

Шифр «Насадка-заспокоювач»

«Вдосконалення насадки-заспокоювача для гасіння пожеж класу Д1 за наявності магнію та його сплавів»

2018

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ Д1 ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	4
1.1. Аналіз пожеж магнію та його сплавів	6
1.2. Основні тенденції в розвитку споживання магнію в світі.....	9
1.3. Основні напрямки захисту від пожеж і вибухів при роботі з магнієвими сплавами.....	9
1.4. Задачі досліджень.....	11
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОДАЧІ ПОРОШКУ З ЗАСПОКОЮВАЧІВ РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ.....	12
2.1. Досліджень насадок-заспокоювачів для гасіння пожеж класу Д1.....	12
2.2. Моделювання процесів, які відбуваються у двосторонніх насадках- заспокоювачах та визначення оптимальної конструкції	19
2.3. Експериментальна перевірка адекватності змодельованих процесів в насадках-заспокоювачах.....	22
Висновки за розділом.....	25
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	28

ВСТУП

Використання магнію та його сплавів є практичним та ефективним у промисловості як в Україні, так і за її межами. Магній застосовують у вигляді металевих пластин при захисті від корозії морських суден і трубопроводів. У металургії магній використовують як «розкислювач» - речовина, що пов'язує шкідливі домішки в розплаві заліза. Добавка 0,5% магнію в чавун значно підвищує гнучкість чавуну і його опір на розрив. Магній та його сплави часто використовуються в апаратах космічної та авіаційної техніки, автомобілебудуванні, різних агрегатах і відповідних приладах [9].

Магній та його сплави останнім часом часто використовують у військовій галузі при виготовленні запалювальних гранат. Їхнє застосування зросло за останні роки на сході нашої держави, де їх використовують для підпалу складів з боєприпасами, що ускладнює гасіння пожежі через те, що магній розбризкується на великі площі або по всьому приміщенні і, тим самим, збільшується площа загоряння, швидко запалюються дерев'яні ящики з боєприпасами і ускладнюється процес гасіння. Тому виникає необхідність у застосуванні ефективних методів та способів гасіння такого класу пожеж.

При подачі вогнегасної речовини під високим тиском магній та його сплави розбризкуються та збільшують площу горіння.

Метою роботи є вдосконалення конструкції насадки-заспокоювача в спосіб, що дозволяє збільшити кількість потрапляння порошку на об'єкт гасіння, шляхом моделювання процесів в насадці та експериментальним підтвердженням отриманих результатів.

Об'єкт досліджень – процес горіння та гасіння пожеж класу Д1 за наявності сполук магнію.

Предмет досліджень – засоби подачі при гасінні пожеж класу Д1 за наявності сполук магнію.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ КЛАСУ Д1 ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для гасіння легких металів потрібно відповідні вогнегасні речовини та засоби їх подачі. При гасінні легких металів необхідно подавати порошок при мінімальній швидкості руху його частинок на горючу поверхню так, щоб він покривав поверхню і не роздмухував вогонь. Багатьма дослідниками досліджувались вогнегасні речовини для гасіння пожеж класу D. Дослідження з гасіння вогнегасними порошками спеціального призначення проводились та відображені [1, 2, 3]. В усіх випадках дослідники прийшли до висновку, що до складу спеціальних порошоків повинні входити NaCl, KCl. Наповнювачами виступають мелений пісок, шлак, зола, сполуки мелаіну, графіт, каолінова глина.

В роботі [4] пропонується гасити магній аргоном. Це себе виправдовує тільки в закритих об'ємах. Гасіння аргоном та аерозолями є об'ємним способом гасіння, що погано працює при поверхневому гасінні [4,5]. Горіння сповільнюється, але не зупиняється повністю.

В [6, 7, 5] використані насадки у вигляді сопла або прямої насадки, що не дозволяє додатково знизити швидкість руху порошку. Запропоновані вогнегасні речовини у практиці гасіння легких металів показали себе малоефективними, оскільки виникає ще проблема подавання вогнегасної речовини в певному напрямку.

Там де використовувались насадки у вигляді сопла при гасінні методом ізоляції, не вдається накрити поверхню, а ще й розпорошується стружка, роздмухується вогонь. Тому потрібно порошок плавно посипати на поверхню горіння під тиском не більше 0,01 МПа. У відомій методиці [8, 9] подача порошку здійснюється за допомогою Г-подібної насадки, відбивання порошку відбувається від дна напівциліндра. У заспокоювачі використовується одна параболічна поверхня, яка дає змогу знизити швидкість руху частинок порошку та забезпечує розсіювання його по поверхні. У варіанті [9, 10] присутній боковий трубопровід, на якому порошок частково осідає.

В канадців [11] використовують прямі насадки, які в середині мають подрібнювач струменя. Порошок виходить через багато сопел, збільшується опір чим понижується швидкість руху порошку на виході. Кількість порошку, яка потрапляє в зону горіння становить 65–67 %, але це недостатньо.

В роботі [8] використовують і описують відбивачі односторонні та еліптичні, які дають процент потрапляння порошку на поверхню до 60 %.

В Німеччині використовують односторонні [12, 13] насадки з шлангами великих діаметрів від вогнегасника до насадки, які забезпечують інтенсивність гасіння при меншому тиску в корпусі вогнегасного пристрою за рахунок збільшення діаметра шлангу та корпусу вогнегасника, тим самим зменшують тиск на виході порошку до 0,01–0,015 МПа. Як недолік, слід зазначити погану маневреність дій оператора, пов'язану саме з діаметром шлангів та малою їх довжиною та великий залишок порошку в шлангах.



Рис. 1.1. Вогнегасник з односторонньою насадкою

Гасіння магнію [14] вогнегасним порошком на основі графіту та з використанням насадки-заспокоювача з одностороннім відбивачем та подовженим корпусом забезпечує потрапляння 50–70 % порошку на поверхню, що не задовольняє вимоги сучасного пожежогасіння – втрати вогнегасного порошку повинні бути не більше 15 %. 10 % допустимий залишок в корпусі [ДСТУ3675-98], до 5 % – залишок в трубопроводах, похибки в вимірюваннях, досвід оператора гасіння.

В роботі [11] збільшили довжину корпусу відбивача і при цьому ж тиску досягнули результату 65–70 % потрапляння порошку на об'єкт гасіння.



Рис. 1.2. Вогнегасник для гасіння магнію канадського виробництва

Пожежі та вибухи, які виникли з причин загоряння магнію та його сплавів, є актуальною проблемою, яку потрібно вирішувати, розробляти ефективні способи та засоби гасіння пожеж таких класів з врахуванням їх особливостей. Аналіз наявних на сьогоднішній день літературних даних показує, що не існує ефективних способів та устаткування, які б дозволили гасити пожежі класу D швидко, з малими збитками.

Основний недолік існуючого устаткування – мала кількість потрапляння порошку на поверхню горючого металу, без роздмухування вогню та металевої стружки. Причиною цього є висока швидкість руху порошку. Тиск в корпусі вогнегасного пристрою повинен бути високий для аерації порошку та транспортування його на далекі відстані, а на виході порошок повинен рухатись направлено і плавно, інтенсивно покриваючи поверхню.

