

О.Ф. Нікулін<sup>1</sup>, А.І. Кодрик<sup>1</sup>, О.М. Тітенко<sup>1</sup>, С.А. Виноградов<sup>2</sup>, С.М. Шахов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

<sup>2</sup>Національний університет цивільного захисту України, Україна

## ФУНКЦІОНАЛЬНО-ФІЗИЧНА СХЕМА УСТАНОВКИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦІЇ КОМПРЕСІЙНОЇ ПІНИ

Запропоновано функціонально-фізичну схему установки для генерації компресійної піни, що функціонально поділена на чотири блоки, для кожного з яких визначено вхідні та вихідні параметри, що є підґрунтям для подальшої побудови математичної моделі установки для генерації компресійної піни.

**Ключові слова:** функціонально-фізична схема, компресійна піна, математична модель, функціональний блок, вхідні параметри, вихідні параметри.

### Постановка проблеми

Компресійна піна (КП) – однорідна дрібноструктурна вогнегасна піна низької кратності, що отримана внаслідок змішування піноутворювача, води та стиснутого повітря або азоту [1]. Така піна має значно вищу ефективність у порівнянні з повітряно-механічною піною та з водою.

Світовими лідерами з виробництва засобів подачі КП є німецька фірма «One seven» [2], австрійська компанія Rosenbauer [3] та інші [4]. Проблема полягає в тому, що питання оптимального співвідношення компонентів у складі КП для гасіння пожеж різних класів потребує наукового обґрунтування, яке наразі у повному обсязі не проведено. Така робота вимагає теоретичного та експериментального підтвердження.

Загальна тенденція при проектуванні різноманітних конструкцій, особливо складних, побудованих на внутрішній взаємодії окремих структурних одиниць є розробка математичної моделі (далі – ММ), що передуватиме конструктивним рішенням та часто є розрахунковою основою для них. А в основі такої математичної моделі повинна стати функціонально-фізична схема установки для генерації компресійної піни.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Серед багатьох досліджень, що спрямовані на вивчення компресійної піни та ефективності її застосування, немає робіт, метою яких було математичне моделювання роботи установки для генерації компресійної піни з визначенням її функціонально-фізичної схеми. Так, у роботі [5] було розглянуто та визначено основні способи змішування і генерації газонаповненої піни в змішувальних камерах.

У роботі [6] проведені дослідження щодо ефективності гасіння пожеж класу Б (бензин, дизель, етанол) за допомогою установки газонаповненої піни в порівнянні з традиційною установкою ПМП. Robert G. Taylor розглядав питання використання газонаповненої піни у приміщеннях з обмеженим доступом повітря [7].

У роботі [8] Dong-Ho Rie, Jang-Won Lee, Seonwoong Kim був проведений експеримент, спрямований на оцінку ефективності системи КАФС для гасіння пожеж класу Б при подачі різних порцій повітря в розчин води і піноутворювача.

В роботі [9] авторами проведено дослідження з вивчення особливостей формування піни через пористе тіло. В параметрах дослідження змінювали масову витрату повітря і розчину піноутворювача при збереженні однієї кратності піни. Було відзначено, що зі збільшенням швидкості потоку, зменшується діаметр пінного бульбашки. Визначено, що пористість грає велику роль в формуванні розміру бульбашки. Промодельовані залежності розмірів діаметрів бульбашки від конструкції пористого тіла.

Вченими Камлюком А.Н., Грачуліним А.В. проведено порівняльні дослідження ефективності гасіння умовного вогнища пожежі класу А піною низької кратності [10] Результати показали, що при подачі компресійної піни потрібно в 2 рази менше вогнегасних засобів, ніж при використанні повітряно - механічної піни.

**Метою цієї статті є** побудова функціонально-фізичної схеми установки для генерації компресійної піни та визначення вхідних та вихідних параметрів для складання її математичної моделі.

### Виклад основного матеріалу

Найбільш зручним інструментом для вирішення задач при описанні стаціонарних та перехідних процесів при проектуванні конструкцій є сучасні програмні продукти, такі як графічне середовище імітаційного моделювання Simulink (інтегроване в програмне середовище MatLab), що дозволяє за допомогою окремих блоків у вигляді направлених графів, будувати динамічні моделі.

Структура такої моделі побудована на основі окремих, самостійних блоків, що самі по собі є окремими математичними моделями. Кількість таких блоків може змінюватися, самі блоки можуть модернізуватись та вдосконалюватися.

Авторами пропонується функціонально-фізична схема установки для генерації компресійної піни, що представлена на рис. 1.

