Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Штангрет Назар Олегович

УДК 614.842.84

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІКВІДУВАННЯ ПОЖЕЖ У ПІДВАЛЬНИХ ПРИМІЩЕННЯХ КОМБІНОВАНИМ ЗАСТОСУВАННЯМ ДИМОВСМОКТУВАЧІВ ТА СТРУМЕНІВ ТОНКОРОЗПИЛЕНОЇ ВОДИ

Спеціальність 21.06.02 – “Пожежна безпека”
Галузь знань – 261“Пожежна безпека”

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Н.О. Штангрет

Науковий керівник: **Лущ Василь Іванович**
кандидат технічних наук, доцент

Львів – 2019

АНОТАЦІЯ

Штангрет Н.О. Підвищення ефективності ліквідування пожеж у підвальних приміщеннях комбінованим застосуванням димовсмоктувачів та струменів тонкорозпиленої води. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.02 «Пожежна безпека (261 – пожежна безпека) підготовлена у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності ДСНС України.

Ідея роботи полягає у підвищенні ефективності ліквідування пожеж у підвальних приміщеннях комбінованим застосуванням димовсмоктувачів та струменів тонкорозпиленої води з визначеними параметрами.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розкритті особливостей впливу комбінованого подавання повітря та струменів тонкорозпиленої води на процес їх взаємодії із нагрітими та заповненими продуктами згоряння об’ємами підвальних приміщень. При цьому:

– *уперше* науково обґрунтовано параметри, запропоновано схемні рішення і розроблено переносний пристрій комбінованого подавання струменів тонкорозпиленої води, застосування якого, на відміну від відомих, реалізує комбінований, одночасний вплив повітряно-водяного середовища на нагріті і заповнені продуктами згоряння об’єми приміщень, зменшуючи їх середньооб’ємну температуру, а також задимленість, що призводить до підвищення ефективності ліквідування пожеж, зокрема у підвальних приміщеннях;

– *удосконалено* дослідницько-випробувальну базу з виявлення ефективності димоосадження шляхом застосування розробленого переносного приладу з визначеними параметрами, суть роботи якого полягає у виявленні послаблення

інтенсивності лазерного променя внаслідок його проходження крізь задимлене середовище;

– *набуло подальшого розвитку* застосування методів математичного моделювання процесів взаємодії струменів тонкорозпиленої води та повітря з нагрітими та заповненими внаслідок пожеж об'ємами приміщень;

Згідно із статистичними даними про пожежі, що збирають, обробляють і узагальнюють науковці Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту, щороку в Україні виникає в середньому 70 тис. пожеж. З 2009 по 2017 рік у нашій державі майже 73 % усіх пожеж виникали у спорудах житлового сектора.

Особливу небезпечними є пожежі в підвалах житлових будинків. Це обумовлено особливостями їх планування. На перебіг пожеж в підвалах великий вплив має пожежне навантаження, яке може становити до 50 кг/м^2. В підвалах при неповному згоранні дим має підвищену щільність і токсичність, а середньооб'ємна температура там вже на 20-30 хвилині може сягати 250-350 ^{o}C і більше.

Саме за таких умов доводиться працювати пожежникам в ланках газодимозахисної служби ДСНС України. Щоб уникнути багатьох з перелічених вище небезпечних факторів, що можуть призвести до нещасних випадків з пожежниками (газодимозахисниками) під час гасіння пожеж в підвальних приміщеннях, достатньо зменшити густину диму в зоні задимлення до видимості 3±0,5 метрів, та знизити температуру до 60±5^{0}C, що цілком достатньо для виконання завдань за призначенням в апараті на стиснутому повітрі.

Вагомий внесок у вивчення природи пожежі та явищ, які її супроводжують, внесли такі відомі вчені, як Абдурагімов І. М., Кошмаров Ю. А., Молчадський І. С., Алєксашенко А. А., Говоров В. Ю., Макаров В. Е., Антонов А. В., Гуліда Е. М. ,Баратов А. М., Копилов С. Л., Ковалишин В. В., Костенко В. К., K. Lambert, Patrick M. Kennedy та інші. Їхні роботи були спрямовані на вивчення небезпечних чинників пожежі в приміщеннях, таких як середньооб'ємна температура та продукти згорання і їх вплив на гасіння пожежі.

Наукові дослідження, спрямовані на підвищення ефективності зменшення негативного впливу небезпечних чинників пожежі шляхом застосування тонкорозпиленої води (далі – ТРВ) та систем водяного пожежогасіння, наведено в роботах Дударєва В. В., Мірошніченка В. Н., Стівіцкого М. Г., Виноградова А. Г., Яхно О. М., Антонова А. В., Абрамова Ю. О., Дунюшкіна В. О., Огурцова С. Ю. та інші.

Проте слід відзначити, що в наведених роботах не досліджувалась особливість комбінованої (одночасної) подачі струменів ТРВ з різною дисперсністю крапель з потоком повітря та вплив повітряно-водяного струменя на зменшення негативної дії небезпечних чинників під час гасіння пожеж в приміщеннях житлових будівель.

В дисертаційній роботі використано комплексний метод дослідження, який включав: аналіз науково-технічних досягнень з розробки і застосування технічних засобів, що застосовують під час ліквідування пожеж для зменшення негативного впливу їх небезпечних чинників; комп'ютерне моделювання процесу взаємодії струменів тонкорозпиленої води, а також повітряних потоків із нагрітими та забрудненими продуктами згоряння об'ємами приміщень із використанням програмного продукту COSMOSFloWorks, метод оптичної мікроскопії для визначення дисперсності розпилення краплин води; методи термометрії із використанням термопар; візуалізації оптичної видимості за послабленням інтенсивності лазерного променя внаслідок його проходження крізь задимлене середовище. Оцінювання ефективності застосування димовсмоктувачів та струменів тонкорозпиленої води для зменшення негативного впливу небезпечних чинників пожеж проводилось в умовах полігонних випробувань із застосуванням модельних вогнищ пожежі та імітаторів диму.

Для проведення експериментальних досліджень використовували метрологічне атестоване обладнання та повірені засоби вимірювання. Обробка результатів досліджень здійснювалась із використанням програмного забезпечення Microsoft Office Excel 2016.

У першому розділі на підставі аналізу літературних джерел окреслено етапи розв'язання наукової задачі підвищення ефективності процесу охолодження та зменшення оптичної густини диму в закритих приміщеннях при ліквідуванні пожежі шляхом впровадження нової конструкції комбінованого пристрою для осадження продуктів згоряння та зниження температури в задимлених приміщеннях для одночасного нагнітання свіжого повітря та подачі струменя тонкорозпиленої води. Подана специфіка використання та аналіз конструкцій пожежних димовсмоктувачів для вилучення продуктів згоряння та ручних водяних стволів для захисту від теплового випромінювання. Проведено аналіз методів дослідження параметрів та динаміки газообміну на пожежі в приміщеннях. Обґрунтовано задачі дисертації.

На основі проведеного аналізу технічного рівня та стану застосування відомих конструкцій димовсмоктувачів, та ручних водяних стволів, можна зробити висновок, що найбільш важливою характеристикою пожежно-технічного обладнання для гасіння пожеж в підвалах житлових будинків є забезпечення швидкого осадження продуктів згоряння та зниження температури. Виходячи з статистичних даних, саме ці фактори мають визначальне значення, що дає змогу безпечної роботи пожежників та підвищує ефективність роботи такого обладнання. Принциповим аналогом пристрою для вилучення продуктів згоряння та зниження температури комбінованої дії може бути відома конструкція димовсмоктувача типу ДП-7. Очевидно, що при цьому необхідно поєднати та синхронізувати роботу димовсмоктувача та насадки-розпилювача, і це позначається на конструкції та динаміці роботи такого пристрою.

Запропонована технологія подачі повітряно-водяного струменя розроблена не вперше, але теоретичні та експериментальні дослідження впливу взаємодії потоку повітря та тонкорозпиленої води в процесі їх сумісного польоту на зниження середньооб'ємної температури та ефективність димоосадження під час пожежі в приміщені не проводились. Тому було розроблено математичну модель цього процесу та проведено теоретичні дослідження. З огляду на те, що теоретичні

дослідження не завжди точно описують реальні динамічні процеси, особлива увага приділялася дослідженню моделей на адекватність, як наслідок зіставлення результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

У другому розділі проведено математичне моделювання параметрів взаємодії фракції крапель тонкорозпиленої води з повітряним потоком у високотемпературному об’ємі. Розроблено та представлено узагальнену математичну модель, яка описує фізичні процеси в області аерогідродинаміки та теплопередачі шляхом розв’язування відповідних прикладних задач, що виникають при двосторонньому процесі газообміну з урахуванням подачі повітряно-водяного струменя в приміщені під час пожежі.

За допомогою програмного продукту COSMOSFloWorks, який є інтегрованим додатком CAD-системиSolidWorks і використовувася для розрахунків силової (стаціонарної та нестаціонарної) взаємодії між твердим тілом та потоком рідини (газу) у випадку їх взаємного руху; впливу різних фізичних факторів на рух текучого середовища; вирішення проблем теплообміну; розрахунку руху твердих і рідких частинок в потоці газу.

Математична модель будувалась на основі геометричного проектування реального інженерного об’єкта в середовищі SolidWorks з подальшим автоматичним обміном необхідною інформацією. Рух і теплообмін середовища в системі COSMOSFloWorks моделювався з допомогою рівнянь Нав’є – Стокса, які в нестаціонарній формі описують закони збереження маси, імпульсу та енергії цього середовища в Декартовій системі координат.

За результатами аналізу розрахунків математичної моделі осадження диму тонкорозпиленою водою, що транспортується повітряним потоком, та їх порівняння із аналогічними відомими результатами, встановленими іншими методами та дослідниками, ця математична модель адекватно описує реальний фізичний процес протікання повітряно-водяної суміші через гаряче приміщення.

Доведено оптимальну швидкість повітряного потоку вентилятора з точки зору максимального охолодження кімнати та мінімального зростання в ній

відносної вологості та отримано залежність відносної ефективності осадження диму від продуктивності вентилятора та діаметра крапель тонко розпиленої води.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень з визначення дисперсності частинок тонкорозпиленої води в різних точках струменя розпиленого з форсунок типу «повний конус» в лабораторних умовах.

Експериментальні дослідження проводились згідно з розробленою методикою проведення вогневих випробувань для систем пожежогасіння тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами в лабораторії УкрНДІЦЗ ДСНС України.

За результатами експериментальних досліджень встановлено залежність еквівалента діаметра крапель струменів тонкорозпиленої води від тиску та від технічного параметра (діаметра вихідного отвору) форсунки типу «повний конус» (далі форсунка).

В четвертому розділі проведено експериментальну перевірку основних теоретичних результатів досліджень, щодо комбінованого впливу дисперсності краплин ТРВ та потоку чистого повітря на осадження продуктів горіння та зниження температури в лабораторних умовах.

Експериментальні дослідження проводились згідно з розробленою методикою з визначення параметрів небезпечних чинників пожежі (температури, оптичної густини диму) класів А і В в об’ємах приміщень.

Для дослідження процесу з визначення ефективності засобів осадження диму розроблено та застосовано прилад з визначення оптичної густини диму.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень, описаних у розділах 2, 3 і 4 цієї дисертаційної роботи, було сконструйовано та виготовлено пристрій, де в якості насадки-розпилювача застосовується форсунка типу «повний конус» з діаметром вихідного отвору d=3,5 мм для подачі ТРВ (далі пристрій), який разом з переносним пожежним димовсмоктувачем ДП-7 можна було б застосовувати під час гасіння реальних пожеж в підвальних приміщеннях ланками ГДЗС.

У п’ятому розділі представлено методичні рекомендації щодо гасіння пожеж у підвальних приміщеннях із застосуванням пропонованого пристрою для осадження продуктів згоряння та зниження температури.

Проведено полігонні випробування цього пристрою на базі осьового димовисмоктувача ДПМ-7 та доведено його більшу ефективність порівняно з пристроєм без подачі ТРВ.

Проведено експериментальні дослідження, щодо визначення швидкості руху пересування ланок ГДЗС в умовах різної видимості предметів в залежності від густини диму у підвальному приміщенні. Встановлено, що проведення розвідки з пошуком осередку пожежі або потерпілого у підвалі в умовах видимості менше 1 м швидкість руху ланки ГДЗС в середньому буде становити до 9 м/хв. А в разі застосування пристрою для комбінованої подачі тонкорозпиленої води на базі димовисмоктувача ДП-7 для пониження середньо об’ємної температури до 60±5 ^{0}С та збільшення видимості: візуальної в межах 3±0,5 м і оптичної в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ) швидкість руху ланки ГДЗС в середньому буде становити до 12 м/хв., що в 1,3 рази швидше.

Ключові слова: продукти згоряння, процеси димоосадження та зниження температури, форсунка, дисперсність крапель води, тонкорозпилена вода, повітряно-водяний струмінь, переносні пожежні димовсмоктувачі.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Лущ В.І. Підвищення ефективності застосування переносних пожежних димовсмоктувачів. / В.І. Лущ, О.В. Лазаренко, Н.О. Штангрет // Пожежна безпека: зб. наук. пр. – 2016. – № 28. – С. 88-94.

2. Влияния конструктивных элементов устройств на дисперсность капель воды для осаждения продуктов горения и снижения температуры в объемах помещений во время пожара. / Лущ Василий, Лоик Василий, Штангрет Назар, Матушкевич Рафал // Zeszyty Naukowe SGSP.Warszawa – 2017. – №.64. – С.125-149.

3. Лущ В.І. Розроблення методики з визначення параметрів небезпечних чинників пожежі в об’ємах приміщень. / В.І. Лущ, В.Б. Лоїк, Н.О. Штангрет // Пожежна безпека: зб. наук. пр. – 2017. – № 31. – С. 90-96.

4. Лущ В.І. Розроблення приладу для дослідження оптичної густини диму в об’ємах приміщень при пожежі. / В.І. Лущ, Н.О. Штангрет // Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація: зб. наук. пр. – 2017. – № 2. – С. 45-53.

5. Уханська О.М. Математична модель визначення тривалості руху та пройденого шляху крапель водних вогнегасних речовин у приміщенні під час пожежі. / О.М. Уханська, Н.О. Штангрет// Пожежна безпека: зб. наук. пр. – 2018. – №32. – С. 63-68.

Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1-2] – провів аналіз літературних джерел щодо методів дослідження параметрів та динаміки газообміну на пожежі в приміщеннях та обладнання, яке застосовується для зниження впливу небезпечних чинників пожежі під час проведення пожежно-рятувальних робіт ланками ГДЗС та виявив шляхи підвищення його ефективності.

[3-5] – удосконалив методики, провів експериментальні лабораторні та полігонні випробовування, обробив та узагальнив їх результати.

Апробація матеріалів дисертації:

1. Лущ В.І. Підвищення ефективності застосування повітряно-водяного струменя переносними пожежними димовсмоктувачами. / В.І. Лущ, Н.О. Штангрет // Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: матеріали міжнар.наук.-практ.конф. – Львів, 2016. – С.154-155.
2. Лазаренко О.В. Розробка динамічного макету з управління газовими потоками для підготовки газодимозахисників. / О.В. Лазаренко, Н.О. Штангрет // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали міжнар.наук.-практ.конф. – Черкаси,2016. – С. 279-280.

3. Лущ В.І. Розроблення приладу для дослідження оптичної густини диму в об’ємах приміщень при пожежі. / В.І. Лущ, Н.О. Штангрет // Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку: матеріали 19-ї Всеукраїнської наук.-практ.конф. – Київ, 2017. – С.269-270.

4. Лущ В.І. Експериментальні дослідження впливу дисперсності крапель тонкорозпиленої води на осадження продуктів горіння та пониження температури при пожежі в лабораторних умовах. / В.І. Лущ, Н.О. Штангрет // Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: матеріали міжнар.наук.-практ.конф. – Львів,2018. – С.134-136.

5. Лущ В.И. Штангрет Н.О.; Экспериментальные исследования влияния выходного диаметра форсунки на дисперсность водного огнетушащего вещества в лабораторних условиях. / В.И. Лущ, Н.О. Штангрет // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы XII Междунар. науч.-практ.конфер. – Минск,2018.– С.62.

6. Лущ В.И. Экспериментальные исследования по определению дисперсности капель тонкораспыленных водных огнетушащих веществ при распылении форсунки в лабораторных условиях. / В.И. Лущ, Н.О. Штангрет // Исторические аспекты, актуальнее проблемы и перспективы развития гражданской обороны: материалы VI международной научно-практической конференции адъюнктов, магистрантов, курсантов и студентов. – Кокшетау, 2018. – С. 150-158.

ANNOTATION

Shtanhret N.O. Increasing the efficiency of fire fighting in basements by combined use of smoke extractor and water spray. – Qualifying scientific work on manuscript copyright.

The dissertation for obtaining a scientific degree of the candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 21.06.02 "Fire safety" (261 - Fire safety) was prepared at the Lviv State University of Life Safety of SES of Ukraine.

The idea of the work is to increase the efficiency of the fire extinguishing in the basements by the combined use of smoke extractors and jets of finely sprayed water with definite parameters.

The scientific novelty of the obtained results is the disclosure of the influence of interaction of finely sprayed water jets with heated and contaminated products of combustion as during the fires in the basements to reduce the average volume temperature and revealing the effectiveness of smoke deposition as a basis for reducing the negative impact of dangerous factors on humans and environment. Herein:

- for the first time a portable device for the submission of jets of finely sprayed water with scientifically substantiated parameters and circuit solutions was developed. The use of the device, unlike the known, implements a combined, simultaneous effect of the air-water environment on the volumes of basements heated and contaminated with combustion products, decreasing the temperature, as well as depositing the smoke, which leads to an increase in the efficiency of firefighting;

– the research and testing base for the detection of the effectiveness of smoke deposition by the use of a developed portable device with defined parameters was improved. The device allows detecting a decrease in the intensity of the laser beam as a result of its passage through the smudged environment;

– further development of methods of mathematical modeling of the processes of interaction of jets of finely sprayed water with heated and contaminated combustion products during fires in the premises was enabled;

– further development of the idea of the use of jets of finely sprayed water to reduce the impact of harmful factors on the fire on people and living beings was enabled.

According to statistical data on fires collected, processed and summarized by scientists of the Ukrainian Research Institute of Civil Protection, about 70 thousand fires

occurs in Ukraine each year. From 2009 to 2017 in our country almost 73% of all fires occurred in the residential buildings.

