

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Кравченко Антон Вікторович

УДК 614.841

ДИСЕРТАЦІЯ


ПІДШАРОВЕ ГАСІННЯ СПИРТІВ ВОГНЕГАСНИМ АЕРОЗОЛЕМ

261 – пожежна безпека

21 – 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


_____ А.В. Кравченко

Науковий керівник **Баланюк Володимир Мірчович,**
доктор технічних наук, доцент

Львів – 2021

АНОТАЦІЯ

Кравченко А.В. Підшарове гасіння спиртів вогнегасним аерозолем. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 216 – пожежна безпека. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності ДСНС України, Львів, 2021.

У дисертаційній роботі, яка є закінченим науковим дослідженням, розв'язано актуальну науково-технічну задачу розкриття особливостей впливу чинників на процеси припинення горіння спиртів у резервуарах при підшаровому подаванні вогнегасного аерозолю, як наукового підґрунтя підвищення ефективності систем підшарового пожежогасіння резервуарів із спиртами.

У роботі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи та важливість використання вогнегасного аерозолю для підшарового гасіння спиртів.

Проведено аналіз пожеж на спиртових підприємствах та встановлено, що при великих об'ємах горіння спирту теплове випромінювання набуває значного впливу на швидкість горіння спирту. Також встановлено, що при значних об'ємах горіння спирту існуючі пінні засоби пожежогасіння подеколи не забезпечують повного гасіння, а витрата піноутворювача може бути більшою за об'єм самого спирту який горить.

У дисертаційній роботі за результатами аналізу сучасного стану розроблення та застосування систем підшарового та аерозольного пожежогасіння висунуто ідею, що одним із шляхів підвищення ефективності підшарового пожежогасіння є подавання вогнегасного аерозолю підшарово з метою припинення горіння спирту.

Також проведено аналіз існуючих вогнегасних способів та засобів підшарового гасіння, встановлено їх недоліки та показано особливості їх застосування. Теоретично обґрунтовано можливість підвищення

ефективності систем підшарового гасіння спиртів у резервуарах шляхом підшарового подавання вогнегасного аерозолу з дна резервуару. Обґрунтовано, що при підшаровому подаванні аерозолу кінцевий вогнегасний ефект при підшаровому подаванні аерозолу забезпечується сумарною дією чинників, які виникають в момент виходу, проходження через шар рідини та вихід аерозолу на поверхню спирту. Проаналізовано існуючі методи підшарового гасіння та виявлено можливості застосування вогнегасного аерозолу для гасіння при підшаровому подаванні аерозолу з дна резервуару зі спиртом. Розроблено методику та проведено експериментальні дослідження щодо виявлення чинників впливу на ефективність процесу припинення горіння у разі підшарового подавання аерозолу з дна резервуару зі спиртом. Виявлено ефект синергізму чинників при підшаровому подаванні вогнегасного аерозолу з дна резервуару через кільцевий розподільник, який розташований біля бортів, роль якого полягає у зниженні часу гасіння до 2 разів, за умови подавання вогнегасного аерозолу в центрі резервуару.

У результаті дослідження виявлено ефект синергізму, який полягає у безпосередньому одночасному забезпеченні охолоджуючого ефекту, що виникає в результаті виходу аерозолу на поверхню, при перемішуванні спирту та охолодженні верхнього киплячого шару спирту та стінок резервуару внаслідок виходу аерозолу на поверхню рідини. При цьому експериментально встановлено, що зменшення розміру бульбашок (1-5 мм) забезпечує більш рівномірний вихід та ефективність гасіння спирту за рахунок утворення пінистого гетерогенного шару на поверхні спирту, який складається з бульбашок та спирту.