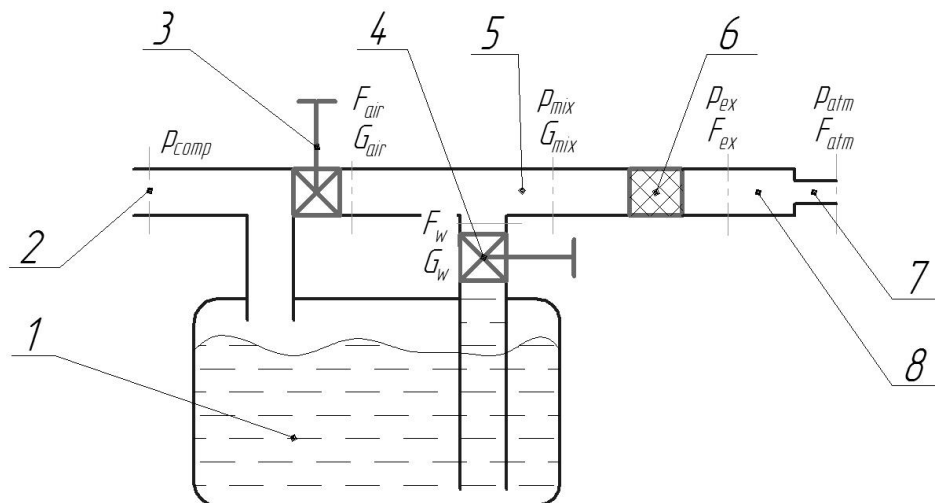


Рис. 1. Схема установки для генерації компресійної піни

Так, суміш води з піноутворювачем (у заданому співвідношенні) знаходиться у ємності 1. До отвору 2 подається робочий газ (повітря) під тиском  $p_{comp}$ , що є енергетичним джерелом роботи установки. Необхідна кількість повітря та суміші води з піноутворювачем регулюються відповідно дроселями: газовим 3, що має регульовану площу вихідного перерізу  $F_{air}$  та потоком газу  $G_{air}$  та рідинним 4, що має регульовану площу вихідного перерізу  $F_w$  та потоком суміші (вода з піноутворювачем)  $G_w$ . Після витискання повітрям суміші води з піноутворювачем 1 через дросель 4 вона змішується з повітрям у камері змішування 5 під тиском  $p_{mix}$  маючи потік  $G_{mix}$  та проходить через вставку 6, де відбувається генерація компресійної піни. Далі готова піна надходить у передкамеру 8, що має площу перерізу  $F_{ex}$  вихідного сопла та знаходиться під тиском  $p_{ex}$ , а далі - виходить через сопло 7, що має площу вихідного перерізу  $F_{atm}$ .

Пропонується створити математичну модель установки для генерації компресійної піни таким чином, щоб вона стала об'єднанням окремих блоків, кожний з яких являє собою автономну математичну модель зі своїм входом та виходом, за допомогою яких здійснюється взаємодія між блоками в процесі виконання загальної задачі математичного

моделювання. Ці окремі блоки можна змінювати відповідно до змін конструкції установки, залишаючи тільки сталю зовнішню оболонку (кількість входів, виходів, розмірність) окремого блока.

Математична модель установки для генерації компресійної піни повинна містити наступні розрахункові блоки:

- блок подачі газу;
- блок подачі суміші води та піноутворювача;
- блок піногенеруючої вставки;
- блок вихідного сопла.

Для математичного моделювання запропонованих розрахункових блоків нами визначено вхідні та вихідні параметри для кожного з них.

Так, для блоку подачі газу вхідними даними є:

- $p_{comp}$  – тиск на вході 2 (рис.1) в установку, Па;
- $p_{mix}$  - тиск у камері змішування 5 (р), Па;
- $d_a$  – діаметр отвору сопла подачі газу, м;
- $T$  - температура гальмування газу, К;
- $\kappa, R_{air}$  – характерні сталі для обраного робочого газу, Дж/(кг·К)..

Вихідними даними для блоку подачі газу є:

- $G_a$  – потік газу (масової витрати) через отвір сопла подачі газу, кг/с.

Вхідними даними для блоку подачі суміші води та піноутворювача є:

- $p_{comp}$  – тиск в ємності суміші 1 (рис.1), Па;
  - $p_{mix}$  – тиск у камері змішування 5 (рис.1), Па;
  - $d_w$  – діаметр отвору сопла подачі суміші, м,
- а вихідними даними є:
- $G$  – потік суміші (масової витрати) через отвір сопла подачі, кг/с.