В попередніх дослідженнях для пониження швидкості руху вогнегасного порошку не розглядалися двосторонні заспокоювачі та рух складових двофазного середовища: газ-порошок. Не використовувався програмний продукт, який призначений для розв'язування прикладних задач в області аерогідродинаміки шляхом моделювання відповідних процесів – тертя частинки з твердою поверхнею; неідеальне відбивання частинок від твердої поверхні; зіткнення частинок між собою та тертя з турбулентними потоками газу.

1.1. Аналіз пожеж магнію та його сплавів

Проаналізуємо найбільш резонансні пожежі в Україні та світі, що спричинені наявністю сплавів магнію.

2 жовтня 2015 року, понад 20 пожежників гасили 47 тонн палаючого магнію на заводі PolMag в м. Olszowej республіка Польща. На першому етапі розплавлений магнієвий сплав, намагалися загасити, але безуспішно. Використовували вогнегасний порошок, але вогонь настільки інтенсивний, що його неможливо було погасити. Не вистачало необхідних засобів подачі вогнегасних речовин [15].



Рис. 1.3. Приклади виникнення пожеж на заводі PolMag в м. Olszowej республіка Польща

Пожежа магнію викликала збитки на мільйони євро у Sonneberg 2010 році [16]. горіло 30 тонн магнію. До локалізації і ліквідації пожежі приступили не вчасно, не було ефективних засобів первинного пожежогасіння.

В жовтні 2006 року виникла пожежа магнієвої стружки в контейнері для збору металевих відходів на колишній території Львівського автобусного заводу. Причина пожежі — займання контейнера з магнієвою стружкою. Гасіння пожежі тривало кілька годин. Працівники ДСНС змушені були гасити магнієву стружку повітряно-механічною піною та іншими, на їх погляд, безпечними засобами [17].

В квітні 2010 року на заводі "Київприлад", що на вулиці Гарматній, 2, в Солом'янському районі столиці, стався потужний вибух магнію. Причина вибуху – іскра від газозварювального апарата, яка потрапила в ємність з магнієм і стався спалах, унаслідок якого двоє чоловіків загинули на місці. Від високої температури поплавилися металеві конструкції підіймача, а від спалаху – повилітали шибки в цеху з першого по четвертий поверх [18].

Вибух на складах боєприпасів на Запоріжжі 17 лютого 2016 близько 20:20 почалися вибухи на території складів у Запорізькій області. Невідомі особи за допомогою безпілотних літальних апаратів скинули запальні предмети на територію об'єкта. В результаті їх вибуху виникли осередки загоряння, які складно було загасити. Окремі частинки магнію потрапляли під дерев'яні ящики, в яких зберігались боєприпаси. Для гасіння використовували пожежний танк, ґрунт. Було зафіксовано близько 50 точок загоряння [19].

Подібні пожежі, які спричинені горінням та вибухом магнію та його сплаву частіше відбуваються як у процесі обробки, так і у промисловості відходів [20-24].

Магній та його сплави останнім часом часто використовують у військовій галузі при виготовленні запалювальних гранат. Їхнє застосування зросло за останні роки на сході нашої держави, де їх використовують для підпалу складів з боєприпасами, що ускладнює гасіння пожежі через те, що магній розбризкується на великі площі або по всьому приміщенні і, тим самим, збільшується площа загоряння, швидко запалюються дерев'яні ящики з боєприпасами і ускладнюється процес гасіння.



Рис. 1.4. Запальні пристрої для підпалювання складів з боєприпасами

Масштабні пожежі з вибухами на складах боєприпасів, де наявні магнієві сплави, лише підтверджують актуальність проблеми: Артемівськ Донецька область 2003 рік; Новобогданівка Запорізька область 2004, 2005, 2006 та 2007 роки; Лозова Харківська область 2008 рік; Сватове Луганська область 2015 рік;

Балаклія Харківська та Калинівка Вінницька області 2017 рік. І остання пожежа на складах боєприпасів на Чернігівщині. 9 жовтня 2018 року, о 03:40 у ДСНС надійшла інформація про те, що на території військового 6-го арсеналу Міноборони біля Дружби і Августовки Ічнянського району на Чернігівщині виникла пожежа з подальшою детонацією боєприпасів. З 16-кілометрової зони можливого ураження (Ічня та 30 прилеглих сіл) евакуювали понад 12,5 тисячі осіб. У медичних установах в Ічні знаходиться 91 особа, зокрема 1 дитина[25]. Як правило, ці пожежі завершувались вигоранням магнію, загибеллю людей та великою кількістю постраждалих. Проводячи аналіз пожеж та вибухів, які виникли з причин загоряння магнію та його сплавів, можна сказати, що це актуальна проблема, яку потрібно вирішувати, розробляти ефективні способи та засоби гасіння пожеж таких класів з врахуванням їх особливостей.

1.2. Основні тенденції в розвитку споживання магнію в світі

Магній застосовують у вигляді металевих пластин при захисті від корозії морських судів і трубопроводів. У металургії магній використовують як «розкислювач» - речовина, що пов'язує шкідливі домішки в розплаві заліза. Використовують магній і при виготовленні деяких гальванічних елементів.

Сплави магнію грають в техніці дуже важливу роль. Існує ціле сімейство магнієвих сплавів із загальною назвою «електрон». Основу їх складає магній у поєднанні з алюмінієм (10%), цинком (до 5%), марганцем (1-2%). Малі добавки інших металів надають «електрону» різні цінні властивості. Але головним властивістю всіх видів «електронів» є їх легкість ($1,8 \text{ г / см}^3$) і прекрасні механічні властивості.

1.3. Основні напрямки захисту від пожеж і вибухів при роботі з магнієвими сплавами.

Основні властивості магнію. Тверда речовина. Метал. Сріблясто-білого кольору. Нелетка. Температура плавлення $+651 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура кипіння $+1107 \text{ }^\circ\text{C}$. Бурхливо реагує з водою. На повітрі здатна займатися, у вологому середовищі згоряє з вибухом. Температура горіння $+2800 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вибухо- та пожежонебезпека. Горюча. Можливе самозаймання на повітрі. Займається від іскор та полум'я. Магній згоряє у вологому середовищі з вибухом. При взаємодії з водою виділяє горючі гази і велику кількість тепла.

Основними напрямками захисту від пожеж і вибухів при роботі з магнієвим пилом є наступні:

1. Механічна обробка магнієвих сплавів повинна проводитися гострим і правильно загостреним інструментом, забезпечуючи при цьому мінімальну величину тертя.

2. Для гасіння пожежі, де горить магній, використовувати воду не можна, оскільки від зіткнення з водою розпечений магній вибухає.

3. Застосовувати CO₂ для гасіння речовин, що містять у своєму складі магній, є неефективним.

4. При обробці виробів на токарних, фрезерних, стругальних і інших верстатах охолодження повинно проводитися маслом або струменем повітря. Охолодження водою оброблюваних виробів із магнію та його сплавів не допускається, так як нагріта вода при взаємодії з магнієм виділяє водень.

5. Слід намагатися звести до мінімуму можливість утворення іскор. Для того кожухи верстатів, повітроводи повинні бути виконані з металів, які при ударі не утворюють іскор.

6. Пил, який утворюється при обробці виробів відсмоктується за допомогою спеціальної вентиляційної системи.

7. Систематично проводити прибирання приміщень від пилу та протирання обладнання.

