

Національний університет цивільного захисту України
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Шахов Станіслав Михайлович

УДК 614.8

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ А

261 – пожежна безпека

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.

_____ С. М. Шахов

Науковий керівник Виноградов С. А., кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2020

АНОТАЦІЯ

Шахов С.М. Підвищення ефективності використання компресійної піни для гасіння пожеж класу А. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 – пожежна безпека. Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2020 р.

У дисертаційній роботі вирішено актуально науково-практичну задачу у галузі пожежної безпеки – підвищено ефективність використання компресійної піни для гасіння пожеж класу А за рахунок варіювання її кратності та концентрації водного розчину піноутворювача.

На сьогодні тверді речовини і матеріали є найбільш поширеними у виробництві, народному господарстві та побуті. Відомо, що від загальної кількості пожеж, які виникають на території держави, близько 80 % відбувається у спорудах житлового сектору. В умовах гасіння пожеж, пов'язаних з горінням твердих горючих речовин, основним вогнегасним засобом є вода. Але, незважаючи на її переваги, широке поширення, зручність використання та економічну доцільність, значна її частина не потрапляє до зони горіння. На гасіння пожежі використовується лише 5–10 % води; фактично 90–95 % води залишається надмірно пролитою, що призводить до значних матеріальних збитків. Одним з напрямів підвищення ефективності гасіння пожеж класу А є застосування компресійної піни.

Компресійна піна має низку переваг над іншими вогнегасними речовинами: за рахунок технології перемішування утворюється піна, яка є високодисперсною й однорідною, що робить її більш стійкою у порівнянні з повітряно-механічною піною, за допомогою пристрою дозування можна регулювати відношення компонентів піни, що надає можливість утворювати піну необхідної кратності, як суху, так і мокру.

Проведений аналіз дозволив встановити, що закордонні виробники пропонують використання компресійної піни з різною кратністю та концентрацією водного розчину піноутворювача. На підставі проведеного аналізу виявлено, що в Україні не ведуться роботи щодо розробки систем генерування та подавання компресійної піни для підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту. Проведено огляд теоретичних та експериментальних досліджень, пов'язаних з вивченням властивостей та вогнегасної ефективності компресійної піни. Аналіз теоретичної бази та отриманих практичних результатів дозволив встановити, що більша кількість досліджень присвячена застосуванню компресійної піни для гасіння пожеж класу Б. Відсутнє наукове обґрунтування, або рекомендації, яка кратність та концентрація водного розчину піноутворювача у компресійній піні володіють найбільшою вогнегасною ефективністю для гасіння твердих горючих речовин.

На основі вищевикладеного розроблено та запропоновано математичну модель процесу генерування компресійної піни, яке дозволяє надалі виконувати проектування експериментального зразка системи для генерування та подавання компресійної піни. Розроблена математична модель дозволяє проводити технічний розрахунок параметрів системи з урахуванням її вимог, виконувати розрахунки параметрів системи в залежності від кратності піни, яку необхідно отримати, досліджувати вплив параметрів піногенеруючої вставки на кратність компресійної піни. Створена на основі математичної моделі прикладна програма дозволяє вибрати необхідні характеристики системи для подачі компресійної піни, такі як робочий тиск, діаметри отвору подачі повітря та рідинної суміші, діаметр і довжину піногенеруючої вставки, діаметр вихідного отвору ствола.

Проведено аналіз існуючих способів змішування повітря та розчину піноутворювача у системах для подачі компресійної піни. Встановлено ряд переваг коаксіального способу змішування над іншими існуючими технологіями. Розроблений оригінальний пінозмішувач коаксіального типу перемішування з реактором, в якому передбачені сопла Лавалю для

інтенсифікації процесу піноутворення (отримано патент на пінозмішувач для компресійної піни). Розглянуто статичні змішувачі з різними конструктивними особливостями, які можуть бути використані для генерування компресійної піни. Ураховуючи вищевикладене, спроектовано та розроблено експериментальний зразок системи генерування та подавання компресійної піни на основі розрахункових даних, отриманих за допомогою математичної моделі й аналізу існуючих систем для подачі компресійної піни, який дозволяє отримувати піну з робочим діапазоном кратності від 5 до 25.