Fires in basements of dwelling houses are particularly dangerous due to the peculiarities of their planning. During fires in basements, the fire load can reach up to 50 kg / sq. m. In the basements the smoke has an increased density and toxicity, and the average volume temperature there can reach 250-350 degrees Celsium and more only in 20-30 minutes.

In such conditions fire-fighters have to work at the units of the Gas and Smoke Protection Service of SES of Ukraine. To avoid many of the above listed hazards that could lead to accidents with firefighters it is enough to reduce the smoke density in the zone of smoke to the visibility of 3-6 meters, and reduce the temperature to 60-80 ° C. It is quite enough to carry out tasks using SCUBA devices.

Significant contributions to the study of the nature of the fires were made by such scholars as I. Abdurahimov, I. A. Kosmmarov, A. I. Molchadsky, A. A. Aleksashenko, V. V. Govorov, V. E. Makarov, A.V. Antonov, E. M. Gulida, A. Baratov, S. L. Kopylov, V. V. Kovalyshin, V. K. Kostenko, K. Lambert, Patrick M. Kennedy and others. Their work was aimed at studying hazardous indoor fire factors, such as medium-volume temperature and combustion products, and their effect on fire suppression.

Scientific researches aimed at increasing the effectiveness of reducing the negative impact of hazardous fire factors through the use of finely sprayed water (hereinafter - FSW) and water fire extinguishing systems are given in the works of Dudariev V.V., Miroshnichenko V.N., Stetitsky M.G., Vinogradov A G., Yakhno O. M., Antonov A.V., Abramov Yu. O., Dunyushkin V. O., Ogurtsov S. Yu. and others.

However, it should be noted that in the above-mentioned works the feature of combined (simultaneous) use of FSW jets (with different dispersion of droplets) with airflow and their impact on reducing the negative influence of dangerous factors of fires in basements has not been investigated.

In dissertation work methods of analytical and mathematical modeling using the theoretical bases of hydrodynamics of mechanical systems, as well as numerical methods of differential equations solving were used.

In the first section, based on the analysis of literary sources, the stages of solving the scientific problem of increasing the efficiency of the cooling process and reducing the optical density of smoke in basements during the fire extinguishing were outlined by introducing a new design of a combined device for the deposition of combustion products and reducing the temperature in the basement with simultaneous supply of fresh air and fine-sprinkled water jet. The analysis of the methods of studying the parameters and dynamics of gas exchange during fires in the basements was carried out.

Based on the analysis of the technical level and the state of application of known smoke extractors (fans) and fire nozzles for protection from heat the conclusion was made that providing quick deposition of combustion products and reducing the temperature is the most important requirement concerning fire and technical equipment during fire extinguishing in the basements of residential houses. Based on statistical data, these factors are of decisive importance.

In the second section, the mathematical modeling of the interaction parameters of the droplets of finely sprayed water with air flow in the high-temperature volume was made. The generalized mathematical model describing physical processes in the field of aerohydrodynamics and heat transfer was developed. The model was represented by solving corresponding application problems that arise in the two-way gas exchanging process in the basements during fires.

The software product COSMOSFloWorks, which is an integrated application of the CAD system SolidWorks was used. This product is usually used to calculate the heat exchange (stationary and non-stationary) between the solids and the flow of liquid (gas) in the event of their mutual movement; the influence of various physical factors on the water jet; solving heat transfer problems; calculation of the motion of solid and liquid particles in the flow of gas.

The mathematical model was based on the geometric design of a real engineering object in the SolidWorks environment, followed by the automatic exchange of necessary information. The motion and heat transfer in the COSMOSFloWorks system were modeled using the Navier-Stokes equations in a non-stationary form that describe the laws of mass conservation, momentum, and energy in the Cartesian coordinate system.

According to the comparison of calculations results obtained for smoke deposition by finely sprayed water transported by air flow with similar well-known results established by other researchers, this mathematical model adequately describes the real physical process of air-water mixture flowing through a hot volume.

The optimum air flow velocity of the fan was calculated from the point of view of the maximum cooling of the room and the minimum increase in its relative humidity. The dependences of the relative smoke deposition efficiency on the fan efficiency and the diameter of drops of finely sprayed water were obtained.

The third section presents the results of experimental studies to determine the dispersion of particles of finely divided water at different points of the jet during the use of "full cone" spray nozzles in the laboratory.

Experimental researches were carried out in accordance with the developed method of conducting fire tests for fire extinguishing systems by finely sprayed water extinguishants in the laboratory of UkrCRICD of the SES of Ukraine.

According to the results of experimental studies, the dependence of the equivalent diameter of droplets in the jets of finely divided water on pressure and on the technical parameter (diameter of the outlet) of the "full cone" nozzle type (hereinafter referred to as the nozzle) was established.

The fourth section presents the results of experimental studies in laboratory conditions for the influence of the dispersion of droplets of finely sprayed water on the deposition of combustion products and the reduction of temperature, depending on the diameter of the outlet of the nozzle.

Experimental investigations were carried out in accordance with the developed methodology for determining the parameters of hazardous fire factors (temperature, optical density of smoke) of classes A and B in the basements.

To investigate the process of determining the effectiveness of smoke deposition, a device for determining the optical density of smoke was developed and applied.

On the basis of theoretical and experimental studies described in sections 2, 3 and 4, a device was designed and manufactured using a "full cone" nozzle type with the outlet diameter d = 3.5 mm for producing FSW, which, together with the portable fire

extinguisher DP-7, could be used during the extinguishing of real fires in the basements by the units of the GSPS.

The fifth section provides the manual on the extinguishing of fires in basements using the proposed device for deposition of combustion products and reducing of the temperature.

The field testing of the device on the basis of axial smoke extractor DPM-7 was carried out. The results showed that the device was more effective in comparison with the device without supplying FSW.

Key words: combustion products, processes of smoke deposition and temperature reduction, nozzle, dispersion of water droplets, finely sprayed water, air-water jet, portable fire extinguishers.

]

LIST OF PUBLISHED WORKS ON THE THIRD DIRECTORY

The main scientific results of the dissertation are published:

1. Improving the efficiency of the use of portable fire extinguishers / V. I. Lushch, O. V. Lazarenko. N.O. Shtangret // Scientific Bulletin of the LSSRU Fire Safety. Lviv, 2016.-Vip. 28.- C. 88-94.

2. Influence of structural elements of devices on dispersion of water droplets for deposition of combustion products and reduction of temperature in volume of premises during a fire / LushchVasily, LoikVasily, ShtangretNazar, MatushkevichRafal // ZeszytyNaukoweSGSP.Warszawa 2017.-Vip.64.- WITH. 125-149.

3. Development of a method for determining the parameters of hazardous fire factors in the volume of premises / V.I. Lushch, V.B.Loik, N.O. Shtangret // Scientific Bulletin of LFTPZ Fire Safety. Lviv, 2017.-Vip. 31.- C. 90-96.

4. Development of the device for studying the optical density of smoke in the volume of premises during a fire / V.I. Lushch, N.O. Shtangret // Collection of scientific works. Emergencies: Prevention and Elimination. Cherkasy, 2017.-Vip. 2.- C. 45-53.

5. Mathematical model of determining the duration of movement and traversed paths of droplets of water extinguish ants in the room during the fire / O.M. Ukhansk,

N.O. Shtangret // Scientific Bulletin of LFTPZ Fire Safety. Lviv, 2018.-Vip. 32.- C. 63-68.

The personal contribution of a bidder in works published in co-authorship:

[1-2] - the applicant conducted an analysis of literary sources on the methods of studying the parameters and dynamics of gas exchange in a fire in premises and equipment, which is used to reduce the impact of hazardous fire factors during fire and rescue works by the links of the GDZS and identified ways to increase its efficiency.

[3-6] - perfected the methodology, conducted experimental laboratory and field testing, processed and summarized their results.

Approbation of materials thesis:

1. Lazarenko O.V., Shtangret N.O. Development of dynamic layout for managing gas streams for the preparation of gas dampers. // InternationalScientific and Practical Conference "Theory and Practice of Fire Extinguishment and Elimination of Emergencies" .- Cherkasy.-2016.-p.279-280.

2. Lushch V.I., Shtangret N.O. Improving the efficiency of air and water jet use by portable fire extinguishers .// International scientific and practical conference of young scientists and students "Problems and prospects of life safety system development" - Lviv-2016.-p.154-155.

3. LushchV.I., Shtangret N.O. Experimental investigations of the influence of the dispersion of droplets of finely divided aqueous extinguishants on the deposition of combustion products and lowering of the temperature at the fire in the laboratory .// International scientific and practical conference of students and students "Problems and prospects of development of life safety" -Lviv-2018.-c .134-136.

4. LushchV.I., Shtangret N.O. Development of the device for studying the optical density of smoke in the volume of premises during a fire // 19 All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Modern state of civil defense of Ukraine and prospects of development" -Kyiv.-2017.-p.269-270.

5. Lushch V.I. ShtangretN.O .; Experimental studies of the effect of the nozzle outlet diameter on the dispersion of a water extinguishing agent in the laboratory. // XII

International Scientific and Practical Conference of Young Scientists. - Minsk.– 2018. – p.62.

5. Experimental studies on the determination of the dispersion of droplets of thinly-sprayed water extinguishing agents when spraying a nozzle under laboratory conditions / Lushch V.I., ShtangretN.O.// Collection of Theses and Reports of the VI International Scientific and Practical Conference of Adjuncts, Graduates, Cadets and Students "Historical Aspects, Current Problems and Prospects for the Development of Civil Defense". Kokshetau, 2018.-p. 150-158.

ЗМІСТ

ВСТУП 21

РОЗДІЛ 1. Аналіз тактико-технічних можливостей та досвіду застосування пожежно-технічного обладнання для осадження продуктів горіння та зниження температури в приміщеннях під час гасіння пожеж..29

1.1. Аналіз розвитку та ліквідації пожеж у підвалах житлових будівель та споруд……...29

1.2. Вплив продуктів горіння на роботу та безпеку газодимозахисників в об’ємах приміщень під час пожежі.....31

1.3. Аналіз конструкцій приладів та пристроїв для вилучення продуктів горіння і зниження температури в приміщеннях ……..…...35

1.3.1 Аналіз пожежних димовисмоктувачів для вилучення продуктів горіння…….36

1.3.2. Аналіз ручних стволів та пристроїв для захисту від теплового випромінювання та осадження продуктів горіння……40

1.3.3. Аналіз комбінованого пристрою для осадження продуктів горіння та зниження температури в задимлених приміщеннях……45

1.4. Аналіз досліджень газообміну під час пожежі в приміщеннях 51

1.5. Аналіз теоретичних досліджень прогнозування оптичної густини диму під час пожежі в приміщеннях……...56

1.6. Мета і задачі досліджень дисертаційної роботи 59

РОЗДІЛ 2. Математичне моделювання параметрів взаємодії фракції крапель води з повітряним потоком у високотемпературному об’ємі…...62

2.1. Математичні основи моделі..... 62

2.2. Постановка задачі……..……65

2.3 Висновки ……..……..……..……83

РОЗДІЛ 3. Експерементальні дослідження з визначення дисперсності частинок тонкорозпиленої води в різних точках струмея розпиленого з форсунки в лабораторних умовах……..…84

3.1. Мета проведення експериментальних досліджень……84

3.2. Обладнання та прилади для виконання експериментальних досліджень в лабораторних умовах……84

3.3 Експериментальні дослідження з визначення дисперсності тонкорозпиленої води……88

3.4. Висновки……105
РОЗДІЛ 4. Експериментальні дослідження в лабораторних умовах впливу дисперсності крапель тонкорозпиленої води на осадження продуктів горіння та зниження температури залежно від діаметра вихідного отвору форсунки …….……106
4.1. Мета проведення експерименту……..……106
4.2. Обладнання та прилади для виконання експериментальних досліджень в лабораторних умовах……..……107
4.3. Проведення експериментальних досліджень впливу дисперсності крапель тонкорозпиленої води на осадження продуктів горіння та пониження температури в залежності від діаметру вихідного отвору форсунки в лабораторних умовах.....……114
4.4. Розроблення пристрою для подачі тонкорозпиленої води на базі осьового димовисмоктувача …….....……134
4.5. Висновки……140
РОЗДІЛ 5. Особливості тактики гасіння пожеж у підвальних приміщеннях із застосуванням пристрою для осадження продуктів згоряння та зниження температури……..142
5.1. Конструктивні особливості використання пристрою для вилучення продуктів горіння та зниження температури в приміщеннях під час пожежі…….....142
5.2. Тактичні особливості пожежної вентиляції……..…143
5.3. Методичні рекомендації щодо застосування пристрою для осадження продуктів згоряння та зниження середньооб’ємної температури в підвальних приміщеннях житлових і промислових будівель у разі ліквідування пожеж ……..…...147

5.4. Визначення порядку застосування пристрою з осьовим димовсмоктувачем оперативними розрахунками на автоцистернах……151

5.5. Полігонні випробування пристрою для подачі тонкорозпиленої води на базі осьового димовсмоктувача ДПМ-7…….....……156

5.6. Висновки……164

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 167

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 171

ДОДАТОК А. Деклараційний патент на корисну модель № 113437 “Прилад для вимірювання оптичної густини диму” 181

ДОДАТОК Б. Деклараційний патент на корисну модель № 119365 “Пристрій для осадження продуктів горіння, зниження температури та збільшення видимості в задимлених приміщеннях ” 185

ДОДАТОК В. Копії протоколів методик та випробувань виконаних в рамках дисертаційного дослідження…….…….....189

ДОДАТОК Г. Методика з визначення параметрів небезпечних чинників пожежі (температури, оптичної густини диму) класів А і В в об’ємах приміщень……....213

ДОДАТОК Д. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи…..229

ВСТУП

Актуальність теми. Згідно із статистичними даними про пожежі, що збирають, обробляють і узагальнюють науковці Українського науково-дослідного інституту цивільного захисту, щороку в Україні виникає в середньому 70 тис. пожеж. З 2009 по 2017 рік у нашій державі майже 73 % усіх пожеж виникали у спорудах житлового сектора [1].

Особливо небезпечними є собою в підвалах житлових будинків. Це обумовлено особливостями їх планування. Приміщення в підвалах мають обмежену кількість дверей і вікон. Висота підвалів приблизно 1,5-2 м. Підвали можуть сполучатись з поверхами і горищами шахтами ліфтів, вентиляційними каналами, по яких проходять різноманітні комунікації. В старих будинках виходи з підвалів розташовані у сходовій клітці, а це сприяє швидкому задимленню всієї будівлі [2,3,4,5].

Основними завданнями пожежно-рятувальних підрозділів під час гасіння пожеж у підвалах є: безпека людей, що перебувають в будівлі; створення умов для гасіння пожежі шляхом видалення диму та зниження температури; ліквідація пожежі в межах охоплених полум’ям приміщень підвалу. Відповідно до виконання цих завдань, пожежно-рятувальними підрозділами формуються ланки газодимозахисної служби (далі ГДЗС), які мають мати необхідне оснащення та технічні засоби для видалення диму та зниження температури, що дасть можливість безпечно та ефективно проводити розвідку, рятування людей, гасіння пожеж та аварійно-рятувальні роботи в загазованих і задимлених середовищах. [6,7,8]

На обстановку пожеж в підвалах великий вплив має пожежне навантаження, значення якого становить понад 50 кг/м^2. В підвалах при неповному згоранні дим (продукти згорання) має підвищену густину (щільність) і токсичність. Експериментально встановлені залежності видимості від густини диму, наприклад, якщо видимість предметів при освітленні їх груповим ліхтарем з лампою потужністю 21 Вт видно на відстані до 3 м (наявність твердих частинок вуглеводнів 1,5 г/м^3) – дим густий; від 3 до 6 м (0,6 – 1,5 г/м^3 твердих частинок

вуглеводнів) – дим середньої густини; до 12 м (0,1 – 0,6 г/м^3 твердих частинок вуглеводнів) – дим слабкої густини. Середньооб`ємна температура в підвалі вже на 20-30 хвилині пожежі може сягати 350^{o}С [9,10,11].

Саме за таких умов ланкам газодимозахисної служби ДСНС України необхідно виконувати завдання за призначенням. Щоб уникнути багатьох з вказаних вище небезпечних факторів, що можуть призвести до нещасних випадків з газодимозахисниками під час гасіння пожеж в підвальних приміщеннях, достатньо зменшити густину диму в зоні задимлення до видимості 3-6 метрів, та знизити температуру до 60-80°С, що цілком достатньо для виконання завдань за призначенням в апараті на стиснутому повітрі. За таких умов, в більшості випадків, людина може об'єктивно реагувати на виявлені зміни в обставинах, що виникають під час просування задимленою зоною і уникнути небезпеки [12,13].

Зменшення густини диму до вказаних значень на практиці досягають за допомогою створення умов для руху продуктів горіння у потрібному напрямку. Для вирішення цієї задачі пожежно-рятувальні підрозділи найчастіше використовують переносні та пересувні димовсмоктувачі, якими оснащені підрозділи ДСНС України. Для зниження температури також використовують пожежні стволи-розпилювачі для подачі тонкорозпиленої води та створення захисних екранів [14,15,16].

Пожежні димовсмоктувачі призначені для відкачування продуктів горіння або подачі свіжого повітря в приміщення шляхом нагнітання, а також для подачі та транспортування по рукаву до осередку пожежі піни високої кратності у разі сумісної роботи з піногенераторною установкою.

Аналіз використання димовсмоктувачів на пожежах показує, що нагнітання свіжого повітря в приміщення є більш ефективним порівняно з відкачуванням диму. Так, для димовсмоктувачів з продуктивністю 24 тис. м^3/год, час вилучення диму способом нагнітання на є 20-25% меншим, ніж під час відкачування. Це пояснюється тим, що під час роботи димовсмоктувача на відкачування, створюються умови перетікання повітря із суміжних приміщень та ззовні, тому

димовсмоктувач разом із продуктами горіння відкачує значну частину свіжого повітря [17,18,19].

Ефективність ліквідації пожеж в підвалах та проведення пожежно-рятувальних робіт значною мірою залежить від продуктивності, працездатності, швидкості оперативного розгортання технічних засобів, у тому числі пересувних і переносних пожежних машин одним з видів яких є пожежні димовсмоктувачі. Аналіз тактико-технічних можливостей, конструктивних рішень та параметрів таких димовсмоктувачів, якими оснащені підрозділи ОРС ЦЗ ДСНС України, свідчить про обмеженість поєднання нагнітання свіжого повітря в приміщення та подачі тонкорозпиленої води.

