

УДК 519.6, 614.844

*Д. П. Дубінін¹, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-8948-5240)**К. В. Коритченко², д.т.н., с.н.с, зав. каф. (ORCID 0000-0002-1005-7778)**Є. М. Криворучко¹, викл. каф. (ORCID 0000-0001-7332-9593)**С. Ю. Рагімов¹, к.т.н., доцент, викл. каф. (ORCID 0000-0002-8639-3348)**В. В. Тригуб¹, к.т.н., доцент, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-5370-1340)*¹*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*²*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Харків, Україна*

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ЗАПОВНЕННЯ ВОДОЮ СТВОЛА УСТАНОВКИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ ПЕРІОДИЧНО-ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ

Проведені дослідження, які дозволили виявити особливості процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії. При цьому обґрунтовано та запропоновано математичну модель для моделювання процесів нагнітання води у трубу з подальшим подрібненням води ударною хвилею. Для моделювання процесів нагнітання води та подрібненням води у стволі установки застосовано VOF-модель (модель об'єму рідини), за якою проникнення одного середовища у інше відсутнє, та яка базується на методі відстежування поверхні, що застосовується до фіксованої ейлерової сітці. На підставі розробленої математичної моделі у програмному середовищі ANSYS проведені чисельні дослідження процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії. За результатами чисельного дослідження процесу заповнення ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії водою виявлено порівняно високу інерцію у часі процесів впорскування води по відношенню до газодетонаційних процесів, що відбуваються в установці пожежогасіння періодично-імпульсної дії. Зокрема, інтервал часу між циклами детонації в установці, що працює на частоті 23 Гц, складає близько 43,5 мс. Якщо відкинути цикл продувки, то маємо інтервал часу у 21 мс, за який необхідно вприснути воду у ствол установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії. За результатами наведених досліджень маємо, що тільки час розповсюдження цівки води з однієї до іншої сторони ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії складає 8 мс. Проведені дослідження дають змогу дослідити вплив параметрів роботи установки пожежогасіння на формування дрібнорозпиленого водяного струменя, а отримані результати значно підвищують рівень оперативної готовності особового складу пожежно-рятувальних підрозділів під час проведення оперативних дій з гасіння внутрішніх пожеж.

Ключові слова: установка пожежогасіння, дрібнорозпилені водяні струмені, математична модель, чисельні дослідження

1. Вступ

На сьогоднішній день найбільш перспективним та ефективним напрямком щодо використання води для цілей пожежогасіння є застосування технічних засобів пожежогасіння дрібнорозпиленими водяними струменями, що мають ряд переваг [1]. При цьому для досягнення цих переваг необхідно створити відповідні умови. Досягаються дані умови забезпеченням достатньої дисперсності вогнегасної речовини та рівномірного розподілу крапель води у зоні горіння. Такі засоби пожежогасіння забезпечують зростання ефективності використання води, з відповідним зменшенням витрати води [2]. Це досягається за рахунок того, що під час застосування дрібнорозпилених водяних струменів поверхня охолодження збільшується, в залежності від дисперсності, за питомим відношенням з 0,18 л/м² до 0,017 л/м². Цим забезпечується прискорене зниження температури в закритих приміщеннях від критичної 1000 °С до 40 °С [3]. Тому розвиток техніки гасіння пожеж дрібнорозпиленими водяними струменями направлено на удосконалення технічних засобів пожежогасіння за рахунок розміру крапель води (дисперсності) та інтенсивності подавання вогнегасної речовини.

В якості технічного засобу пожежогасіння дрібнорозпиленими водяними струменями є установка пожежогасіння періодично-імпульсної дії (далі – установка пожежогасіння), принцип роботи якої наведена в роботах [4, 5]. При цьому для дослідження процесів формування дрібнорозпилених водяних струменів, що відбуваються в установці пожежогасіння доцільно застосувати математичне моделювання. При цьому використання математичного апарату і сучасної обчислювальної техніки дозволяє скоротити матеріальні затрати на дослідження різних складних процесів. Розглянемо можливість застосування математичного моделювання для чисельного дослідження процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння.

Актуальність роботи викликана, насамперед, потребою подальшого розвитку технічних засобів пожежогасіння дрібнорозпиленими водяними струменями.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Подрібнення води ударною хвилею відноситься до перспективних способів. Так, в роботі [6] проведені експериментальні дослідження з вивчення взаємодії між горизонтальним шаром води та плоскою ударною хвилею, що проходить вздовж її поверхні. За результатами досліджень встановлено, що при ударній хвилі з числом Маха 1,11 на відображенні повітря-вода спостерігаються «бризки» з деякими макроскопічними крапельками води, при ударній хвилі з числом Маха 1,43 відбувається формування водяного туману з мікроскопічних крапель. Це свідчить про доцільність зростання інтенсивності ударної хвилі для ефективного отримання водяного туману.

