

### **КОМБІНОВАНІ ВОГНЕГАСНІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ УДАРНОЇ ХВИЛІ ТА ГАЗОВОЇ ОБ'ЄМНОЇ ВОГНЕГАСНОЇ РЕЧОВИНИ**

Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено, що комбіновані вогнегасні системи на основі ударної хвилі та газової об'ємної вогнегасної речовини володіють значною вогнегасною ефективністю завдяки синергізму.

Експериментально встановлено що дія ударних хвиль з частотою 10-12 Гц зменшує мінімальну вогнегасну концентрацію CO<sub>2</sub> до 4,8% об. та N<sub>2</sub> до 10,2% об., при потужності УХ близько 170 Па. Обґрунтовано, що дія газових вогнегасних речовин при впливі серій УХ володіє комплексною синергічною дією, що проявляється у зменшенні об'ємної вогнегасної концентрації CO<sub>2</sub> та N<sub>2</sub> до 66% від її вихідного значення.

**Ключові слова:** Флегматизатор, інгібітор горіння, комбіноване гасіння, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> інертні гази, ударна хвиля.

*В.М. Баланюк*

### **КОМБИНИРОВАННЫЕ ОГNETУШАЩИЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ И ГАЗОВОГО ОБЪЕМНОГО ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА**

В статье теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что комбинированные огнетушащие системы на основе ударной волны и газового объемного огнетушащего вещества обладают значительной огнетушащей эффективностью за счет синергизма.

Экспериментально установлено, что действие ударных волн с частотой 10-12 Гц уменьшает минимальную огнетушащую концентрацию до 4,8% об. и азота до 10,2% об., при мощности УВ около 170 Па. Обосновано, что действие газовых огнетушащих веществ при воздействии серий УВ обладает комплексным синергическим действием, что проявляется в уменьшении объемной огнетушащей концентрации CO<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> до 66% от ее исходного значения.

**Ключевые слова:** Флегматизатор, ингибитор горения, комбинированное тушение, инертные газы, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, ударная волна.

*V. M. Balanyuk*

### **COMBINED FIRE EXTINGUISHING SYSTEM BASED ON THE SHOCK WAVE AND THE GAS VOLUME OF THE EXTINGUISHING AGENT**

The article is theoretically proved and experimentally confirmed that the combined fire-extinguishing system on the basis of the shock wave and the gas volume of the extinguishing agent have significant fire-fighting efficiency.

It was established experimentally that the effect of shock waves with a frequency of 10-12 Hz reduces the minimum extinguishing concentration to 4.8%. and nitrogen to 10.2% vol., with the power of WOW about 170 PA. It is proved that the action of the gas fire extinguishing substances under the influence of the WOW series has a complex synergistic effect, which is manifested in the reduction of volumetric fire extinguishing concentration of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub> up to 50% of its original value.

**Key words:** Retarder, a flame retardant, combo fighting, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> inert gases.