Експериментально встановлено інтенсивність теплового випромінювання на відстані 30 та 60 мм від поверхні спиртового полум'я площею 234 см². Встановлено, що значення інтенсивності теплового випромінювання для зазначених спиртів становить від 0,8 до 4,7 кВт/м², а інтенсивність випромінювання максимально збільшується від 30 до 40

секунд горіння, що пояснюється нагріванням поверхні спирту і збільшенням інтенсивності його випаровування. Також експериментально встановлено, що інтенсивність теплового випромінювання для етанолу значно зменшується при інтенсивностях подавання аерозолу до 1,2 г/с, що забезпечує зменшення полум'я до 2-х разів та подальшого гасіння. При цьому встановлено, що основним фактором, який впливає на силу горіння є інтенсивність випромінювання, яка забезпечує нагрівання поверхні рідини та стінки резервуару. Розроблено математичне планування експерименту щодо впливу концентрації аерозолу та густини горючої рідини на час ліквідації горіння при умові підшарового гасіння.

Зважаючи, що проведення експерименту з визначення інтенсивності теплового випромінювання горіння спиртів при підшаровому подаванні аерозолу здійснювалось в лабораторних умовах, то було встановлено регресійну залежність, яку було показано у вигляді поліноміальних рівнянь регресії.

Також в роботі теоретично обґрунтовано та показано взаємозв'язки чинників, що призводять до зниження інтенсивності теплового випромінювання при підшаровому гасінні спиртів вогнегасними аерозолями. Встановлено, що підшарове подавання вогнегасного аерозолу реалізовує ряд чинників, які синергічно забезпечують зниження інтенсивності теплового випромінювання за рахунок охолодження спирту, флегматизування зони парів і газів, інгібування зони реакції горіння та розсіювання тепла разом з нагрітим аерозолем. Крім цього, винесення аерозолу разом з продуктами горіння із зони реакції горіння забезпечує екранування навколишнього простору від теплового випромінювання полум'я. У результаті аналізу теоретичних та експериментальних результатів дослідження було обґрунтовано вихідні дані системи підшарового аерозольного пожежогасіння з виходом вогнегасного аерозолу на поверхню через кільце-розподільник. Також розроблено схематичну конструкцію системи аерозольного підшарового гасіння. Розроблено технічні документи, виготовлено дослідний

зразок системи аерозольного підшарового гасіння, проведено апробацію в полігонних умовах, а також напрацьовано рекомендації щодо їх застосування для протипожежного захисту об'єктів з можливістю виникнення пожеж класу В.

Результати досліджень впроваджено в системі підшарового аерозольного пожежогасіння для протипожежного захисту резервуару із спиртом, а також у вигляді установки та методики випробувань у науково-випробувальній лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності та лекційних матеріалах під час викладання дисципліни «Теорія розвитку та припинення горіння».

Ключові слова: вогнегасний аерозоль, інгібітори горіння, аерозольне пожежогасіння, підшарове гасіння, гасіння спиртів, флегматизатори.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Журнал у наукометричній базі Scopus

1. Баланюк В.М., Кравченко, А.В., Гарасим'юк О.І. (2021). Зменшення інтенсивності теплового випромінювання при підшаровому гасінні спиртів екологічно прийнятними аерозолями. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(10 (109), 37–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225216>

Наукові статті у фахових виданнях

2. Проблеми гасіння пожеж спиртів та їх сумішей / В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, Ю.О. Копистинський, А.В. Кравченко // Пожежна безпека. - 2018. - № 33. - С. 5-9. DOI: 10.32447/20786662.33.2018.01
3. Спосіб підшарового гасіння спиртів вогнегасним аерозолем / В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, А.В. Кравченко / Технічні науки. Scientific Journal «ScienceRise» №1(54) 2019, 11-15. 2019 DOI: 10.15587/2313-8416.2019.156097
4. Перспективи аерозольного підшарового гасіння спиртів / В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, А.В. Кравченко // Пожежна безпека. 35, 5-9. DOI:

10.32447/20786662.35.2019.01

5. Підшарове гасіння спиртів бінарними сумішами вогнегасного аерозолю та CO₂ / В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, А.В. Кравченко, О.І. Гарасимюк // Пожежна безпека. 36, 5-9. DOI: 10.32447/20786662.36.2020.01