В роботі [7] представлені результати експериментальних досліджень щодо подрібнення води за рахунок вибуху заряду, що знаходиться у ємностях з водою. Запропонований спосіб розпилення води є ефективним, але потребує застосування вибухових речовин, що є небезпечним при застосуванні.

В роботі [8] представлені технічні засоби отримання водяного туману за рахунок ультразвукової технології. При цьому способі розпилення отримується дрібнорозпилена вода з дисперсністю в межах 5–20 мкм за низької продуктивності, що є не ефективним для задач пожежогасіння.

В роботі [9] проведені експериментальні та чисельні дослідження ударно-хвильової дії на циліндричну цівку води, що проводилися в стволі 4×150 мм, обладнаній голографічною інтерферометрією. За результатами проведених досліджень встановлено, що на розглянутий час моделювання дії ударної хвилі на водяний стовп він не деформувався від початкової форми. Відбиття і проходження ударної хвилі в повітрі схожі на ті, що виникають при відбитті ударної хвилі від твердого циліндру. Тому можна зробити висновок, що на цій ранній стадії взаємодії ударної хвилі з товщею води поле потоку нагадує поле відбиття ударної хвилі від твердого циліндру. Як тільки стовп води почне деформуватися, ці подібності припиняються. При цьому слід зазначити, що дослідження проводилися при застосуванні малогабаритного обладнання. Тому отриманні результати можуть бути застосовані для визначення лише принципу подрібнення краплі води.

В роботі [10] проведені чисельні дослідження щодо взаємодії між детонаційною хвилею, що поширюється, і круговою водяною хмарою в воднево-повітряній суміші. За результатами досліджень встановлено, що критичний розмір хмари для гасіння детонації зменшується, коли концентрація крапель збільшується. Окрім цього встановлено, що вища концентрація крапель призводить до

ширшого діапазону дисперсії крапель через більші завихрення. Але слід зазначити, що результати дослідження отриманні тільки розрахунковим шляхом та не підтверджені експериментально.

Результати наведених досліджень не дозволяють оцінити ефективність формування дрібнодисперсного водяного струменя, що надходить зі ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії. В роботах [4, 5] авторами проведені дослідження, щодо ефективності застосування газодетонаційних технологій під час формування та подачі дрібнорозпиленних водяних струменів для гасіння пожеж. Тому, проведення досліджень, щодо процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії є визначальним при оцінці дисперсності формування дрібнодисперсних водяних струменів та інтенсивності їх подавання для гасіння пожеж.

3. Мета і завдання дослідження

Метою даної роботи є виявити особливості процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- розробити математичну модель процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння;
- провести чисельні дослідження процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процес заповнення водою ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії. Предметом дослідження – особливості процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії для формування та подачі дрібнорозпиленого водяного струменя під час гасіння внутрішніх пожеж.

Основною гіпотезою є оптимізація роботи установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії при формуванні дрібнорозпиленого водяного струменя за рахунок проведення математичного моделювання.

В якості математичної моделі запропоновано VOF-модель (модель об'єму рідини), за якою проникнення одного середовища у інше відсутнє, та яка базується на методі відстежування поверхні, що застосовується до фіксованої ейлерової сітки. Обчислення математичної моделі здійснювалося тиско-базисним методом за допомогою програмного забезпечення ANSYS.

5. Розробка математичної моделі заповнення водою ствола установки пожежогасіння

Дослідження процесу формування дрібнодисперсного водяного струменя здійснювалось за умов, подібних до умов подрібнення вогнегасної речовини в установці пожежогасіння періодично-імпульсної дії. Відповідно, процес формування дрібнорозпиленних водяних струменів відбувався у стволі діаметром 20 мм (рис. 1).

За першою півзадачею (заповнення ствола водою), в ствол через отвір діаметром 2 мм подавалась вода на протязі 60 мс. Ця тривалість подавання води відповідає різниці у часі між детонаційними імпульсами установки, що розроблена. Подавання води відбувалось на відстані 100 мм від закритого торця ствола (області генерування ударної хвилі) та 300 мм від відкритого торця ствола. Відкритий торець ствола

розміщувався у камері діаметром 150 мм та довжиною 250 мм. Ствол входив у камеру на глибину 60 мм. Після часткового заповнення ствола водою відбувалось генерування ударної хвилі детонації в стволі. Для створення ударної хвилі в області моделювання I задавалась наявність стисненого газу. Початковий тиск газу у області I дорівнював 1,9 МПа, а його температура дорівнювала 300 К. Довжина цієї області дорівнювала 600 мм.