8. Електрообладнання верстатів і цехи в цілому повинні бути тільки у вибухозахищеному виконанні.

9. Локалізацію горіння магнієвих сплавів здійснюється піском, порошком окису магнію, графітом.

Виникає необхідність у застосуванні ефективних методів та способів гасіння такого класу пожеж.

Для гасіння магнію та його сплавів використовуються наступні методи та способи гасіння:

- засипання палаючого магнію великою кількістю сухого графіту;
- універсальним засобом для гасіння палаючого магнію і його сплавів є сухий мелений флюс, вживаний при плавці магнієвих сплавів. Запас цих флюсів повинен постійно знаходитися на робочих місцях і зберігатися в герметичній тарі. Для гасіння пожеж магнієвих сплавів при обробці різанням застосовують патрони, заряджені флюсом;
- застосування трихлориду бору для гасіння магнієвого полум'я. Трихлорид бору взаємодіє з палаючим магнієм, утворюючи хлорид магнію, який припиняє доступ повітря до палаючої поверхні;
- засипання палаючого магнію сухим пилоподібним карналітом або піском.

Всі запропоновані вогнегасні речовини випробовувались при гасінні невеликих загорянь в лабораторних умовах. Вогнегасні порошки, які випускаються в Україні не придатні для гасіння пожеж легких металів. Крім того при подачі під тиском порошку стружка магнію або його крупинки розбризкуються і збільшують площу горіння.

1.4. Задачі досліджень

- аналіз існуючих насадок-заспокоювачів для гасіння пожеж класу D та способи зниження швидкості руху порошку з насадки;
- змодельовати процеси, які відбуваються у двосторонніх насадках-заспокоювачах та визначити оптимальну конструкцію насадки-заспокоювача;
- експериментально перевірити адекватності змодельованих процесів в насадках-заспокоювачах.

РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОДАЧІ ПОРОШКУ З ЗАСПОКОЮВАЧІВ РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

2.1. Досліджень насадок-заспокоювачів для гасіння пожеж класу Д1

Для теоретичних досліджень насадки-заспокоювача використаємо програмний продукт COSMOSFloWorks [26, 27, 28], який призначений для розв'язування прикладних задач в області аерогідродинаміки та теплопередачі шляхом моделювання відповідних фізичних процесів. COSMOSFloWorks є повністю інтегрованим додатком CAD-системи SolidWorks і може ефективно використовуватись для розрахунків силової (стаціонарної та нестаціонарної) взаємодії між твердими тілами та потоком рідини (газу) у випадку їх взаємного руху; впливу різних фізичних факторів на рух текучого середовища; вирішення проблем теплообміну; розрахунку руху твердих і/або рідких частинок в потоці газу або рідини.

Математична модель будується шляхом геометричного проектування реального об'єкта в середовищі SolidWorks з подальшим автоматичним обміном необхідною інформацією між COSMOSFloWorks та SolidWorks. Рух текучого середовища і теплообмін між тілами моделюється з допомогою рівнянь Нав'є – Стокса, які в нестаціонарній формі описують закони збереження маси, імпульсу та енергії.

Крім цього, використовуються рівняння стану текучого середовища, а залежність теплопровідності компонентів середовища від температури описується відомими емпіричними формулами.

Значний інтерес для нашого випадку становлять двофазні середовища, а саме – потік газу із твердими частинками. Двофазні потоки середовища із рідкими або твердими частинками моделюються як рух цих частинок в стаціонарному потоці газу. Тобто, математична модель ґрунтується на припущенні, що силовий та тепловий вплив частинок на рух газу неістотний. Таке припущення вірне лише в тому випадку, коли масова концентрація частинок в двофазному середовищі не перевищує 30 %. Визначення опору частинок ґрунтується на тому, що їх форма є сферичною. Температура частинок

визначається із теплообміну з навколишнім середовищем, а, оскільки, маса частинки є незмінною, то змінюється її розмір. Якщо необхідно, то можна врахувати дію гравітації. Взаємодія частинок з поверхнями твердих тіл моделюється як повне прилипання (краплі рідини) або як відбивання (ідеальне та неідеальне), властиве твердим тілам. Виходячи з цього розраховуються траєкторії руху частинок. Також можна визначати як процес налипання частинок, так і ерозію поверхонь.

Для розв'язку задачі безперервна нестационарна математична модель дискретизується як за простором, так і за часом. Для цього вся розрахункова область покривається сіткою, грані чарунок якої паралельні до координатних площин Декартової системи координат. Сітка генерується автоматично з можливістю впливу на розміри чарунок для покращення точності розрахунку. Розрахунки здійснюються за допомогою методу скінченних об'ємів [28].

Використовуючи методику побудови моделей конструкцій в середовищі SolidWorks [26, 29], побудуємо модель відомої конструкції заспокоювача вогнегасника [4, 8, 9, 30, 31, 32], конструкційна схема якої представлена на рис. 2.1.

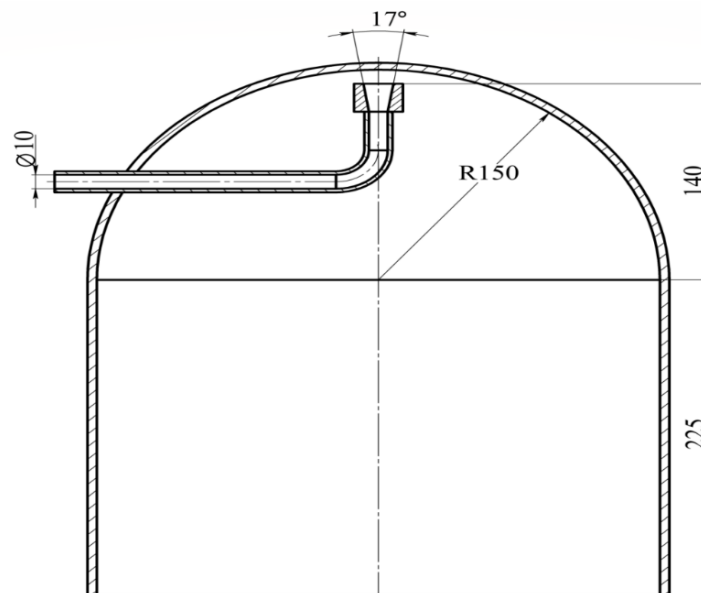
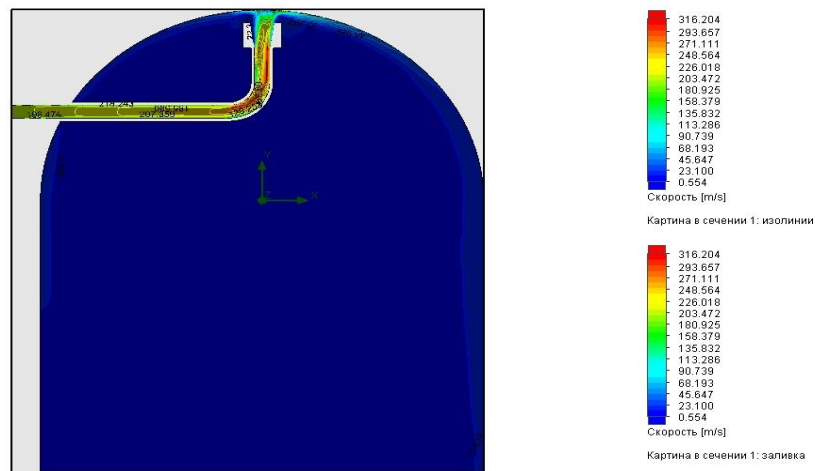
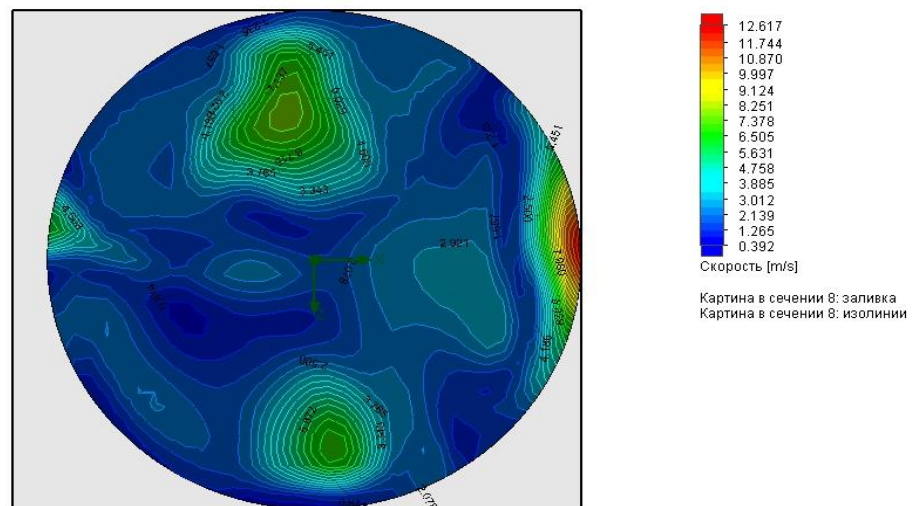


