*Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. 2022. Вип. № 1(11)*
*ISSN 2706-7386*
УДК 697.92 DOI: 10.37701/dndivsovt.11.2022.03

***Борта Р.М., Коцюруба В.І.*** *Національний університет оборони України імені Івана Черняховського*
***Ветошкін О.Г., Єрмоленко О.В.*** *Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*

# МОДЕЛЮВАННЯ ФІЛЬТРУВАННЯ ПОВІТРЯ У МОБІЛЬНИХ ПРИМІЩЕННЯХ В УМОВАХ ВОГНЕВОГО УРАЖЕННЯ ПРОТИВНИКА

*Сучасна військова техніка має систему фільтровентиляції, від якої залежить життя особового складу під час потрапляння техніки як у хмару зараженого повітря бойовими токсичними та хімічними речовинами, бактеріологічними аерозолями, так і небезпечними хімічними речовинами, що використовуються в народному господарстві.*

*Система фільтровентиляції очищає атмосферне повітря від хімічних, біологічних, радіологічних агентів та подає його в об'єкти колективного захисту з метою вентиляцій приміщень, забезпечення повітрям особового складу в них, а також створення надлишкового тиску, який перешкоджає проникненню зовнішнього зараженого повітря через нещільності в огороджуючих конструкціях об'єктів.*

*У статті наведено удосконалену математичну модель функціонування фільтровентиляційних установок у мобільних приміщеннях в умовах вогневого ураження противника. На відміну від існуючих, враховує динаміку зміни сумарної площі нещільностей мобільних приміщень залежно від інтенсивності вогневого ураження та часу їх перебування під обстрілом. Висвітлено результати дослідження залежності динаміки зміни сумарної площі нещільностей мобільних приміщень залежно від інтенсивності вогневого ураження та часу перебування під обстрілом.*

*Удосконалена математична модель функціонування фільтровентиляційних установок у мобільних приміщеннях, на відміну від існуючих, враховує динаміку зміни сумарної площі нещільностей мобільних приміщень залежно від інтенсивності вогневого ураження. При цьому запропонована модель дозволяє отримати значення показників безпечного перебування особового складу у мобільних приміщеннях та потрібної продуктивності фільтровентиляційних установок в умовах хімічного, біологічного, радіологічного та ядерного інциденту.*

*Як напрямок подальших досліджень може бути моделювання втрат особового складу в залежності від інтенсивності вогневого ураження та концентрації отруйних речовин у атмосферному повітрі із використанням імітаційних моделей.*

***Ключові слова:*** *засоби колективного захисту, фільтровентиляційні установки, озброєння та техніка.*

**Постановка проблеми.** Сучасна військова техніка має систему фільтровентиляції, від якої залежить життя особового складу під час потрапляння техніки як у хмару зараженого повітря бойовими токсичними та хімічними речовинами, бактеріологічними аерозолями, так і небезпечними хімічними речовинами, що використовуються в народному господарстві. Система фільтровентиляції очищає атмосферне повітря від хімічних, біологічних, радіологічних агентів та подає його в об'єкти колективного захисту з метою вентиляцій приміщень, забезпечення повітрям особового складу в них, а також створення надлишкового тиску, який перешкоджає проникненню зовнішнього зараженого повітря через нещільності в огороджуючих конструкціях об'єктів [1]. Але в ході зіткнення з противником збільшення нещільностей в огороджуючих конструкціях зростає разом з інтенсивністю вогневого ураження. При цьому підпор повітря знижується, що створює умови потрапляння зараженого повітря в середину приміщення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В ході попереднього дослідження [2] встановлено, що наявні фільтровентиляційні установки (ФВУ) не забезпечують захист від

*© Борта Р.М., Коцюруба В.І., Ветошкін О.Г., Єрмоленко О.В., 2022*

небезпечних хімічних речовин, а в прийнятих на озброєння сучасних зразках військової техніки бронеавтомобіль "КрАЗ Кугуар" та БТР-4 "Буцефал" ФВУ не передбачені конструкцією. У [3] розроблена модель ФВУ системи цивільних транспортних засобів побудована по принципу подібності з електричними ланцюгами з каскадним з'єднанням. У [4] розглянуто колективний захист кораблів та берегових об'єктів. Розрахунок ФВУ розглянутий у [5]. У попередніх дослідженнях та публікаціях не розкривається питання щодо динаміки зміни площі нещільностей.