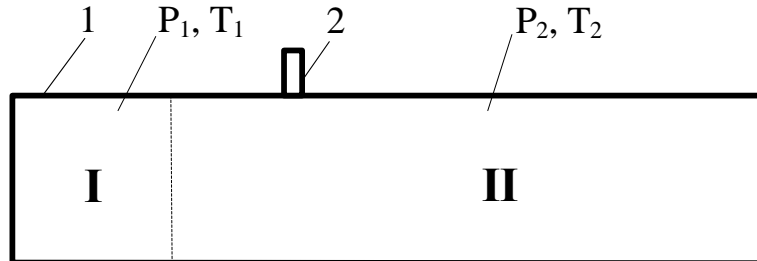


Рис. 1. Схема постановки задачі дослідження: 1 – ствол $d=20$ мм; 2 – отвір для подачі води $d=2$ мм; I – область газу високого тиску; II – область газу низького тиску

Під час заповнення ствола водою приймалось, що зовнішні збурення повітря у стволі відсутні (швидкість газового потоку на вході та виході з ствола дорівнює нулю). Приймалось, що ствол розташовувався паралельно земної поверхні, тобто сила тяжіння спрямована перпендикулярно до осі ствола. Подавання води відбувається з отвору, розташованого зверху ствола.

Програмне середовище ANSYS дозволяє провести розрахунок течії у двофазних середовищах за розглянутих умов. Для дослідження процесу застосовано VOF-модель (модель об'єму рідини), за якою проникнення одного середовища у інше відсутнє. Згідно [11], у VOF моделі єдиний набір рівнянь імпульсу використовується для рідин, а об'ємна частка кожної рідини в кожній обчислювальній комірці відстежується по всій області. Область застосування моделі VOF включає, в тому числі, заповнення рідиною газового середовища та прогнозування розпаду струменя рідини у газовому середовищі.

Рівняння нерозривності для об'ємної фракції кожної фази (газ/рідина) набуває вигляду [11]:

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) \right] = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}), \quad (1)$$

де \dot{m}_{qp} – передача маси від фази q до фази p; \dot{m}_{pq} – передача маси від фази p до фази q; α_q – об'ємна фракція q-ї фази; ρ_q – густина q-ї фази; t – час; S_{α_q} – джерельний член маси; \vec{v}_q – швидкість q-ї фази.

Об'ємна частка первинної фази обчислювалась на основі наступного обмеження [11]:

$$\sum_{q=1}^n \alpha_q = 1. \quad (2)$$

Об'ємна частка фази визначалась за неявною схемою дискретизації часу за рівнянням [11]:

$$\frac{\alpha_q^{n+1} \rho_q^{n+1} - \alpha_q^n \rho_q^n}{\Delta t} V + \sum_f (p_q^{n+1} U_f^{n+1} \alpha_{q,f}^{n+1}) = \left[S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \right] V, \quad (3)$$

де n – індекс для попереднього кроку за часом; $n + 1$ – індекс для наступного кроку за часом; $\alpha_{q,f}$ – поверхнева величина об'ємної фракції q -ї фази; V – об'єм розрахункової комірки; U_f – об'ємний потік через поверхню за нормаллю швидкості.

Осереднена густина рідини визначалась за рівнянням [11]:

$$\rho = \sum \alpha_q \rho_q. \quad (4)$$

Рівняння кількості руху має вигляд [11]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \bar{v}) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} \bar{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu (\nabla \bar{v} + \nabla \bar{v}^T)] + \rho \bar{g} + \bar{F}, \quad (5)$$

де p – тиск; μ – молярна маса; g – прискорення вільного падіння; \bar{F} – джерельний член імпульсу.

Рівняння енергії має вигляд [11]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\bar{v} (\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{\text{eff}} \nabla T) + S_h, \quad (6)$$

де E – осереднене значення енергії; T – осереднена температура; S_h – джерельний член енергії; k_{eff} – коефіцієнт ефективної теплопровідності.

6. Результати чисельних досліджень процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння

Відображення процесу заповнення ствола водою відстежимо за зміною об'ємної частки води у двофазній газорідній суміші. Результати розрахунку відображено на рис. 2.4 – рис. 2.9. Кольорова шкала об'ємної частки води від 0 (0%) до 1 (100%) відображена з лівої сторони рисунків. На рис. 2 спостерігаємо початок впорскування води до ствола установки.

