите повітря.

Готують 6% розчин піноутворювача загального або спеціального призначення у кількості 10 л, заправляють ним резервуар (вогнегасник) 9. Щоб уникнути інтенсивного спінювання, готують робочий розчин піноутворювача, заливаючи розрахункову кількість води та піноутворювача у вогнегасник, ретельно перемішують.

Встановлюють запірно-пускову арматуру.

Деко модельного вогнища встановлюють на рівній площині землі та заливають до нього воду і нафтопродукт у кількості по 10 літрів.

Встановлюють на манометрі 11 необхідний тиск.

Підпалювання палива в деці 1 проводять за допомогою факела вручну.

На першому етапі випробувань проводять запалювання модельного вогнища дизельного палива. Після заповнення полум'ям всієї площі поверхні

нафтопродукту, чекають ще 60 секунд і починають гасіння.

Визначають проміжок часу від початку подавання робочого розчинц піноутворювача до повного гасіння.

Закривають вентиль балона і скидають тиск у корпусі вогнегасника.

Вимірюють залишок робочого розчину піноутворювача, що залишився у корпусі вогнегасника 9. Розраховують кількість використаного розчину, витрату, а також інтенсивність подавання вогнегасної речовини.

Повторюють випробування за різних тисків, а також для різних видів піноутворювачів.

На другому етапі випробувань аналогічні експериментальні дослідження проводять для бензину.

У разі, якщо гасіння було успішним, проводять додаткове дослідження на визначення імовірності повторного займання. Для цього відкритий тигель з полум'ям розміщують в деко 1 і чекають протягом 120 секунд.

Результати досліджень представляють у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень гасіння бензину/дизельного палива піноутворювачами загального і спеціального призначення

№ досліджу	Піноутворювач	V, л	$\tau_{\text{гас}}$, с	$S_{\text{гас}}$, м ²	P, атм.	Q, л/с	I, л/м ² ·с ⁻¹	Примітка
1.								
2.								

Результати випробувань оформляються протоколом або звітом.

Протокол випробувань (звіт про випробування) має містити умови та результати випробувань, а саме:

- назву та адресу лабораторії, що проводила випробування;
- дату випробувань;
- ескізи, фотографії;
- опис розташування приладів вимірювання;
- характеристику вимірюваних приладів;
- результати вимірювань;
- час початку та закінчення випробувань і причину припинення випробувань;
- оцінку результатів випробувань.

Правила безпеки праці під час проведення випробувань.

1. Перед проведенням дослідів перевірити цілісність та справність всього оснащення.
2. Всі роботи проводити в захисному одязі та спорядженні.
3. Підпалювання палива в деці відбувається за допомогою факелу вручну розміром держака 1 м.
4. Біля місця проведення дослідів повинен бути порошковий вогнегасник ВП-9.

Науковий керівник
д. т. н., професор



Василь КОВАЛИШИН

Ад'юнкт ЛДУ БЖД
ст. лейтенант служби цивільного захисту



Тетяна ВОЙТОВИЧ

ПОГОДЖЕНО:

Начальник науково-дослідної лабораторії
пожежної безпеки ЛДУ БЖД



Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

ДОДАТОК К

МЕТОДИКА-ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ
«ВИЗНАЧЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ
ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН»

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-дослідної роботи
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності,



доктор сільськогосподарських наук,

Андрій КУЗИК

01 _____ 2019 року

МЕТОДИКА-ПРОГРАМА
проведення випробувань
**«ВИЗНАЧЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ
ВОГНЕГАСНИХ РЕЧОВИН»**

Львів – 2019

Мета проведення випробувань. Корозійна активність водних розчинів вогнегасних речовин розраховується з метою визначення можливості їх тривалого зберігання в сталених ємностях, а також для визначення ефективності використання інгібіторів для зниження корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин.

Місце проведення випробувань. Науково-дослідна лабораторія пожежної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Об'єкт випробувань. Металеві пластини, занурені у водні розчини вогнегасних речовин.

Завданням проведення експериментальних досліджень є:

- визначення середньої питомої швидкості втрати мас пластин.