За допомогою розробленого зразка системи генерування та подавання компресійної піни проведено експериментальні дослідження впливу кратності та концентрації водного розчину піноутворювача «БАРС-S» у компресійній піні на її властивості та встановлено, що, на відміну від повітряно-механічної піни, компресійна піна більшої кратності має більшу стійкість. Зокрема, зі збільшенням кратності піни від 5 до 20 її стійкість підвищується з 4,5 хв до 21,8 хв, тобто майже уп'ятеро. Збільшення концентрації водного розчину піноутворювача «БАРС-S» від 4 % до 6 % супроводжується збільшенням стійкості компресійної піни, генерованої з нього, на 22 %, а зі змінюванням кратності піни в тих самих межах відбувається зменшення розміру пінної бульбашки на 14 %, що зумовлює збільшення тривалості її існування. Також виявлено (на прикладі піноутворювача «БАРС-S»), що у разі збільшення концентрації водного розчину піноутворювача від 4 % до 6 % (концентрації, рекомендованої його виробником) відбувається зменшення розміру пінної бульбашки на 10 %, наслідком чого є утворення високодисперсної і більш стійкої піни. Встановлено, що за збільшення кратності піни її однорідність зростає, а саме а саме під час визначення діапазону розмірів бульбашок для піни кратністю $K=12,5$ діаметри бульбашок знаходилися в межах від 0,09 мм до 0,13 мм (кількість різних діаметрів бульбашок $n=5$), що на 66 % менше у порівнянні з діапазоном діаметрів для піни кратністю $K=5$. (кількість різних діаметрів бульбашок $n=15$). Найбільша однорідність бульбашок спостерігається для піни кратністю $K=20$, де діапазон діаметрів знаходиться у

межах від 0,09 мм до 0,11 мм. У співставленні з розбіжністю розмірів бульбашок піни від кратності $K=20$ до кратності $K=6$ зменшення відбулося на 80 %. (кількість різних діаметрів бульбашок $n=3$).

Отримано результати, що стосуються визначення вогнегасної ефективності компресійної піни, під час гасіння лабораторних (не стандартизованих) вогнищ класу А, за показниками вогнегасної здатності та ефективності гасіння, в залежності від кратності та концентрації водного розчину піноутворювача у компресійній піні. Визначено, що кратність піни суттєво впливає на її вогнегасну ефективність. Так, збільшення кратності піни з 15 до 25 приводить до підвищення ефективності гасіння відповідно на 60 % (від найнижчого значення показника ефективності гасіння, до його максимального значення, за яким оцінювалась вогнегасна здатність), в залежності від концентрації піноутворювача. При цьому для розчину з 6 % концентрацією піноутворювача (на прикладі піноутворювача загального призначення «БАРС-S»), має місце найбільша вогнегасна ефективність. Проведено експериментальні дослідження щодо гасіння стандартизованого модельного вогнища пожежі 1А водою та компресійною піною. Порівняно вогнегасну ефективність гелеутворюючих систем, компресійної піни та води. Оцінку вогнегасної ефективності проведено за показником ефективності гасіння $P_{e.g}$. Під час гасіння модельного вогнища водою значення показника ефективності гасіння склало $P_{e.g} = 4,12 \times 10^{-3}, \frac{M^2}{кг \times c}$, але після гасіння модельного вогнища, через 5 хвилин, спостерігалось повторне займання. Значення показника для гелеутворюючих систем $CaCl_2$ 11,4% – $Na_2O \cdot 2,95SiO_2$ 3,8% – H_2O 84,8% склало $P_{e.g} = 11,9 \times 10^{-3}, \frac{M^2}{кг \times c}$, що на 65 % більше, ніж вогнегасна ефективність води. Найбільша вогнегасна ефективність за показником ефективності гасіння спостерігається для компресійної піни та становить $P_{e.g} = 14 \times 10^{-3}, \frac{M^2}{кг \times c}$, що на 80 % більше, ніж у води, та на 15 % більше, ніж у гелеутворюючих систем.

Надано рекомендації щодо застосування систем компресійної піни в підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій. України. Запропоновано конструкцію переносної системи пожежогасіння компресійною піною, що може бути розроблена та впроваджена у практичні підрозділи Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Розроблено технічні вимоги до переносного модуля пожежогасіння компресійною піною для підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій України.