6. Деякі температурні характеристики підшарового аерозольного гасіння спиртів / В.М. Баланюк, Н.М. Козяр, А.В. Кравченко // Пожежна безпека. 37, 11-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.02>

Інші видання

7. Баланюк В.М., Кравченко А.В., Козяр Н.М., Гарасим'юк О.І., Копистинський Ю.О. Синергізм чинників при підшаровому аерозольному гасінні спиртів у резервуарах // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". — 2020. — №16. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2020-16-6390>

Матеріали та тези конференцій

8. Баланюк В.М., Козяр Н.М., Кравченко А.В. Підшарове гасіння пожеж резервуарів з спиртами вогнегасним аерозолем. The 9th International conference —Science and society (February 1, 2018) Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada. 2019. 1359 p. С. 239 -243.

9. Баланюк В. М., Кравченко А.В. Переваги аерозольного підшарового гасіння спиртів. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали ІХ Всеукраїнської науковопрактичної конференції з міжнародною участю. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2019. – С.137-139.

10. Баланюк В.М., Козяр Н.М., Кравченко А.В. Вогнегасна та флегматизувальна ефективність бінарних газоаерозольних систем. Матеріали 21 Всеукраїнської науково-практичної конференції (за міжнародною участю). Розвиток цивільного захисту в сучасних безпекових умовах: – Електронне видання комбінованого використання. – Київ: ІДУЦЗ, 2019. – С. 25-27.

11. Баланюк В.М., Козяр Н.М., Гарасим'юк О.І., Кравченко А.В. К вопросу использования огнетушащего аэрозоля для подслоного тушения

спиртов. Science and education: problems, prospects and innovations. Abstracts of II International Scientific and Practical Conference Kyoto, Japan. 4-6 November. 2020 С. 232 -236.

12. Баланюк В.М., Козяр Н.М., Гарасим'юк О.І., Кравченко А.В. Екологічно прийнятні вогнегасні бінарні газоаерозольні суміші. Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека об'єктів туристично-рекреаційного комплексу» м. Львів, 5-6 грудня 2019 р. С. 74-75.

13. Баланюк В.М., Кравченко А.В., Гарасим'юк О.І., Екологічні переваги підшарового аерозольного гасіння. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. 26 березня 2021 р. Електронне видання комбінованого використання - м. Львів 2021. – С. 25-27.

ABSTRACT

Anton Kravchenko. Sublayer extinguishing of alcohols by fire extinguishing aerosol. - Qualifying scientific work on manuscript copyright.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 216 - fire safety. Lviv State University of Life Safety of the State Emergency Service of Ukraine, Lviv, 2021.

In the dissertation work, which is a completed scientific research, the actual scientific and technical problem of revealing the peculiarities of the influence of factors on the processes of stopping the burning of alcohols in tanks with sublayer supply of fire extinguishing aerosol as a scientific basis for improving the efficiency of sublayer fire extinguishing systems.

The relevance of the dissertation topic and the importance of using fire-extinguishing aerosol for sublayer extinguishing of alcohols are substantiated in the work.

The analysis of fires at alcohol enterprises was carried out in the work and it was established that at significant volumes of alcohol combustion thermal radiation has a significant effect on the rate of alcohol combustion. It has also been found that with significant volumes of alcohol combustion, the existing foam extinguishing agents sometimes do not provide complete extinguishing, and the consumption of foaming agent can be much larger even than the volume of the alcohol itself that burns.

In the dissertation, based on the analysis of the current state of development and application of sublayer and aerosol fire extinguishing systems, the idea is put forward that one of the ways to increase the efficiency of sublayer fire extinguishing is to supply fire extinguishing aerosol sublayer to stop alcohol burning.