Рис. 2.1. Конструкційна схема заспокоювача для подачі вогнегасного порошку (розрахункова модель)

Стиснутий робочий газ (азот) подається під тиском 0,2 МПа на вхід моделі (Ø10 мм) разом із дрібнодисперсним (100 мкм) порошком кухонної солі (не більше 30 %), утворюючи двофазне рухоме середовище, тверда фаза якого не впливає на газоподібну. Газ, виходячи із дифузornoї насадки, вдаряється в верхню точку сферичного корпуса, розтікається по його об'єму і виходить назовні (рис. 2.2).



a



б

Рис. 2.2. Хромограма витікання газу: *a* – вертикальний симетричний переріз *б* – горизонтальний переріз біля виходу

Як видно із рис. 2.2, *a*, максимум швидкості газу (310 м/с) спостерігається на виході із трубки, а потім, в процесі його розширення в корпусі

заспокоювача, швидкість зменшується і на виході досягає досить малих значень (від 0,5 до 12,5 м/с – рис. 2.2, б). Як видно із хромограм, швидкість газу в об'ємі корпусу заспокоювача є нерівномірною, а його розповсюдження (рис. 2.3) носить турбулентний характер.

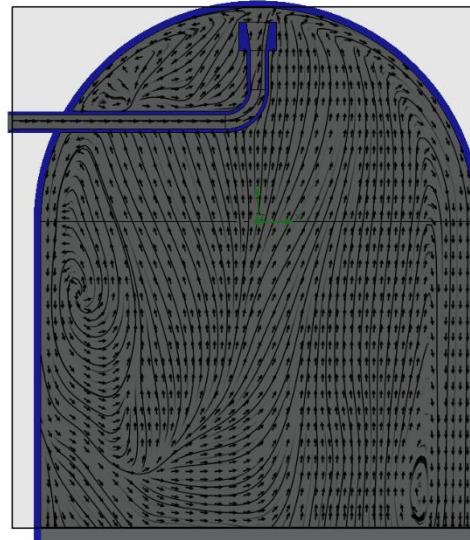


Рис. 2.3. Траєкторії руху газу всередині корпусу заспокоювача

На рис. 2.4 зображено траєкторії руху частинок твердої фази двофазного середовища (дрібнодисперсних частинок кухонної солі). Як видно із рис. 2.4, швидкість твердих частинок відрізняється від швидкості газу і у місці максимальних значень становить 245 м/с. На виході із корпусу заспокоювача швидкість частинок є різною і лежить в діапазоні від 2,2 до 110 м/с. Причину цього видно на рис. 2.4. Траєкторії частинок із більшими значеннями швидкості є прямими, а траєкторії із меншими значеннями – ламаними. Тобто, швидкість частинки гаситься внаслідок її блукання всередині об'єму корпусу заспокоювача вогнегасника. Причиною є: тертя частинки з твердою поверхнею; неідеальне відбивання частинок від твердої поверхні; зіткнення частинок між собою та тертя з турбулентними потоками газу. Слід відмітити, що цей процес носить імовірнісний характер і статистика траєкторій руху частинок є допустимою в результатах обчислень.

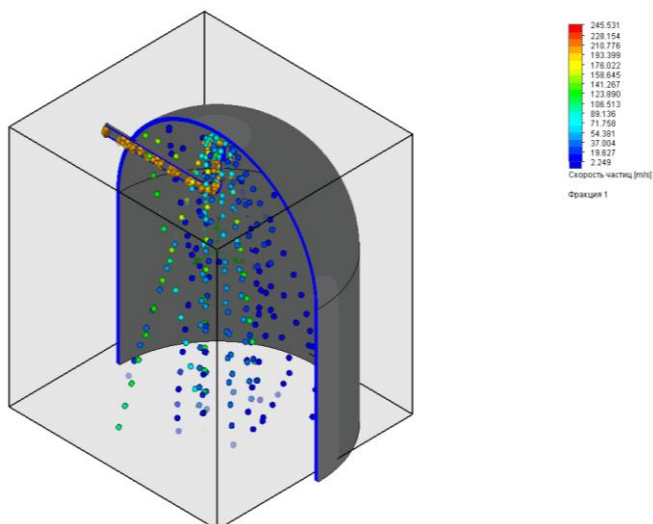


Рис. 2.4. Траєкторії руху твердих частинок всередині заспокоювача

Якщо міркування щодо гасіння швидкості руху твердої фази середовища є вірними, то слід змінити геометрію відбивача частинок. Наприклад, із сферичної на еліптичну, конструкційна схема якого зображена на рис. 2.5.