Усунення цих та інших недоліків димовсмоктувачів, неможливе без обґрунтування параметрів та реалізації нових конструктивних рішень, яким вбачається застосування комбінованого принципу повітряно-водяного струменя, що поєднує переваги конструкцій осьових димовсмоктувачів та стволів розпилювачів. Тобто, одним із шляхів підвищення ефективності процесу охолодження та зменшення оптичної густини диму в закритих приміщеннях під час ліквідації пожеж та проведення пожежно-рятувальних робіт є обґрунтування та розробка установок димовсмоктувачів, де потік повітря виконує функцію транспортування струменя тонкорозпиленої води в умовах підвищених температур та густого задимлення.

З урахуванням викладеного, проведення досліджень з обґрунтування параметрів та технічних рішень як підґрунтя для створення установок, більш ефективних за існуючі, є актуальними і спрямовані на покращення умов гасіння пожеж в закритих приміщеннях та під час ліквідації пожеж в цілому. Створення комбінованих переносних установок димовсмоктувачів, що зможуть подавати повітряно-водяний струмінь, є необхідною і актуальною задачею покращення процесу охолодження та зменшення оптичної густини диму в закритих приміщеннях, в т.ч. в підвалах та подібних приміщеннях.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами Дисертаційне дослідження проводилось в рамках розвитку «Державної цільової соціальної програми забезпечення пожежної безпеки на 2012-2015 рр.», затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 01.06.2012 р. №598 під час виконання за договором про співробітництво між ЛДУБЖД та ДЗ «ДЕА» науково-дослідної роботи «Створити наукові основи розроблення екологічно прийнятних вогнегасних речовин та технологій їх застосування», державний реєстраційний номер 0116U7171, в якій здобувач був виконавцем.

Ідея роботи полягає у підвищенні ефективності ліквідування пожеж у підвальних приміщеннях комбінованим застосуванням димовсмоктувачів та струменів тонкорозпиленої води з визначеними параметрами.

Мета роботи – розкриття особливостей впливу комбінованого подавання повітря та струменів тонкорозпиленої води на процес їх взаємодії із нагрітими та заповненими продуктами згоряння об'ємами підвальних приміщень.

Завдання досліджень. Для досягнення визначеної мети потрібно було розв'язати такі завдання досліджень:

– проаналізувати статистику пожеж в Україні за період з 2009 по 2017 роки, сучасний досвід з розроблення і застосування технічних засобів пожежогасіння та виявити шляхи підвищення ефективності ліквідування пожеж у підвальних приміщеннях житлових будинків;

– розробити математичну модель процесу взаємодії струменів тонкорозпиленої води із нагрітими та заповненими продуктами згоряння об'ємами приміщень;

– науково обґрунтувати параметри і схемні рішення та розробити переносний пристрій для формування комбінованих повітряно-водяних струменів;

– науково обґрунтувати параметри та розробити прилад для вимірювання оптичної густини диму;

– розробити програму та провести експериментальні дослідження з виявлення комбінованого впливу струменів тонкорозпиленої води та повітря на

ефективність димоосадження та зниження середньооб'ємної температури в об'ємі випробувального приміщення при горінні модельних вогнищ класів А та В;

розробити методичні рекомендації з підвищення ефективності ліквідування пожеж у підвальних приміщеннях шляхом застосування запропонованого пристрою для осадження продуктів згоряння та зниження середньооб'ємної температури.

Об'єкт досліджень – процес взаємодії струменів тонкорозпиленої води та повітря із нагрітими та заповненими внаслідок пожеж продуктами згоряння об'ємами підвальних приміщень житлових будинків

Предмет досліджень – вплив параметрів комбінованого подавання повітря та струменів тонкорозпиленої води на процеси їх взаємодії з нагрітими та заповненими внаслідок пожеж продуктами згоряння об'ємами підвальних приміщень житлових будинків.

Методи дослідження. В роботі було використано комплексний метод дослідження, який включав: аналіз науково-технічних досягнень з розробки і застосування технічних засобів, що застосовують під час ліквідування пожеж для зменшення негативного впливу їх небезпечних чинників; комп'ютерне моделювання процесу взаємодії струменів тонкорозпиленої води, а також повітряних потоків із нагрітими та забрудненими продуктами згоряння об'ємами приміщень із використанням програмного продукту COSMOSFloWorks, метод оптичної мікроскопії для визначення дисперсності розпилення краплин води; методи термометрії із використанням термопар; візуалізації оптичної видимості за послабленням інтенсивності лазерного променя внаслідок його проходження крізь задимлене середовище. Оцінювання ефективності застосування димовсмоктувачів та струменів тонкорозпиленої води для зменшення негативного впливу небезпечних чинників пожеж проводилось в умовах полігонних випробувань із застосуванням модельних вогнищ пожежі та імітаторів диму.

Для проведення експериментальних досліджень використовували метрологічне атестоване обладнання та повірені засоби вимірювання. Обробка

результатів досліджень здійснювалась із використанням програмного забезпечення Microsoft Office Excel 2016.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розкритті особливостей впливу комбінованого подавання повітря та струменів тонкорозпиленої води на процес їх взаємодії із нагрітими та заповненими продуктами згоряння об’ємами підвальних приміщень. При цьому:

– *уперше* науково обґрунтовано параметри, запропоновано схемні рішення і розроблено переносний пристрій комбінованого подавання струменів тонкорозпиленої води, застосування якого, на відміну від відомих, реалізує комбінований, одночасний вплив повітряно-водяного середовища на нагріті і заповнені продуктами згоряння об’єми приміщень, зменшуючи їх середньооб’ємну температуру, а також задимленість, що призводить до підвищення ефективності ліквідування пожеж, зокрема у підвальних приміщеннях;

– *удосконалено* дослідницько-випробувальну базу з виявлення ефективності димоосадження шляхом застосування розробленого переносного приладу з визначеними параметрами, суть роботи якого полягає у виявленні послаблення інтенсивності лазерного променя внаслідок його проходження крізь задимлене середовище;

– *набуло подальшого розвитку* застосування методів математичного моделювання процесів взаємодії струменів тонкорозпиленої води та повітря з нагрітими та заповненими внаслідок пожеж об’ємами приміщень;

Обґрунтування і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується результатами аналізу літературних джерел; відповідністю методів дослідження поставленим в роботі меті і задачам; застосуванням аналітичних методів досліджень; необхідним об’ємом експериментального матеріалу, отриманого з використанням методів випробувань, що регламентуються чинними в Україні стандартами, метрологічно атестованого обладнання та повірених засобів вимірювання; задовільною збіжністю результатів

теоретичних та експериментальних досліджень, а також апробацією з практичним впровадженням результатів роботи.

Наукове значення одержаних результатів полягає у розкритті особливостей впливу комбінованого подавання повітря та струменів тонкорозпиленої води на процес їх взаємодії із нагрітими та заповненими продуктами згоряння об'ємами підвальних приміщень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

- розроблено конструкцію та виготовлено прилад для визначення оптичної густини диму в умовах високих температур у закритих приміщеннях, захищений патентом України на корисну модель;

- розроблений дослідний зразок пристрою для подавання тонкорозпиленого струменя води було поставлено в оперативний розрахунок в пожежно-рятувальному підрозділі ДСНС України у Львівській області, що засвідчено відповідним актом впровадження;

- розроблено методичні рекомендації щодо застосування пристрою для осадження продуктів згоряння та зниження середньооб'ємної температури в підвальних приміщеннях під час ліквідування пожеж, які використовуються під час викладання дисциплін: «Підготовка газодимозахисника» та «Пожежна тактика» в ЛДУ БЖД ДСНС України, що засвідчено відповідним актом впровадження.

Особистий внесок здобувача полягає в участі у формуванні ідеї роботи, визначенні мети і завдань досліджень, об'єкта та предмета досліджень, самостійному аналізі вітчизняних та закордонних джерел інформації, удосконаленні та розробленні методик досліджень та обладнання, проведенні експериментальних досліджень та обробленні їх результатів, формулюванні та узагальненні висновків. Участь автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведено в списку опублікованих праць за темою дисертації.

Апробація результатів роботи здійснена на 6 науково–технічних конференціях і симпозіумах.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 11 наукових працях, з них 5 статті у фахових наукових виданнях України, 1 у закордонних та у 6 – у збірниках матеріалів науково-технічних конференцій, симпозіумів.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п’яти розділів, додатків. Повний обсяг дисертації – 230 стор., з них 5 додатків на 34 стор. Дисертація містить 101 рисунок і посилання на 113 літературних джерел.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ДОСВІДУ ЗАСТОСУВАННЯ ПОЖЕЖНО-ТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОСАДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ ТА ЗНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРИМІЩЕННЯХ ПІД ЧАС ГАСІННЯ ПОЖЕЖ

1.1. Аналіз розвитку та ліквідації пожеж у підвалах житлових будівель та споруд

Конструктивні елементи підвалів виконуються з негорючих матеріалів. Приміщення в підвалах мають обмежену кількість дверей і вікон. Часто вікна захищені ґратами. Планування підвалів залежить від їх призначення, великі і складні підвали поділяються на секції, які можуть сполучатись між собою. Висота підвалів у більшості випадків перебуває у межах 1,5 - 2,2 м. В окремих адміністративних і громадських будівлях підвали будують у кілька ярусів.

Підвали можуть сполучатись з поверхами і горищами шахтами ліфтів, вентиляційними каналами, через отвори і люки, по яких проходять різноманітні комунікації. В старих будинках виходи з підвалів розташовані у сходовій клітці, що сприяє швидкому задимленню всієї будівлі. В сучасних будівлях виходи з підвалів облаштовують безпосередньо на вулицю.

В громадських будівлях підвали можуть використовуватись для розміщення котелень, складів, майстерень, вузлів системи опалення та інших потреб. Підвальні і цокольні поверхи розділяють протипожежними перегородками 1-го типу на відсіки площею не більше 500 м^2 у несекційних житлових будинках, а у секційних – за секціями. У кожному відсіку або секції підвальних і цокольних поверхів повинно бути не менше двох вікон (люків) розміром 0,9 х 1,2 м. На розвиток та обстановку на пожежі в підвалах житлових будівель впливає пожежне навантаження, що становить до 50 кг/м^2, а з наявністю господарчих комірок воно може зростати до 80-100 кг/м^2 [2, 3, 4, 5].

Залежно від конструктивних особливостей підвалу, виду та властивостей горючих речовин і матеріалів та місця виникнення пожеж швидкість

поширення вогню може бути 0,5-0,8 м/с [20]. В початковий період розвитку пожежі горіння виникає і розповсюджується інтенсивно завдяки достатній кількості повітря, в об`ємі приміщень. Далі протягом перших 10-30 хв зменшується приплив свіжого повітря до зони горіння, знижується швидкість розповсюдження вогню та швидкість вигоряння, збільшується концентрація продуктів згоряння. Інтенсивне горіння спостерігається тільки в тих місцях підвалу, де складаються сприятливі умови для припливу свіжого повітря. В результаті розвитку пожежі в підвалі виникає висока температура та сильне задимлення. Дослідами встановлено, що температура в підвалі приблизно на 300°С нижча, ніж в умовах стандартного температурного режиму, який прийнятий для випробування будівельних конструкцій. Отже межі вогнестійкості будівельних конструкцій підвалів, що визначені при стандартному температурному режимі, в умовах пожеж підвищуються в 1,5 і більше разів, ніж за технічними умовами на виготовлення цих конструкцій. Нагріті продукти горіння, що мають більший тиск, ніж тиск зовнішнього повітря, з підвалів через дверні та інші отвори в будівельних конструкціях, а також через системи вентиляції, сміттєпроводів та ін. швидко потрапляють до сходових кліток, шахт ліфтів та розповсюджуються на верхні поверхи будівель, створюючи загрозу людям. В окремих випадках задимлення сходових кліток відбувається настільки швидко, що люди не встигають залишити свої квартири або робочі місця (сходова клітка 5 поверхового будинку заповнюється димом під час пожежі у підвалі протягом 1,5-3,0 хв). Пожежа з підвалів розповсюджується на поверхи та суміжні приміщення не тільки через сходові клітки, шахти ліфтів та різні комунікації, але й через нагрівання металевих конструкцій та займання від них горючих речовин. Крім того, під час затяжної пожежі перекриття втрачають свою вогнестійкість, що викликає їх обвал та швидке розповсюдження вогню [2,3,4,5,20].

Саме в таких умовах мусять працювати ланки газодимозахисної служби (далі ГДЗС) ДСНС України під час ліквідації пожеж. Питання безпеки та

захисту пожежників-рятувальників під час виконання їх службових обов'язків (гасіння пожеж та ліквідація надзвичайних ситуацій) від дії теплового випромінювання та підвищених температур на теперішній час залишається актуальним. Не раз траплялися трагічні випадки, коли під час гасіння пожеж в умовах обмеженої видимості через густий дим та високу температуру пожежники гинули оскіьки не могли знайти вихід із задимленого приміщення. Прикладом є пожежа, яка трапилась в 01 год 40 хв 21.03.03р. в підвалі п'ятиповерхового житлового будинку у м. Івано-Франківськ по вул. Північний бульвар,1 в умовах густого задимлення, складного планування приміщень та високої температури. Під час пожежі ланка ГДЗС з трьох газодимозахисників не змогла самостійно знайти вихід і помилково верталася до ствола, залишеного на позиції гасіння пожежі. Для їх пошуку і рятування була відправлена резервна ланка ГДЗС, але на превеликий жаль двоє з трьох газодимозахисників загинули: начальник караулу, якого без ознак життя знайшли приблизно на відстані 9-ти метрів від входу в підвал в одній із комор, та в 2-ох метрах від входу – пожежника, який 21 березня 2003 року з місця пожежі був доставлений в обласну клінічну лікарню Івано-Франківської області, але 27 березня 2003 року не приходячи до свідомості помер [21].

Отже, дослідження умов ведення оперативних дій ланками ГДЗС під час пожеж в підвалах та подібних до них приміщеннях, є необхідною актуальною задачею, оскільки, згідно із статистикою найбільше пожеж (73 %) виникає саме в житловому секторі і для їх ліквідації в підвалах майже у всіх випадках застосовуються ланки ГДЗС.

1.2. Вплив продуктів згоряння на роботу та безпеку газодимозахисників в об'ємах приміщень під час пожежі

Будь-яке горіння супроводжується виділенням диму. Дим – це дисперсна система продуктів згоряння та повітря, яка складається з газів, пари та розжарених дрібних, твердих часточок вуглецю, що не згоріли та перебувають

у завислому стані і утворились під дією високої температури в процесі розкладання горючого матеріалу. Наявність твердої дисперсної фази обумовлює непрозорість диму. Ступінь прозорості диму залежить від його концентрації і розміру твердих часточок дисперсної фази. Концетрація диму – це кількість продуктів горіння, які містяться в одиниці об'єму приміщення. Її можна виразити кількістю речовини (г/м^3), або в об'ємних частках. Тверді часточки диму здатні як поглинати, так і розсіювати світло. Тому дим на пожежі значно погіршує видимість, ускладнює обставини рятування людей і гасіння пожежі підрозділами пожежно-рятувальної служби ДСНС України. Погіршення видимості при задимленні визначається густиною, яка оцінюється за товщиною шару диму, через який не видно світло еталонної лампи, або за кількістю твердих частин, які містяться в одиниці об'єму, та визначається у г/м^3 [22, 23, 24].

Експерементальним шляхом встановлено залежність видимості від густину диму. На практиці густину диму оцінюють за видимістю предметів, на які спрямовано промінь світла групового ліхтаря з лампочкою потужністю 21 Вт. Дані про густину диму, утвореного при горінні речовин, що містять вуглець, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Видимість предметів залежно від густини диму

Вид диму	Густина диму, г/м^3	Видимість предметів, які освітлюють лампочкою потужністю 21 Вт, м
Дим густий	Більше 1,5	До 3
Дим середньої густини	Від 0,6 до 1,5	Від 3 до 6
Дим слабкої густини	Від 0,1 до 0,6	Від 6 до 12

Під час пожежі, частіше за все горять органічні сполуки (деревина, гума, пластмаса, синтетичні матеріали, тканини, продукти нафтової переробки і т.д.).

Таким чином, під час внутрішньої пожежі утворюється дрібнодисперсна суміш з токсичних продуктів неповного згорання і диму, яка отруйно діє на організм людини і значно погіршує видимість.

Токсичність продуктів згорання і густина диму залежать від температури в зоні, де відбувається горіння (табл. 1.2). Так, при збільшенні температури, збільшується токсичність продуктів згорання і зменшується густина диму.

Таблиця 1.2 – Залежність густини диму від температури

Температура,^{0}C	Густина продуктів згорання, кг/м^3
0	1,295
100	0,950
200	0,748
300	0,617
400	0,525
500	0,457
600	0,405
700	0,363
800	0,330
900	0,301
1000	0,275

Середовище де відбувається горіння і яке заповнене димовими газами в концентраціях, що створюють загрозу життю та здоров'ю людей або утруднюють роботу пожежно-рятувальних підрозділів називають зоною задимлення. Як правило, зона задимлення значно більша від площі пожежі і охоплює найбільшу частину простору приміщення або споруди де відбувається пожежа.

Швидкість розповсюдження зони задимлення залежить від процесу газообміну, що встановлюється під час пожежі між продуктами горіння, які видаляються з повітрям, що надходить до осередку пожежі. По вертикальній площині, швидкість розповсюдження зони задимлення може сягати понад 20 м/хв.

Залежно від матеріалу, який горить, дим набуває свого кольору, запаху і смаку. За кольором диму можна встановити, який основний матеріал горить на пожежі. Попередня візуальна оцінка диму може мати суттєвий вплив на організацію дій підрозділів оперативно-рятувальної служби, щодо рятування людей і гасіння пожежі.

У роботі [12] визначено умови виконання завдань за призначенням пожежниками, які класифікуються залежно від діапазону температури повітря та густини теплового потоку. Ця класифікація наведена в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Класифікація умов виконання завдань за призначенням залежно від НТФ (небезпечні температурні фактори)

Умови	Температура повітря (°С)	Густина теплового потоку ($кВт/м^2$)	Час теплової дії (хв.)
1	2	3	4
Звичайні Ризиковані Екстремальні [25]	100°С	1	25 хв
	120°С	3,5	10 хв
	160°С 160-235°С	4 10	1 хв <1 хв
Звичайні Ризиковані Екстремальні [26]	20-70°С	1,67	10-20 хв
	70-300°С	4 – 12,56	1,5 хв
	300-1200°С	12,56 – 209,34	15-20 с
Звичайні Ризиковані Екстремальні [27]	60°С	1,25	5-60 хв
	300°С	8,3	5-20 хв
	1000°С	104,67	5-20 с

Звичайні умови – це умови, прийнятні для пожежників, які працюють ствольниками та підствольниками на такій відстані від первинного вогнища, де

немає потреби у спеціальному захисному одязі. Згідно з [25], пропонується приймати час перебування в зоні дії НТФ 25 хв в умовах, які характеризуються температурою повітря до 100°С і густиною теплового потоку до 1 кВт/м^2. Згідно з [26], у цих умовах температура становить 20-70°С і густина теплового потоку < 1,7 кВт/м^2.