Засоби вимірювальної техніки

№ п/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки
1.	Регулятор-вимірювач	05-387	Від 0 до 1200 °С	± 2 °С
2.	Термопара ТХА	11	Від 0 до 1200 °С	
3.	Лінійка вимірювальна	б/н	Від 0 до 1000 мм	±0,5 мм
4.	Штангенциркуль ШЦ-I-200-0,02	0805174	Від 0 до 200 мм	± 0,02 мм
5.	Ваги ВТУ 210/ С3	1826	Від 0 до 210 г	Клас точності – 3

Обладнання :

- шафа термостат – ТСО-80 (10...60)±0,5 °С.
- морозильна камера – дослідний зразок ультра низькотемпературного холодильника (0...-10) ±0,5 °С.
- ексикатори (посудини).
- зразки металевих пластин марки Ст3.

Суть методу випробувань: експериментально визначити середню швидкість втрати маси з одиниці площі металевих пластин під час їх експонування у водному розчині вогнегасної речовини.

Умови проведення випробувань:

- температура повітря від 15°С до 25°С,
- атмосферний тиск від 84кПа до 106кПа,
- відносна вологість повітря від 30% до 95%,
- температура досліджуваних розчинів від 17°С до 23°С

Підготовка до випробувань.

Готують скляні циліндричні посудини та металеві пластини з розрахунку по 2 пластини на кожну посудину. Скляні посудини промивають дистильованою водою і споліскують розчином, що досліджується. Визначають об'єм розчину, який необхідно залити в скляні посудини, щоб він покрив підвішені пластини до половини їх висоти. Металеві пластини шліфують шкуркою, промивають ацетоном і протирають шліфувальним папером. Нумерують пластини, зважують, записують номери пластин, значення їх маси та номери посудин. Заливають досліджуваний розчин у посудини.

Проведення випробувань

Випробування I. Пластини підвішують на підставки за допомогою гачків, опускають підставки з пластинами у скляні посудини з досліджуваним розчином і герметично закривають кришкою.

Після витримки пластин у розчині вогнегасної речовини протягом 30 діб визначають втрату маси пластин. Для цього виймають з посудини обидві пластини, промивають водою і проводять травлення, повністю занурюючи пластини в 10 % розчин виннокислого амонію або виннокислого натрію на 1,5-2 години. Пластини знову промивають дистильованою водою, витирають насухо фільтрувальним папером і зважують. Визначають величину втрати маси пластини як різницю результатів зважування після обробки (експозиції в досліджуваному розчині і травлення) та перед обробкою. Площу поверхні контакту пластин з розчином вогнегасної речовини визначають вимірюванням лінійних розмірів тієї частини пластини, яку було занурено в розчин.

Повторне використання металевих пластин і розчинів вогнегасних речовин не допускається.

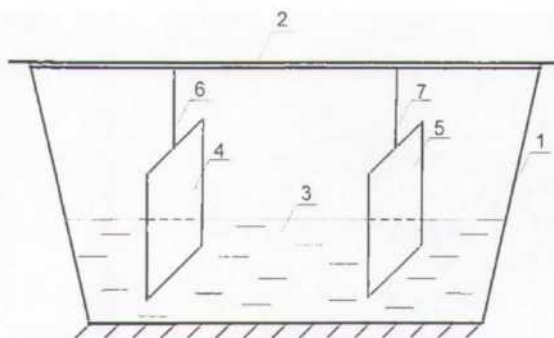


Рис.1. Схема розташування пластин у досліджуваному розчині
1 – екзикатор (посудина), 2 – кришка, 3 – водний розчин, 4,5 – пластини,
6,7 – гачки для підвішування пластин.

Випробування II. Проводиться аналогічно з випробуванням I, але витримка пластин проводиться за змінної температури (табл. 1) у шафі термостаті і у морозильній камері згідно ДСТУ 3675-98.

Повна витримка у процесі повного циклу (стадії 1 – 4) не повинна перевищувати 120 год. Загальна тривалість випробування становить не менше восьми температурних циклів.