## Постановка проблеми

Відомо, що об'ємна вогнегасна речовина забезпечує надійне гасіння або запобігає вибуху лише за наявності мінімальної вогнегасної або флегматизувальної концентрації цієї речовини. У випадку, коли викид об'ємної вогнегасної речовини стався, але гасіння не відбулось, необхідно забезпечити цю мінімальну концентрацію об'ємної вогнегасної речовини, тобто збільшити кількість вогнегасної речовини або створити умови коли вплив сторонніх чинників забезпечить гасіння і при цій концентрації. Підвищити вогнегасну ефективність об'ємної вогнегасної речовини можна дією УХ, що описано в роботах [1, 2]. Як видно з результатів робіт, впливаючи на полум'я УХ в середовищі об'ємної вогнегасної речовини (вогнегасний аерозоль) можна до значно підвищити вогнегасний ефект внаслідок синергічної взаємодії між ударними хвилями та об'ємною вогнегасною речовиною. При цьому значно знижується як мінімальна вогнегасна концентрація об'ємної вогнегасної речовини, так і потужність ударної хвилі при якій відбувається гасіння дифузійного вуглеводневого полум'я. Загалом, виходячи з результатів роботи [1,2], зниження вогнегасної концентрації відбулось в межах 20 - 60 %. Сумісна дія на полум'я вогнегасної об'ємної речовини та УХ приводить до швидкого гасіння дифузійного полум'я внаслідок дії на нього УХ. При цьому на полум'я впливають такі фактори, як миттєве зниження температури в зоні релаксації УХ, розбавлення горючого середовища при проходженні УХ, збивання полум'я [3]. Відомо, що ударна хвиля може гасити дифузійне полум'я п-гептану вже при тиску у фронті УХ близько 215 Па [4]. При цьому час гасіння становить від 200 до 300 мс. Автори [5,6] гасили дифузійне полум'я бензину з дифузійним паливом УХ значної потужності. При цьому вони добилися ефект повного гасіння в середовищі аерозолі на відстані до 4 метрів. Гасіння серіями УХ є ефективним з погляду на значне підвищення вогнегасного ефекту внаслідок їх повторення після відриву полум'я, що дає змогу значно ефективніше гасити дифузійне полум'я при незначному (до 200 Па) тиску в умовах камери.

В роботі [7] описано, комбіноване гасіння УХ з потужністю дещо нижчою за 215Па. При цьому концентрація  $\text{CO}_2$  та  $\text{N}_2$ , при якій відбувається гасіння зменшується від 10% -при частоті серії УХ 1 Гц до 70%- при частоті серії УХ 10 Гц. Виходячи з зазначених результатів багато, що гасіння серіями УХ відповідної частоти, комбіновано з об'ємною вогнегасною речовиною має ще вищу вогнегасну ефективність, що необхідно дослідити.

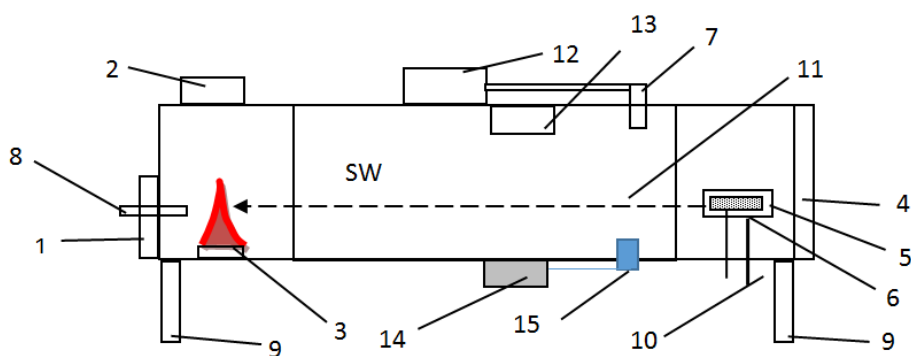
**Мета роботи.** Визначення вогнегасної ефективності комбінованих вогнегасних систем на основі ударної хвилі та газової об'ємної вогнегасної речовини.

## Виклад основного матеріалу

Для визначення вогнегасної ефективності комбінованої системи ударна хвиля – об'ємна вогнегасна речовина, було використано методикою автора [7]. За цією методикою було проведено експеримент з визначення впливу серії з 3-х хвиль з потужністю дещо нижчою за вогнегасну, на гасіння дифузійного полум'я п-гептану (ДПГ) в експериментальній камері [8] з використанням такого обладнання. Експериментальна камера, яка містить передню оглядову панель розмірами: довжина 1980 мм, ширина: 485 мм, висота 530 мм, має два люки для внесення тиглів, генератор ударних хвиль, датчик тиску та температури BMP 180 для контролерів Arduino, з часом реакції не більше 7,5 мс в нормальному режимі вимірювання [9]. Для отримання інформації з датчика для контролера Arduino UNO було використано програму для виводу показників датчика в інтерфейсі CoolTerm.\_0.stk [10]. Значення тиску отримували спочатку в CoolTerm.\_0.stk, далі їх копіювали, і в Excel будували графіки. Датчик встановлений в камері на відстані 1,75 метра від генератора ударних хвиль. Сам генератор ударних хвиль (рис. 4) представляє собою 5 труб діаметром 70 мм з отворами діаметром 3 мм у задній кришці (для запалення піротехнічного заряду всередині генератора). Для створення ударної хвилі використовували вибухи зарядів піроксилінового порошку, які поміщали всередину генератора УХ. Вогнегасні гази ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) подавали по трубопроводу через редуктор. Генерування відповідної частоти подачі струму на електричні запальники