Ключові слова: компресійна піна, пожежі класу А, тверді горючі речовини, пожежогасіння, стійкість, кратність.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

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

1. Шахов С.М., Виноградов С.А., Присяжнюк В.В. Розробка системи пожежогасіння газонаповненою піною. *Проблеми пожежарної безпеки*. 2017. Вип 42. С. 12–21.
2. Шахов С.М., Виноградов С.А., Кодрик А.І., Тітенко О.М. Вплив кратності компресійної піни на дисперсність і стійкість. *Проблеми пожежарної безпеки*. 2019. Вип. 45. С. 27–33.
3. Шахов С.М., Виноградов С.А., Кодрик А.І., Тітенко О.М., Стилик І.Г. Визначення залежності характеристик компресійної піни. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 5. С. 103–106.
4. Шахов С.М., Виноградов С.А., Кодрик А.І., Тітенко О.М. Визначення вогнегасної ефективності компресійної піни під час гасіння нею твердих горючих речовин. *Проблеми пожежарної безпеки*. 2019. Вип. 46. С. 199–205.
5. Шахов С.М., Кодрик А.І., Тітенко О.М., Виноградов С.А. Математичне забезпечення для проектування систем генерування

компресійної піни. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020, Т. 30, № 3. С.111–115.

6. Шахов С.М., Виноградов С.А., Кодрик А.І., Тітенко О.М. Визначення показника вогнегасної здатності компресійної піни. *Проблеми пожежарної безпеки*. 2020. Вип. 47. С. 127–131.

7. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Kodrik A.I., Titenko O.M., Parkhomchuk O.V. Mathematical modeling of gas-liquid flow in compressed air foam generation systems. *Technology audit and production reserves*. 2020. № 4/3(54). P. 29–35.

Стаття у науковому періодичному виданні інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію:

8. Shakhov S.M., Vinogradov S.A. Fire Extinguishing Efficiency of Compressed Air Foam, Water and Gel Forming Agents in a Standard Class A Test *Safety & Fire Technology*. 2020. Vol. 55.Issue 1. P. 154–160.

Статті в інших виданнях:

9. Шахов С.М., Виноградов С.А., Ларін О.М. Аналіз світових зразків систем пожежогасіння газонаповненою піною. *Надзвичайні ситуації. Попередження та ліквідація*. 2017. Вип 1. С. 50–58.

Патенти:

10. Шахов С.М., Виноградов С.А., Тітенко О.М., Кодрик А.І. Пінозмішувач для утворення компресійної піни: пат. 142507 Україна: МПК А62С 31/12, А62С 5/02, В05В 7/00. № и 2019 11826; заявл. 11.12.2019; опубл. 10.06.2020, Бюл. № 11/2020.

Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

11. Шахов С.М. Використання статичних змішувачів у системах подачі компресійної піни. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій* : зб. матеріалів доп. ІХ Міжнар. наук.–практ. конф., 18–19 трав. 2018 р. Черкаси : ЧПБ, 2018. С. 144–145.

12. Шахов С.М., Нікулін О.Ф. Функціонально–фізична схема установки для генерації компресійної піни. *Запобігання надзвичайним ситуаціям і їх ліквідація* : матеріали наук.–практ. сем., 21 лют. 2019 р. Харків : НУЦЗУ, 2019. С. 285–287.

13. Шахов С.М. Розробка експериментальної установки для проведення досліджень властивостей компресійної піни. *Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту* : зб. матеріалів доп. Міжнар. наук.–практ. конф. Харків : НУЦЗУ, 2019. С. 185.

14. Shakhov S.M., Balaka N.I. Innovative technologies in firefighting: compressed air foam. *Technologie Informacyjne i innowacyjne w XXI wieku: mat. Miedzynarodowa konferencja naukowa*. Poland : Katowice, 2019. P. 395–406.

15. Шахов С.М., Кодрик А.И., Виноградов С.А., Титенко О.М. Разработка математической модели установки для генерации компрессионной пены. *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация* : сб. материалов докл. VIII Междунар. науч.–практ. конф. Минск : НИИПБЧС , 2019. С 103–115.

16. Шахов С.М., Виноградов С.А., Кодрик А.И., Титенко О.М. Порівняння вогнегасних показників компресійної піни. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій* : зб. матеріалів доп. XI Міжнар. наук.–практ. конф., 09–10 квіт. 2020 р. Черкаси : ЧПБ, 2020. С. 86–88.