Таблиця 1

Стадія	Тривалість витримки, год	Температура, °С
1	24 ± 1	t _{min}
2	Не менше 24	20 ± 5
3	24 ± 1	60 ± 5
4	Не менше 24	20 ± 5

Обробка результатів.

В результат візуального контролю визначають тип корозії. У випадку суцільної корозії корозійну активність водного розчину вогнегасної речовини оцінюють за величиною середньої питомої швидкості втрати маси пластин, визначеною після експонування в розчині протягом 30 діб.

Середню питому швидкість втрати маси пластини v_n (кг/м³·год) розраховують за формулою:

$$v_n = \frac{P}{S \cdot \tau} \quad (1)$$

де P – втрата маси пластини, кг;

S – площа поверхні контакту пластин з розчином вогнегасної речовини, м²;

τ – тривалість експозиції пластини в розчині вогнегасної речовини, год.

За результат визначення корозійної активності приймають середнє арифметичне значення результатів двох паралельних вимірювань.

Допустима розбіжність між результатами паралельних вимірювань, які отримані за однакових умов випробувань з довірчою імовірністю 0,95, не повинна перевищувати ±10% відносно середнього арифметичного значення.

Результати випробувань оформляються протоколом або звітом.

Протокол випробувань (звіт про випробування) має містити відомості про зразки, що були випробувані, умови та результати випробувань, а саме:

- назву та адресу лабораторії, що проводила випробування;
- дату випробувань;
- ескізи, фотографії та опис зразків;
- опис розташування приладів вимірювання;

- характеристику вимірюваних приладів;
- результати вимірювань корозійної активності розчинів;
- час початку та закінчення випробувань і причину припинення випробувань;
- оцінку результатів випробувань.

Отримані значення параметрів представляють у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень

№	Назва ПУ	Концентрація ПУ в робочому розчині	Назва інгібітора	Кількість інгібітора на 1л робочого розчину ПУ, г	Номер пластин	Швидкість корозії, кг/м ² -год	Відносна похибка, %	Температура випробування, °С
1.								
2.								

Правила безпеки праці під час проведення випробувань.

Випробування можуть проводити особи, які вивчили дану методику і пройшли інструктаж з техніки безпеки на робочому місці.

Під час випробувань необхідно дотримуватись:

- вимог безпеки під час роботи з хімічними речовинами;
- правил техніки безпеки в лабораторії, де проводяться дослідження.

Місце проведення випробувань повинне бути забезпечене медичною аптечкою з типовим набором для хімічних лабораторій.

Науковий керівник
д. т. н., професор



Василь КОВАЛИШИН

Ад'юнкт
ст. лейтенант служби цивільного захисту



Тетяна ВОЙТОВИЧ

ПОГОДЖЕНО:

Начальник
науково-дослідної лабораторії



Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ


ДОДАТОК Л

**МЕТОДИКА-ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ
«ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ПІДЙОМУ ПІНИ НИЗЬКОЇ
КРАТНОСТІ КРІЗЬ ШАР НАФТОПРОДУКТУ»**

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з науково-дослідної роботи
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності,
доктор сільськогосподарських наук,
професор




Андрій КУЗИК
05 _____ 2019 року

МЕТОДИКА-ПРОГРАМА
проведення випробувань
«ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ПІДЙОМУ ПІНИ НИЗЬКОЇ КРАТНОСТІ
КРИЗЬ ШАР НАФТОПРОДУКТУ»

Львів – 2019

Метою проведення випробувань було вивчення фактору швидкості підйому піни крізь шар нафтопродуктів, що впливає на час гасіння вертикальних сталевих резервуарів “підшаровим” способом.

Місце проведення випробувань.

Науково-дослідна лабораторія пожежної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Об’єкт випробувань.

Для досягнення мети ми спроектували експериментальну установку для визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту УВШПП-1.

Завданням проведення експериментальних досліджень є:

- визначення швидкості підйому піни низької кратності пінкоутворювального піноутворювача крізь шар нафтопродукту під різними тисками.