The analysis of the existing fire extinguishing methods and means of sublayer extinguishing is carried out in the work, their shortcomings are established and features of their application are shown. The possibility of increasing the efficiency of sublayer extinguishing systems of alcohols in tanks by

sublayer supply of fire-extinguishing aerosol from the bottom of the tank is theoretically substantiated. It is substantiated that at sublayer aerosol supply the final fire-extinguishing effect at sublayer aerosol supply is provided by total action of the factors arising at the moment of an exit, passing through a liquid layer and an aerosol exit on an alcohol surface. The existing methods of sublayer extinguishing are analyzed and the possibilities of application of fire extinguishing aerosol for extinguishing at sublayer supply of aerosol from the bottom of the tank with alcohol are revealed. A method has been developed and experimental studies have been carried out to identify the influence of factors on the efficiency of the combustion cessation process in the case of sublayer aerosol supply from the bottom of an alcohol tank. The effect of synergism of factors in the sublayer supply of fire-extinguishing aerosol from the bottom of the tank through the annular distributor, which is located near the sides, the essence of which is to reduce the quenching time to 2 times, compared with the supply of fire-extinguishing aerosol in the center of the tank.

The study revealed the effect of synergism, which consists in the direct simultaneous provision of the cooling effect resulting from the aerosol on the surface when mixing alcohol and cooling the upper fluidized bed of alcohol and tank walls due to the aerosol on the surface of the liquid. It was experimentally established that the reduction of the size of the bubbles (1-5 mm) provides a more uniform yield and effective quenching of alcohol due to the formation of a foamy heterogeneous layer on the surface of the alcohol which consists of bubbles and alcohol.

The intensity of thermal radiation at an distance of 30 and 60 mm from the surface of an alcohol flame with an area of 234 cm² was experimentally established. It is established that the value of the intensity of thermal radiation for these alcohols is from 0.8 to 4.7 kW / m², and the radiation intensity increases from 30 to 40 seconds of combustion, due to heating of the alcohol surface and increasing the intensity of its evaporation. It has also been experimentally established that the intensity of thermal radiation for ethanol is significantly

reduced at aerosol supply intensities of up to 1.2 g / s, which reduces the flame by up to 2 times and then extinguishes it. It was found that the main factor influencing the intensity of combustion is the intensity of radiation, which provides heating of the liquid surface and the tank wall. Mathematical planning of the experiment on the influence of aerosol concentration and combustible liquid density on the elimination of combustion under the condition of sublayer quenching has been developed.

Considering that the experiment to determine the intensity of thermal radiation of alcohol combustion during sublayer aerosol supply was carried out in the laboratory, a regression dependence was established which was shown in the form of polynomial regression equations.

The paper also theoretically substantiates and shows the relationships of factors that lead to a decrease in the intensity of thermal radiation during sublayer quenching of alcohols with fire-extinguishing aerosols. It is established that the sublayer supply of fire extinguishing aerosol implements a number of factors that synergistically reduce the intensity of thermal radiation by cooling alcohol, phlegmatizing the vapor and gas zone, inhibiting the combustion reaction zone and heat dissipation together with the heated aerosol. In addition, the removal of the aerosol together with the combustion products from the combustion reaction zone provides shielding of the surrounding space from the thermal radiation of the flame. As a result of analyzes of theoretical and experimental results of the study, the initial data of the sublayer aerosol fire extinguishing system with the release of fire extinguishing aerosol to the surface through the distributor ring were substantiated. A circuit solution for the design of the aerosol sublayer extinguishing system has also been developed. Technical documents have been developed, a prototype of an aerosol sublayer extinguishing system has been prepared, testing in landfill conditions has been carried out, and recommendations for their use for fire protection of objects with the possibility of class B fires have been developed.

The research results are implemented in the system of sublayer aerosol fire extinguishing for fire protection of the tank with alcohol, as well as in the form of installation and test methods in the research laboratory of Lviv State University of Life Safety and lecture materials during the course "Theory of development and cessation of combustion".