17. Шахов С.М., Виноградов С.А. Пеносмеситель для генерации компрессионной пены. *Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы* : сб. материалов докл. XI Междунар. науч.–практ. конф. 8–9 апр., 2020 г. Минск : УГЗ, 2020. С. 291–292.

18. Шахов С.М., Виноградов С.А., Кодрик А.І., Тітенко О.М. Визначення найбільш ефективної вогнегасної речовини під час гасіння стандартних модельних вогнищ класу А. *Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки*: зб. матеріалів доп. Міжнар. наук.–практ. конф. Рівне: НУВГП, 21–22 травня 2020. С. 178–180.

SUMMARY

Shakhov S.M. Improving the efficiency of use of compressed air foam for extinguishing class A fire.

Thesis for a Doctor of Philosophy in the speciality 261 – Fire Safety. National University of Civil Defence of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2020.

In the thesis, an urgent scientific and practical problem in the field of fire safety has been solved – the efficiency of using compressed air foam for extinguishing Class A fires has been increased by varying its expansion ratio and the concentration of an aqueous solution of foam agent.

Today, solids and materials are the most common in a production, the economy, and everyday life. It is known that about 80% of the total number of fires occurring on the territory of the State occurs in the buildings of the residential sector. In the conditions of extinguishing fires associated with the combustion of solid combustible substances, water is the main extinguishing agent. But, despite its advantages, wide distribution, convenience, and economic feasibility, its significant part does not fall into the combustion zone. Only 5-10 % of water is used to extinguish a fire; in fact, 90-95 % of the water remains overspilled, resulting in significant material losses. One of the ways to increase the efficiency of extinguishing Class A fires is the use of compressed air foam.

Compressed air foam has several advantages over other fire extinguishing agents: due to the mixing technology, the foam, which is highly dispersed and homogeneous, that makes it more stable in comparison with air-filled foam, is being

formed; with the help of the dosing device, the ratio of the foam components can be adjusted, which allows the formation of foam with the required expansion ratio, both dry and wet.

The analysis made it possible to find that foreign manufacturers offer the use of compressed air foam with different expansion ratios and the concentration of an aqueous solution of foam agent. Based on the analysis, it was revealed that in Ukraine, there is no work on the development of generation systems and compressed air foam application for the units of the civil defense operational rescue service. A review of theoretical and experimental studies related to the study of the properties and fire extinguishing efficiency of compressed air foam has been carried out. The analysis of the theoretical base and the practical results obtained made it possible to establish that a large number of studies are devoted to the use of compressed air foam for extinguishing Class B fires. There is no scientific justification or recommendation which expansion ratio and concentration of a foam agent aqueous solution in compressed air foam have the greatest fire extinguishing efficiency for extinguishing solid combustible substances.

Based on the foregoing, a mathematical model of the compressed air foam generation, which allows in the future designing an experimental model of a system for generating and compressed air foam application, has been developed and proposed. The developed mathematical model makes it possible to carry out a technical calculation of the system parameters, taking into account its requirements, to calculate the parameters of the system depending on the foam expansion ratio, which should be obtained, to study the influence of the parameters of the foam-generating insert on the expansion ratio of compressed air foam. The application created on the basis of a mathematical model allows selecting the necessary system characteristics for the supply of compressed air foam, such as operating pressure, diameters of the air and liquid mixture supply holes, the diameter and length of the foam-generating insert, and the diameter of the discharge outlet of fire-hose barrel.

The analysis of existing methods of mixing air and a foam agent solution in systems for supply of compressed air foam has been carried out. A number of

advantages of the coaxial mixing method over other existing technologies have been established. An original foam educator of coaxial mixing type with a reactor, in which converging-diverging nozzles (Laval nozzles) are provided to intensify the foaming process, has been developed (a patent has been obtained for a compressed air foam educator). Static educators with various design features that can be used to generate compressed air foam have been considered. Considering the above, an experimental sample of a generation system and a compressed air foam application has been designed and developed on the basis of calculated data obtained using a mathematical model and analysis of existing systems for supplying compressed air foam, which makes it possible to obtain foam with a working range of expansion ratio from 5 to 25.