Обладнання:

- установка для визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту УВШПП-1;
- секундомір;
- мірні посудини.

Суть методу випробувань: експериментально визначити швидкість підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту.

Умови проведення випробувань:

- температура повітря від 10°C до 25°C,
- атмосферний тиск від 84кПа до 106кПа.

Підготовка до випробувань.

На рис. 1 зображено установка для визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту УВШПП-1.

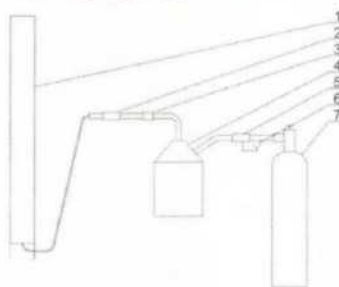


Рис. 1. Установка для визначення швидкості підйому піни низької кратності крізь шар нафтопродукту УВШПП-1:

1 – скляна колба; 2 – зворотний клапан; 3 – кран подавання робочого розчину піноутворювача; 4 – резервуар з розчином піноутворювача; 5 – редуктор; 6 – манометр; 7 – балон зі стиснутим повітрям або інертним газом.

2.									
3.									

Результати випробувань оформляються протоколом або звітом.

Протокол випробувань (звіт про випробування) має містити умови та результати випробувань, а саме:

- назву та адресу лабораторії, що проводила випробування;
- дату випробувань;
- ескізи, фотографії;
- опис розташування приладів вимірювання;
- характеристику вимірюваних приладів;
- результати вимірювань;
- час початку та закінчення випробувань і причину припинення випробувань;
- оцінку результатів випробувань.

Правила безпеки праці під час проведення випробувань.

1. Перед проведенням дослідження перевірити цілісність та справність всього оснащення.
2. Всі роботи проводити в захисному одязі та спорядженні.

Науковий керівник
д. т. н., професор



Василь КОВАЛИШИН

Ад'юнкт ЛДУ БЖД
ст. лейтенант служби цивільного захисту



Тетяна ВОЙТОВИЧ

ПОГОДЖЕНО:

Начальник науково-дослідної лабораторії
пожежної безпеки ЛДУ БЖД



Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

ДОДАТОК М

**МЕТОДИКА-ПРОГРАМА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ
«ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕГАСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТУ
РУЙНУВАННЯ ПЛІВКОУТВОРЮВАЛЬНОЇ ПІНИ ПРИ ЇЇ ПОДАВАННІ
ПІД ШАР НАФТОПРОДУКТУ»**

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-дослідної роботи
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності,
доктор сільськогосподарських наук,
професор



12 Андрій КУЗИК
2019 року

МЕТОДИКА-ПРОГРАМА
проведення випробувань
«ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕГАСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА КОЕФІЦІЕНТУ
РУЙНУВАННЯ ПЛІВКОУТВОРЮВАЛЬНОЇ ПІНИ ПРИ ЇЇ ПОДАВАННІ ПІД
ШАР НАФТОПРОДУКТУ»

Львів – 2019

Метою проведення випробувань була необхідність експериментальних досліджень для визначення коефіцієнту руйнування піни, а також визначення її вогнегасної ефективності при “підшаровому” подаванні в шар нафтопродукту на невеликих об’ємах і при низьких тисках.

Місце проведення випробувань.

Науково-дослідна лабораторія пожежної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.

Об’єкт випробувань.

Для досягнення мети спроектовано експериментальну установку для «підшарового» подавання піноутворювача з резервуаром на 54,7 л і манометром на низькі тиски.

Завданням проведення експериментальних досліджень є:

- визначення коефіцієнту руйнування піни при подаванні плівкоутворювального піноутворювача під шар нафтопродукту;
- визначення часу гасіння плівкоутворювальним піноутворювачем нафтопродукту “підшаровим” способом.