Вхідні параметри блоку піногенеруючої вставки:

- $p_{mix}$  – тиск на вході 2 (рис.1), в установку, Па;
- $p_{ex}$  – тиск у камері змішування 5 (рис.1), Па;
- $d_{ex}$  – діаметр отвору виходу газо-рідинної суміші (суміші води та піноутворювача), м;
- $T$  – температура гальмування газу, К;
- $\kappa$ ,  $R_{air}$  – характерні сталі для обраного робочого газу, Дж/(кг·К);
- $k_m$  – кратність одержаної піни;
- $\varepsilon_{gr}$  – порозність пористого тіла;
- $d_{gr}$  – середня товщина стінки пористого тіла, м;
- $D_{gr}$  – діаметр піногенеруючої вставки, м;
- $H_{gr}$  – довжина піногенеруючої вставки, м;

Вихідними даними цього блоку є:

- $G$  – потік газо-рідинної суміші (масової витрати) у передкамеру 8 (рис.1), кг/с.

Вхідними даними блоку вихідного сопла є:

- $p_{ex}$  – тиск на вході в сопло, у передкамері 8 (рис.1), Па;
- $p_a$  – статичний тиск навколишнього середовища, 0,1 МПа;
- $d_j$  – діаметр отвору сопла, м.
- $\kappa$ ,  $R_{air}$  – характерні сталі для обраного робочого газу (показник адіабати та газова стала для повітря), Дж/(кг·К).

## Висновки

В роботі запропоновано функціонально-фізичну схему установки для генерації компресійної піни, що функціонально складається з чотирьох блоків: блоку подачі газу, блоку подачі суміші води та піноутворювача, блоку піногенеруючої вставки та блоку вихідного сопла у відповідності до рис. 1. Для подальшої побудови математичної моделі установки для генерації компресійної піни визначено вхідні та вихідні параметри кожного з розрахункових блоків.

## Література

1. *Пожезні машини [Текст]: навч. посіб. / О.М. Ларін, В.Г. Баркалов, С.А. Виноградов та ін. – Х.:НУЦЗУ, К.: МПБП «Гордон», 2016. – 279 с.*
2. *Oneseven [Електронний ресурс] // Oneseven. - Режим доступу: <http://www.oneseven.com/>*
3. *Leistungsstark. Einfach. Sicher [Електронний ресурс] // Rosenbauer. - Режим доступу: <http://www.rosenbauer.com/de/at/world/produkte/loeschsysteme/cafs-systeme.html>*
4. *Виноградов, С.А. Розробка системи пожежогашіння газонаповненою піною [Електронний ресурс] / С.А.*

*Виноградов, С.М. Шахов, В.В. Присяжнюк // Проблеми пожежної безпеки. – 2017. – Вып. 42. – С. 12-21. – Режим доступа:*

*<http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol42/vinogradov.pdf>*

5. FENG Dong-yun. (2013). Analysis on Influencing Factors of the Gas-liquid Mixing Effect of Compressed Air Foam Systems. *Procedia Engineering*, 52, 105 – 111.
6. SU Lin, Wang Lijing, Wang Zhihui, Zhang Jie, Tian Yongxiang, YAN Yougao. (2012). Investigation on compressed air foams fire extinguishing model for oil pan. *Procedia Engineering*, 45, 663 – 668.
7. Robert, G. Taylor. (1997). Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions. (Executive Development Research paper). *Morristown, MD: National Fire Academy*.
8. Dong-Ho, Rie; Jang-Won, Lee; Seonwoong, Kim. (2016). Class B Fire-Extinguishing Performance Evaluation of a Compressed Air Foam System at Different Air-to-Aqueous Foam Solution Mixing Ratios. *Applied Science*, 6, 191.
9. Dhruvad Parikh. (2017). Experimental study of pressure drop an bubble size in a laboratory scale compressed air foam generation system. *Colorado School of Mines*, 135.
10. Камлюк, А.Н. Тушения пожаров пеногенерирующими системами со сжатым воздухом [Текст] / А.Н. Камлюк, О.Д. Навроцкий, А.В. Грачулин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. - Т. 1, № 1. - 2017.