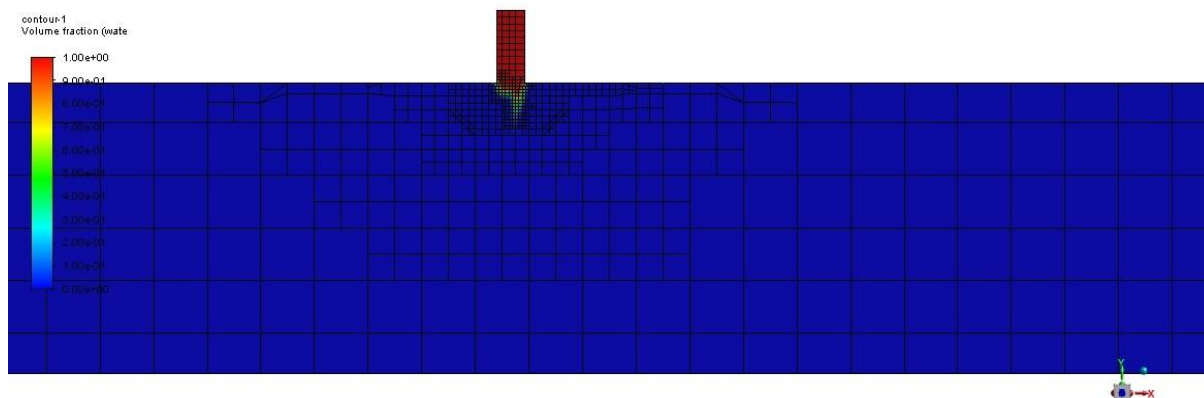


Рис. 2. Розподіл об'ємної частки води у розрахунковій області на час 1 мс

На рис. 3 спостерігаємо досягнення цівки води протилежної сторони ствола. При цьому, розпилення води практично не відбувається. Виходячи з розрахункового інтервалу між початком впорскування води та досягненням протилежного торця ствола, що дорівнює 8 мс, та відстанню, що дорівнює діаметру ствола у 20 мм, маємо швидкість розповсюдження цівки води, що дорівнює 2,5 м/с. За результатами експериментальних досліджень роботи [12] отримано, що швидкість цівки води у сопла досягає близько 10 м/с за високого тиску нагнітання. Тобто, отримані результати співпадають за порядком величини, що підтверджує їх достовірність.

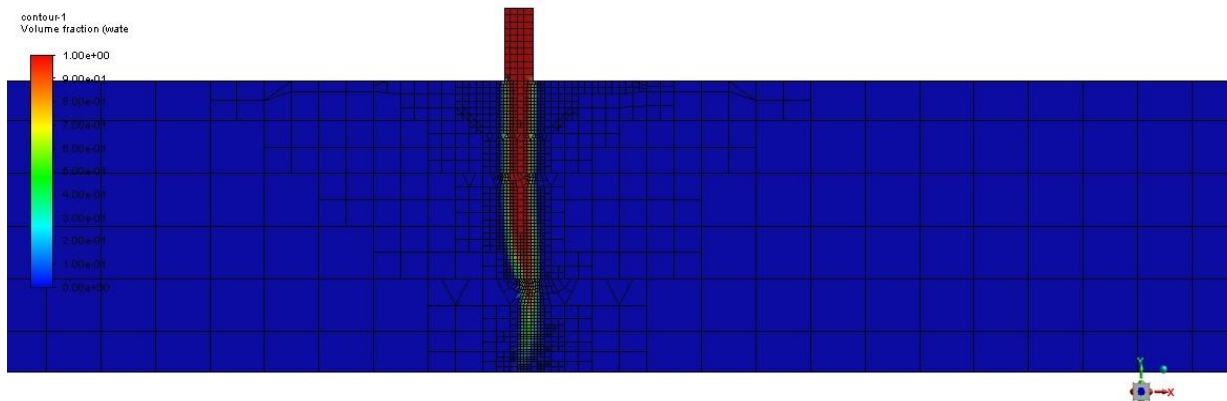


Рис. 3. Розподіл об'ємної частки води у розрахунковій області на час 9 мс

На рис. 4 спостерігаємо, що після досягнення стінки ствола у подальшому відбувається розтікання води вздовж нижньої стінки ствола під дією сили тяжіння.

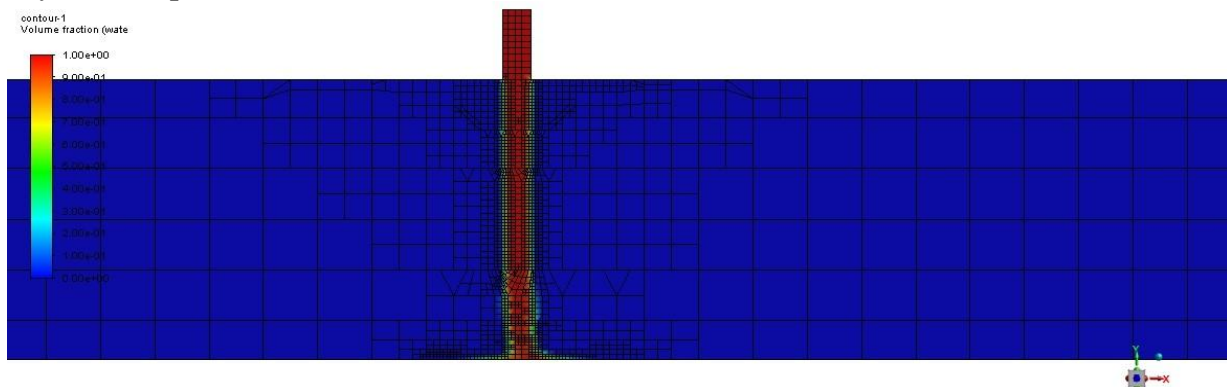


Рис. 4. Розподіл об'ємної частки води у розрахунковій області на час 15 мс

На рис. 5 спостерігаємо припинення впорскування води у ствол установки, що відображається нульовою об'ємною концентрацією води в стволі впорскування. Також спостерігаємо, що вода розтіклася по нижній стінці ствола 1.