Мета статті – висвітлення результатів дослідження залежності динаміки зміни сумарної площі нещільностей мобільних приміщень залежно від інтенсивності вогневого ураження та часу перебування під обстрілом.

**Виклад основного матеріалу.** Тривалість роботи фільтровентиляції в умовах зараження залежить від часу спрацювання технічних засобів визначення бактеріологічних аерозолів та отруйних речовин, подачі сигналів оповіщення, ввімкнення ФВУ та часу виходу з зараженого атмосферного повітря.

В умовах ведення бойових дій проникання зараженого повітря в мобільні приміщення відбувається [4]:

за рахунок вітрового напору та гравітаційного тиску через нещільності в огородженнях мобільного приміщення;

за рахунок потрапляння зараженого повітря при вході і виході особового складу з приміщення ;

за рахунок потрапляння зараженого повітря через систему фільтровентиляції (пробій шихти фільтру).

Пропонуємо розглянути варіант проникання зараженого повітря за рахунок збільшення нещільностей мобільного приміщення під час вогневого ураження противника. Коли вмикається ФВУ, в приміщенні повинен створитися тиск підпору $\Delta p_{\text{п}}$ за час $\tau_{\text{п}}$. Величина $\tau_{\text{п}}$ може задаватись з розрахунком того, що тиск $\Delta p_{\text{п}}$ повинен бути створений до моменту підходу зараженої хмари до мобільного приміщення.

Візьмемо площу нещільностей, через які буде уходити повітря, $S_{\text{н}}$. У зв'язку з тим, що величина $\Delta p_{\text{п}}$ є невеликою, то зміну щільності $\rho_{\text{в}}$ повітря при його виході під дією різниці тиску можна не враховувати, тоді рівняння розходу повітря через нещільності запишемо у вигляді [5]:

$$Q_{\text{розх}} = \mu S_{\text{н}} \sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{п}}}{\rho_{\text{в}}}}, \qquad (1)$$

де $\Delta p_{\text{п}}$ – тиск підпору, кПа;

$\mu$ – коефіцієнт розходу повітря через нещільності ($\mu = 0{,}6 - 0{,}65$) [5].

Диференційне рівняння зміни кількості повітря у мобільному приміщенні запишеться у вигляді:

$$dQ = \left(Q_{\text{пр}} - Q_{\text{розх}}\right)d\tau, \qquad (2)$$

де $Q_{\text{пр}}$– продуктивність ФВУ м³/год.

Із рівняння стану газу отримаємо:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{RT}{V}\frac{dQ}{d\tau}, \qquad (3)$$

де $p$ – тиск;

$T$– абсолютна температура, К;

$V$ – обсяг повітря у приміщенні м³;

R – універсальна постійна газу.

З рівнянь (2) та (3) отримаємо:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{RT}{V}\left(Q_{\text{пр}} - Q_{\text{розх}}\right). \quad (4)$$

Приймемо припущення, що ФВУ практично миттєво досягає своєї номінальної продуктивності та зміни температури повітря в процесі його витоку із приміщення можна не враховувати. Рівняння (4) розвернемо, із врахуванням, що $\Delta p_{\text{п}} = p - p_0$, (тиск поза приміщенням), та запишемо у вигляді [5]:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{RT}{V}\left(Q_{\text{пр}} - \mu S_{\text{н}}\sqrt{\frac{2(p - p_0)}{\rho_{\text{п}}}}\right). \quad (5)$$