Key words: fire extinguishing aerosol, combustion inhibitors, aerosol fire extinguishing, sublayer extinguishing, alcohol extinguishing, phlegmatizers.

LIST OF PAPERS PUBLISHED ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

Journal in the scientometric database Scopus

1. Balanyuk, V., Kravchenko, A., Harasymyuk, O. (2021). Reducing the intensity of thermal radiation at the sublayer extinguishing of alcohols by ecologically acceptable aerosols. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10 (109), P. 37–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225216>

Scientific articles in professional journals

2. Balanyuk, V., Kozyar, N., Kopystynskiy, Y., Kravchenko, A. (2018). Extinguishing fires of alcohols and their mixtures. *Fire Safety*, (33), Pp. 5-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.33.2018.01>

3. Method of sublayer fire extinguishing of alcohols by fire extinguishing aerosol. V. Balanyuk, N. Kozyar, A. Kravchenko - *ScienceRise*, Scientific Journal «ScienceRise» No1(54) 2019, Pp. 11-15. 2019
DOI: 10.15587/2313-8416.2019.156097

4. Balanyuk, V., Kozyar, N., Kravchenko, A. (2019). Prospects aerosol sublayer quenching of alcohols. *Fire Safety*, 35, Pp. 5-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.35.2019.01>

5. Balanyuk, V., Kozyar, N., Kravchenko, A. (2020). Sub-layer extinguishing of alcohols by binary mixtures of fire-extinguishing aerosol and CO₂. *Fire Safety*, 36, Pp. 5-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.36.2020.01>

6. Balanyuk, V., Kozyar, N., Kravchenko, A. (2021). Some temperature characteristics sub-layer aerosol extinguishing of alcohols. *Fire Safety*, 37, Pp. 11-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.02>

Other editions

7. Balanyuk, V., Kravchenko, A., Kozyar, N., Harasymyuk, O., Kopystynskyi, Y. (2020). Synergism of factors in sublayer aerosol extinguishing of alcohols in tanks. // *Scientific journal "Internauka"* — 2020. — №16. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2020-16-6390>

Proceedings and abstracts of conferences

8. Balanyuk V., Kozyar N., Kravchenko A. Sublayer fire extinguishing of tanks with alcohols with fire extinguishing aerosol The 9th International conference — *Science and society* (February 1, 2018) Accent Graphics Communications & Publishing, Hamilton, Canada. 2019. 1359. Pp. 239 -243.

9. Balanyuk V., Kravchenko A. Advantages of aerosol sublayer quenching of alcohols. *Emergencies: security and protection: Proceedings of the IX All-Ukrainian scientific-practical conference with international participation.* - Cherkasy: CHIPB them. Heroes of Chernobyl NUTSZ of Ukraine, 2019. Pp.137-139.

10. Balanyuk V., Kozyar N., Kravchenko A. Fire extinguishing and phlegmatizing efficiency of binary gas aerosol systems. *Proceedings of the 21st All-Ukrainian Scientific and Practical Conference (with international participation).* Development of civil protection in modern security conditions: - Electronic edition of combined use. - Kyiv: IDUTS, 2019. Pp. 25-27.

11. Balanyuk V., Kozyar N., Harasymyuk O., Kravchenko A. On the issue of using a fire-extinguishing aerosol for sub-layer extinguishing of alcohols. Science and education: problems, prospects and innovations. Abstracts of II International Scientific and Practical Conference Kyoto, Japan. 4-6 November. 2020. Pp. 232 -236.

12. Balanyuk V., Kozyar N., Harasymyuk O., Kravchenko A. Ecologically accepted fire-extinguishing binary gas-aerosol mixtures. Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference "Environmental Safety of Tourist and Recreational Complex" Lviv, December 5-6, 2019.

13. Balanyuk V., Kravchenko A. & Harasymyuk O. Environmental benefits of sublayer aerosol quenching. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference. March 26, 2021. Electronic edition of combined use - Lviv 2021. Pp. 25-27.