Таблиця 1

Засоби вимірювальної техніки

№ п/п	Найменування приладу чи обладнання	Заводський номер	Границя вимірювання	Клас точності або похибка засобів вимірювальної техніки
1.	Регулятор-вимірювач	05-387	Від 0 до 1200 °С	± 2 °С
2.	Термопара ТХА	11	Від 0 до 1200 °С	
3.	Ваги ВТУ 210/ СЗ	1826	Від 0 до 210 г	Клас точності – 3
4.	Манометр	ОБМВ1-100	мінус 1...1,5 кгс/см ²	Клас точності – 2,5, ГОСТ 2405-

Обладнання:

- установка для визначення піноутворювачів для “підшарового” способу гасіння УШЗДГР-1;
- секундомір;
- мірні посудини;
- тигель.

Суть методу випробувань: експериментально виміряти час гасіння нафтопродукту, а також об’єм піни, що утворилась після проходження її крізь шар нафтопродукту.

Умови проведення випробувань:

- температура повітря від 10°С до 25°С,
- атмосферний тиск від 84кПа до 106кПа.

Підготовка до випробувань.

На рис. 1 зображено установку для визначення коефіцієнту руйнування піни при її подаванні в шар нафтопродукту УШЗДГР-1, на якій будуть провидитись дослідження.

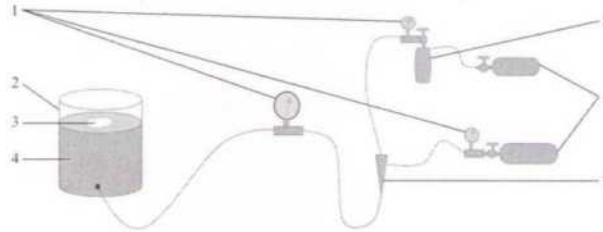


Рис. 1. Структурна схема експериментальної установки для визначення коефіцієнта руйнування піни під час подавання РР ПУ в шар нафтопродукту УКРП-1: 1 – манометри; 2 – металевий резервуар; 3 – піна; 4 – нафтопродукт; 5 – резервуар з РР ПУ (вогнегасник); 6 – балон зі стиснутим повітрям або інертним газом; 7 – інжектор (скляний)

Виставляють установку УКРП-1 на відкрите повітря.

Готують 6% робочий розчин плівкоутворювального піноутворювача у кількості 2 л, заправляють ним резервуар (вогнегасник) 5. Щоб уникнути інтенсивного спінювання, готують робочий розчин піноутворювача, заливаючи розрахункову кількість води та піноутворювача у корпус вогнегасника 5 і ретельно перемішують.

Встановлюють запірно-пускову арматуру.

Металевий резервуар встановлюють на рівній площині землі та наливають в резервуар 2 нафтопродукт 4. Висота шару нафтопродукту становить 180 мм та 360 мм для різних випробувань.

Встановлюють на манометрах необхідні тиски.

На першому етапі подають весь піноутворювач під шар нафтопродукту. Фіксують проміжок часу від початку подавання піноутворювача до повного його виходу з корпусу вогнегасника.

Закривають вентиль балона і скидають тиск у корпусі вогнегасника.

Товщину піни на поверхні нафтопродукту вимірюють металевою лінійкою після повного закінчення її подавання у чотирьох точках і розраховують середнє арифметичне. Після цього розраховують об'єм піни, що утворилася, $V_{\text{піни}}$.

Кратність піни визначають за формулою

$$K = \frac{V_{\text{піни}}}{V_{\text{ПУ}}} \quad (1)$$

де $V_{\text{піни}}$ – об'єм піни, що утворилася.

$V_{пу}$ – об'єм використаного ПУ.

Повторюють випробування за різних значень тиску.

На другому етапі випробувань експериментальні дослідження проводять аналогічно, як на першому етапі, але перед подаванням піни здійснюють підпал нафтопродукту. Вимірюють проміжок часу від початку подавання робочого розчину піноутворювача до повного гасіння. Розраховують кількість використаного робочого розчину піноутворювача та кратність піни.

Підпалювання нафтопродукту в резервуарі 2 проводять за допомогою вручну.

Результати досліджень представляють у вигляді таблиці 2 і таблиці 3.