Using the developed sample of the generating system and compressed air foam application, experimental studies of the effect of expansion ratio and the concentration of an aqueous solution of «BARS-S» foam agent in compressed air foam on its properties have been carried out and it was found that, in contrast to air-filled foam, compressed air foam with a larger expansion ratio has a higher stability. In particular, as the expansion ratio of foam increases from 5 to 20, its stability increases from 4.5 minutes to 21.8 minutes, that is, almost five times. An increase in the concentration of an aqueous solution of «BARS-S» foam agent from 4 % to 6 % is accompanied by an increase in the stability of compressed air foam produced from it by 22 %, and with a change of the foam expansion ratio within the same limits, the size of the foam bubble decreases by 14 %, which leads to an increase in the duration of its existence. It was also found (using the example of «BARS-S» foam agent) that if the concentration of an aqueous solution of foam agent increases from 4 % to 6 % (the concentration recommended by its manufacturer), the size of the foam bubble decreases by 10 %, which results in the formation of a highly dispersed and more stable foam. It was stated that as the expansion ratio of foam increases, its homogeneity increases, namely, when determining the range of bubble sizes for foam with expansion ratio $K=12.5$, the bubble diameters ranged from 0.09 mm to 0.13 mm (the number of different diameters bubbles $n=5$), which is 66 % less

compared to the diameter range for foam with expansion ratio $K=5$ (the number of different bubble diameters $n=15$). The greatest homogeneity of bubbles is observed for foam with the expansion ratio $K=20$, where the diameters range is from 0.09 mm to 0.11 mm. In comparison with the discrepancy in the size of the foam bubbles from the expansion ratio $K=20$ to the expansion ratio $K=6$, the decrease occurred by 80 % (the number of different bubble diameters $n=3$).

Results regarding the determination of the fire extinguishing efficiency of compressed air foam during extinguishing of laboratory (non-standardized) Class A fire sources in terms of fire extinguishing capacity and extinguishing efficiency, depending on the expansion ratio and the concentration of an aqueous solution of foam agent in compressed air foam, have been obtained. It has been determined that the foam expansion ratio significantly affect its fire extinguishing efficiency. Thus, an increase in the expansion ratio of foam from 15 to 25 leads to an increase in the extinguishing efficiency by 60 %, respectively (from the lowest value of the extinguishing efficiency factor to its maximum value, according to which the fire extinguishing capacity was estimated), depending on the concentration of the foam agent. At the same time, for a solution with 6 % concentration of foam agent (on the example of general-purpose «BARS-S» foam agent), the highest fire extinguishing efficiency takes place. Experimental studies to extinguish a standardized simulative fire center 1A with water and compressed air foam have been carried out compared of fire extinguishing efficiency of gel, compressed air foam, and water. The assessment of fire extinguishing efficiency has been carried out in terms of extinguishing efficiency $I_{e.e}$. During the extinguishing of the simulative fire with water, the value of the extinguishing efficiency factor was $I_{e.e} = 4.12 \times 10^{-3}$, , but after extinguishing the simulative fire bed, after 5 minutes, repeated ignition has been observed. The factor value for CaCl_2 gel 11.4 % – $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2.95 \text{SiO}_2$ 3.8 % – H_2O 84.8 % was $I_{e.e} = 11.9 \times 10^{-3}$, which is 65 % more than fire extinguishing efficiency water. The highest fire extinguishing efficiency in terms of extinguishing efficiency is observed for compressed air foam and is $I_{e.e} = 14 \times 10^{-3}$, which is 80 % more than water, and 15 % more than gel.

Recommendations for the use of compressed air foam systems in the units of the State Emergency Service of Ukraine have been provided. The design of a portable fire extinguishing system using compressed air foam, which can be developed and implemented in the practical units of the State Emergency Service of Ukraine, has been proposed. Technical requirements for a portable fire extinguishing module using compressed air foam for units of the State Emergency Service of Ukraine have been developed.

Keywords: compressed air foam, class A fires, solid combustible substances, fire extinguishing, resistance, expansion ratio.