проводили з допомогою електронної схеми на основі плати контролера Arduino, дисплею, перемінного резистора зміни часу затримки, кнопки та модуля реле. Запалення заряду здійснювали джерелом струму напругою близько 20 В, яку отримували на виході з реле з відповідною частотою.

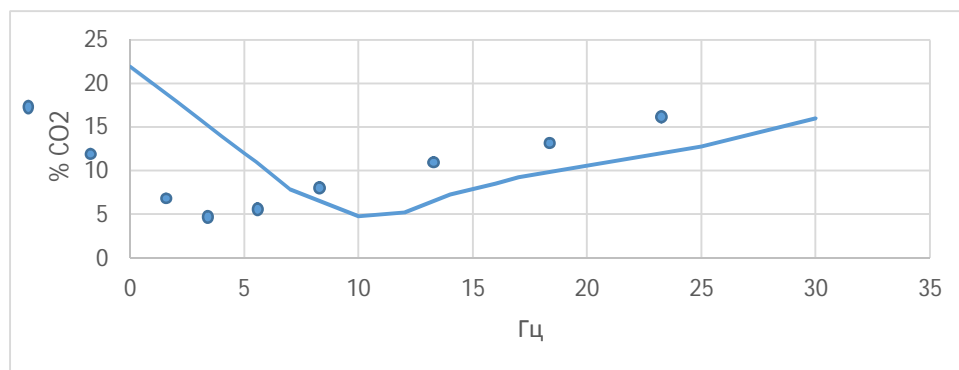
Експеримент проводили таким чином. В камері встановлювався тигель діаметром 80 мм і глибиною 35 мм з попередньо запаленим на 20 секунд н-гептаном, на відстані 1750 мм від генератора ударних хвиль (рис 1), після чого заповнювали камеру вогнегасним газом або аерозолем та задіювали генератор ударних хвиль; пропускали по камері ударні хвилі відповідної потужності та частоти і фіксували результат - «гасіння», «не гасіння», «змінення полум'я» за допомогою фотокамери Nikon 1 J4 з частотою зйомки 1200 кадрів на секунду. З отриманих відеороликів була зроблена розкадровка відповідних моментів гасіння. Після кожної спроби об'єм камери продували для наступного досліджу.



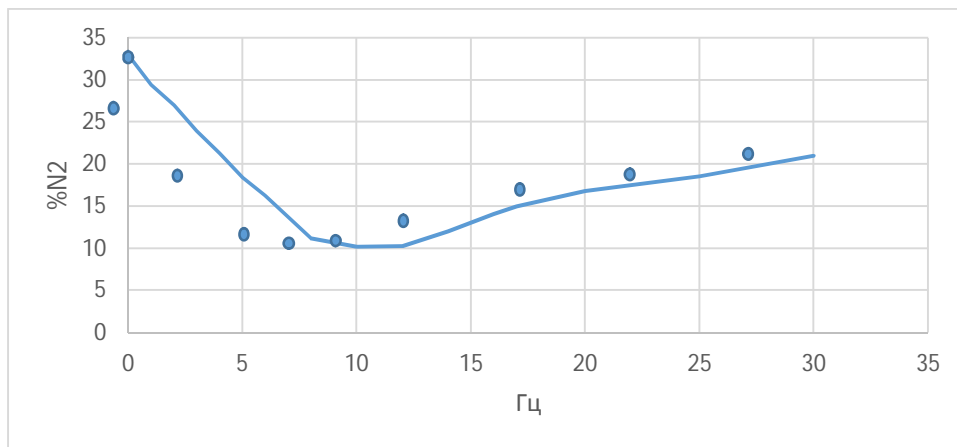
**Рисунок 1**– Експериментальна установка для визначення вогнегасної ефективності об'ємної вогнегасної речовини під дією ударної хвилі: 1 – люк для тигля; 2 – вентиляційний отвір з вентилятором та засувкою; 3 – тигель; 4 – люк; 5 – генератор ударних хвиль; 6 - кріплення генератора ударних хвиль; 7 – патрубок для газу; 8 – датчик тиску; 9 – стійки; 10 – електрозапальник; 11 – оглядове вікно; 12 – газовий розходомір; 13 – вентилятор; 14 – джерело живлення; 15 – генератор вогнегасного аерозолю