Ризиковані умови – це умови, у які можуть потрапити пожежники під час гасіння пожежі у житловій кімнаті або у невеликому будинку. Згідно з [26], захищеність від НТФ за цих умов забезпечується теплозахисним одягом, який зводить до мінімуму теплову дію на тіло пожежника. Діапазон показників, згідно з [25], приймається меншим за 1 хв при 160°С. Згідно з [25], ці умови описуються в середовищі з температурою повітря 70°С - 300°С з густиною теплового потоку від 4,2 до 12,5 кВт/м^2.

Надзвичайні умови – це умови в зоні дії ВТФ під час ”вибуху”. Ці умови є на ранг вищі, ніж “ризиковані” і їм відповідає температура від 300°С та густина теплового потоку 7 кВт/м^2 [27]. У середовищі з цими умовами є велика ймовірність отримання пожежником травм, які загрожують його життю та здоров’ю.

Отже, враховуючи дослідження [12] умовно безпечним можна вважати перебування газодимозахисника включеного у апарат на стисненому повітрі та захисний одяг пожежника загального призначення, в умовах дії НТФ, які характеризуються температурою дії в межах 60-80°С та становить 28-32 хв, що цілком достатньо для виконання оперативних завдань з гасіння пожеж та проведення аварійно-рятувальних робіт в загазованих та задимлених приміщеннях.

1.3. Аналіз конструкцій приладів та пристроїв для вилучення продуктів згоряння і зниження температури в приміщеннях

Під час гасіння пожежі в підвалах [6, 7, 20], одними з основних завдань, які визначені пожежно-рятувальним підрозділам є безпечна евакуація людей,

що перебувають в будівлі шляхом заходів для запобігання задимленню сходових кліток та створення безпечних умов для гасіння пожежі шляхом зниження температури та видалення диму, що досягається за допомогою водяних стволів для подачі розпилених та тонко-розпилених струменів та пожежних димовсмоктувачів. Відповідно, нижче будуть розглянуті прилади, які застосовують ланки ГДЗС для зниження температури та видалення диму під час гасіння пожеж та проведення аварійно-рятувальних робіт в підвалах.

1.3.1. Аналіз пожежних димовсмоктувачів для вилучення продуктів згоряння

Для зниження температури та видалення (осадження) диму з приміщень пожежно-рятувальні підрозділи використовують пожежно-технічне обладнання, а саме пожежні димовсмоктувачі та водяні пожежні стволи.

Пожежні димовсмоктувачі відносяться до групових засобів захисту органів дихання і призначені для видалення диму з приміщень, зниження температури під час гасіння пожеж у будівлях шляхом нагнітання свіжого повітря і відсмоктування продуктів горіння, а також можуть бути використані для отримання та подавання піни високої кратності [15,16].

Аналіз використання димовсмоктувачів на пожежах показує, що нагнітання свіжого повітря в приміщення є більш ефективним порівняно з відсмоктуванням. Так, для димовсмоктувачів з продуктивністю 24 тис. $м^3$/год. час видалення диму методом нагнітання на 20-25% менший, ніж при відсмоктуванні. Це пояснюється тим, що при роботі димовсмоктувача на відсмоктування створюються умови перетікання повітря із сусідніх приміщень і ззовні, тому димовсмоктувач разом з продуктами згоряння всмоктує значну частину свіжого повітря [17, 18, 19].

Наявні на оснащенні пожежно-рятувальної служби димовсмоктувачі поділяються за такими основними ознаками: 1) за призначенням: переносні, пересувні та автомобілі димовидалення; 2) за приводом димовсмоктувача:

механічні та гідравлічні; 3) за принципом роботи: вентиляторні (відцентрові і осьові) та ежекційні.

Технічні характеристики димовсмоктувачів наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики димовсмоктувачів

№ з/п	Показники	Пересувні осьові				Відцентрові причіпні та на шасі авто	
		ДПМ-7	ДПЕ-7	ДП-10	ДП-100	ДП-30	АД-90 (66)183
1.	Продуктивність за повітрям, тис. $м^3$/год.	10-12	7	10-12	100	30	95
2.	Продуктивність за піною, тис. $м^3$/год.	120	120	70-120	75	240	540
3.	Кратність піни при 12% розчині піноутворювача, не менше	800	800	800	800	800	600-800
4.	Продуктивність за розчином, тис.$м^3$/год	2,5	2,5	2,5	1,56	5,0	15,0-11,2
5.	Потужність двигуна, кВт	2,5	1,1	-	4,5	40,4	84,5
6.	Кількість обертів привода, об/хв	3600	3000	3600	3000	1070	1500-2500
7.	Довжина рукавів, м: - всмоктуючого - напірного	5 10	5 10	5 10	7 40	8 10	4×4 10
8.	Діаметр рукавів, мм: - всмоктуючого - напірного	520	520	520	320	-	4× 500 1000
9.	Маса в комплектації, кг	92	76,5	85	160	1600	6120

Найбільшого поширення на практиці під час гасіння пожеж набули переносні осьові димовсмоктувачі: ДП-7 з механічним приводом або з електричним приводом та ДП-10 з приводом від гідротурбіни (рис. 1.1).

а) б)

Рисунок 1.1 – Загальний вигляд осьових димовсмоктувачів: а) ДП-7; б) ДП-10

Загальна будова димовсмоктувача (без привода) ДП-7 показана на рисунку 1.2.

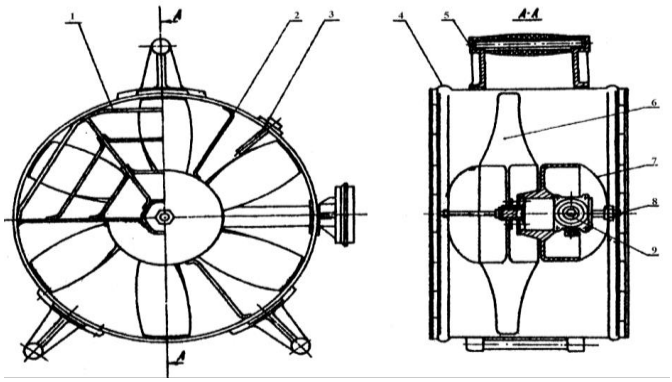


Рисунок 1.2 – Димовсмоктувач ДП-7: 1 – захисна сітка; 2 – спиця; 3 – термометр; 4 – корпус; 5 – ручка; 6 – робоче колесо; 7 – обтікач; 8 – маслянка; 9 – редуктор

Піногенеруюча установка ПГУ-120 (рис. 1.3), призначена для утворення та подачі повітряно-механічної піни високої кратності у об’єми приміщень, під час пожежі працює разом з пожежним димовсмоктувачем.

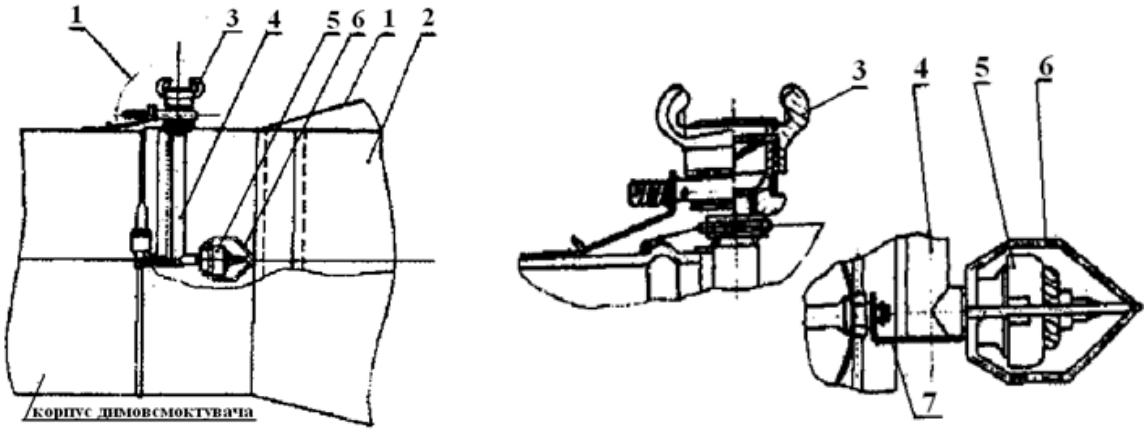


Рисунок 1.3 – Загальна будова піногенеруючої установки ПГУ-120: 1 – рукав; 2 – тканинна сітка; 3–з'єднувальна головка; 4 – трубопровід; 5 – розпилювач; 6 – захисна сітка; 7 – маслянка

Димовсмоктувачі, які на сьогодні застосовуються в США та країнами Європейського союзу значно відрізняються від аналогів, які випускались за радянських часів (рис. 1. 4).

Рисунок 1.4 – Загальний вигляд сучасного осьового пожежного димовсмоктувача (США)

Сучасні димовсмоктувачі набагато маневреніші завдяки їхній установці на колеса, габарити їх набагато компактніші. В основному застосовуються димовсмоктувачі з механічним приводом від двигуна внутрішнього згоряння.

Відповідно сучасні переносні пожежні димовсмоктувачі – це потужні осьові димовсмоктувачі, як правило з мотоприводом від двигуна внутрішнього згорання, які виконують основну функцію з нагнітання свіжого повітря в об'єми задимлених та загазованих приміщень для видалення продуктів згоряння з метою зниження температури та збільшення оптичної видимості. Додатково можуть подавати одночасно з повітрям, розпилені струмені води або піну високої кратності.

В УкрНДІЦЗ розроблено пристрій димоподавлення УДП стаціонарного та переносного типу – що вбачає в собі вологу очистку димових газів та пониження температури (рис. 1.5).

Рисунок 1.5 – Загальний вигляд пристрою димоподавлення УДП стаціонарного та переносного типу

Ці пристрої є ефективні, але враховуючи їхні габаритні розміри (висоту) а саме головне що вони повинні знаходитись в приміщенні під час пожежі, що робить їх неможливе використання ланками ГДЗС на практиц

Однак відомі переносні пожежні димовсмоктувачі вітчизняного виробництва не здатні забезпечити швидкого осадження продуктів горіння та зниження температури в приміщеннях, оскільки в їхній конструкції не передбачено подавання тонкорозпиленої води, а в сучасних пожежних димовсмоктувачах (вентиляторах) не обґрунтовано параметри дисперсності води, що ускладнює ведення оперативних дій ланками газодимозахисної служби та призводить до збільшення часу гасіння пожеж, а відповідно до значних матеріальних втрат.

1.3.2. Аналіз ручних стволів та пристроїв для захисту від теплового випромінювання та осадження продуктів горіння

Ручні стволи для захисту особового складу від впливу теплового випромінювання та осадження продуктів горіння на сьогодні є досить

різноманітним та представлені як вітчизняними, так і зарубіжними виробниками, що детально проаналізовано в роботі [28]. Насамперед, якщо розглянути вітчизняні марки стволів та насадки, які можуть використовуватись разом з ними, то до найбільш вживаних можна віднести стволи марок РС-50, РС-70, РСКЗ-70 та насадки НРТ-5, НРТ-10, РВ-12.

Ствол РС-70 (рис.1.6) з нерегульованою подачею вогнегасного засобу (не перекривний) призначений для гасіння пожеж на відкритій місцевості, для охолодження конструкцій, які зазнають теплового впливу та для гасіння пожеж в огородженні. Його тактико-технічні характеристики наведені в таблиці 1.5.

Рисунок 1.6 – Загальний вигляд ствола РС-70 (Україна)

Таблиця 1.5

Характеристика ствола РС-70

Назва показника	РС-70
Робочий тиск, МПа	0,4-0,6
Витрата води (при робочому тиску 0,4 МПа) л/с	7,4
Дальність подачі водяного струменя води, м	32
Діаметр вихідного отвору насадки, мм	19

Ствол РС-70 комплектується насадками різного призначення, що робить його конструкцію уніфікованою та дає можливість його використання для створення розпиленого струменя води чи захисного водяного екрана з використанням замість стандартної насадки діаметром 19 мм насадки типу НРТ-5 (рис. 1.7) або РВ-12 (рис. 1.8).

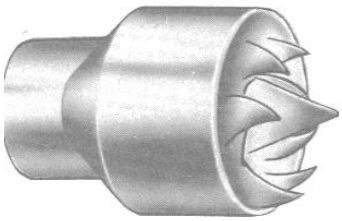


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд насадки НРТ (Україна)

Насадки типу НРТ бувають різних модифікацій залежно від витрати води, на яку вони розраховані. Насадки НРТ-5, НРТ-10, НРТ-20 переважно використовуються для створення дрібнорозпиленої радіальної водяної завіси для осадження хімічних речовин. Основні характеристики насадок типу НРТ наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Характеристика насадки типу НРТ

Назва показника	НРТ-5	НРТ-10	НРТ-20
Робочий тиск, МПа	0,4-0,6		
Витрата води, л/с	5	10	20
Дальність подачі водяного струменя води, м	20	25	35
Діаметр вихідного отвору насадки, мм	7,5	9,9	12

Насадка РВ-12 є найбільш розповсюдженим пристроєм для отримання суцільної вертикальної завіси води, яка безпосередньо служить для захисту особового складу від теплового випромінювання.

Рис. 1.8. Загальний вигляд ствола РС-70 з насадкою РВ-12 (Україна)

Основні характеристики насадки типу РВ-12 наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Характеристика ствола РВ-12

Назва показника	РВ-12
Робочий тиск, МПа	0,4-0,6
Висота завіси, м	7,5
Витрата води, л/с	12
Площа завіси, $м^2$	180

Ствол РСКЗ-70 (рис. 1.9) поєднує в собі можливість одночасної подачі суцільного струменя води на гасіння пожежі та утворення захисної водяної завіси з можливістю перекривання подачі води. Цей тип ствола, як і попередній, відноситься до ручних стволів, призначених для роботи на відкритій місцевості. Основні його характеристики нкаведені в таблиці 1.8.

Рисунок 1.9 – Загальний вигляд ствола РСКЗ (Україна)

Таблиця 1.8 – Характеристики ствола РСКЗ

Показник	РСКЗ-70
Робочий тиск, МПа	0,4-0,6
Витрата води, л/с, не менше: суцільний струмінь розпилений струмінь захисна завіса	 7,4* 7,0* 2,3
Дальність подачі водяного струменя води, м: суцільний розпилений	 32 9
Кут факела розпиленого водяного струменя рад (град) Мінімальний	 0,70 (40)
Діаметр факела захисної завіси, м (не менше)	3
Діаметр вихідного отвору насадки, мм	19

Розглянувши ручні стволи іноземного виробництва можна відзначити, що в переважній своїй більшості вони є однотипними. До закордонних взірці стволів ми можемо віднести стволи типу VIPER SG 3012, Galaxie, Galaxie Automatic, та Rosenbauer Projet (рис. 1.10) та багато інших.

Ці ручні стволи можуть подавати розпилений або суцільний струмінь води а також створювати захисну водяну завісу. Основною відмінністю між стволами VIPER SG 3012, Galaxie, Galaxie Automatic, Rosenbauer SelectFlow є їх продуктивність, яка становить від 0,6 л/с до 10,5 л/с.

Рисунок 1.10 – Загальний вигляд ствола Rosenbauer Projet (Польща)

За своїми функціональними можливостями від вище вказаних стволів відрізняється ствол Rosenbauer Projet. Його відмінністю є можливість одночасно подавати суцільний струмінь на гасіння пожежі та створювати захисний водяний екран від теплового випромінювання з можливістю регулювання кута нахилу екрана та осадження продуктів горіння.

Розглянувши конструкції та способи використання вітчизняних стволів та насадок для гасіння пожежі та для створення захисту від теплового випромінювання, можна виділити ствол РСКЗ-70, оскільки він поєднує в собі можливість використання ствола РС-70 та насадок НРТ або РВ-12.

З іноземних стволів можна виділити тільки ствол типу Rosenbauer Projet, який би відповідав вимогам до можливості одночасного створення суцільного струменя та захисного екрану. Даний ствол за своїми можливостями подібний до РСКЗ-70, а тому також дає можливість зменшити кількість сил і засобів, необхідних для проведення гасіння пожеж.

Керуючись технічними характеристиками заводів-виробників цих стволів та літературних джерел можна провести їх порівняльну характеристику, зведену у таблицю 1.9.

Таблиця 1.9 – Порівняльна характеристика ствола Rosenbauer Projet та РСКЗ-70

Назва показника	Rosenbauer Projet II	РСКЗ-70
Робочий тиск, МПа	3,5	0,4-0,6
Витрата води, л/с не менше: суцільний струмінь розпилений струмінь захисної завіси комбінований струмінь	 7,3 - 13	 7,4* 7,0* 2,3
Дальність подачі водяного струменя води (максимальна), м: суцільний розпилений	 57	 32 9
Кут факела розпиленого водяного струменя, рад (град) Мінімальний	 0,50-2,44 (30-140)	 0,70 (40)
Діаметр факела захисної завіси, м не менше	-	3
Діаметр вихідного отвору насадки, мм	Змінний	19

* значення приведені при відключеній захисній завісі

Виходячи з наведених технічних характеристик можна стверджувати, що ствол Rosenbauer Projet II значно перевищує за своїми показниками ствол РСКЗ-70. Відповідно РСКЗ-70 не може забезпечити достатньої витрати на гасіння при одночасному використанні захисного екрана, не може за необхідності регулювати витрату води на гасіння пожежі та на створення захисного екрана та осадження продуктів горіння для збільшення видимості, що забезпечувало би ефективну роботу ланок ГДЗС в задимлених та загазованих приміщеннях. Тому є необхідність створення нових пристроїв, які б при одночасній роботі разом з осьовими пожежними димовсмоктувачами вирішували вище вказані завдання.

1.3.3. Аналіз комбінованого пристрою для осадження продуктів згорання та зниження температури в задимлених приміщеннях

На основі аналізу пожежних димовсмоктувачів та приладів для подачі розпилених водяних струменів у ЛДУ БЖД було сконструйовано пристрій (рис. 1.11) для осадження продуктів горіння та зниження температури в задимлених приміщеннях [29, 30].