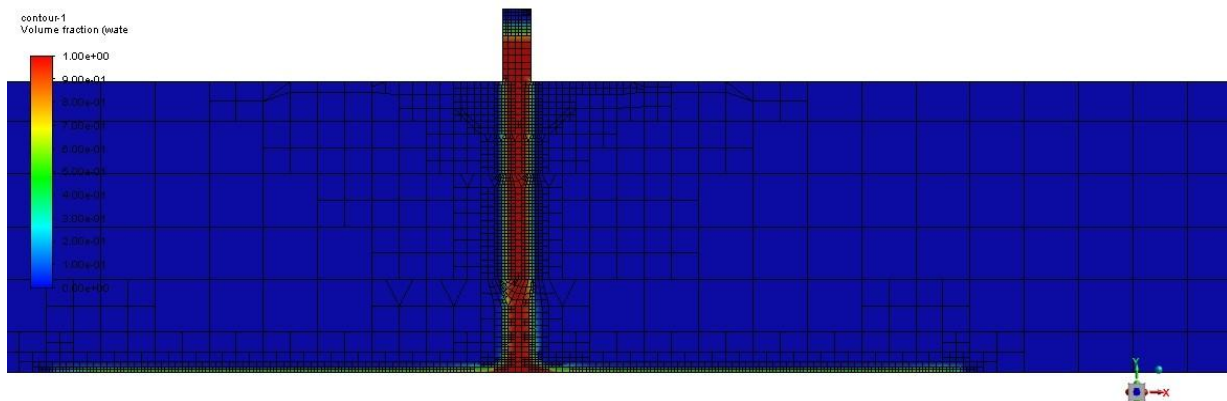


Рис. 5. Розподіл об'ємної частки води у розрахунковій області на час 60 мс

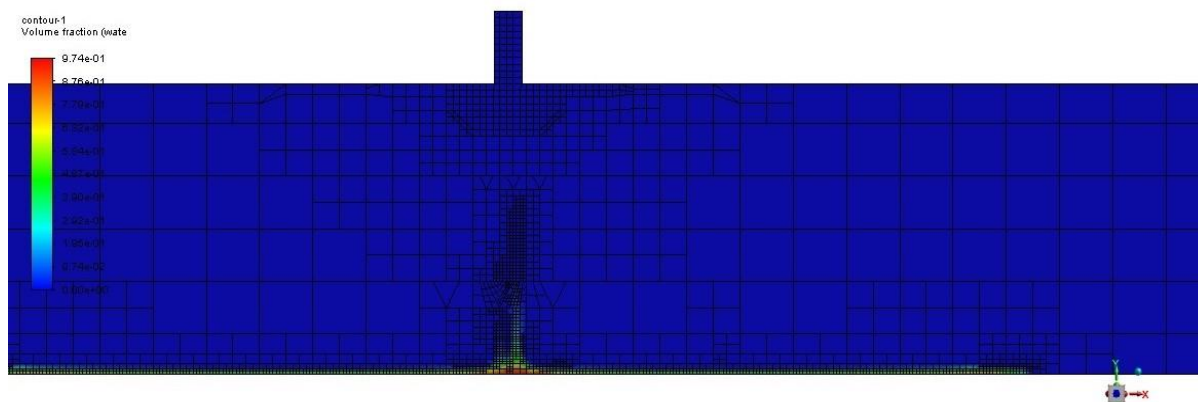


Рис. 6. Розподіл об'ємної частки води у розрахунковій області на час 77 мс

На рис. 7 спостерігаємо, що на протязі понад 60 мс після розпаду цівки води вода перебуває на нижній стінці ствола практично у незмінному стані.