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень визначення коефіцієнту руйнування плівкоутворювальної піни при подаванні її під шар нафтопродукту

№ досліджу	ПУ	$V_{пу}, м^3$	$H_{гас}, м$	$V_{піни}, м^3$	Кратність піни	$K_{втр}, \%$	$P_1, атм$	$P_2, атм$	$P_3, атм$	Примітка
1.										
2.										

Таблиця 3

Результати експериментальних досліджень визначення часу гасіння нафтопродукту "підшаровим" способом плівкоутворювальним піноутворювачем

№ досліджу	ПУ	$V_{пу}, м^3$	$H_{гас}, м$	$\tau_{гас}, с$	$V_{піни}, м^3$	Кратність піни	$P_1, атм$	$P_2, атм$	$P_3, атм$	$I, л/м^2 \cdot с^{-1}$	Примітка
1.											
2.											

Результати випробувань оформляються протоколом або звітом.

Протокол випробувань (звіт про випробування) має містити умови та результати випробувань, а саме:

- назву та адресу лабораторії, що проводила випробування;
- дату випробувань;
- ескізи, фотографії;
- опис розташування приладів вимірювання та їх характеристику;
- характеристику вимірюваних приладів; результати вимірювань;
- час початку та закінчення випробувань;

- оцінку результатів випробувань.

Правила безпеки праці під час проведення випробувань.

1. Перед проведенням дослідів перевірити цілісність та справність всього оснащення.
2. Всі роботи проводити в захисному одязі та спорядженні.
3. Підпалювання палива в деці відбувається за допомогою факелу вручну розміром держака 1 м.
4. Біля місця проведення дослідів повинен бути порошковий вогнегасник ВП-9.

Науковий керівник
д. т. н., професор



Василь КОВАЛИШИН

Ад'юнкт ЛДУ БЖД
ст. лейтенант служби цивільного захисту



Тетяна ВОЙТОВИЧ

ПОГОДЖЕНО:

Начальник науково-дослідної лабораторії
пожежної безпеки ЛДУ БЖД



Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

ДОДАТОК Н

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВІД
ГУ ДСНС УКРАЇНИ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

начальник управління реагування
на надзвичайні ситуації ГУ ДСНС України
у Львівській області,

підполковник служби цивільного захисту,
кандидат технічних наук

Ігор УЩАПІВСЬКИЙ

21 « 05 2020 року

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Войтович Тетяни Мирославівни
«Вдосконалення технології “підшарового” пожежогасіння в резервуарах з
нафтопродуктами»

Комісія у складі:

голови комісії – заступника начальника управління - начальника відділу організації пожежогасіння та роботи з об'єктовими підрозділами управління реагування на надзвичайні ситуації ГУ ДСНС України у Львівській області, підполковника служби цивільного захисту Прокопика І. Р.;


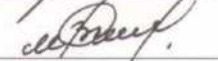
членів комісії: заступника начальника центру (з питань оперативного реагування) оперативно-координаційного центру ГУ ДСНС України у Львівській області, майора служби цивільного захисту Дубасюка В. С., старшого помічника начальника зміни (з питань оперативного реагування) чергової зміни оперативно-координаційного центру ГУ ДСНС України у Львівській області, майора служби цивільного захисту Матківського О. В. склала цей акт та стверджує, що результати дисертаційної роботи Войтович Т. М. і запропоновані нею інженерно-технічні рішення, зокрема використання “підшарового” способу подачі розчинів плівкоутворювальних піноутворювачів із запропонованими нормативними інтенсивностями рекомендовані ГУ ДСНС України у Львівській області, як варіант підвищення ефективності гасіння резервуарів з нафтопродуктами.