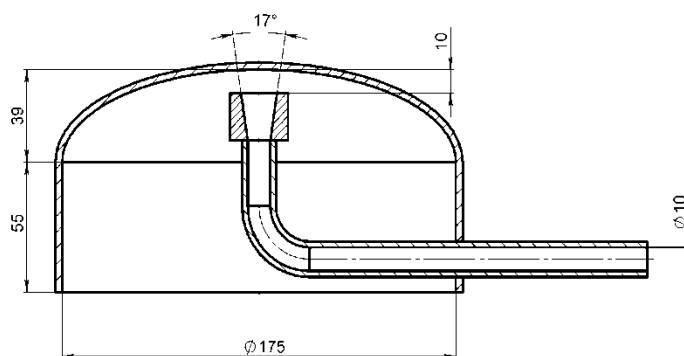
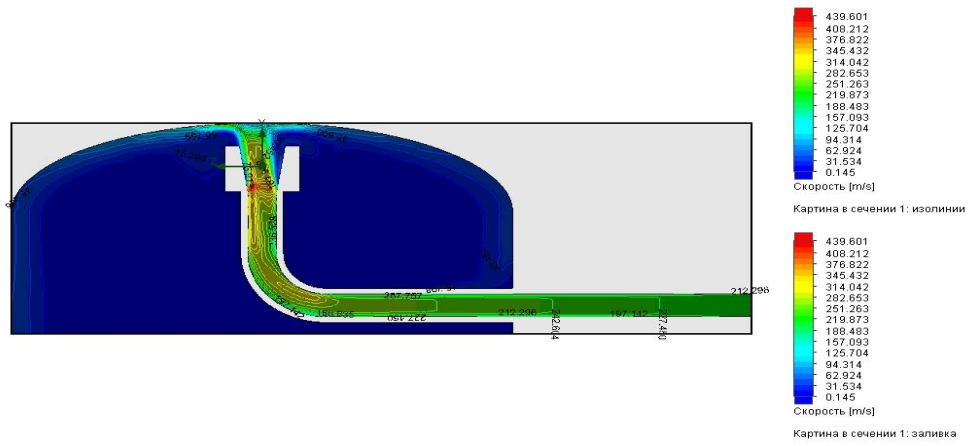


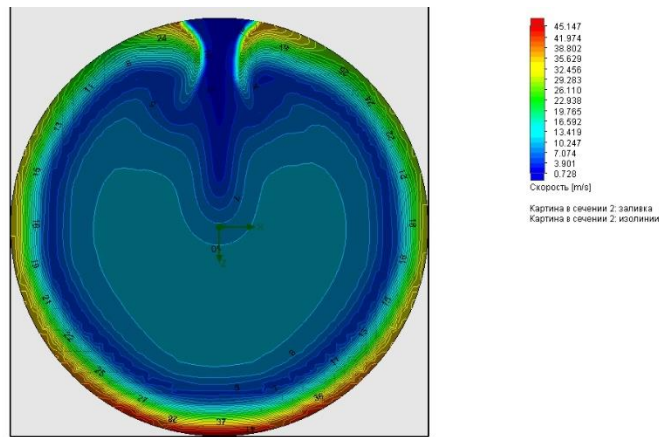
Рис. 2.5. Розрахункова модель заспокоювача із еліптичним верхом

За основу відбивача частинок взято частину корпусу вогнегасника ВП-6, а саме – еліптичне днище із циліндричною частиною корпусу, в отворі стінки якого вмонтовано вхідну трубку з дифузorzом.

Результати розрахунку такої моделі представлено на рис. 2.6–2.8.



a



б

Рис. 2.6. Хромограма витікання газу: *a* – вертикальний симетричний переріз *б* – горизонтальний переріз біля виходу

На рис. 2.6, *a* представлено хромограму витікання цього ж газу із дифузора під тиском 0,2 МПа, який вдаряється в еліптичне днище. Як видно із рис. 2.6, *a*, максимальне значення швидкості зменшується на 25 %. Це можна пояснити падінням опору внаслідок зміни геометрії стінки, в яку вдаряється потік газу.

На рис. 2.6, *б* показано хромограму витікання газу із корпусу насадки (переріз повернуто на 90° за годинниковою стрілкою) в самій його нижній частині. Як видно із хромограми, максимальне значення швидкості (45 м/с) майже в чотири рази вище ніж у попередньому випадку, а течія газу структурується за швидкістю відносно стінки.

Характер протікання газу – турбулентний, про що свідчить дослідження траєкторій його руху (рис. 2.7).

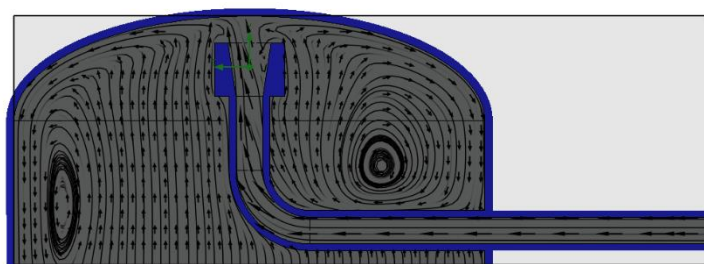


Рис. 2.7. Траєкторії руху газу всередині корпусу насадки-заспокоювача

Однак, як показали дослідження руху частинок твердої фази, швидкість частинок є нижчою і лежить в діапазоні 1,6–80 м/с. Як видно із рис. 2.8, частинки є більш розкинуті в просторі корпусу заспокоювача вогнегасника, існує більше ламаних траєкторій руху, частинки, відбиваючись від твердої поверхні, проходять довші відстані і більше гасять енергію внаслідок тертя газу та поверхні корпусу насадки-заспокоювача.

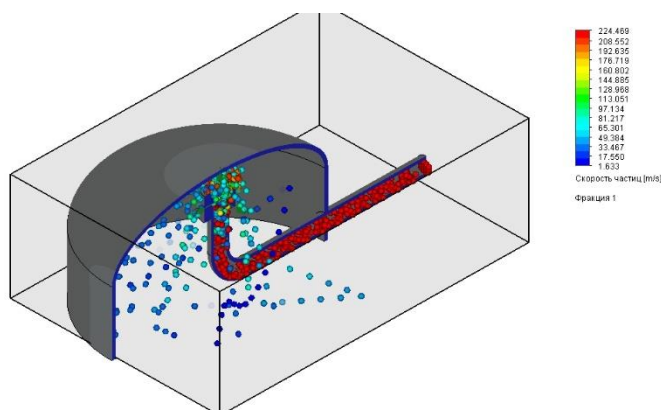


Рис. 2.8. Траєкторії руху твердих частинок всередині корпусу насадки-заспокоювача

Отже, не дивлячись на вищі значення швидкості руху газу, максимальне значення швидкості руху частинок твердої фази суміші є на 27 % менше, ніж у попередньому випадку.

Алгоритм дослідження ефективності конструкційних параметрів заспокоювача представлено на рис. 1 [9].

Визначемо оптимальний тиск при подаванні порошку через заспокоювач, оптимальну відстань насадки від дна заспокоювача, проведемо дослідження діаметра та форми насадки, потім виготовляємо оптимальну конструкцію

заспокоювача та гасимо макетну пожежу. Основними елементами у насадці-заспокоювачі для подачі вогнегасних порошків для гасіння магнію є відбивач, сопло або дифузор. В попередніх дослідженнях визначено, що найкраще попадання порошку на поверхню відбувається при тиску на соплі 0,2 МПа і менше. Діаметр сопла, а краще дифузора, бо зменшується додатково швидкість потоку порошку, становить 12–16 мм. Оптимальна відстань від торця сопла (дифузора) до поверхні відбивача становить 10–15 мм [1].

2.2. Моделювання процесів, які відбуваються у двосторонніх насадках-заспокоювачах та визначення оптимальної конструкції насадки-заспокоювача

На рис. 2.9 зображено конструкційну схему та розрахункову модель заспокоювача із еліптичним верхом та додатковим еліптичним дзеркалом з врахуванням досліджень викладених раніше [9].