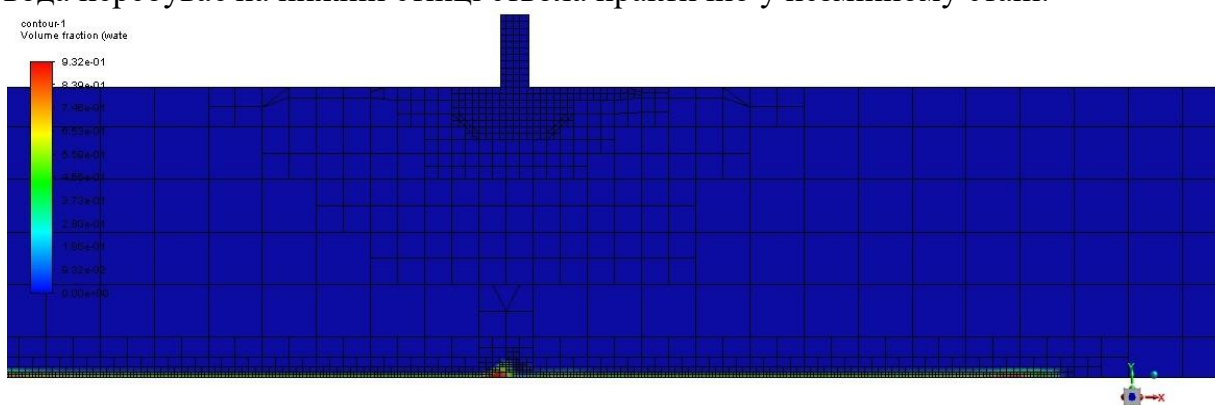


Рис. 7. Розподіл об'ємної частки води у розрахунковій області на час 140 мс

Як показали результати експериментальних досліджень інших дослідників [6–10], під час розповсюдження ударної хвилі вздовж поверхні води відбувається «захват» води з подальшим її подрібненням. За результатами досліджень маємо розтікання води вздовж нижньої стінки ствола. Це дає підстави вважати, що процес розтікання води не призведе до погіршення якості розпилення води.

7. Обговорення результатів дослідження процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння

Проведені дослідження, що дозволили виявити особливості процесу заповнення водою ствола установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії. При цьому запропоновано математичну модель VOF-модель (модель об'єму рідини) для моделювання процесів нагнітання води у ствол установки з подальшим подрібненням води ударною хвилею, а також здійснено її обчислення за допомогою програмного середовища ANSYS. Отримані результати чисельного обчислення (рис. 2–7) на різний час, дають підстави вважати, що процес розтікання води не призведе до погіршення якості розпилення води та на подальше формування дрібнорозпиленого водяного струменя. Отримані результати демонструють порівняно високу інерцію у часі процесів вприскування води по відношенню до газодетонаційних процесів, що відбуваються в установці пожежогасіння періодично-імпульсної дії. Зокрема, інтервал часу між циклами детонації в установці пожежогасіння, що працює на частоті 23 Гц, складає близько 43,5 мс. Якщо відкинути цикл продувки, то маємо інтервал часу у 21 мс, за який необхідно вприснути воду у ствол.

За результатами наведених досліджень маємо, що тільки час розповсюдження цівки води з однієї до іншої сторони ствола складає 8 мс. До цього слід додати технічні обмеження у швидкодії електромагнітних клапанів. Наприклад, швидкодіючий клапан фірми Festo типу VZWD, має час відкриття у 20 мс та час закриття, що дорівнює 18 мс. Тобто, інерційність у часі цього клапану не відповідає потребам у забезпеченні імпульсного впорскування води у ствол установки. Таким чином, в установці пожежогасіння періодично-імпульсної дії не є доцільним застосовувати імпульсне вприскування води у ствол на відміну від існуючих технічних засобів пожежогасіння «IFEX». Технічні засоби пожежогасіння «IFEX» не відповідають вимогам сучасності щодо продуктивності подачі, що визвано, насамперед, низкою періодичністю пострілу. Особливістю технології «IFEX» є те, що подача вогнегасної речовини відбувається не постійним потоком, а високошвидкісними імпульсними пострілами зі ствола, які приводяться в дію стисненим повітрям. Застосування газодетонаційної технології отримання дрібнорозпиленних водяних струменів порівняно з імпульсною технологією дозволяє ефективніше здійснювати подрібнення рідини, а також дозволяє збільшувати інтенсивність подавання вогнегасної речовини для гасіння пожеж в залежності від класу та розвитку.

Проведені дослідження та отримані результати чисельних досліджень, щодо обґрунтування та узагальнення параметрів роботи установки пожежогасіння періодично-імпульсної дії, щодо впливу на формування дрібнорозпиленого водяного струменя, насамперед, є одним з початкових етапів послідовного дослідження даної залежності. Повністю оцінити дану залежність можливо тільки при проведенні подальших досліджень в напрямку подрібнення цівки води у стволі установки пожежогасіння під дією ударної хвилі та процесу формування та подачі дрібнорозпиленних водяних струменів в середину приміщень.

В подальшому є доцільним проведення експериментальних досліджень, щодо формування та подачі дрібнорозпиленого водяного струменя в середину приміщень під гасіння модельного осередку пожежі. Але під час практичного впровадження результатів дослідження можуть виникнути труднощі у зв'язку із не уніфікованою нормативно-правовою базою в Україні в сфері пожежогасіння тонкорозпиленою водою. Але ці проблеми можуть бути вирішені шляхом застосування вимог та положень стандартів Європейського союзу та США.

8. Висновки

1. Обґрунтовано вибір математичної моделі у програмному середовищі ANSYS для моделювання процесів нагнітання води у ствол установки з подальшим подрібненням води ударною хвилею. Для моделювання процесів нагнітання води та подрібненням води у стволі застосовано VOF-модель (модель об'єму рідини), за якою проникнення одного середовища у інше відсутнє, та яка базується на методі відстеження поверхні, що застосовується до фіксованої ейлерової сітки.