За результатами інтегрування рівняння (5) отримуємо великий результат, за яким аналіз різних факторів на роботу системи захисту є досить трудомісткій. Прийнявши припущення про лінійну залежність $\Delta p_{\text{п}}$ від часу при $0 < \tau < \tau_{\text{п}}$, тобто $\Delta p_{\text{п}} = \frac{\Delta p_{\text{п}}}{\tau_{\text{п}}}\tau$, не вносить суттєвої помилки у кінцевий результат, але спрощує рішення, будемо мати:

$$dp = \frac{RT}{V}\left(Q_{\text{пр}} - S_{\text{н}}\sqrt{\frac{\Delta p_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}\tau_{\text{п}}}\sqrt{\tau}}\right)d\tau.$$

Проінтегрувавши ліву частину отриманого рівняння в межах від $p_0$до $p_0$+$\Delta p_{\text{п}}$, а праву від 0 до $\tau_{\text{п}}$, отримаємо

$$\Delta p_{\text{п}} = \frac{RT}{V}\left(Q_{\text{пр}} - \frac{2}{3}\mu S_{\text{н}}\sqrt{\frac{\Delta p_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}})}\right)\tau_{\text{п}}$$

Отримана рівність дозволяє визначити час, необхідний для створення в приміщенні підпору $\Delta\rho_{\text{п}}$ при відомій продуктивності ФВУ:

$$\tau_{\text{п}} = \frac{\Delta p_{\text{п}} V}{RT\left(Q_{\text{пр}} - \frac{2}{3}\mu S_{\text{н}}\sqrt{\frac{\Delta p_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}})}\right)}, \quad (6)$$

а при заданому часі створення надлишкового тиску $\tau_{\text{п}}$ – потрібну продуктивність ФВУ визначаємо як:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{\Delta p_{\text{п}}}{\tau_{\text{п}}}\frac{V}{RT} + \frac{2}{3}\mu S_{\text{н}}\sqrt{\frac{\Delta p_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}}. \quad (7)$$

З формули (6) витікає висновок, що час досягнення потрібного надлишкового тиску скорочується з підвищенням щільності компонування (зменшення $V$) та покращення якості ущільнень (зменшення $S_{\text{н}}$). Під час практичного розрахунку з метою створення запасу $Q_{\text{пр}}$ можна прийнятии$\mu = 1$.

Якщо $S_{\text{н}} \neq const$, наприклад в результаті вогневого ураження мобільного приміщення, збільшується $\lambda$ (залежність від інтенсивності вогневого впливу) протягом часу $t$, тоді:

$$P_{\text{н}} = 1 - \text{e}^{-\lambda t}, \quad (8)$$

де $P_{\text{н}}$– ймовірність збільшення нещільностей приміщення в умовах вогневого ураження. При цьому динаміка зміни площі у часі залежить від вогневого ураження противника:

*ISSN 2706-7386*

$$S_{\text{н}}(t) = S_{\text{н}}P_{\text{н}}(t). \quad (9)$$

Тоді вираз (8) прийме вигляд:

$$Q_{\text{пр}}(t) = \frac{\Delta\rho_{\text{п}}}{\tau_{\text{п}}}\frac{V}{RT} + \frac{2}{3}\mu S_{\text{н}}(t)\sqrt{\frac{\Delta\rho_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}}}}. \quad (10)$$

Результати розрахунків за формулами (8) та (9) наведена на рисунку 1.