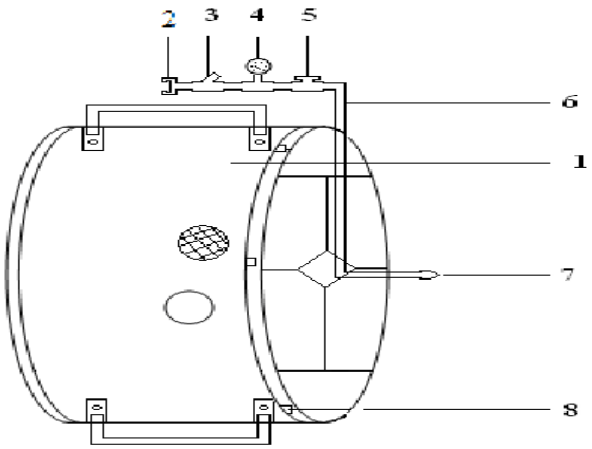


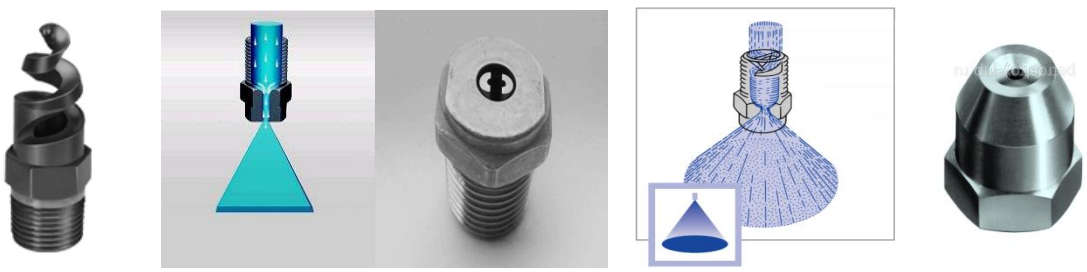
Рисунок 1.11. – Конструкція пристрою для осадження продуктів згоряння та зниження температури: 1 – димовсмоктувач ; 2 – муфтова з'єднувальна головка; 3 – фільтр води; 4 – манометр; 5 – перекривний кран; 6 – патрубок; 7 – насадка-розпилювач; 8 – ніжки до димовсмоктувача

Пристрій для осадження продуктів горіння, зниження температури в задимлених приміщеннях складається з корпусу, з'єднувальної муфти, манометра, перекривного крана, патрубка, насадки-розпилювача та кріплення пристрою до димовсмоктувача.

Робота пристрою полягає в тому, що за допомогою ДП-7 в приміщення нагнітається свіже повітря і одночасно по патрубку подається вода далі через насадку-розпилювач утворюється тонкорозпилений струмінь води та повітря. Це дасть змогу: 1) осаджувати тверді частинки вуглецю, що містяться в диму, які осідатимуть завдяки зволоженню, внаслідок чого збільшуватиметься видимість в задимленому приміщенні; 2) завдяки надходження потоку свіжого повітря будуть вилучатись продукти горіння,

внаслідок чого температура в приміщенні знизиться; 3) зменшиться концентрація деяких розчинних у воді токсичних продуктів горіння, що дасть змогу особовому складу пожежно-рятувальних підрозділів пришвидшити гасіння пожеж, рятування людей, ліквідацію надзвичайних ситуацій.

Але в цьому пристрої (рис. 1.11 позиція 8) не розглянуті конструктивні особливості насадки-розпилювача (форсунки) та її тактико-технічні характеристики, а саме: тиск подавання вогнегасних засобів та діаметр вихідного отвору, а від цього буде залежати дисперсність капель води в потоці повітряно-водяного струменя. Як зазначено в роботах [31, 32, 33], полідисперсний потік з діапазонами крапель від 300 до 400 мкм забезпечує найбільший коефіцієнт захоплення твердих частинок тобто максимальну ефективність вологої очистки димових газів. Відповідно в якості насадки-розпилювача могла би підійти форсунка, яка б забезпечувала необхідний полідисперсний потік з діапазонами крапель води від 300 до 400 мкм. Розглянувши типи форсунок (рис. 1.12): «спіральні форсунки»; «плоске розпорошення»; «повний конус».



1 2 3

Рисунок 1.12 – Типи форсунок: 1 - «спіральні»; 2 – «плоске розпорошення»; 3 - «повний конус»

Було визначено, що найбільш ефективним типом форсунки є «повний конус» (рис. 1.12 позиція 3). Завдяки своїй конструкції форсунка типу «повний конус» розбиває потік води, утворюючи своєрідний водяий пил (дрібні краплі).

Форсунка типу «повний конус» забезпечує можливість отримання рівномірної щільності розпилення. Для цього в пристрої для розпилення рідини пази на розпилювачі розміщенні в площині похилій до радіуса вихідного отвору розпилювача. Сума кутів нахилу площини обрана не більше 80^0. На рисунку 1.13 зображено розріз форсунки (повний конус) [11].

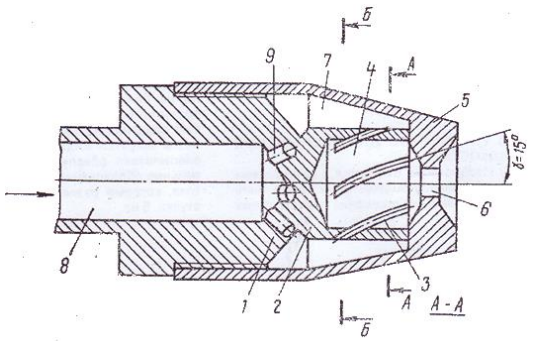


Рисунок 1.13 – Розріз форсунки типу повний конус: 1– корпус; 2 – розпилювач; 3 – бокові пази; 4 – вихідний отвір; 5 – регулююча втулка; 6 – вихідний канал, 7 – порожнина, 8 – канал для подачі рідини, 9 – отвір подачі рідини

Як зазначено в роботах [34, 35] для досягнення в потоці потрібної дисперсії крапель води, визначення діаметра форсунки та тиску подачі вогнегасної речовини, для цього можна скористатися формулою:

$$D_{eq} = C_0 \cdot e^{-\frac{\sigma^2}{2}} \cdot \left(\frac{\sigma_w}{2}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{d_0}{\mu_j}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot p^{-\frac{1}{3}} \qquad (1.1)$$

На підставі теоретичних досліджень отримано залежність еквівалента діаметра крапель струменів розпиленої води від технічного параметра форсунки та тиску (рис. 1.14).

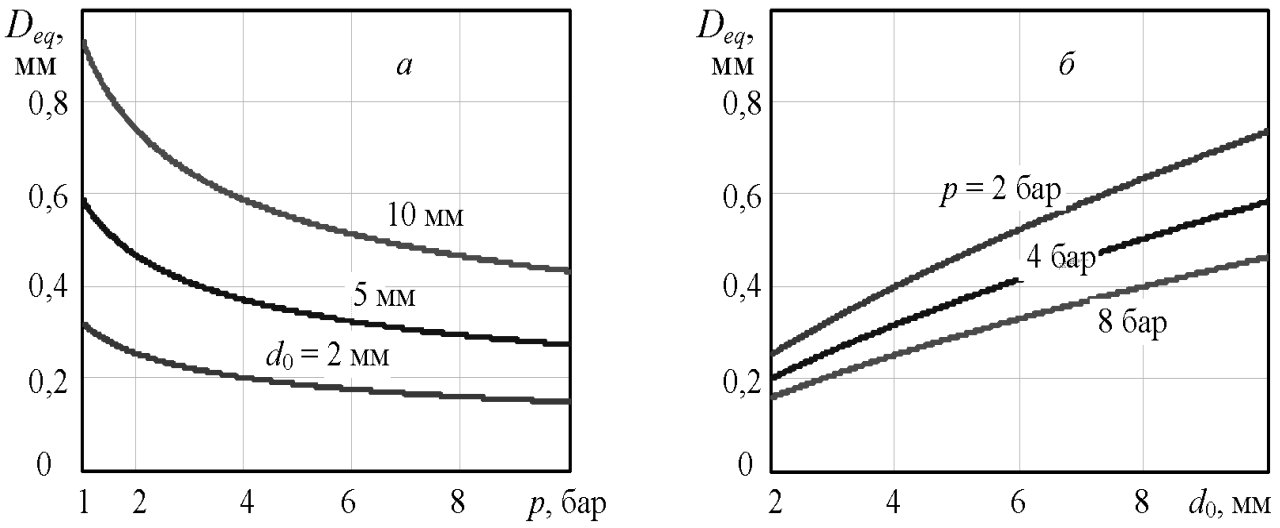


Рисунок 1.14 – Залежність еквівалента діаметра крапель струменів розпиленої води від технічного параметра форсунки

Результати теоретичних досліджень дисперсності крапель води залежно від діаметра вихідного отвору форсунки та тиску наведені в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Дисперсність капель води залежно від діаметра вихідного отвору форсунки та тиску

№	Діаметр вихідного отвору d_0, мм	Тиск води вихідного отвору Р, бар			
		2	4	6	8
1	2	0,27673	0,21964	0,19187	0,17433
2	5	0,50974	0,40458	0,35344	0,32112
3	6	0,57562	0,45687	0,39911	0,36262
4	8	0,69732	0,55346	0,48349	0,43928
5	10	0,80916	0,64223	0,56104	0,50974

Як відмічено в роботі [36] теплообміну крапель води з високотемпературним газовим середовищем присвячено ряд теоретичних робіт [37-49]. Всі математичні моделі, які представлені в цих роботах, побудовані з урахуванням тих або інших припущень. Так, в роботах [37-39, 49] при вирішенні завдань не враховувались послаблюючі властивості продуктів горіння. В [40-44, 47] представлені результати без урахування часу прогріву крапель до моменту їх інтенсивного випаровування. В роботі [48] автори, використовуючи феноменологічний підхід, досліджували процес охолодження газу без урахування дисперсності крапель в його потоці. З усіх перерахованих робіт, тільки в [38], а також в [45, 46] розглянуто питання впливу дисперсності крапель розпиленої води на охолодження продуктів горіння. В [38] наведені результати дослідження динаміки охолодження газів краплями води для діапазону їх діаметрів 200-2000 мкм. На відміну від [44], авторами [38] виявлено оптимальне значення діаметра крапель води 700 мкм, що забезпечує максимальну інтенсивність тепловідведення. Це слабко узгоджується з практичним досвідом, реалізованим в пристроях для подачі води в сучасних пожежних автомобілях, де діаметр розпилення крапель прагнуть довести до 50 мкм і менше. Хоча в цілому всі перераховані моделі якісно відображають фізичну сутність процесу охолодження продуктів горіння, проте, цих результатів недостатньо для обґрунтування норм інтенсивності подачі тонкорозпиленої води. Безумовно, що теоретичні результати повинні бути скоректовані з урахуванням результатів експериментальних досліджень і практичного досвіду. Методика оцінки і аналіз ефективності способу розпилення води для охолодження зони горіння під час гасіння пожеж наведені в роботах [22, 50].

У роботі [36] проведено аналіз впливу дисперсності розпиленої води на теплообмін між краплями, які рухаються і продуктами горіння (димом). Де досліджено залежність коефіцієнта тепловіддачі від діаметра крапель, а саме зниження дисперсності підвищує коефіцієнт тепловіддачі. Причому

температура зростання коефіцієнта тепловіддачі значно вища при діаметрі крапель $d \leq 0{,}4$ мм, порівнянно з каплями $d > 0{,}4$ мм.

Отже, провівши аналіз теоретичних досліджень, пристроїв та приладів, які використовують для зниження температури та осадження продуктів горіння (диму) було визначено, що найбільш ефективними є комбіновані пристрої, які забезпечують отримання дисперсності крапель води від 300 до 400 мкм, для цього на підставі аналізу теоретичних досліджень підходять форсунки типу «повний конус» з діаметром вихідного отвору в межах 3-5 мм та при тиску подачі на неї вогнегасної речовини від 4 до 6 бар.

1.4. Аналіз досліджень газообміну під час пожежі в приміщеннях

Практична реалізація поставлених задач неможлива без попереднього теоретичного обґрунтування параметрів та реалізації нових конструктивних рішень, яким вбачається застосування комбінованого принципу нагнітання - подачі повітряно-водяного струменя, що може поєднувати переваги конструкцій осьових димовсмоктувачів та стволів-розпилювачів. Тобто, одним із шляхів підвищення ефективності процесу осадження та вилучення диму із зниженням середньооб'ємної температури та зменшенням оптичної густини диму під час гасіння пожеж у приміщеннях та проведення пожежно-рятувальних робіт є розроблення та впровадження установок димовсмоктувачів, де одночасно з потоком повітря подається струмінь тонкорозпиленої води.

Основним методом їх досліджень є математичне моделювання динамічних процесів під час пожежі. Значний внесок у вивчення природи пожежі та явищ, які її супроводжують, внесли такі відомі вчені, як Абдурагімов І.М., Кошмаров Ю.А., Молчадський І.С., Алєксашенко А.А., Говоров В.Ю., Макров В.Е., Гуліда Е.М. та інш.

Значний вплив на тепловий режим пожежі, на інтенсивність його розвитку, на швидкість і напрямок розповсюдження пожежі та задимлення

внутрішнього об’єму приміщення має газообмін. Газообмін – це конвекційний рух газових потоків, які утворюються над зоною горіння, що виникає під дією сил, обумовлених градієнтом тиску [9,10,11,12,13,20,22,23,24, 51,52,53]. При газообміні рух конвективних газових потоків виникає через самоу пожежу; різницю температур нагрітих продуктів згоряння і холодного повітря, вітрові навантаження, примусову вентиляцію в приміщенні.

Рух холодного повітря, що надходить у приміщення через припливні отвори, і диму, що виходить із приміщення через витяжні отвори, підкоряється законам гідродинаміки. Через припливні отвори в приміщення буде надходити свіже повітря і виштовхувати, за законом Архімеда через витяжні отвори, суміш продуктів горіння з повітрям. Найбільш істотним фактором руху газів є протікання реакції горіння. Пожежа в приміщенні призводить до значного підвищення температури повітря, що збільшує інтенсивність газообміну.

При виникненні горіння в замкнутому об'ємі приміщення над осередком горіння виникають конвективні потоки продуктів горіння і нагрітого повітря. Холодне повітря підсмоктується димогазовим струменем у нижній частині конвективного стовпчика. На початковій стадії, якщо біля осередку горіння маленькі розміри, газовий потік не досягає перекриття, тому що охолоджується за рахунок теплообміну і змішування з холодним повітрям. При збільшенні площі горіння потужність теплового потоку збільшується, газове середовище над осередком горіння нагрівається сильніше, утворяться могутні конвективні потоки, що приводять до циркуляції всієї маси газів у приміщенні. У нижній частині стовпчика відбувається підсмоктування повітря, частина якого взаємодіє з горючою речовиною. Надлишок цього повітря змішується з продуктами горіння. При маленькій висоті приміщення гарячі потоки можуть досягати перекриття і обігрівати його. Продукти горіння, що остигають за рахунок теплопередачі в стелі і стіни приміщення, опускаються вниз. Безперервна циркуляція газових потоків супроводжується підвищенням середньооб'ємної температури в приміщенні.

Характер руху повітряних мас залежить від конфігурації приміщення, наявності отворів і їх взаємного розташування. Якщо газообмін здійснюється через отвори, розташовані на різному рівні, їх можна умовно розділити на припливні - через які надходить свіже повітря в приміщення і витяжні - через які гарячі продукти згоряння виходять в атмосферу (рис. 1. 16).

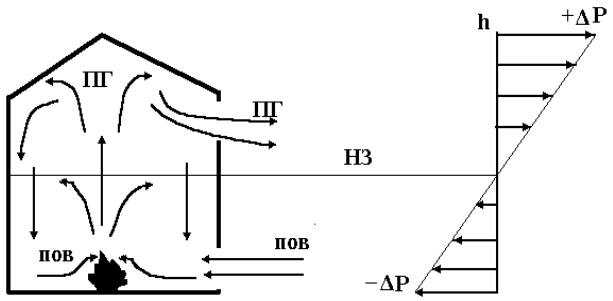


Рисунок 1.15 – Схема газообміну на пожежі за наявності двох отворів: ПГ– продукти горіння; пов – повітря; НЗ – нейтральна зона; h - відстань між центрами отворів; +ΔР – зона надлишкового тиску; -ΔР– зона розрідження

При газообміні через один отвір, наприклад відкриті двері, вікно або кілька отворів, що знаходяться на одному рівні, процес притоку повітря і виходу продуктів горіння здійснюється через один отвір. На приплив працює тільки нижня, приблизно третя частина отвору (рис. 1. 17).

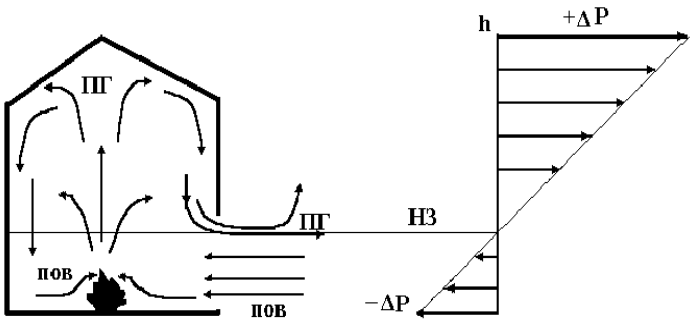


Рисунок 1.16 – Схема газообміну на пожежі за наявності одного отвору: ПГ- продукти горіння; пов – повітря; НЗ – нейтральна зона; h - висота отвору, через який здійснюється газообмін ; +ΔР – зона надлишкового тиску; -ΔР– зона розрідження

Як видно на схемах епюри тиску газового середовища за висотою приміщення (рис. 1.16 та 1.17.) напрямок руху газових потоків вказує на те, що тиск в нижній зоні приміщення (припливного отвору) менший, а у верхній (витяжного отвору) – більший від тиску навколишнього середовища. Якщо об'єм приміщення умовно поділити по висоті безліччю горизонтальних площин, то знайдеться така площина, в якій надлишковий тиск буде рівний нулю. Ця площина називається площиною рівних тисків або нейтральною зоною (далі НЗ). Положення НЗ можна змінювати шляхом зміни (збільшувати або зменшувати) співвідношення між площами припливного (нижня зона) та витяжного отвору (верхня зона). Цей прийомом досить часто застосовують на практиці працівники пожежно-рятувальних підрозділів – коли НЗ "піднімають" максимально верх з метою зниження задимленості і зменшення температури в нижній робочій зоні під час гасіння пожеж.