Експериментально було визначено вогнегасну ефективність комбінованих вогнегасних систем – газова об'ємна вогнегасна речовина ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) та потрійних серій ударних хвиль з частотою 1 – 30 Гц при гасінні дифузійного полум'я н-гептану. Результати експерименту показані на рис. 2.

Результати експериментів показали, що серії УХ значно підвищують вогнегасну ефективність газів  $\text{CO}_2$  (Рис. 2.) та  $\text{N}_2$  (Рис.3).



**Рисунок 2** – Вогнегасна концентрація  $\text{CO}_2$ , при впливі на ДПГ ударних хвиль з різною частотою



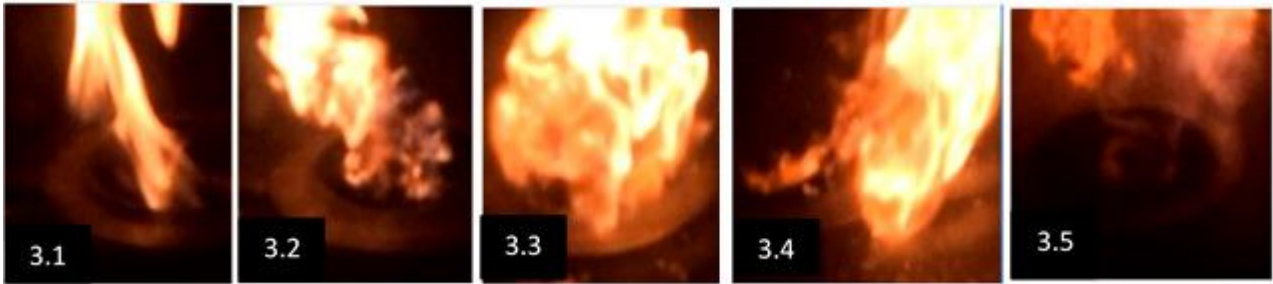
**Рисунок 3** – Вогнегасна концентрація  $N_2$ , при впливі на ДПП ударних хвиль з різною частотою

Як видно з результатів експерименту при частоті УХ в діапазоні 8-12 Гц спостерігається значне зниження вогнегасної концентрації зазначених газів. Так комбінована система з параметрами (концентрація  $CO_2$  - 4,8 %  $P(УХ) = 170$  Па  $F(УХ) = 10$  Гц забезпечує гасіння ДПП в тиглі з розмірами 40 на 35мм. Щодо гасіння азотом, то комбінований вплив системи з параметрами (концентрація  $N_2$  - 10.2 %  $P(УХ) = 170$  Па  $F(УХ) = 10$  Гц також забезпечує гасіння ДПП в зазначеному тиглі.

