

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.

Спроектовано 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 напряму 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 невеликого 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 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 палива на поверхню горіння.

Зроблені від реалізації математичної моделі рішення повністю узгодилися 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 alkylimidazoline 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 koroziiu 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 koroziiu 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 vitchyznianskykh 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 korozii noi 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 korozii noi 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 sytuatsii: 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) Doslidzhennya 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 kratkosti 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: materials of the XIII international scientific and technical conference (September 20-22, 2019, Mykolaiv)], 161-162. [in Ukrainian].