Для розрахунку положення (висоти) НЗ, можна визначити зі співвідношень [19]. Якщо газообмін здійснюється через отвори, які розташовані на одному рівні, НЗ розташовується безпосередньо в площині отворів, через які відбувається газообмін. При цьому вище НЗ продукти горіння виходять назовні, а в нижній частині отвору відбувається підсмоктування повітря усередину приміщення. У цьому випадку положення (висота) НЗ визначають за формулою:

$$h_{нз} = \frac{h_{отв}}{\left(1 + \sqrt[3]{\frac{T_{пож}}{T_{пов}}}\right)}, \text{ м} \qquad (1.2)$$

де,

$h_{нз}$ – висота нейтральної зони, м;

$h_{отвор}$ – висота отвору, через який здійснюється газообмін, м;

$T_{пож}$ – температура пожежі, К, (Т(К) = t(°С) + 273,15);

$T_{пов}$ – температура повітря назовні, К, (Т(К) = t(°С) + 273,15).

Якщо газообмін здійснюється через отвори, які розташовані на різних рівнях, тоді положення (висота) НЗ визначають за формулою:

$$h_{нз} = \frac{H}{\left[\left(\frac{S_{прип}}{S_{вит}}\right)^2 \cdot \frac{T_{пож}}{T_{пов}} + 1\right]} + 0,5h_{прип} \quad (1.3)$$

де,

H – відстань (у вертикальному напрямку) між центрами припливного і витяжного отворів, м;

$S_{прип}$ - площа припливного отвору, м^2;

$S_{вит}$ - площа витяжного отвору, м^2;

$h_{прип}$ - висота припливного отвору, м .

Вітрові навантаження можуть викликати зміну поля тиску навколо будівлі в цілому. При цьому може змінитися характер розподілу тиску з навітряної і підвітряної сторони будівлі. З навітряної сторони будинку утвориться надлишковий тиск, а з підвітряної сторони тиск зменшується.

При організації гасіння пожежі, а також для успішної евакуації людей із зони задимлення необхідно проводити заходи щодо регулювання положення НЗ в приміщенні [20].

Аналіз отриманих залежностей положення нейтральної зони показує, що положення НЗ буде тим вище, чим менший тиск продуктів горіння і більший тиск свіжого повітря, що надходить у приміщення. Таким чином, основними напрямками регулювання газообміну при пожежі в огородженні можуть бути:

1. Зниження тиску у верхній частині палаючого приміщення, шляхом відкачування нагрітих продуктів згоряння пересувними димовсмоктувачами і використання систем примусового видалення диму і вентиляції приміщень;

2. Підвищення ефективності процесу вентиляції приміщення за рахунок розкриття витяжних отворів у зоні, де створюється максимальна температура і

тиск продуктів горіння. Для цього зазвичай розкриваються димові люки і ліхтарі у верхній частині приміщення. У деяких випадках для випуску диму і зниження температури проводять розбирання перекриттів;

3. Зниження температури і осадження продуктів згоряння розпилиними і тонкорозпиленими водяними струменями;

4. Регулювання співвідношення площ припливних і витяжних отворів. Нейтральна зона завжди розташовується ближче до тих отворів, площа яких більше. По цьому, при додатковому розкритті отворів у нижній частині приміщення, які працюють на приплив, і значного перевищення їх над площею витяжних отворів, висота розташування нейтральної зони знижується;

5. Підвищення тиску повітря в нижній частині приміщення, що призводить до підвищення висоти розташування НЗ шляхом нагнітання чистого повітря в нижню частину приміщення пожежними димовсмоктувачами;

6. Зміна напрямку прямування конвекційних димогазових потоків через створення перемичок, перепон для поширення диму з повітряно-механічної піни, створення протипожежних завіс та інших перепон.

На сьогодні технічні засоби, які б реалізовували всі вище вказані процеси управління газовими потоками в повному обсязі з можливістю пониження температури та збільшення видимості в приміщеннях під час пожежі не існує. Тому є необхідність створення нових пристроїв, які б при одночасній роботі разом з осьовими пожежними димовсоктувачами вирішували вище сказані задачі.

1.5. Аналіз теоретичних досліджень прогнозування оптичної густини диму під час пожежі в приміщеннях

Як зазначено в роботі [13] прогнозування оптичної густини диму, що частково розглядалося в роботах [55-59] без наведення методики визначення величини оптичної густини. Для розв’язування цієї задачі в першу чергу використовують математичні моделі розрахунку тепломасообміну під час

пожежі в приміщенні. З практичної точки зору найбільше використовують диференціальні (польові) та інтегральні моделі розрахунку термогазодинаміки пожежі [55-58]. Але диференціальні (польові) тривимірні моделі для розв'язування задач пожежної профілактики мало ефективні у зв'язку з грубою постановкою граничних умов та неточністю моделі ефективної в'язкості [59]. Тому розробники польових моделей зупинилися на використанні тільки двовимірних моделей.

Інтегральні моделі, що запропоновані Ю.А. Кошмаровим і І.С. Молчадським [56, 58], представляють собою систему диференціальних рівнянь, які найбільш просто розв'язуються методом Рунге-Кутта. Залежно від мети та поставленої задачі, інтегральну модель можна модифікувати, наприклад, записом тільки рівняння балансу оптичної густини диму, розв'язок якого разом з граничними і початковими умовами дає змогу отримати залежність для визначення значення оптичної густини диму. Тому для розв'язування задачі, яка пов'язана з прогнозуванням оптичної густини диму під час пожежі в приміщені, було використано інтегральну модель.

Рівняння матеріального балансу пожежі можна представити як рівняння балансу для газового середовища в приміщенні [54, 56]

$$\frac{d(\rho_c V)}{d\tau} = \psi + \sum_i G_i - \sum_k G_k \,, \qquad (1.4)$$

де,

ρ_c – середньооб'ємна густина газового середовища в приміщенні, кг/м^3;
V – вільний об'єм приміщення, м^3;
τ – час, с;
ψ – швидкість вигоряння (швидкість газифікації) горючого матеріалу в розглядуваний момент часу, кг/с;
$\sum_i G_i$ – витрати повітря, яке подається з навколишнього середовища в приміщення в розглядуваний момент часу процесу розвитку пожежі, кг/с;
$\sum_k G_k$ – витрати газів, які виходять з приміщення через отвори у відповідний момент часу, кг/с.

Ліва частина рівняння (1.4) представляє зміну газового середовища за одиницю часу в інтервалі, який дорівнює $d\tau$, а права – сума потоків маси. Газове середовище містить найдрібніші тверді частинки діаметром 0,2…1 мкм, які впливають на оптичні властивості середовища в приміщені. Це призводить до розсіювання енергії світлових хвиль внаслідок багатократного дифузного відбиття від цих частинок і погіршення видимості. Оптичні властивості середовища приміщення характеризуються середньо об'ємною оптичною густиною диму μ, тобто співвідношенням оптичної кількості диму S (Нп·м^2), який знаходиться в приміщені, до об'єму приміщення V (м^3)

$$\mu = \frac{S}{V}, \text{ Нп/м.} \tag{1.5}$$

В залежності (1.5) скорочення «Нп» означає слово «Непер». Середньооб'ємна оптична густина диму μ і гранична видимість в диму $l_{гр}$ пов'язані між собою співвідношенням [1.4]

$$l_{гр} = \frac{2{,}38}{\mu}, \text{ м.} \tag{1.6}$$

Як вже зазначалось в роботі [13] розглянуто вплив значення оптичної густини диму μ на граничну видимість в диму $l_{гр}$ (рис. 1.17) з використанням залежності (1.6). Результати аналізу графічної залежності показують, що при μ = 7 Нп/м видимість практично відсутня. Для проведення пожежно-рятувальних ланками ГДЗС, або евакуації людей в процесі пожежі в приміщенні допустимим значенням оптичної густини диму може бути величина $\mu \leq 1{,}2$ Нп/м, що забезпечує видимість до 2-3 м, тобто в межах росту людини, яка при переміщенні може бачити підлогу.

Рисунок 1.17 – Залежність граничної видимості від оптичної густини диму

В процесі пожежі в приміщенні при вільному горінні значення оптичної густини диму постійно з часом змінюється в більшу сторону.

Отже, в роботі [13] розроблено інтегральну математичну модель димоутворення в процесі вільного горіння під час пожежі в закритих приміщеннях, розв’язок якої дозволив отримати залежність для визначення (прогнозування) оптичної густини диму при пожежі в процесі вільного горіння та односторонньому газообміні.

Відповідно буде продовжено наукову роботу в цьому напрямку для отримання залежності по визначенню оптичної густини диму та зниження температури при двосторонньому процесі газообміну з врахуванням подачі повітряно-водяного струменю під час пожежі в приміщеннях.

1.6. Мета і задачі досліджень дисертаційної роботи

На основі проведеного аналізу технічного рівня та стану застосування відомих конструкцій димовсмоктувачів та водяних стволів для захисту особового складу від впливу теплового випромінювання методик дослідження динамічних процесів при їх роботі, можна зробити такі висновки:

1.6.1. Найбільш важливою характеристикою, що ставиться до пожежно-технічного обладнання для захисту та ефективної роботи газодимозахисників

при гасінні пожеж в підвалах є вимога зменшення середньо об’ємної температури в межах 60±5°С та збільшення оптичної видимості в межах 3±0,5 м, тобто в межах росту людини дорослої людини (1,7 м), яка при переміщенні може бачити підлогу. Виходячи з статистичних даних, саме ці фактори мають визначальне значення, що дозволяє забезпечити безпечну роботу газодимозахисників та підвищення ефективності роботи такого обладнання.

1.6.2. Принциповим аналогом димовсмоктувача комбінованої дії: одночасної подачі (нагнітання) повітря та тонкорозпиленого струменя води може бути відома конструкція димовсмоктувача типу ДП-7 та піногенераторної установки типу ПГУ-120, але без перкалевого рукава та з необхідною насадкою - розпилювачем (форсункою), що забезпечить потрібну дисперсність води. Очевидно, що при цьому необхідно врахувати, що необхідно поєднати та синхронізувати роботу димовсмоктувача та насадки розпилювача, і це суттєво позначається на динаміці роботи такої установки.

1.6.3. Враховуючи те, що запропонована технологія одночасної подачі (нагнітання) повітря та тонкорозпиленої води удосконалена, теоретичні та експериментальні дослідження сумісних процесів охолодження та зменшення оптичної густини диму в приміщеннях при ліквідації пожеж не проводились та у літературі не розглядалось. Тому необхідно розробити математичну модель цих процесів та провести теоретичні дослідження саме цих явищ зменшення середньо об’ємної та збільшення оптичної видимості.

1.6.4. З огляду на те, що теоретичні дослідження не завжди точно описують реальні динамічні процеси, особливої уваги слід приділити дослідженню моделей на адекватність, як наслідок співставлення результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Тому, метою дисертації є розкриття особливостей впливу комбінованого подавання повітря та струменів тонкорозпиленої води на процес їх взаємодії із

нагрітими та заповненими продуктами згоряння об’ємами підвальних приміщень.

Для досягнення визначеної мети необхідно розв’язати наступні задачі:

– проаналізувати статистику пожеж в Україні за період з 2009 по 2017 роки, сучасний досвід з розроблення і застосування технічних засобів пожежогасіння та виявити шляхи підвищення ефективності ліквідування пожеж у підвальних приміщеннях житлових будинків;

– розробити математичну модель процесу взаємодії струменів тонкорозпиленої води із нагрітими та заповненими продуктами згоряння об’ємами приміщень;

– науково обґрунтувати параметри і схемні рішення та розробити переносний пристрій для формування комбінованих повітряно-водяних струменів;

– науково обґрунтувати параметри та розробити прилад для вимірювання оптичної густини диму;

– розробити програму та провести експериментальні дослідження з виявлення комбінованого впливу струменів тонкорозпиленої води та повітря на ефективність димоосадження та зниження середньооб’ємної температури в об’ємі випробувального приміщення при горінні модельних вогнищ класів А та В;

– розробити методичні рекомендації з підвищення ефективності ліквідування пожеж у підвальних приміщеннях шляхом застосування запропонованого пристрою для осадження продуктів згоряння та зниження середньооб’ємної температури.

РОЗДІЛ 2МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМОДІЇ ФРАКЦІЇ КРАПЕЛЬ ВОДИ З ПОВІТРЯНИМ ПОТОКОМ У ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ОБ'ЄМІ

2.1. Математичні основи моделі

Програмний продукт COSMOSFloWorks[60,61,62,63]служить для математичного моделювання фізичних процесів в області аерогідродинаміки та теплопередачі шляхом розв'язування відповідних прикладних задач. COSMOSFloWorks є інтегрованим додатком CAD-системи SolidWorks і може ефективно використовуватись для розрахунків силової (стаціонарної та нестаціонарної) взаємодії між твердим тілом 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.

Математична модель будується на основі геометричного проектування реального інженерного об'єкта в середовищі SolidWorks з подальшим автоматичним обміном необхідною інформацією. Рух і теплообмін текучого середовища в системі COSMOSFloWorks моделюється з допомогою рівнянь Нав'є – Стокса, які в нестаціонарній формі описують закони збереження маси, імпульсу та енергії цього середовищадекартовій системі координат $\left(x_i, i=1,2,3\right)$:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_k}\left(\rho u_k\right)=0,\\
&\frac{\partial\left(\rho u_i\right)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_k}\left(\rho u_i u_k-\tau_{ik}\right)+\frac{\partial P}{\partial x_i}=S_i,\\
&\frac{\partial\left(\rho E\right)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_k}\left(\left(\rho E+P\right)u_k+q_k-\tau_{ik}u_i\right)=S_k u_k+Q_{H,}
\end{aligned} \tag{2.1}$$

де, t – час, u – швидкість текучого середовища, ρ – густина текучого середовища, S_i– зовнішні масові сили, що діють на одиничну масу текучого середовища, E – повна енергія одиничної маси текучого середовища, Q_H – тепло, що виділяється джерелом тепла в одиничному об'ємі текучого середовища, τ_{ik}–

тензор в'язких напружень зсуву, q_i – дифузійний тепловий потік, нижні індекси означають підсумовування за трьома координатними напрямами.

Крім цього, використовуються рівняння стану текучого середовища, а також, емпіричні залежності в'язкості і теплопровідності компонентів середовища від температури.

Дифузійний тепловий потік моделюється з допомогою рівняння

$$q_i = -\left(\frac{\mu_i}{\mathrm{Pr}} + \frac{\mu_i}{\sigma_c}\right) c_P \frac{\partial T}{\partial x_k}, k = 1,2,3, \tag{2.2}$$

Для стискуваних середовищ (газів) використовується рівняння стану такого виду:

$$\rho = \rho(P, T, y), \tag{2.3}$$

де, $y = (y_1, y_2, ...y_N)$ – вектор концентрацій компонентів текучого середовища. Для газів використовується рівняння стану ідеального газу $\rho = P \big/ (RT)$, де R – газова стала модельованого газу, яка для суміші газів визначається як $R = R_{унів.} \sum_{i=1}^{N} \frac{y_i}{M_i}$, де M_i – молекулярна маса і-го компоненту газу.Для врахування залежності від температури використовується рівняння

$$\rho = \left[\sum_{i=1}^{N} \frac{y_i}{\rho_{0i}} \left(1 + \beta_{Ti}\left(T - T_0\right)\right)\right]^{-1},$$

де β_{Ti} – коеф. об'ємного теплового розширення і-го компонента, ρ_{0i} – густина *i*-го компонента при деякій температурі T_0.

Вплив гравітації моделюється з допомогою члена S_i, що входить в (2.1) як зовнішня масова сила :

$$S_i = -\rho g_i, \tag{2.4}$$

де g_i –*i*-та складова (вздовж *i*-тої осі системи координат) вектора гравітаційного прискорення.

Одночасно з моделюванням дифузії тепла в текучому середовищі (2.1,2.2) моделюється також теплопередача в твердих тілах з допомогою рівняння

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i}\right) + Q_H, \qquad (2.5)$$

де, $e = cT, c$ – питома теплоємність, T – температура, λ – теплопровідність, Q_H – тепло, що виділяється джерелом тепла в одиничному об'ємі текучого середовища.

Значний інтерес для нашого випадку становлять двофазні середовища, а саме потік газу із частинками рідини – краплями. Двофазні потоки середовища із рідкими 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. Коефіцієнт опору частинок розраховується за формулою Хендерсона для не розріджених і розріджених, до- транс- і надзвукових, ламінарних, перехідних і турбулентних умов обтікання частинок.

Для знаходження розв'язку задачі (після задання початкових та граничних умов) безперервна нестаціонарна математична модель дискретизується як за простором, так і за часом. Для цього вся розрахункова область покривається сіткою, грані чарунок якої паралельні до координатних площиндекартової системи координат. Сітка генерується автоматично з можливістю впливу на розміри чарунок для покращення точності розрахунку. Розрахунки здійснюються методом скінченних об'ємів.

2.2. Постановка задачі

Необхідно визначити параметри двофазного середовища (повітря + розпилена вода), які будуть оптимальними для осадження диму, охолодження приміщення та мати сприятливу (допустиму) вологість.

Спроектуємо в SolidWorks модель кімнати із внутрішніми розмірами 6000x4500x2500 мм із стінами товщиною 250 мм (рис. 2.1). Посередині кімнати розмістимо джерело тепла розмірами 630x630 мм на висоті 250 мм. Вхідний отвір розмістимо внизу кімнати симетрично до її довжини під кутом 30°. Діаметр вхідного отвору 300 мм. Вихідний отвір виконаємо в правому куті кімнати перпендикулярно до її довжини (вбік). Площа вихідного отвору є вдвічі більшою від площі вхідного. Тому його діаметр становить 425 мм.