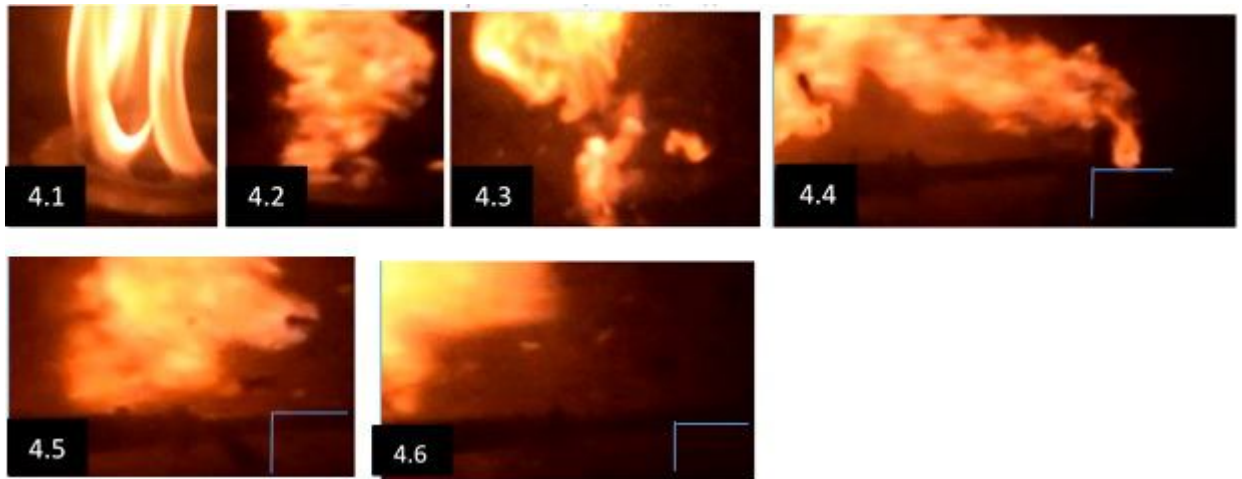
#### Дискусія щодо результатів роботи

Таким чином, як видно з результатів експерименту, комбінована дія УХ в діапазоні частот 8-12 Гц та тиску близько 170 Па приводить до гасіння в зазначеному тиглі. Якщо порівняти розкадровку процесу гасіння ДПП без дії об'ємної вогнегасної речовини та з нею, то чітко видно різницю в поведінці полум'я, яка полягає у зміні кольору полум'я без добавки вогнегасної речовини при значному зменшенні тиску в фронті УХ при якому відбувається гасіння. Синє забарвлення полум'я [7] при дії на нього УХ вказує на більш повне змішування суміші внаслідок турбулізації полум'я при дії фронту УХ. Це збігається з твердженням автора [11] який вказує що акустичний вплив на полум'я, який дещо подібний до дії УХ приводить до змін в полум'ї у вигляді нестійкості полум'я, а також турбулізації полум'я, які на їх думку приводять до кращого перемішування горючого, що приводить до підвищення температури та більш повного згоряння частинок вуглецю. При дії звукового випромінювання зміна коефіцієнтів дифузії може сягати 31% [11]. Автори роботи [12] проводили дослідження з впливу вихрового кільця УХ на дифузійне полум'я пропану. В результаті було встановлено, що ударна хвиля може ефективно гасити дифузійне полум'я пропану при швидкості в 10-40 м/с. У всіх випадках швидкість УХ падала з відстанню, яку вона пройшла УХ і від початкової швидкості 1.9 м вже на відстані в 3 метри швидкість падає до 1.1 м.

Загалом вивченням дії ударних хвиль на гасіння займань та лісових пожеж займалися автори робіт [13-18]. Висновком з цих робіт є те, що для гасіння необхідна потужна ударна хвиля, яка забезпечить остаточний відрив полум'я, а також те, що вплив ударної хвилі на дифузійне полум'я приводить до її збивання, але якщо потужність ударної хвилі недостатня, то горіння може відновитись. На відміну від дії самої лише УХ дія комбінованої системи може забезпечити відрив при значно менших значеннях тиску в фронті УХ та значно менших концентраціях вогнегасних газів, що видно з результатів та розкадровки на рис. 3 та 4.