## References

1. Larin, O.M., Barkalov, V.H., Vinogradov, S.A., Kalynowsky, A.Ya., Semkiv, O.M. (2016) Pozhezni mashyny [Fire machines]. Kharkiv: NUCDU, 279. [In Ukrainian].
2. Oneseven. Retrieved from: <http://www.oneseven.com/> (accessed 03.05.2017)
3. Leistungsstark. Einfach. Sicher. Retrieved from: <http://www.rosenbauer.com/de/at/world/produkte/loeschsysteme/cafs-systeme.html> (accessed 20.03.2017)
4. Vinogradov, S.A., & Shakhov, S.M. (2017). Rozrobka systemy pozhezhogasinnya gazonapovnenoyu pinoyu [Development of a Compressed Air Foam System]. *Problemyi pozharney bezopasnosti – Fire safety problems*, 42, 12-21 [in Ukrainian]. Retrieved from: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol42/vinogradov.pdf>
5. FENG Dong-yun. (2013). Analysis on Influencing Factors of the Gas-liquid Mixing Effect of Compressed Air Foam Systems. *Procedia Engineering*, 52, 105 – 111.
6. SU Lin, Wang Lijing, Wang Zhihui, Zhang Jie, Tian Yongxiang, YAN Yougao. (2012). Investigation on compressed air foams fire extinguishing model for oil pan. *Procedia Engineering*, 45, 663 – 668.
7. Robert, G. Taylor. (1997). Compressed Air Foam Systems in Limited Staffing Conditions. (Executive Development Research paper). *Morristown, MD: National Fire Academy*.
8. Dong-Ho, Rie; Jang-Won, Lee; Seonwoong, Kim. (2016). Class B Fire-Extinguishing Performance Evaluation of a Compressed Air Foam System at Different Air-to-Aqueous Foam Solution Mixing Ratios. *Applied Science*, 6, 191.
9. Dhruvad Parikh. (2017). Experimental study of pressure drop an bubble size in a laboratory scale compressed air foam generation system. *Colorado School of Mines*, 135.

10. Kamlyuk, A.N., Navrotsky, O.D., & Grachulin, A.V (2017). Tusheniya pozharov penogeneriruyuschimi sistemami so szhatyim vozduhom [Fire extinguishing by compressed air foam systems] Vestnik Universiteta grazhdanskoj zaschityi MChS Belarusi - Bulletin of the University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Belarus, 1,1 .

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.М. Ларін, Національний університет цивільного захисту України, Україна

**Автор:** НИКУЛІН Олександр Федорович  
доктор технічних наук, начальник науково-дослідного центру інноваційних технологій  
УкрНДІЦЗ  
E-mail – a.f.nikulin@gmail.com  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9126-0681>

**Автор:** КОДРИК Анатолій Іванович  
кандидат технічних наук, заступник начальника науково-дослідного центру інноваційних технологій, начальник відділу інноваційних технологій  
УкрНДІЦЗ  
E-mail – kodrik@ukr.net  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3787-5674>

**Автор:** ТИТЕНКО Олександр Миколайович  
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу інноваційних технологій  
УкрНДІЦЗ  
E-mail – titenkoalex1954@gmail.com  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4950-8580>

**Автор:** ВІНОГРАДОВ Станіслав Андрійович  
кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника кафедри  
НУЦЗУ  
E-mail – vynogradovs@gmail.com  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2569-5489>

**Автор:** ШАХОВ Станіслав Михайлович  
ад'юнкту кафедри  
НУЦЗУ  
E-mail – lophennss@gmail.com  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3914-2914>

## FUNCTIONAL PHYSICAL SCHEME OF THE INSTALLATION FOR THE GENERATION OF COMPRESSED AIR FOAM

O.F. Nikulin<sup>1</sup>, A.I. Kodrik<sup>1</sup>, O.M. Titenko<sup>1</sup>, S.A. Vinogradov<sup>2</sup>, S.M. Shakhov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

<sup>2</sup>National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

*Compression air foam (CAF) is a low-frequency uniform fine-squeezed foam, obtained by mixing a foaming agent, water and compressed air or nitrogen. This foam has a much higher efficiency compared to air-mechanical foam and water. The problem is that the issue of the optimal ratio of components in the CAF for the extinguishing of fires of various classes needs a scientific substantiation, which is not currently fully implemented. Such work requires theoretical and experimental confirmation. The most convenient tool for solving problems in describing stationary and transient processes in the design of constructions are modern software products, such as the Simulink simulation environment (integrated into the MatLab software environment), which allows using separate blocks in the form of directed graphs to build dynamic models. In the article the functional-physical scheme of the installation for generating compression foam is proposed. It is proposed to create a mathematical model of the installation for generating a compression foam in such a way that it becomes an aggregation of separate units: a gas supply unit, a water mixing unit and a foam generator, a foam generator block and an outlet nozzle block, each of which is an autonomous mathematical model with its own the input and output, through which the interaction between the blocks is performed in the process of fulfilling the general task of mathematical modeling. These individual blocks can be modified according to changes in the design of the installation, leaving only the permanent outer shell (the number of inputs, outputs, dimensions) of the individual block. For the mathematical modeling of the proposed calculation blocks, the input and output parameters for each of them are identified, which is the basis for constructing a mathematical model of the installation for generating the compression foam.*

**Keywords:** functional-physical scheme, compressed air foam, mathematical model, functional block, input parameters, output parameters.