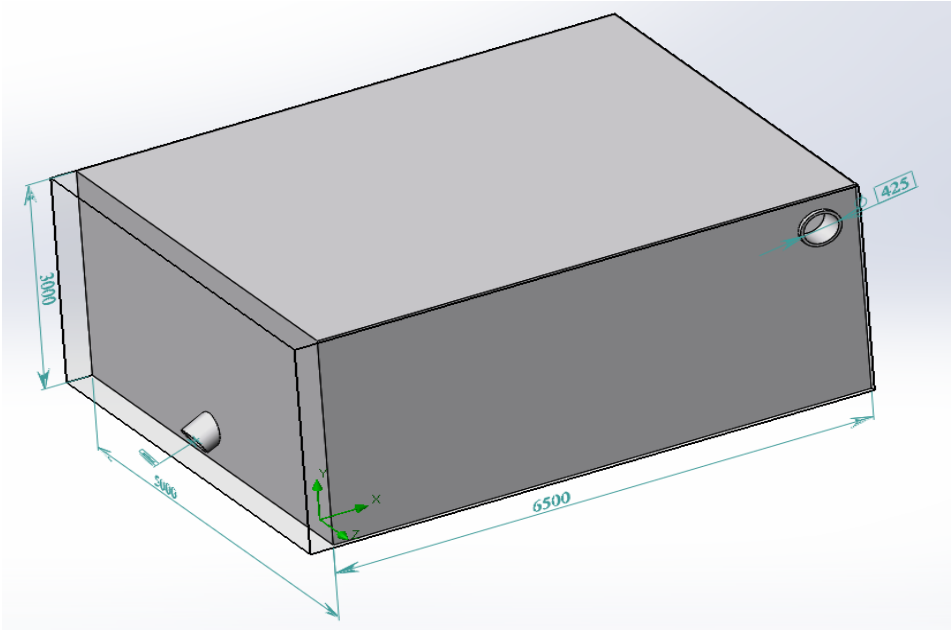


Рисунок 2.1 – Модель кімнати в середовищі COSMOSFloWorks

Матеріалом стін кімнати призначимо кераміку (база матеріалів SolidWorks). Матеріал ізолятора під джерелом тепла теж кераміка. Матеріал джерела тепла – сталь.

Оскільки результати досліджень зручно розглядати як картину (хромограму) на перерізі то призначимо (виконаємо) два таких перерізи. Перший

переріз (рис.2.2) виконаємо поздовжньо симетрично до вхідного отвору, а другий – поперечно симетрично до вихідного (рис. 2.3) отвору.

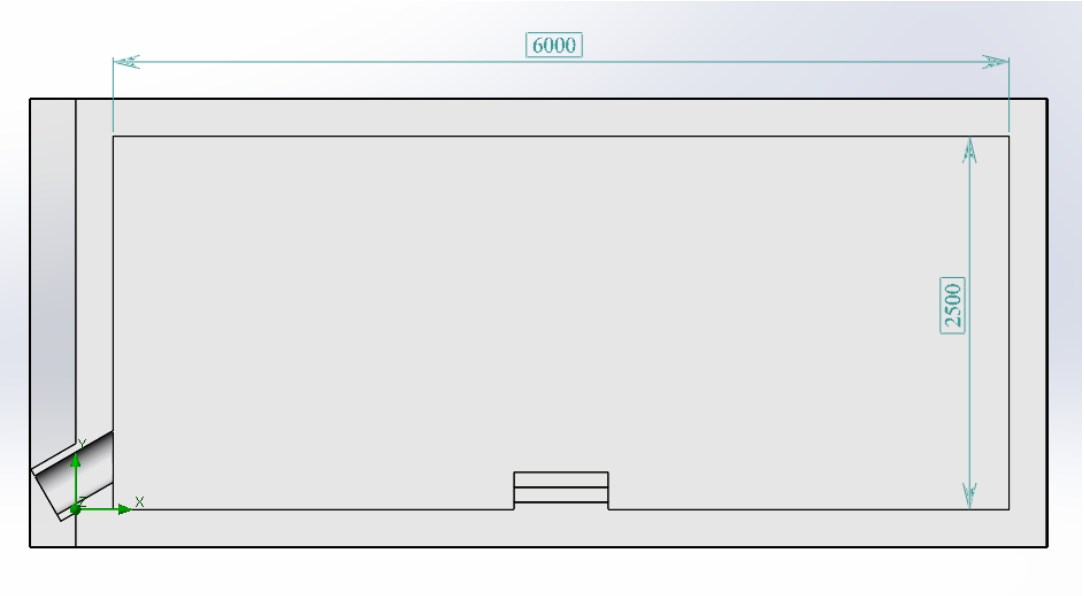


Рисунок 2.2 –Модель кімнати в поздовжньому перерізі

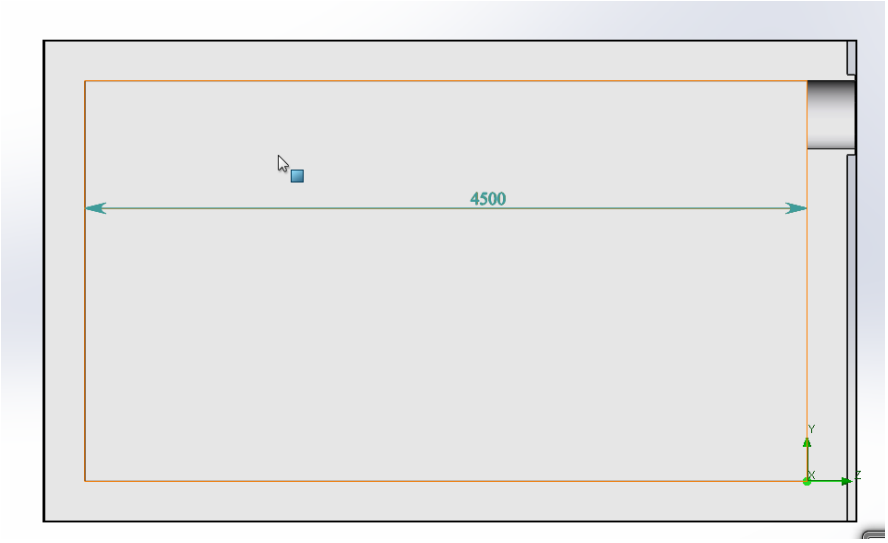


Рисунок 2.3–Модель кімнати в поперечному перерізі

Початкові та граничні умови. Призначимо температуру джерела тепла 850 К, а потужність його необмежену, тобто температура джерела буде незмінною. Початкову температуру стін та середовища приймемо рівною 293,2 К (за

замовчуванням), а відносну вологість повітря 100%. Атмосферний тиск становить 101325 Па (за замовчуванням).

Початкові умови визначимо із такого розрахунку. Запустимо математичну модель із такими граничними умовами: на вході – тиск 101325 Па, вологість 100%; на виході– тиск 101325 Па; всередині – температура джерела тепла 850 К.

В загальних налаштуваннях відмітимо розрахунок теплопровідності твердих тіл, радіаційний теплообмін та «ввімкнемо» гравітацію.

Мета розрахунку визначається цілями. В меню «цілі розрахунку» встановимо масові витрати середовища, середню температуру стінок та тепловий потік. Це означає, що розрахунок триватиме до тих пір, допоки цілі будуть змінюватися, тобто масові витрати на вході і виходу мають стати незмінними, а середня температури теж повинні бути без змін, або ці зміни повинні відбуватися в межах похибки. Тобто повинен встановитися стаціонарний процес.

Результати розрахунку представлені на рисунках 2.4. – 2.7.

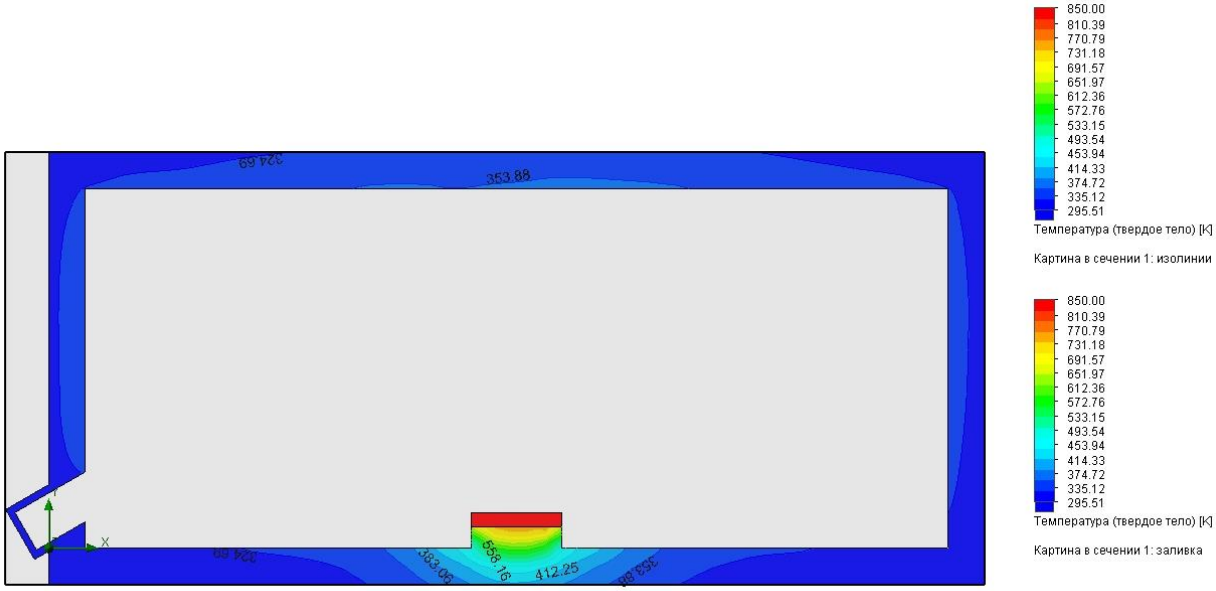


Рисунок 2.4а –Хромограма розподілу температури в твердих тілах моделі

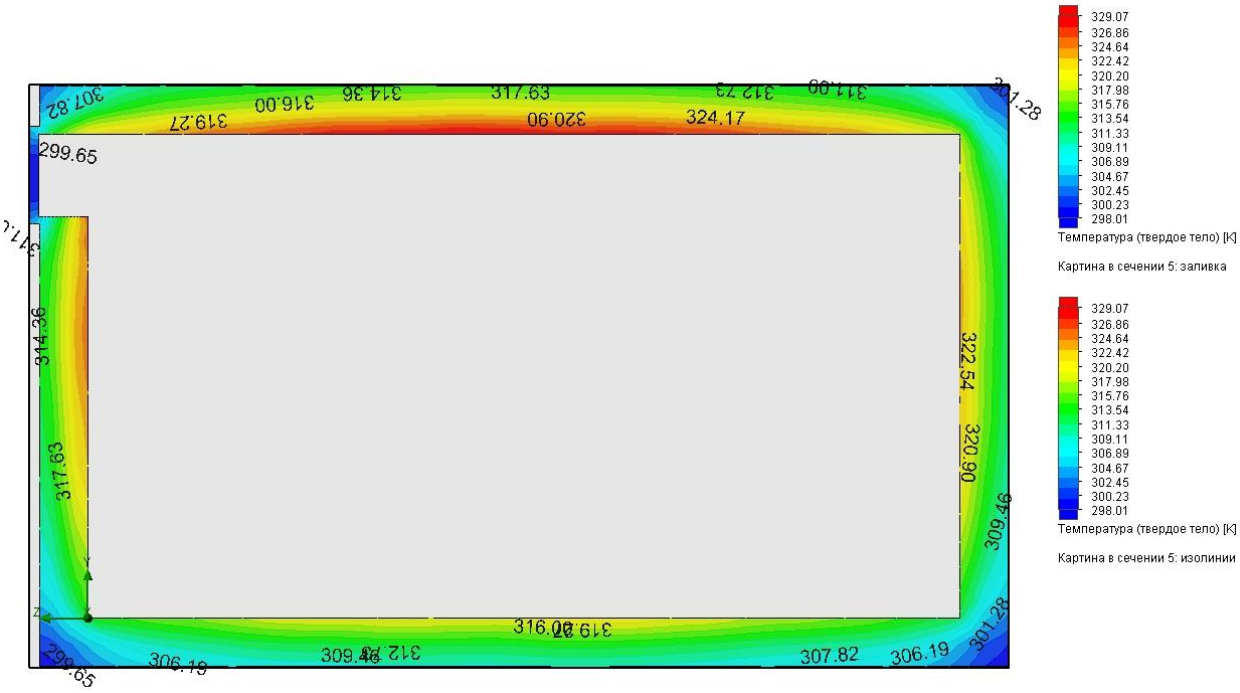


Рисунок 2.4б–Хромограма розподілу температури в твердих тілах моделі

На рисунку 2.4а представлено хромограму температури твердих тіл моделі. Причому на рис.4а представлено хромограму в поздовжньому перерізі (симетрично входу), а на рисунку2.4б в поперечному (симетрично виходу).

Як видно із рисунка, стінки кімнати в цілому прогрілися до температури 325 К, однак над джерелом тепла стеля прогрілася більше, до 354 К і зона прогріву дещо змістилася від центра до вихідного отвору, що свідчить про добру точність розрахунків. Найбільше, звичайно, прогрівся ізолятор (730 К) та стінка під ним (560 К). В поперечному перерізі стінка прогрілася до температури 329 К.

Аналогічним чином визначимо температуру рухомого середовища – вологого повітря, яке повинно рухатися під дією гравітації (вільний газообмін) із входу на вихід.

Хромограми відповідних розрахунків у двох перерізах представлено на рисунках2.5а та 2.5б.

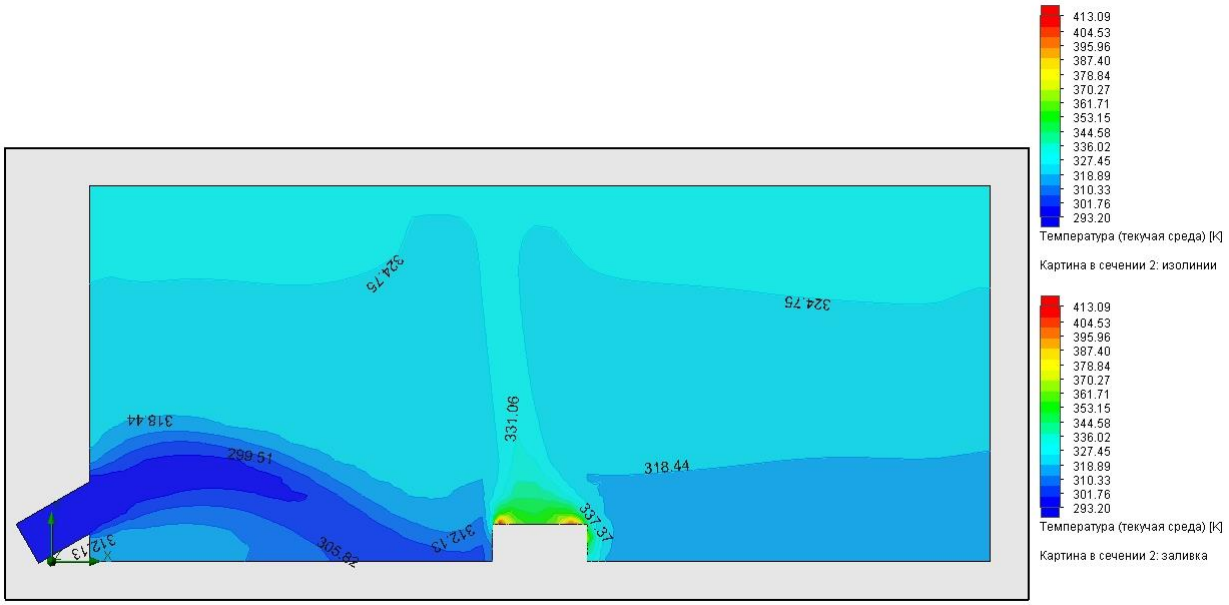


Рисунок 2.5а –Хромограма розподілу температури в середовищі моделі

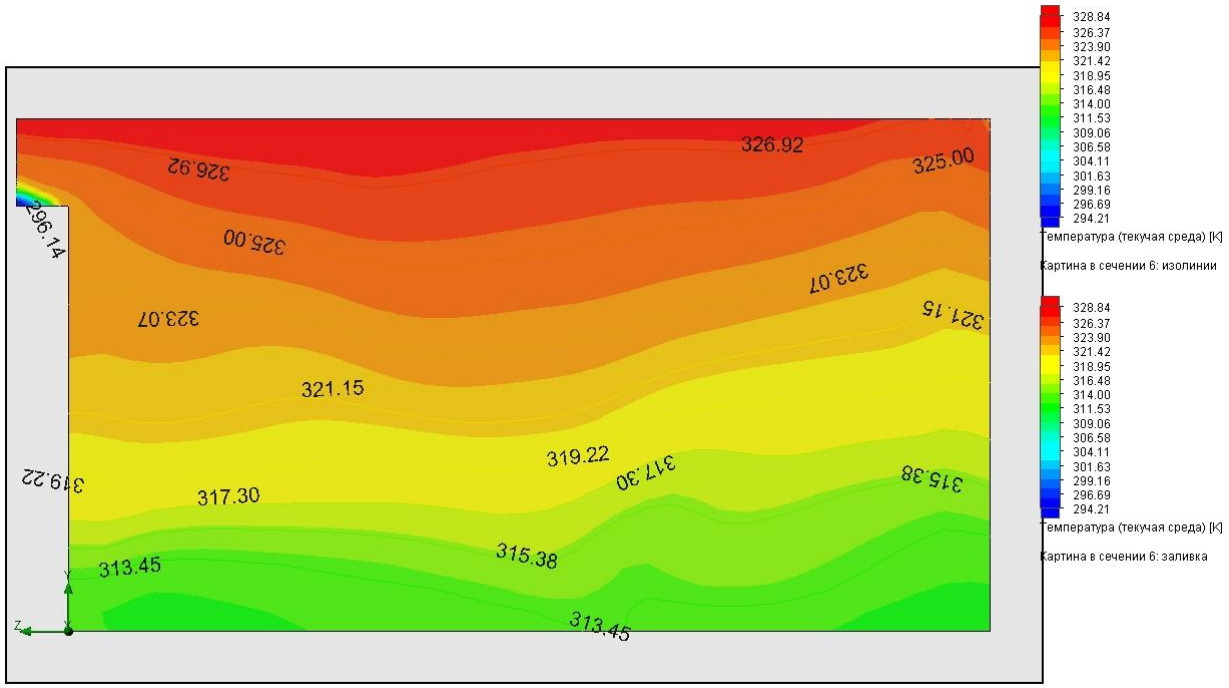


Рисунок 2.5б– Хромограма розподілу температури в середовищі моделі

Як видно із рисунку 2.5а, холодне повітря заходить із входу, переміщується до джерела тепла, нагрівається там (413 К) і переміщується вверх. Тобто відбувається конвективний теплообмін, який приводить до охолодження стелі та нагрівання повітря.

В поперечному перерізі (рис. 2.5б) гаряче повітря (329 К) по стелі переміщується на вихід.

Хромограма швидкостей руху вологої повітряної маси представлена на рисунках 2.6а та 2.6б.