**Рисунок 3** – Розкадровка при гасінні  $CO_2$  та впливі на ДПГ ударних хвиль з частотою 10Гц



**Рисунок 4** – Розкадровка при гасінні  $N_2$  та впливі на ДПГ ударних хвиль з частотою 10Гц

Результати розкадровки процесу гасіння комбінованою вогнегасною системою серії УХ+ОВР показали суттєві зміни порівняно з процесом гасіння одинарною УХ. Так при впливі на полум'я одинарної УХ гасіння відбувається без значного відхилення полум'я в протилежний бік від дії УХ. При гасінні ж серією УХ полум'я сильно турбулізується, відхиляється спочатку в протилежний бік від дії УХ (поз.4.3) потім в іншу сторону (поз.4.4); після проходження останньої УХ полум'я дещо відривається та загасає (поз.4.5). У випадку з азотом полум'я ще сильніше турбулізується (поз. 4.2-4.4), значно збільшується в об'ємі, пізніше під дією УХ відривається значно розтягується (поз.4.4) та загасає під дією останньої 3-ї УХ (поз.4.6). При цьому полум'я загасло у всіх випадках як видно з розкадровки (рис.3) за таким самим механізмом, який описаний в роботах [7,8]. При цьому відбувався відрив, фрагментація полум'я і подальше гасіння ДПГ. При дії на ДПГ комбінованої системи УХ+ОВР отримували значно вищий вогнегасний ефект завдяки синергізму між ОВР та УХ про що свідчить зменшення як вогнегасних газів, так і потужності УХ при збільшенні частоти серії УХ. При цьому вогнегасна концентрація об'ємної вогнегасної речовини значно зменшується, як видно з графіків на рис. 2 та 3.

Виходячи з результатів експериментів можна сказати, що комбінована дія на дифузійне полум'я газової вогнегасної речовини та ударних хвиль з частотою близько 10 Гц приведе до значного кінцевого вогнегасного ефекту внаслідок синергізму між ударною хвилею та об'ємною вогнегасною речовиною. Спільна дія УХ та газів забезпечує реалізацію основних вогнегасних факторів впливу на дифузійне полум'я, а саме розбавлення зони горіння газами-розчинниками, змінення концентрації реагуючих компонентів в зоні горіння та внаслідок цього зменшення швидкості поширення полум'я по горючій гомогенній суміші, що приводить до значно легшого відриву полум'я від осередку горіння. Виходячи з результатів експерименту, гасіння серіями 3-х УХ з збільшенням частоти до 30 Гц з зазначеним тиском є менш ефективним, ймовірно внаслідок малого часу впливу серії з 3-х УХ на ДПГ.

Отже ми виявили діапазон ефективних частот впливу УХ на полум'я комбінованої системи, який лежить в межах 8-12 Гц, що видно з графіків на рисунках 2 та 3. Вогнегасна концентрація газів при цьому зменшується для CO<sub>2</sub> з 22% до 7,5% та для азоту з 33,5% до 12,5 %.

**Висновок.** В роботі експериментально встановлено, що комбінована система (газова вогнегасна речовина та серії з 3-х ударних хвиль з тиском у фронті близько 170 Па при частоті 8 - 12 Гц ) має значну вогнегасну ефективність в умовах експериментальної камери. Виявлено синергізм між компонентами комбінованої вогнегасної системи, який проявляється у зниженні вогнегасної концентрації CO<sub>2</sub> до 4,8 %, та азоту до концентрації 10,2 % при умові впливу на полум'я потрійних серій ударних з зазначеною частотою, що забезпечує гасіння дифузійного полум'я п-гептану в тиглі з розмірами 40 на 35мм. Запропонований спосіб гасіння може забезпечувати ефективне гасіння пожеж класів А2, В, С та Е на початкових етапах горіння.