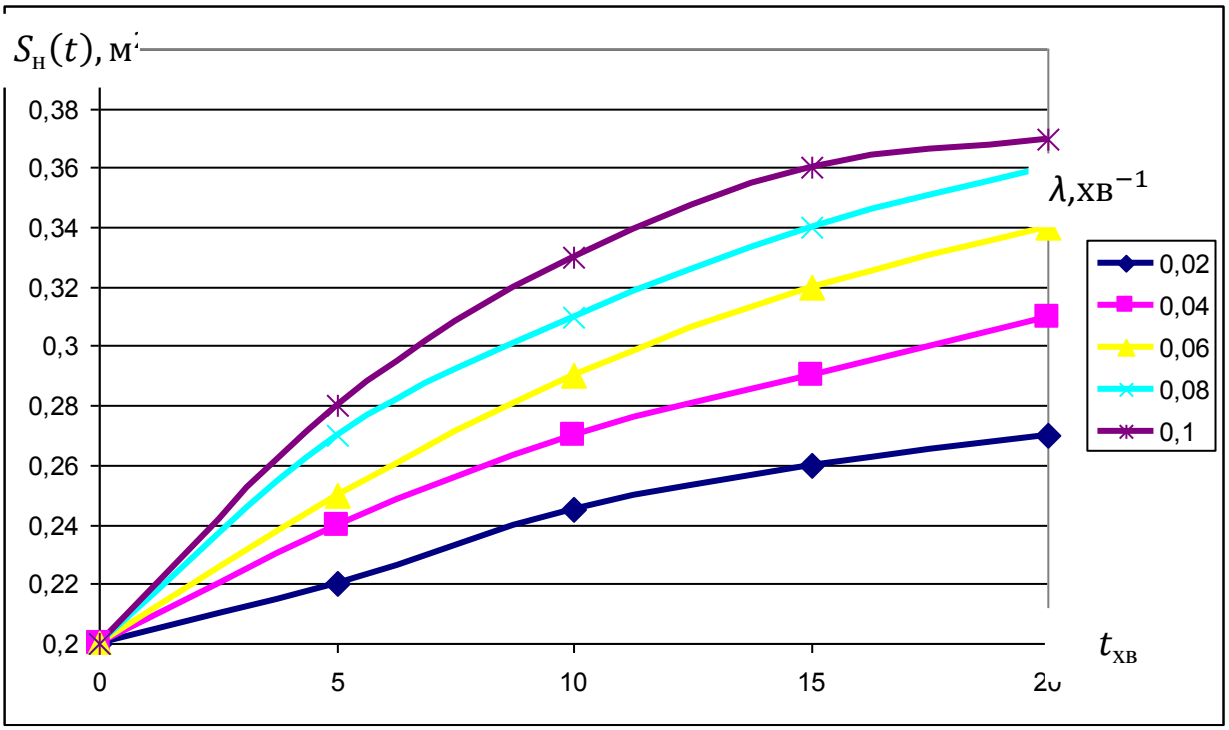



Рис.1 Залежність зміни площі нещільностей $S_{\text{н}}(t)$ у часі $t_{\text{хв}}$ протягом здійснення вогневого ураження від інтенсивності $\lambda$.

Аналіз результатів моделювання (Рис.1) показав можливість визначення числових значень показника нещільностей мобільних споруд та обґрунтувати вимоги до параметрів продуктивності та необхідного часу створення підпору ФВУ у мобільних приміщеннях. Зокрема встановлена залежність динаміки зміни $S_{\text{н}}$(t) у часі із врахуванням інтенсивності вогневого ураження $\lambda$ та початкової площі нещільностей $S_{\text{н}}$.

**Висновки.**

Таким чином удосконалена математична модель функціонування ФВУ у мобільних приміщеннях, на відміну від існуючих, враховує динаміку зміни сумарної площі нещільностей мобільних приміщень залежно від інтенсивності вогневого ураження. При цьому запропонована модель дозволяє отримати значення показників безпечного перебування особового складу у мобільних приміщеннях та потрібної продуктивності ФВУ в умовах хімічного, біологічного, радіологічного та ядерного інциденту. Як напрямок подальших досліджень може бути моделювання втрат особового складу в залежності від інтенсивності вогневого ураження та концентрації отруйних речовин у атмосферному повітрі із використанням імітаційних моделей, наприклад JCATS [6].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Порівняльний аналіз засобів колективного захисту органів дихання та перспективні напрямки розвитку. Володимир Коцюруба; Руслан Борта; Богдан Тертишний; Валерій Слободян // JournalofScientificPapers "SocialDevelopmentandSecurity", Vol. 11, No. 3. – 2021 (48). – С. 62–71.