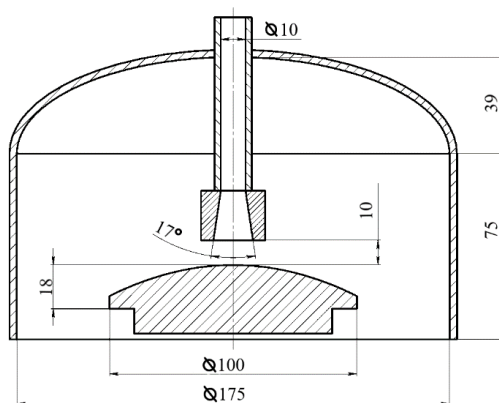
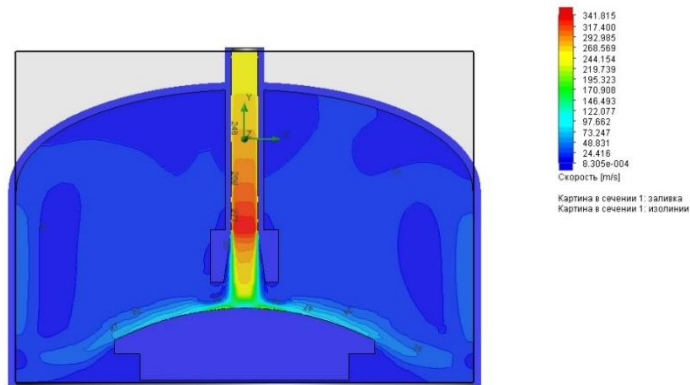


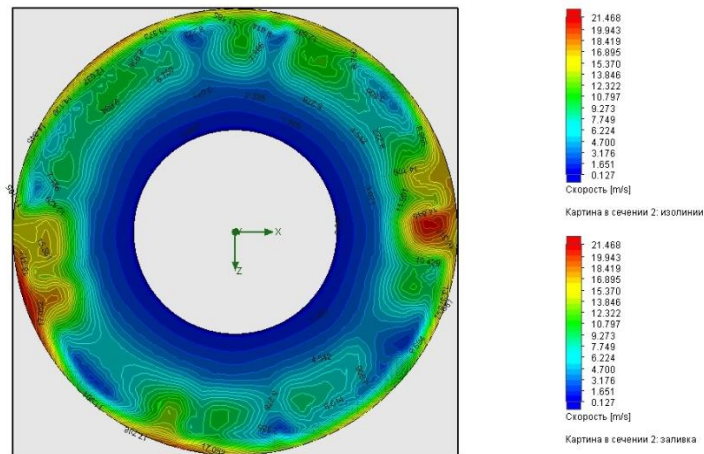
Рис. 2.9. Розрахункова модель заспокоювача із еліптичним верхом та додатковим параболічним дзеркалом

Як видно із рис. 2.9, рухоме двофазне середовище, вийшовши із дифузора, вдарятиметься в параболічне дзеркало (відбивач), а вже від нього підніматиметься вверх – до еліптичного днища, відбившись від якого розпилюватиметься в навколишнє середовище та попадатиме на об’єкт гасіння.

Така конструкційна схема повинна бути більш ефективною, тобто повинно відбуватися більше сповільнення руху твердої фази і, як наслідок, більше її попадання на об’єкт гасіння.



a



б

Рис. 2.10. Хромограма витікання газу: *a* – вертикальний симетричний переріз; *б* – горизонтальний переріз біля виходу

Хромограми витікання газу в обох перерізах корпусів насадки-заспокоювача представлені на рис. 2.10, *a* та рис. 2.10, *б*. Як видно із аналізу рис. 10, протікання газу є симетричним та турбулентним, а значення його швидкостей дещо зменшилися у порівнянні із минулим варіантом виконання конструкції. Особливо зменшилась швидкість газу на виході із корпусу насадки-заспокоювача – більш ніж в два рази (з 45 м/с до 21 м/с – рис 2.10, *б*).

Високу та симетричну турбулентність протікання газу зображено на рис. 2.11. Потік газу є досить симетрично закрученим і має добре виражені зони турбулентності, які повинні призводити до гасіння швидкості руху твердої фази рухомого середовища.

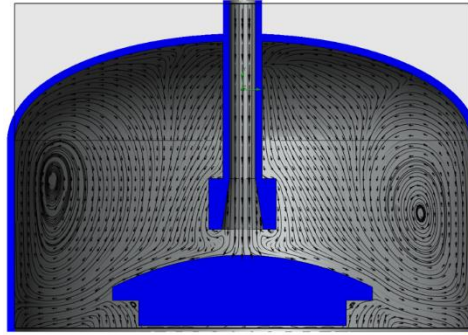


Рис. 2.11. Траєкторії руху газу всередині корпусу насадки-заспокоювача із додатковим дзеркалом

Траєкторії руху твердих частинок всередині корпусу насадки-заспокоювача із додатковим параболічним дзеркалом представлено на рис. 2.12.

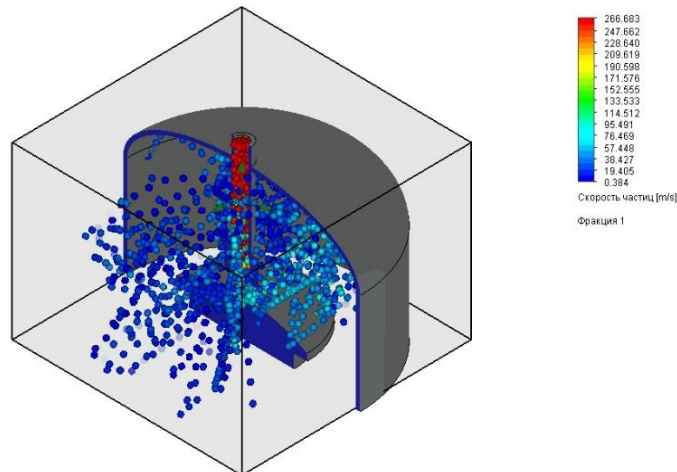


Рис. 2.12. Траєкторії руху твердих частинок всередині корпусу насадки-заспокоювача із додатковим дзеркалом

Як видно із рис. 2.12, частинки твердої фази розпилені в просторі корпусу насадки-заспокоювача. Траєкторії руху формуються із багатьох зіткнень з поверхнями та труться об закручений потік газу та поверхню вогнегасника. Як наслідок – значення швидкості частинок на виході із корпусу насадки-заспокоювача лежить в діапазоні 0,3 – 20 м/с, що є в п'ять разів менше ніж у випадку сфери та чотири рази менше, ніж у випадку одного еліпса.

2.3. Експериментальна перевірка адекватності змодельованих процесів в насадках-заспокоювачах

Експериментальні дослідження проводились методом визначення ефективності порошкових засобів для гасіння макетних пожеж класу D. Для вогнища використали сплав магнію та чистий магній в пропорції 3:1. МЛ15 (7,5–9 % Al; 0,2–0,8 % Zn; 0,15–0,5 % Mn).

Під час проведення експериментальних дослідження використовувалось метрологічно атестоване обладнання та повірені засоби вимірювання з точністю 0,01 гр.