### Список літератури:

1. Баланюк В. М. Взаємодія полум'я і вогнегасного аерозолі речовини під впливом ударної хвилі / Баланюк В. М., Копистинський Ю.О., Лавренюк О.І. // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2011. – №18. – С.71-75.
2. Баланюк В. М. Явища та процеси, що виникають під дією звукової хвилі в аерозолі / Баланюк В. М. // Пожежна безпека. – Львів : ЛДУБЖД, 2010.– №16. – С. 129.
3. Баланюк В. М. Визначення ефективності гасіння вогнегасною аерозольною речовиною в умовах застосування газових ударних хвиль / Баланюк В. М., Копистинський Ю. О., Лавренюк О. І. // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Л. : ЛДУБЖД, 2012. – №21. – С. 23-28.
4. Balanyuk V.M. Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave / V. M. Balanyuk. – ВіТР, 2016. – Vol. 42, Issue 2. – P. 103-111.
5. Ю.О. Копистинський. Експериментальне визначення вогнегасної ефективності аерозолі при дії акустичних – ударних хвиль / Копистинський Ю.О., Баланюк В.М., Лавренюк О.І. // «Пожежна безпека – 2011» : зб. тез. доп. Х Міжн. наук.-практ. конф. – Х. : НУЦЗ, 2011. – С. 250-251.
6. Баланюк В.М. Визначення ефективності застосування акустичної ударної хвилі для аерозольного пожежогасіння / В.М. Баланюк. О.І. Лавренюк, Ю.О. Копистинський // Х Міжнародний виставковий форум «Технології захисту – 2011» : Матеріали XIII Всеукр. наук.-практ. конф. рятувальників. – К. : ІДУЦЗ НУЦЗУ, 2011. – С. 178-182.
7. Balanyuk V.M. Improving the efficiency of gas fire extinguishing shock wave. – / V. M. Balanyuk. – ВіТР, 2016. – Vol. 43, Issue 3. – P. 81-95.
8. Balanyuk V.M. Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave / V. M. Balanyuk. – ВіТР, 2016. – Vol. 42, Issue 2. – P. 103-111.
9. Датчик тиску та температури BMP-180. <https://www.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>.
10. Програмне забезпечення CoolTerm\_0.stk <http://freeware.the-meiers.org/>
11. М.С. Кривокорытов, В.В. Голуб, В.В. Володин. Влияние акустических колебаний на диффузионное горение метана. Письма в ЖТФ, 2012, том 38, вып 10. С 57 - 63.
12. G. Doig, Z. Johnson, R. Mann. Shok Wave interaction with f Flame. 18-th Australian fluid mechanics conference, Launceston, Australia. 3-7, December 2012.
13. Курбатский В.П., Валендик Ю.Н. Локализация лесных пожаров накладными шнуровыми зарядами. – Красноярск: издательство «Красноярский рабочий» 1970. – С. 320-332.
14. Рева Х.В., Кутсенко Л.М. Метод оценки интенсивности действия ударной волны направленным взрывом при тушении лесных пожаров: КХИПБ, 1998. – 80 с.
15. Grishin A. Interaction of shockwaves with tree crowns and the front of crown forest fires. Proceedings of the 19th International Symposium on Shock Waves Held at Marseille, France, 26-30 July 1993, Editors Brun & Dumitrescu, Springer. P. 411-417.

16. Grishin, A.M., Perminov, V.A., (1998), *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 34, 4, pp. 378-386.
17. Grishin, A.M., Zima, V.P., Mashovich, A.Ya, Samoilov, V.I., (2000), *Proc. Common Prob. on Mech. and Eco.*, Tomsk, Russia, pp.83-85.
18. Grishin, A.M., Golovanov, A.N., (2001), *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 37, 5, pp.558-562.