2. Фільтровентиляційні установки (агрегати) стаціонарні та на бронеоб'єктах / О.В. Галак, Г.В. Каракуркчі, Я.В. Грибинюк // Системи озброєння і військової техніки. – 2016. – Вип. № 4(48). – С. 5–9.

3. Бушер В.В. Разработка модели приточно-вытяжной вентиляции пассажирских вагонов / В.В. Бушер, В.Я. Ярмолович // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Вып. № 1/8(79). – ISSN 1729-3774.

4. Засоби індивідуального та колективного захисту: методичний посібник / О.І. Чмут, А.І. Баталов, І.М. Мартинюк. – Харків: ХІТВ, 2005. – 180 с.

5. Конструкция и расчеттанков и БМП: учебник / В.А. Чобиток, Е.В. Данков, Ю.Н. Брижинев [и др.]. – М.: Военноиздательство, 1984. – 376 с.

6. Бобильов В.Є. Використання програми імітаційного моделювання "Об'єднаний імітатор конфліктних і тактичних ситуацій": навч. посіб.; під заг. ред. В.Є. Бобильова. – Київ: НУОУ, 2012. – 197 с.

**Борта Руслан Михайлович**
ад'юнкт кафедри оперативного та бойового забезпечення інституту забезпечення військ (сил) та інформаційних технологій Національного університету оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0001-9675-9836
+38093-939-790-95

**Коцюруба Володимир Іванович**
доктор технічних наук, професор, професор кафедри оперативного та бойового забезпечення інституту забезпечення військ (сил) та інформаційних технологій Національного університету оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна
https://orcid.org/ 0000-0001-6565-9576
+38067-799-63-00

**Ветошкін Олександр Георгійович**
науковий співробітник Державного науково–дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
https://orcid.org/0000-0003-3979-9916
+38097-508-59-98

**Ruslan Borta**
PhD student of the Department of Operational and Combat Support of the Institute of Troops (Forces) and Information Technologies of the National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0001-9675-9836
+38093-939-790-95

**Volodymyr Kotsyuruba**
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operational and Combat Support of the Institute of Troops (Forces) and Information Combat Support National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/ 0000-0001-6565-9576
+38067-799-63-00

**Aleksandr Vetoshkin**
Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0003-3979-9916
+38097-508-59-98

*ISSN 2706-7386*

**Єрмоленко Олександр Володимирович**
старший науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна
https://orcid.org/0000-0002-3168-1131
e-mail: morpex1972@ukr.net

**Oleksandr Yermolenko**
Senior Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-3168-1131
e-mail: morpex1972@ukr.net

**SIMULATION OF AIR FILTERING IN MOBILE PREMISES UNDER CONDITIONS OF THE ENEMY'S FIRE FOR EFFECT**

**R Borta, V Kotsyuruba, A Vetoshkin and O Yermolenko**

*Modern military equipment has a filter ventilation system, employment of which plays a vital role in survival of personnel when equipment enters the cloud of contaminated air with toxic and chemical warfare agents, bacteriological aerosols and hazardous chemicals used in the national economy.*

*The filter ventilation system cleans the air from chemical, biological, radiological agents and supplies it to the objects of collective protection in order to ventilate the premises, provide air to personnel, as well as create excess pressure that prevents external contaminated air due to leaks in enclosing structures objects.*

*The article presents an improved mathematical model of the functioning of filter ventilation systems in mobile premises under conditions of enemy fire. In contrast to the existing ones, it takes into account the dynamics of changes in the total area of leaks of mobile premises depending on the intensity of fire for effect and the time of their stay under fire. The results of the study of the dependence of the dynamics of changes in the total area of leaks of mobile premises depending on the intensity of the fire and the time spent under fire are highlighted.*

*Thus the offered model allows to receive values of indicators of safe stay of personnel in mobile premises and necessary productivity of filter ventilating installations under conditions of chemical, biological, radiological and nuclear incident.*

*As a direction of further research, modeling of personnel losses depending on the intensity of fire for effect and concentration of toxic substances in the air using simulation models can be used.*

***Keywords**: means of collective protection, filter ventilation installations, weapons and equipment.*