Критерієм кращого вибору є, в першу чергу, маса порошку, яка потрапила на об'єкт гасіння, та час подавання порошку. З метою визначення оптимальних конструкційних параметрів заспокоювача проведемо дослідження в полігонних умовах (без гасіння магнієвих сплавів) з встановленням кількості порошку, який потрапляє на об'єкт гасіння.

Схема установки для дослідження конструкційних параметрів заспокоювача представлена на рис. 2 [9].

Враховуючи результати досліджень [5,6,31,33] пропонуємо експеримент в лабораторних умовах проводити за такою методикою:

- перевірити цілісність шлангів і трубок зовнішнім оглядом;
- засипати в корпус вогнегасника 1кг вогнегасного порошку;
- зібрати установку для визначення потрапляння вогнегасного порошку на об'єкт гасіння умовного горіння магнію або подібних речовин та проводимо експеримент відповідно [9].

Кожний дослід проводиться 3 рази. Результати дослідів, які відрізняються більше ніж на 15 %, до уваги не беруться.

Випробування проводились при різних тисках, різних діаметрах насадки і відстані від насадки до поверхні заспокоювача, а також від форми насадки (пряме сопло або дифузор) [9].

Найкращі результати отримали при відстані дифузора до поверхні заспокоювача – 1 см, діаметр на виході дифузора 16 мм табл. 2.1. Тиск в

корпусі вогнегасника приймаємо 1 МПа. Це середнє значення тиску, при якому найдовше працює вогнегасник.

Таблиця 2.1.

**Результати експериментальних досліджень з використанням
одностороннього відбивання порошку**

1	P (тиск)	Середнє значення при тиску 1 МПа
2	Загальна вага, кг	1
3	Час t, хв.	0,3
4	Маса порошку, яка потрапила на об'єкті гасіння, G, кг	0,63
5	Масова швидкість потрапляння порошку на деко V _m , кг/с	3,5×10 ⁻²
6	Залишок порошку в балоні, кг	0,022

Як впливає із аналізу табл. 2.1, значення тиску під час проведення експериментальних досліджень суттєво (в п'ять разів) відрізняється від розрахункового. Це пояснюється роботою, затраченою на транспортування порошку. Адже при продуванні моделі із балона стиснутого газу без порошку, середнє значення тиску становило близько 0,2 МПа. Саме це значення тиску і задавалося в розрахункових моделях. Гранична концентрація порошку в моделі береться такою, яка не впливає на процес протікання газу, лише газ впливає на процес руху твердої фази. Це дуже малі концентрації (max до 30 %). Однак, в реальних умовах ми забираємо порошок по максимуму, забезпечуючи тим самим ефективно гасіння пожежі. Це вже впливає на рух газу, чого ми, на жаль, ще не можемо враховувати в моделях програмного середовища COSMOSFloWorks. Можемо лише констатувати факт – опір протіканню газу всередині трубки зростає в п'ять разів.

Експериментальні дослідження вогнегасника із заспокоювачем, конструкція якого складається із еліптичного днища з циліндричним корпусом та параболічним дзеркалом ми провели при попередніх умовах. Результати досліджень представлені в табл. 2.2.

**Результати експериментальних досліджень з двостороннім
відбивачем порошку**

1.	Р (тиск)	Середнє значення при тиску 1 МПа
2.	Загальна вага, кг	1
3.	Час t , хв.	0,31
4.	Маса порошку, яка потрапила на об'єкті гасіння, G , кг	0,92
5.	Масова швидкість потрапляння порошку на деко V_m , кг/с	$4,95 \times 10^{-2}$
6.	Залишок порошку в балоні, кг	0,022

З результатів табл. 2.1 і 2.2 видно, що на поверхню дека $0,4 \times 0,4$ м потрапило при односторонньому відбивачеві 0,63 кг порошку, а при двосторонньому відбивачеві 0,92 кг при залишку в балоні 0,022 кг. Тобто у другому випадку на об'єкт не потрапило всього 6% порошку.

На рис. 2.13. зображено процес гасіння пожежі за допомогою експериментального зразка вогнегасника із одностороннім відбивачем та розробленим заспокоювачем з двома робочими поверхнями[34].



а



б

Рис. 2.13. Гасіння пожежі за допомогою експериментального зразка вогнегасника із заспокоювачем: а – односторонній відбивач б – двосторонній відбивач

Помітним є компактність струменю порошку та його плавність висипання. Порошок рівномірно покриває поверхню горіння. Після гасіння прогарів не спостерігається по всій поверхні. При гасінні макетного вогнища з використанням одностороннього відбивача пожежу було погашено за 20 с з використанням двостороннього відбивача пожежу було погашено за 7 с.

Висновки за розділом

Математична модель будується на основі геометричного проектування реального інженерного об'єкта в середовищі SolidWorks з подальшим автоматичним обміном необхідною інформацією і дозволяє проектувати різні насадки-заспокоювачі для гасіння пожеж класу Д1.

Змодельовано подавання порошку з насадок-заспокоювачів різної конструкції. Встановлено, що траєкторії руху середовища формуються із багатьох зіткнень з поверхнями, що труться об закручений потік газу та поверхню вогнегасника. Запропоновано насадку-заспокоювач для подавання вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу Д1 з двома робочими поверхнями – еліптичним верхом та параболічним відбивачем.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз статистики пожеж за наявності магнію та його сплавів в Україні та світі.

2. З хромограм видно, що швидкість газу в об'ємі корпусу заспокоювача з одностороннім відбивачем є нерівномірною, а його розповсюдження має турбулентний характер. Як показало моделювання насадки-заспокоювача з еліптичним дном, його використання є ефективнішим від сферичного. Не дивлячись на вищі значення швидкості руху газу, максимальне значення швидкості руху частинок твердої фази суміші є на 27 % менше, ніж у попередньому випадку. Тиск в корпусі вогнегасного пристрою повинен бути високий для аерації порошку та транспортування його на далекі відстані, а на виході порошок повинен рухатись направлено і плавно, інтенсивно покриваючи поверхню.

3. Змодельовано подавання порошку з насадок-заспокоювачів різної конструкції. Встановлено, що траєкторії руху середовища формуються із багатьох зіткнень з поверхнями, що туться об закручений потік газу та поверхню вогнегасника. Як наслідок – значення швидкості частинок на виході із корпусу насадки-заспокоювача лежить в діапазоні 0,3–20 м/с, що є в п'ять разів менше ніж у випадку сфери та чотири рази менше, ніж у випадку одного еліпса. Запропоновано насадку-заспокоювач для подавання вогнегасного порошку для гасіння пожеж класу D з двома робочими поверхнями – еліптичним верхом та параболічним відбивачем.

4. Відповідність математичної моделі експериментально перевірена на фізичній моделі, у вигляді заспокоювача для подавання вогнегасного порошку для гасіння пожеж магнію з двома робочими поверхнями – еліптичним верхом та параболічним відбивачем. Потрапляння порошку на об'єкт гасіння становить більше 0,920 кг при використаних 0,978 кг, що становить більше 90 % вогнегасної речовини, витраченої на гасіння. Заспокоювач з двома робочими поверхнями ефективніший від попереднього заспокоювача з одностороннім відбивачем з одною робочою поверхнею на 30 % за кількістю порошку, який

потрапив в зону горіння. Це покращує ефективність гасіння, дозволяє більшим шаром порошку покривати поверхню горіння, не роздмухуючи стружку з поверхні горючого металу. Час гасіння макетного вогнища з 20 с зменшився до 7 с та збільшилась кількість порошку на поверхні гасіння.