2. Проведено чисельне дослідження технології гасіння пожежі дрібнорозпиленними водяними струменями шляхом дослідження процесу нагнітання води в стволі. За результатами чисельного дослідження процесу заповнення ствола водою виявлено, що порівняно високу інерцію у часі процесів впорскування води по відношенню до газодетонаційних процесів, що відбуваються у компресійно-детонаційній гарматі. Зокрема, інтервал часу між циклами детонації в установці, що працює на частоті 23 Гц, складає близько 43,5 мс. Якщо відкинути цикл продув-

ки, то маємо інтервал часу у 21 мс, за який необхідно вприснути воду до ствола установки пожежогасіння. За результатами наведених досліджень маємо, що тільки час розповсюдження цівки води з однієї до іншої сторони ствола складає 8 мс.

Література

1. Дубінін Д. П. Дослідження вимог до перспективних засобів пожежогасіння тонкорозпиленою водою. Проблеми надзвичайних ситуацій. 2021. № 33. С. 15–29. doi: 10.52363/2524-0226-2021-33-2

2. Liu Y., Wang X., Liu T., Ma J., Li G., Zhao Z. Preliminary study on extinguishing shielded fire with water mist. *Process Safety and Environmental Protection*. 2020. 141. P. 344–354. doi: 10.1016/j.psep.2020.05.043

3. Дубінін Д. П., Коритченко К. В., Криворучко Є. М., Думчикова Д. М. Експериментальне дослідження методу гасіння пожежі водяним аерозолем у приміщеннях складної конфігурації. Проблеми пожежної безпеки. 2019. № 46. С. 47–53. URL: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb46/Dubinin.pdf>

4. Dubinin D., Korytchenko K., Lisnyak A., Hrytsyna I., Trigub V. Improving the installation for fire extinguishing with finely-dispersed water. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. 2/10(92). P. 8–43. doi: 10.15587/1729-4061.2018.127865

5. Korytchenko K., Sakun O., Dubinin D., Khilko Y., Slepuzhnikov E., Nikorchuk A., Tsebriuk I. Experimental investigation of the fire-extinguishing system with a gasdetonation charge for fluid acceleration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. 3/5(93). P. 47–54. doi: 10.15587/1729-4061.2018.134193

6. Rodriguez V., Jourdan G., Marty A., Allou A., Parris J.-D. Planar shock wave sliding over a water layer. *Experiments in Fluids*. 2016. 57. P. 125. doi: 10.1007/s00348-016-2217-6

7. Stefanski K., Lewandowski D., Dygdala R., Kaczorowski M., Ingwer-Żabowska M., Smigielski G., Papliński, A. Explosive Formation and Spreading of Water-Spray Cloud – Experimental Development and Model Analyses. *Central European Journal of Energetic Materials*. 2009. 6. P. 291–302. URL: <https://www.researchgate.net/publication/228375439>.

8. Liu J.-Y., Liang D., Zhao Z., Dong W.-L. Progress in Research and Application of Electronic Ultrasonic Water Mist Fire Suppression Technology. *Procedia Engineering*. 2011. 11. P. 288–295. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.659

9. Xiang G., Wang, B. Numerical study of a planar shock interacting with a cylindrical water column embedded with an air cavity. *Journal of Fluid Mechanics*. 2017. 825. P. 825–852. doi: 10.1017/jfm.2017.403

10. Xu Y., Zhang, H. Interactions between a propagating detonation wave and circular water cloud in hydrogen/air mixture. *Combustion and Flame*. 2022. 245. P. 112369. doi: 10.48550/arXiv.2206.02312

11. ANSYS_Fluent_Theory_Guide. URL: https://dl.cfdexperts.net/cfd_resources/Ansys_Documentation/Fluent/Ansys_Fluent_Theory_Guide.pdf.

12. Parham K., Esmailzadeh E., Atikol U., Aldabbagh L. B. Y. A numerical study of turbulent opposed impinging jets issuing from triangular nozzles with different geometries. *Heat Mass Transfer*. 2011. 47. P. 427–437. doi: 10.1007/s00231-010-0741-0.