Голова комісії



Ігор ПРОКОПИК

Члени комісії

Володимир ДУБАСЮК

Олег МАТКІВСЬКИЙ

ДОДАТОК П

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВІД
ЛЬВІВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ БЕЗПЕКИ
ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та методичної роботи
Львівського державного університету
безпеки життєдіяльності

к.т.н., доцент



Дмитро ЧАЛИЙ

2019 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Войтович Тетяни Мирославівни
«Вдосконалення технології “підшарового” пожежогасіння в резервуарах з
нафтопродуктами»

Комісія у складі:

голови комісії – заступника начальника кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт к.т.н., доцента Луца В. І.;

членів комісії: доцента кафедри цивільного захисту та комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів, к.т.н., доцента Веселівського Р. Б., завідувача науково-дослідної лабораторії Петровського В. Л., встановила, що результати дисертаційної роботи Войтович Т. М. на тему: «Вдосконалення технології “підшарового” пожежогасіння в резервуарах з нафтопродуктами» за спеціальністю 261 – пожежна безпека (на здобуття наукового ступеня доктора філософії) використовуються у навчальному процесі при викладанні:

– на кафедрі пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт – дисциплін «Пожежна тактика» та «Тактика пожежогасіння та рятувальних робіт»;

– на кафедрі ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій – дисципліни «Пожежна техніка».

В лекційних курсах навчальних дисциплін використані теоретичні положення та методичні підходи дисертаційної роботи щодо гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами подачею піни під шар, зокрема використання плівкоутворювальних піноутворювачів і установки для випробування піноутворювачів при “підшаровому” способі гасіння.

Заступник начальника кафедри ІТ та АРР,
к.т.н., доцент

 Василь ЛУЦ

Доцент кафедри ЦЗ та КМЕГФП,
к.т.н., доцент

 Роман ВЕСЕЛІВСЬКИЙ

Завідувач науково-дослідної лабораторії
пожежної безпеки

 Віталій ПЕТРОВСЬКИЙ

ДОДАТОК Р

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ВІД
ТЗОВ «НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ТОВАРИСТВО «ВОГНЕБОРЕЦЬ»**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора

ТзОВ «Науково-виробниче товариство «Вогнеборець»

Андрій ЛОЗИНСЬКИЙ



05 2019 року

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Войтович Тетяни Мирославівни

«Вдосконалення технології “підшарового” пожежогасіння в резервуарах з нафтопродуктами»

Комісія в складі:


голови комісії – старшого наукового співробітника відділу організації науково-дослідної діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, к.т.н. Кириліва Я. Б.;

членів комісії: ад'юнкта докторантури/ад'юнктури Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, ст. лейтенанту служби цивільного захисту Войтович Т. М., начальника дільниці виготовлення вогнегасників Пігія В. І., склала цей акт про те, що матеріали дисертації Войтович Т. М. «Вдосконалення технології “підшарового” пожежогасіння в резервуарах з нафтопродуктами» використані при розробці та виготовленні піноутворювача із підвищеною корозійною стійкістю.


Розробка пройшла досліду експлуатацію та показала свою ефективність. Зазвичай, піноутворювачі зберігаються на підприємствах, в установах, організаціях у вигляді робочих розчинів, уже готових до оперативного застосування. Вони можуть знаходитись у повітряно-пінних вогнегасниках, а також посудинах систем автоматичного пожежогасіння, що виготовлені із металу чи залізобетону. При тривалому такому зберіганні, знижується вогнегасна ефективність піноутворювачів і значно погіршуються їх

властивості, що пов'язане з явищем корозії. В результаті витримки робочих розчинів піноутворювачів «Альпен» і «Барс S-1» у герметично закритих корпусах вогнегасників протягом 30 діб з додаванням інгібітора корозії алкілімідозоліну М встановлено, що додавання алкілімідозоліну М зменшує швидкість корозії у 1,4–1,7 раза.

Голова комісії


_____ Ярослав КИРИЛІВ

Члени комісії


_____ Тетяна ВОЙТОВИЧ


_____ Василь ПІГІЙ

ДОДАТОК С

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ**

Список опублікованих праць за темою дисертації:

Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В., Кошеленко, В. В. (2017). Дослідження впливу інгібіторів корозії на корозійну активність робочих розчинів піноутворювачів. *Пожежна безпека*, 30, 16-21.