Математична модель будується на основі геометричного проектування реального інженерного об'єкта в середовищі SolidWorks з подальшим автоматичним обміном необхідною інформацією і дозволяє проектувати різні насадки-заспокоювачі для гасіння пожеж класу D.

Запропонована методика оцінки ефективності насадки-заспокоювача з визначенням кількості вогнегасного порошку, що потрапив на деко розміром $0,4 \times 0,4$ при подачі з вогнегасника з зарядом 1 кг через відповідну насадку-заспокоювач може бути використана при випробуваннях насадок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ковалишин В. В. Дослідження хімічних речовин, як складників вогнегасних порошків для гасіння легких металів [Текст] / В. В. Ковалишин, В. М. Марич, Я. Б. Кирилів, В. В. Кошеленко, О. Л. Мірус // Пожежна безпека „ЛДУБЖД”. – 2016. – № 29. – С. 46–56.
2. Potężny pożar fabryki PolMag w Olszowej. Płonnie 47 ton magnezu. URL: <https://nto.pl/potezny-pozar-fabryki-polmag-w-olszowej-plonie-47-ton-magnezu/ar/8962865>
3. Magnesium-Brand richtet bei Sonneberg Millionenschaden an. URL: <https://www.thueringer-allgemeine.de/web/zgt/leben/blaulicht/detail/-/specific/Magnesium-Brand-richtet-bei-Sonneberg-Millionenschaden-an-1529078490>
4. Габриэлян С. Г. Применение аргона для пожаротушения стружки сплавов магния и титана, образующейся при обработке на станках с числовым программным управлением и обрабатывающих центрах [Текст] / С. Г. Габриэлян // Пожарная безопасность. – 2017. – № 4. – С. 45–51.
5. Баланюк В. М. Запобігання займання газових сумішей н-гептану комбінованими системами ударних хвиль та об'ємних вогнегасних речовин [Текст] / В. М. Баланюк, В. В. Ковалишин, Н. М. Козяр // «ScienceRise» – 2017. – №11(40). – С. 21–24. doi:10.15587/2313-8416.2017.116177
6. Rakowska, J., Radwan, K., Ślosorz, Z. (2014) Badania porównawcze wyników analizy granulometrycznej ziaren proszku gaśniczego przeprowadzonej różnymi metodami. *BiTR*, 34 (2), 57–64. doi:10.12845/bitp.34.2.2014.5
7. Баланюк В. М., Козяр Н. М., Гарасим'юк О. І. Застосування газоаерозольнопорошкових вогнегасних сумішей для захисту від запалювальних сумішей // *ScienceRise*. 2016. Т. 5, № 2 (22). С. 10–14. doi: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2016.69333>
8. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества: ГОСТ Р 53280.5.-2009.-№55-ст.-С.11.

9. Ковалишин В. В. Вплив насадок-заспокоювачів на ефективність гасіння пожеж класів D1 [Текст] / В. В. Ковалишин, В. М. Марич, О. Л. Мірус, Р. Я. Лозинський, Б. М. Гусар, М. Я. Бортник // Вісник „ЛДУБЖД”. – 2018. – № 17. – С. 93–101. doi: 10.32447/20784643.17.2018.13

10. Антонов А. В., Стилик І. Г. Методи випробувань вогнегасних порошків з визначення їх вогнегасної здатності за класом пожежі Д // Вісник УкрНДІПБ. 2013. № 2 (28). С. 242–248.

11. CANNLC-S508-M90, Standard for the Rating and Fire Testing of Fire Extinguishers and Class D Extinguishing Media. Underwriters' Laboratories of Canada, 1996.

12. Ständige Konferenz der Innenminister und – senatoren der Länder, Arbeitskreis V, Ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten, Katastrophenschutz und zivile Verteidigung. Evaluierung neuer Löschverfahren bei Metallbränden Heyrothsberge, 2017.

13. Class D Powder Fire Extinguisher. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=-sJ5TlaYPGs>

14. Class D fires – Chubb Pyromet Extinguisher. URL: https://www.youtube.com/watch?v=CTFxCr_Oy94

15. <https://nto.pl/poteczny-pozar-fabryki-polmag-w-olszowej-plonie-47-ton-magnezu/ar/8962865>;

16. <https://www.thueringer-allgemeine.de/web/zgt/leben/blaulicht/detail/-/specific/Magnesium-Brand-richtet-bei-Sonneberg-Millionenschaden-an-1529078490>

17. <http://www.umoloda.kiev.ua/regions/0/0/28280/>;

18. <http://www.newsru.ua/ukraine/28apr2010/mg.html>;

19. http://espreso.tv/news/2016/02/18/staly_vidomi_podrobysi_vybukhu_na_sk_ladakh_bojeprypasiv_na_zaporizhzh;

25. <https://gordonua.com/ukr/publications/vibuhi-na-skladah-bojepripasiv-v-ukrajini-istorija-katastrof-179716.html> вибухи на складах боєприпасів.

26. Дударева Н. Ю. SolidWorks 2007 [Текст] / Н. Ю. Дударева, С. А. Загайко // СПб.: БХВ – Петербург. – 2007. – С. 1328.

27. Алямовский А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике // А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев.– СПб.: БХВ_Петербург, 2008. – 1040 с.: ил.

28. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2011. – 464 с.

29. Алямовский А.Ф. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А. Ф. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович, Н. Б. Пономарев // СПб.: БХВ – Петербург. – 2008. – С. 1040.

30. Марич В. М. Оптимізація складу вогнегасних порошків для гасіння магнію [Текст] / В. М. Марич, В. В. Ковалишин, Я. Б. Кирилів, В. М. Ковальчик, Б. М. Гусар // Пожежна безпека „ЛДУБЖД”. – 2018. – № 32. – С. 45–54. doi: 10.32447/20786662.32.2018.07

31. Огурцов С. Ю. Аналіз методів випробувань вогнегасних порошків з визначення їх вогнегасної здатності / С. Ю. Огурцов, І. Г. Стилик, А. В. Антонов // Вісник „УкрНДІПБ”. – 2013. – № 1 (27). – С. 86–91.

32. Balanyuk, V. M., Kozyar N. M., Garasymuyk O. I. (2016) The usage of gas and aerosol powder extinguishing mixtures for protection of incendiary mixtures ScienceRise, 2 (22), 10–14. doi: 10.15587/2313-8416.2016.69333

33. Курепин А. Е. Способ тушения металлов / А. Е. Курепин, В. М. Карлик, Л.А. Сичкоренко // пат. 2119368 Россия, № 97105933/25; заявл. 11.04.1997; опубл. 27.09.1998, МПК: 6А 62D 1/00 А.

34. Kovalyshyn V. Improvement of a discharge nozzle damping attachment to suppress fires of class D / V. V. Kovalyshyn, V. M. Marych, Y. M. Novitskyi, B. M. Gusar, V. V. Chernetskiy, O. L. Mirus // Efst-ern-European Journal of Enterprise Technogies. –2018. – Vol. 5, Issue 5 (95). P. 68–76. doi: 10.15587/1729-4061.2018.144874