#### References:

1. Balanyuk V. M. VzaEmodIya polum'ya I vognegasnogo aerolyu rechovini pId vplivom udarnoYi hvill / Balanyuk V. M., Kopistinskiy Yu.O., Lavrenyuk O.I. // *Pozhezhna bezpeka : zb. nauk. prats.* – 2011. – #18. – S.71-75.
2. Balanyuk V. M. Yavischa ta protsesi, scho vinikayut pId dIEyu zvukovoYi hvill v aerolyu / Balanyuk V. M. // *Pozhezhna bezpeka.* – LvIv : LDUBZhD, 2010.– #16. – S. 129.
3. Balanyuk V. M. Vznachennya efektyvnosti gasInnya vognegasnoyu aerolyu rechovinyu v umovah zastosuvannya gazovyh udarnih hvil / Balanyuk V. M., Kopistinskiy Yu. O., Lavrenyuk O. I. // *Pozhezhna bezpeka : zb. nauk. prats.* – L. : LDUBZhD, 2012. – #21. – S. 23-28.
4. Balanyuk V.M. Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave / V. M. Balanyuk. – *BiTP*, 2016. – Vol. 42, Issue 2. – R. 103-111.
5. Yu.O. Kopistinskiy. Eksperymentalne vznachennya vognegasnoYi efektyvnosti aerolyu pri dIYi akustichnih – udarnih hvil / Kopistinskiy Yu.O., Balanyuk V.M., Lavrenyuk O.I. // «*Pozhezhna bezpeka – 2011*» : zb. tez. dop. H MIzhn. nauk.-prakt. konf. – H. : NUTsZ, 2011. – S. 250-251.
6. Balanyuk V.M. Vznachennya efektyvnosti zastosuvannya akustichnoYi udarnoYi hvill dlya aerolyu pozhezhogasinnya / V.M. Balanyuk. O.I. Lavrenyuk, Yu.O. Kopistinskiy // X MIzhnarodniy vistavkoviy forum «*Tehnologiyi zahistu – 2011*» : MaterIali HIII Vseukr. nauk.-prakt. konf. ryatuvalnikIv. – K. : IDUTsZ NUTsZU, 2011. – S. 178-182.
7. Balanyuk V.M. Improving the efficiency of gas fire extinguishing shock wave. / V. M. Balanyuk. – *BiTP*, 2016. – Vol. 43, Issue 3. – R. 81-95.
8. Balanyuk V.M. Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave / V. M. Balanyuk. – *BiTP*, 2016. – Vol. 42, Issue 2. – R. 103-111.
9. Datchik tisku ta temperaturi BMP-180. <https://www.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf>.
10. Programne zabezpechennya CoolTerm.\_0.stk <http://freeware.the-meiers.org/>
11. 11.M.S. Krivokoryitov, V.V. Golub, V.V. Volodin. Vliyanie akusticheskikh kolebaniy na diffuzionnoe gorenje metana. *Pisma v ZhTF*, 2012, tom 38, vyip 10. S 57 - 63.
12. G. Doig, Z. Johnson, R. Mann. Shok Wave interaction with f Flame. 18-th Australian fluid mechanics conference, Launceston, Australia. 3-7, December 2012.
13. Kurbatskiy V.P., Valendik Yu.N. Lokalizatsiya lesnyh pozharov nakladnyimi shnurovyimi zaryadami. – Krasnoyarsk: izdatelstvo «Krasnoyarskiy rabochiy» 1970. – S. 320-332.
14. Reva H.V., Kutsenko L.M. Metod otsenki intensivnosti deystviya udarnoy volny napravleniyem vzryivom pri tushenii lesnyh pozharov: *KhIPB*, 1998. – 80 s.
15. Grishin A. Interaction of shockwaves with tree crowns and the front of crown forest fires. *Proceedings of the 19th International Symposium on Shock Waves Held at Marseille, France, 26-30 July 1993*, Editors Brun & Dumitrescu, Springer. P. 411-417.
16. Grishin, A.M., Perminov, V.A., (1998), *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 34, 4, pp. 378-386.
17. Grishin, A.M., Zima, V.P., Mashovich, A.Ya, Samoilov, V.I., (2000), *Proc. Common Prob. on Mech. and Eco.*, Tomsk, Russia, pp.83-85.
18. Grishin, A.M., Golovanov, A.N., (2001), *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 37, 5, pp.558-562.