2. Ковалишин, В. В., Кирилів, Я. Б., Гусар, Б. М., Войтович, Т. М., Ковалишин, Вол. В., Корнієнко, А. О., Чернецький, В. В. (2017). Перспективи гасіння пожеж водопінними вогнегасниками. *Пожежна безпека*, 31, 49-58.

3. Войтович, Т. М., Гусар, Б. М., Ковалишин, В. В., Кошеленко, В. В., Грушовінчук, О. В. (2018). Дослідження вітчизняних піноутворювачів для “підшарового” гасіння. *Пожежна безпека*, 32, 5-14.

4. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В., Чернецький, В. В. (2019). Особливості проектування і розрахунку системи “підшарового” гасіння. *Пожежна безпека*, 34, 21-27.

Статті у науковому журналі, що входить до бази даних Scopus:

5. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В., Новіцький, Я. М., Войтович, Д. П., Пастухов, П. В., Фірман, В. М. (2020). Вплив параметрів руху затоплених пінних струменів на “підшарове” гасіння пожеж в резервуарах з нафтопродуктами. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 3, 10(105), 6-17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206032>

Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В. (2017). Аналіз досліджень та існуючих методик, що стосуються зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XII Міжнар. наук.-практ. конф.*

молодих вчених, курсантів та студентів: [в 2 ч.] (23-24 березня 2017 р., м. Львів), 1, 16-18.

7. Войтович, Т. М. (2017). Дослідження впливу інгібіторів на зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (18-19 травня 2017 р., м. Черкаси), 183-184.*

8. Ковалишин, В. В., Войтович, Т. М. (2017). Зниження корозійної активності робочих розчинів піноутворювачів. *Проблеми екології та енергозбереження: матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції (20-24 вересня 2017 р., м. Миколаїв), 174-176.*

9. Ковалишин, В. В., Войтович, Т. М. (2017). Дослідження корозійної активності водних розчинів вогнегасних речовин. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції (10-11 жовтня 2017 р., м. Київ), 204-207.*

10. Ковалишин, В. В., Кирилів, Я. Б., Войтович, Т. М., Гусар, Б. М. (2017). Перспективи розвитку пінного гасіння. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції (10-11 жовтня 2017 р., м. Київ), 207-210.*

11. Ковалишин, В. В., Марич, В. М., Войтович, Т. М., Гусар, Б. М. (2018). Використання екологічно прийнятних вогнегасних речовин. *Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (14 вересня 2018 р., м. Львів), 42-43.*

12. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В. (2019). Дослідження швидкості підйому піни низької кратності крізь шар горючої речовини. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XIV Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів (28-29 березня 2019 р., м. Львів), 12-14.*

13. Войтович, Т. М., Ковалишин, В. В. (2019). Дослідження дизельного палива на доцільність використання за призначенням після його гасіння

плівкоутворюючими піноутворювачами. *Проблеми екології та енергозбереження: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції (20-22 вересня 2019 р., м. Миколаїв), 161-162.*

Апробація результатів роботи

Основні положення роботи викладено та обговорено на доповідях на наукових семінарах, науково-технічних радах Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, а також на науково практичних конференціях різного рівня:

- XII Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів “Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності” (м. Львів, 23-24 березня 2017 р., форма участі – усна доповідь);

- VIII Міжнародна науково-практична конференція «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» (м. Черкаси, 18-19 травня 2017 р., форма участі – публікація тез);

- XII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екології та енергозбереження» (м. Миколаїв, 20-24 вересня 2017 р., форма участі – публікація тез);

- XIX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (м. Київ, 10-11 жовтня 2017 р., форма участі – публікація тез);

- XIX Міжнародна науково-практична конференція «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (м. Київ, 10-11 жовтня 2017 р., форма участі – публікація тез);

- III Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» (м. Львів, 14 вересня 2018 р., форма участі – публікація тез);

- XIV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки

життєдіяльності» (м. Львів, 28-29 березня 2019 р., форма участі – усна доповідь);

- XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екології та енергозбереження» (м. Миколаїв, 20-22 вересня 2019 р., форма участі – публікація тез).