D. Dubinin¹, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
K. Korytchenko², DSc, Senior Researcher, Head of Department
Y. Krivoruchko¹, Lecturer of the Department
S. Ragimov¹, PhD, Associate Professor, Lecturer of the Department
V. Trigub¹, PhD, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department
¹National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
²National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

FEATURES OF THE PROCESS OF WATER FILLING THE BARREL OF A PERIODIC-PULSE FIRE EXTINGUISHING INSTALLATION

In the work, research was carried out, which made it possible to reveal the peculiarities of the process of filling the barrel of the periodic-impulse fire extinguishing installation with water. At the same time, a mathematical model for simulating the processes of water injection into a pipe with subsequent crushing of water by a shock wave was substantiated and proposed. To simulate the processes of water injection and water crushing in the shaft of the installation, a VOF model (volume of liquid model) is used, according to which there is no penetration of one medium into another, and which is based on the surface tracking method applied to a fixed Euler grid. On the basis of the developed mathematical model in the ANSYS software environment, numerical studies of the process of filling the barrel of a periodic-impulse fire extinguishing installation with water were carried out. According to the results of a numerical study of the process of filling the barrel of the periodic-impulse fire extinguishing installation with water, a relatively high inertia in the time of the water injection processes in relation to the gas detonation processes occurring in the periodic-impulse fire extinguishing installation was revealed. In particular, the time interval between detonation cycles in the installation operating at a frequency of 23 Hz is about 43,5 ms. If we discard the purge cycle, then we have a time interval of 21 ms, during which it is necessary to inject water into the barrel of the intermittent-impulse fire extinguishing installation. According to the results of the above studies, we have that only the time for the spread of the stream of water from one side to the other side of the barrel of the periodic-impulse fire extinguishing installation is 8 ms. The conducted research makes it possible to investigate the influence of the parameters of the fire extinguishing installation on the formation of a finely sprayed water jet, and the obtained results will significantly increase the level of operational readiness of the personnel of fire and rescue units during operational actions to extinguish internal fires.

Keywords: fire extinguishing installation, finely sprayed water jets, mathematical model, numerical studies

References

1. Dubinin, D. (2021). Doslidzhennja vymog do perspektyvnyh zasobiv pozhezhogasinnja tonkorozpylenoju vodoju. *Problemy nadzvychajnyh situacij*, 33, 15–29. doi: 10.52363/2524-0226-2021-33-2
2. Liu, Y., Wang, X., Liu, T., Ma, J., Li, G., Zhao, Z. (2020). Preliminary study on extinguishing shielded fire with water mist. *Process Safety and Environmental Protection*, 141, 344–354. doi: 10.1016/j.psep.2020.05.043
3. Dubinin, D. P., Korytchenko, K. V., Kryvoruchko, Je. M., Dumchykova, D. M. (2019). Eksperymental'ne doslidzhennja metodu gasinnja pozhezhi vodjanym aerorozem u prymishhennjah skladnoi' konfiguracii'. *Problemy pozhezhoi' bezpeky*, 46, 47–53. Available at: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/zbirky-naukovykh-prats-ppb/ppb46/Dubinin.pdf>
4. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2018). Improving the installation for fire extinguishing with finely-dispersed water. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/10 (92), 8–43. doi:10.15587/1729-4061.2018.127865
5. Korytchenko, K., Sakun, O., Dubinin, D., Khilko, Y., Slepuzhnikov, E., Nikorchuk, A., Tsebriuk, I. (2018). Experimental investigation of the fire-extinguishing

system with a gasdetonation charge for fluid acceleration. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/5(93), 47–54. doi: 10.15587/1729-4061.2018.134193

6. Rodriguez, V., Jourdan, G., Marty, A., Allou, A., Parisse, J.-D. (2016). Planar shock wave sliding over a water layer. *Experiments in Fluids*, 57, 125. doi: 10.1007/s00348-016-2217-6

7. Stefanski, K., Lewandowski, D., Dygdala, R., Kaczorowski, M., Ingwer-Żabowska, M., Smigielski, G., Papliński, A. (2009). Explosive Formation and Spreading of Water-Spray Cloud – Experimental Development and Model Analyses. *Central European Journal of Energetic Materials*, 2009, 6, 291–302. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/228375439>

8. Liu, J.-Y., Liang, D., Zhao, Z., Dong, W.-L. (2011). Progress in Research and Application of Electronic Ultrasonic Water Mist Fire Suppression Technology. *Procedia Engineering*, 11, 288–295. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.659

9. Xiang, G., Wang, B. (2017). Numerical study of a planar shock interacting with a cylindrical water column embedded with an air cavity. *Journal of Fluid Mechanics*, 825, 825–852. doi: 10.1017/jfm.2017.403

10. Xu, Y., Zhang, H. (2022). Interactions between a propagating detonation wave and circular water cloud in hydrogen/air mixture. *Combustion and Flame*, 245, 112369. doi: 10.48550/arXiv.2206.02312

11. ANSYS_Fluent_Theory_Guide. Available at: https://dl.cfdexperts.net/cfd_resources/Ansys_Documentation/Fluent/Ansys_Fluent_Theory_Guide.pdf

12. Parham, K., Esmailzadeh, E., Atikol, U., Aldabbagh, L. B. Y. (2011). A numerical study of turbulent opposed impinging jets issuing from triangular nozzles with different geometries. *Heat Mass Transfer*, 47, 427–437. doi: 10.1007/s00231-010-0741-0

Надійшла до редколегії: 25.09.2023

Прийнята до друку: 07.11.2023