List of published works on the topic of the thesis:

Papers in scientific publications of Ukraine included in the international scientometric bases:

1. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Prysyzhnyuk V.V. Development of a Gas-Filled Foam Fire Extinguishing System. *Fire Safety Problems*. 2017. Issue 42. Pp. 12–21.
2. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Kodrik A.I., Titenko O.M. Effect of Expansion Ratio of Compressed Air Foam on Dispersion and Stability. *Fire Safety Problems*. 2019. Issue 45. Pp. 27–33.
3. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Kodrik A.I., Titenko O.M., Stylyk I.H. Determination of the Dependence of the Compressed Air Foam Characteristics. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*. 2019. Vol. 29, No. 5. Pp. 103–106.
4. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Kodrik A.I., Titenko O.M. Determination of Fire Extinguishing Efficiency of Compressed Air Foam During Extinguishing Solid Combustible Substances with the Foam. *Fire Safety Problems*. 2019. Issue 46. Pp. 199–205.
5. Shakhov S.M., Kodrik A.I., Titenko O.M., Vinogradov S.A. Mathematical Tool for Designing Compressed Air Foam Generation Systems. *Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*. 2020, Vol. 30, No. 3. Pp. 111–115.

6. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Kodrik A.I., Titenko O.M. Determination of the Fire Extinguishing Capacity Factor for Compressed Air Foam. *Fire Safety Problems*. 2020. Issue 47. Pp. 127–131.

7. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Kodrik A.I., Titenko O.M., Parkhomchuk O.V. Mathematical modeling of gas-liquid flow in compressed air foam generation systems. *Technology Audit and Production Reserves*. 2020. No. 4/3(54). Pp. 29–35.

Paper in a scientific periodical of other States in the direction in which the thesis was written:

8. Shakhov S.M., Vinogradov S.A. Fire Extinguishing Efficiency of Compressed Air Foam, Water and Gel Forming Agents in a Standard Class A Test *Safety & Fire Technology*. 2020. Vol. 55. Issue 1. Pp. 154–160.

Articles in the other editions:

9. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Larin O.M. Analysis of World Samples of Gas-Filled Foam Fire Extinguishing Systems. *Emergencies. Prevention and Elimination*. 2017. Issue 1. Pp. 50–58.

Patents:

10. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Titenko O.M., Kodrik A.I. Foam Educator to Create Compressed Air Foam: patent 142507 Ukraine: No. u 2019 11826; decl. on 12/11/2019; publ. 06/10/2020, Bul. No. 11/2020.

Scientific conference abstracts that testify to the approbation of the thesis materials:

11. Shakhov S.M. Use of Static Educators in Compressed Air Foam Systems. *Theory and Practice of Fire Extinguishing and Emergency Response* : Collection of materials of reports of the IX International Scientific and Practical Conference, 2018, Cherkasy: CHIPB, 2018. Pp. 144–145.

12. Shakhov S.M., Nikulin O.F. Functional-Physical Diagram of the Installation for the Generation of Compressed Air Foam. *Prevention of Emergencies and Their Elimination* : Materials of the Scientific and Practical Seminar, February 21, 2019, Kharkiv: NUTSU, 2019. Pp. 285–287.

13. Shakhov S.M. Development of an Experimental Setup for Investigating the Compressed Air Foam Properties. *Problems and Prospects of Civil Protection : Collection of Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, Kharkiv: NUTSZU, 2019, P. 185.

14. Shakhov S.M., Balaka N.I. Innovative technologies in firefighting: compressed air foam. *Technologie Informacyjne i innowacyjne w XXI wieku: mat. Miedzynarodowa konferencja naukowa*. Poland : Katowice, 2019. Pp. 395–406.

15. Shakhov S.M., Kodrik A.I., Vinogradov S.A., Titenko O.M. Development of a Mathematical Model of the Compression Foam Generation Setup. *Emergency Situations: Prevention and Elimination : Collection of Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference*, Minsk : NIIPBChS, 2019. Pp. 103–115.

16. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Kodrik A.I., Titenko O.M. Comparison of Fire Extinguishing Performance of Compressed Air Foam. *Theory and Practice of Fire Extinguishing and Emergency Response : Collection of Proceedings of the XI International Scientific Conference*, 2020. Cherkasy: ChIPB, 2020. Pp. 86–88.

17. Shakhov S.M., Vinogradov S.A. Foam Educator for Generating Compressed Air Foam. *Ensuring Life Safety: Problems and Prospects : Collection of Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference*, 2020. Minsk: UGZ, 2020. Pp. 291–292.

18. Shakhov S.M., Vinogradov S.A., Kodrik A.I., Titenko O.M. Determination of the Most Effective Fire Extinguishing Agent for Extinguishing Standard Model Class A Fire Sources. *Problems and Prospects for the Development of Modern Science : Collection of Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference*. Rivne: NUVHP, May 21–22, 2020. Pp. 178–180.