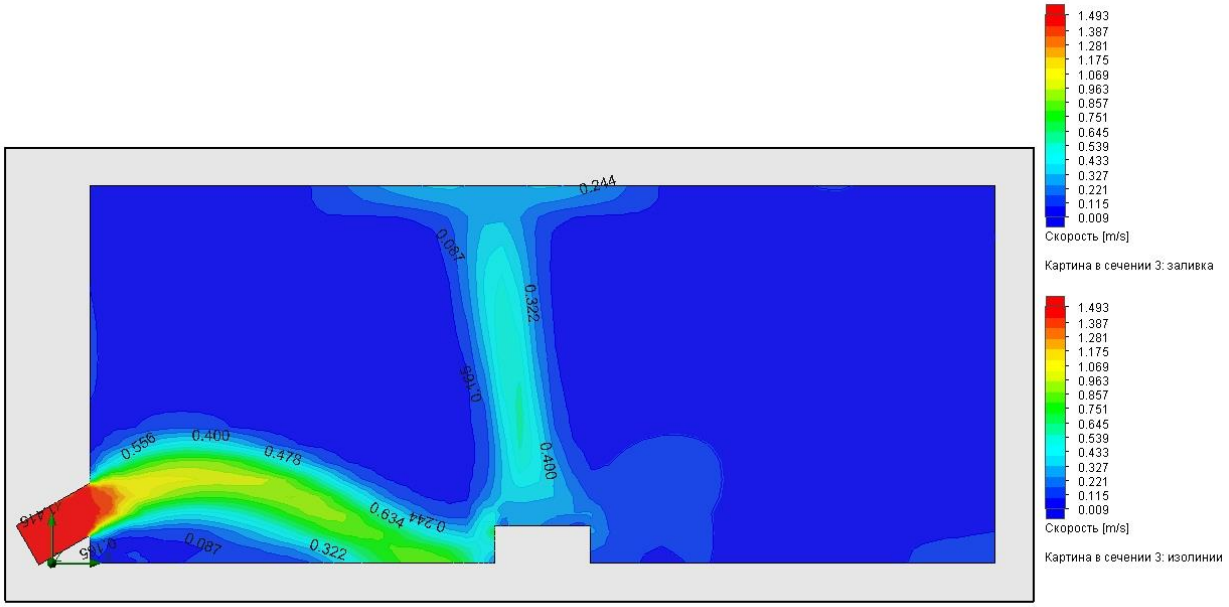


Рисунок 2.6а – Хромограма розподілу швидкості середовища

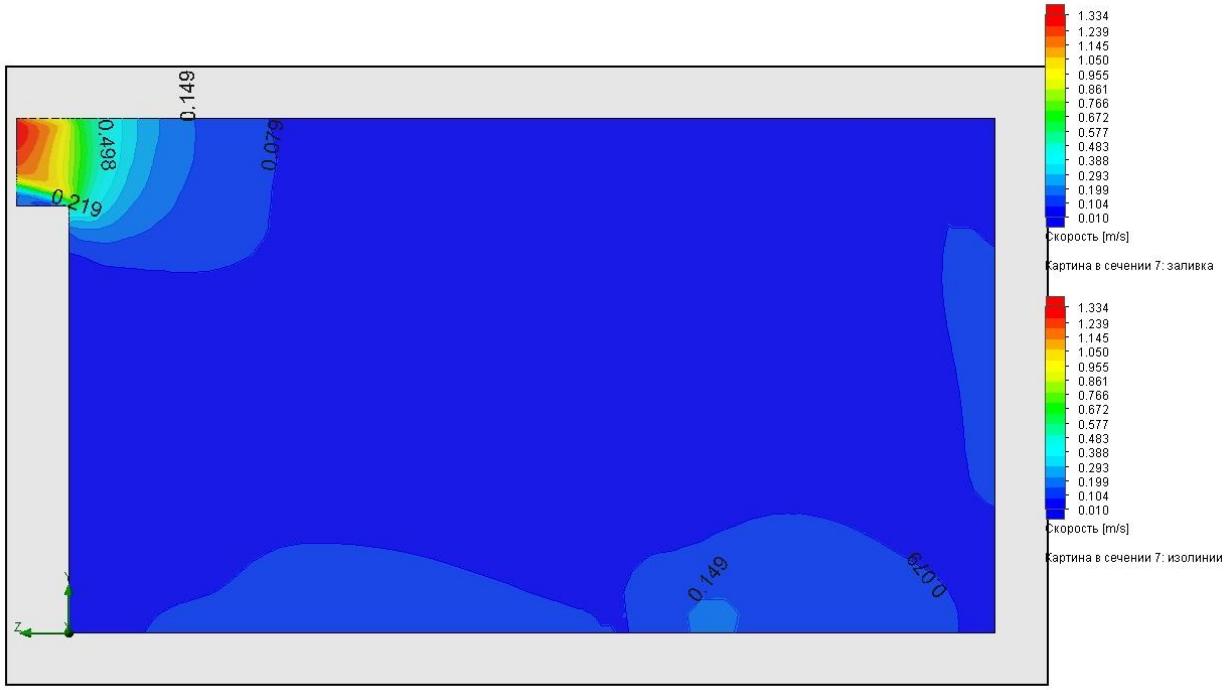


Рисунок 2.6б– Хромограма розподілу швидкості середовища

Як зображено на рисунках 2.6а та рис. 2.6б, швидкість повітря на вході є максимальною (1,5 м/с). Потік прямує до джерела тепла і завертає вгору, причому швидкість потоку постійно зменшується. На виході із кімнати (рис. 2.6б) рух повітря пришвидшується і досягає максимуму(1,33 м/с) у вихідному отворі.

Хромограми розподілу відносної вологості середовища представлено на рисунках–2.7а та 2.7б.

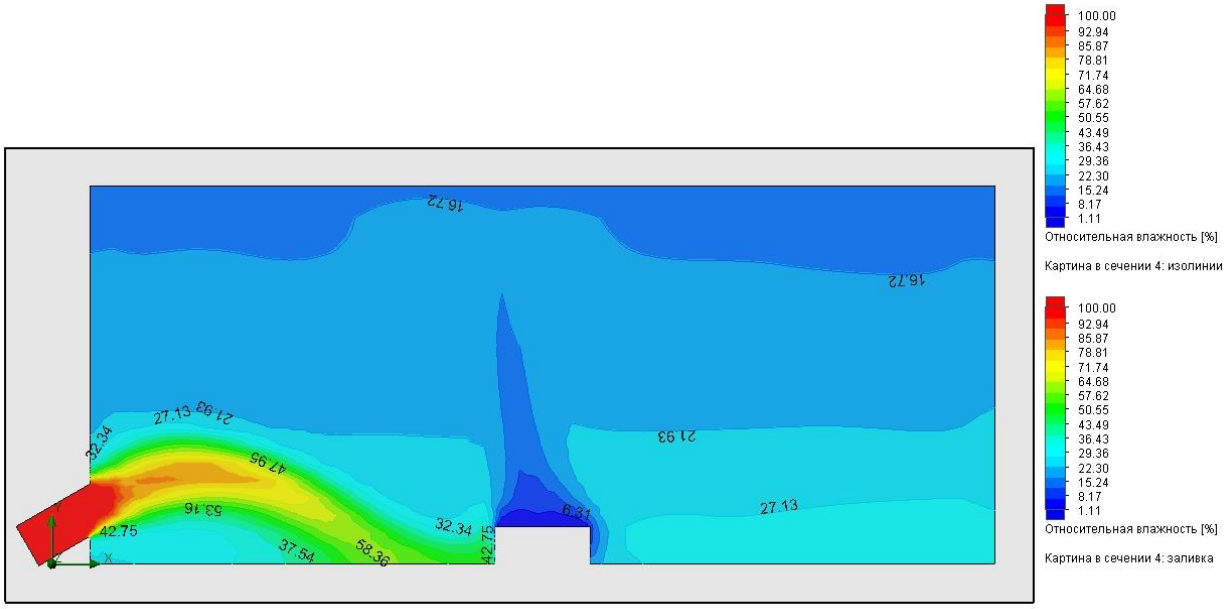


Рисунок 2.7а –Хромограма розподілу відносної вологості середовища

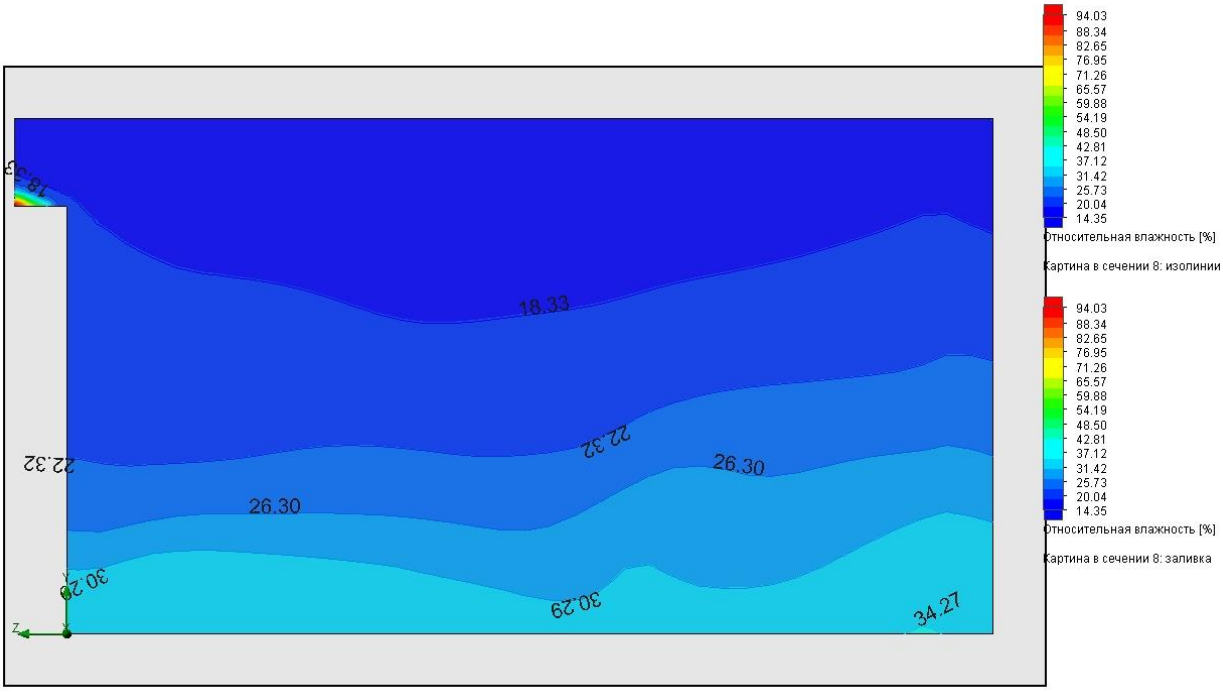


Рисунок 2.7б–Хромограма розподілу відносної вологості середовища

Як видно із рисунку 2.7а вологе повітря переміщується в зону джерела тепла, підсушується (1%) і переміщується вверх. Конвективний потік змішує його із вологим і транспортує вверх.

На виході моделі (в поперечному перерізі) спостерігається ламінарнрй рух мас і підсушене повітря (18%) виходить на зовні. Однак у вихідному отворі (внизу) спостерігається конденсація вологи, що свідчить про добру точність розрахунків, оскільки саме там відбувається падіння швидкості руху (рис. 2.6б).

Результати цих розрахунків і будуть використовуватися нами в якості початкових умов, тобто подальші розрахунки починатимуться із вмикання вентилятора повітря та форсунки із розпиленою водою, які впливатимуть як на термодинамічні параметри моделі так і на осадження диму.

Що стосується процесу осадження диму то взаємодія різних фракцій двофазного (трифазного) середовища між собою на сьогоднішній день в середовищі COSMOSFloWorks ще не вирішується. Розглядається тільки взаємодія рідкої (твердої) фази лише із твердими тілами (стіни, стеля, підлога, поверхня джерела тепла). Тому ми в цій моделі будемо визначати найкращі (оптимальні) параметри двофазного потоку з точки зору їх можливої взаємодії із твердими частинками диму – тривалість польоту краплі та максимальну довжину траєкторії краплі. Виходячи із цього моделювання руху третьої фази (диму) є недоцільним.

Моделювання руху крапель в повітряному потоці задається їх початковою температурою, розміром крапель та масовими витратами води. Приймемо початкову температуру води рівну початковій температурі повітря, масові витрати 0,1 кг/с, що є близьким до експериментальних досліджень, а фракції крапель води розділимо на три діапазони: – дрібні (125 мкм), середні (250 мкм) та важкі (500 мкм).

Продуктивність вентилятора змінюватимемо в діапазоні реальних продуктивностей вентиляторів, а саме від 3600 $м^3$/год до 7200 $м^3$/год, або відповідно від 1 $м^3$/с до 2 $м^3$/с через 0,25 $м^3$/с.

Результати досліджень моделі із продуктивністю вентилятора 1,5 $м^3$/с представлено на рисунках2.8 – 2.11.

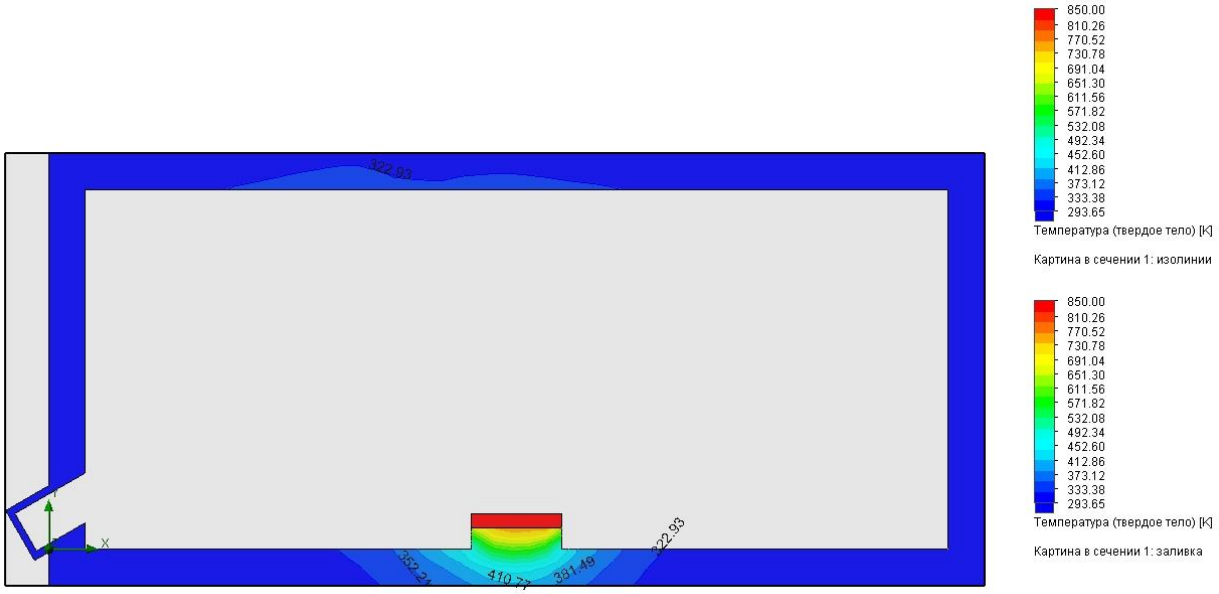


Рисунок 2.8а –Хромограма розподілу температури в твердих тілах моделі

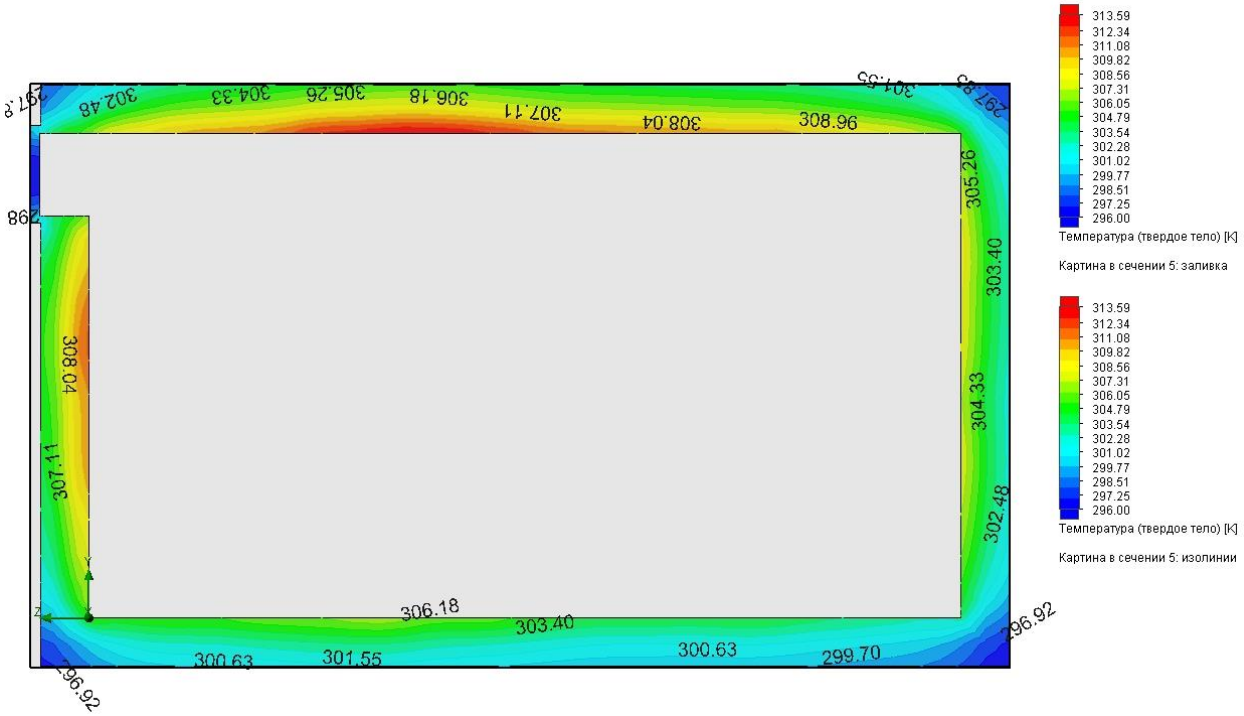


Рисунок 2.8б–Хромограма розподілу температури в твердих тілах моделі

Як видно із рисунків 2.8а,б стеля охолодилася від 350 К до 323 К над джерелом тепла та від 329 К до 313 К біля вихідного отвору.

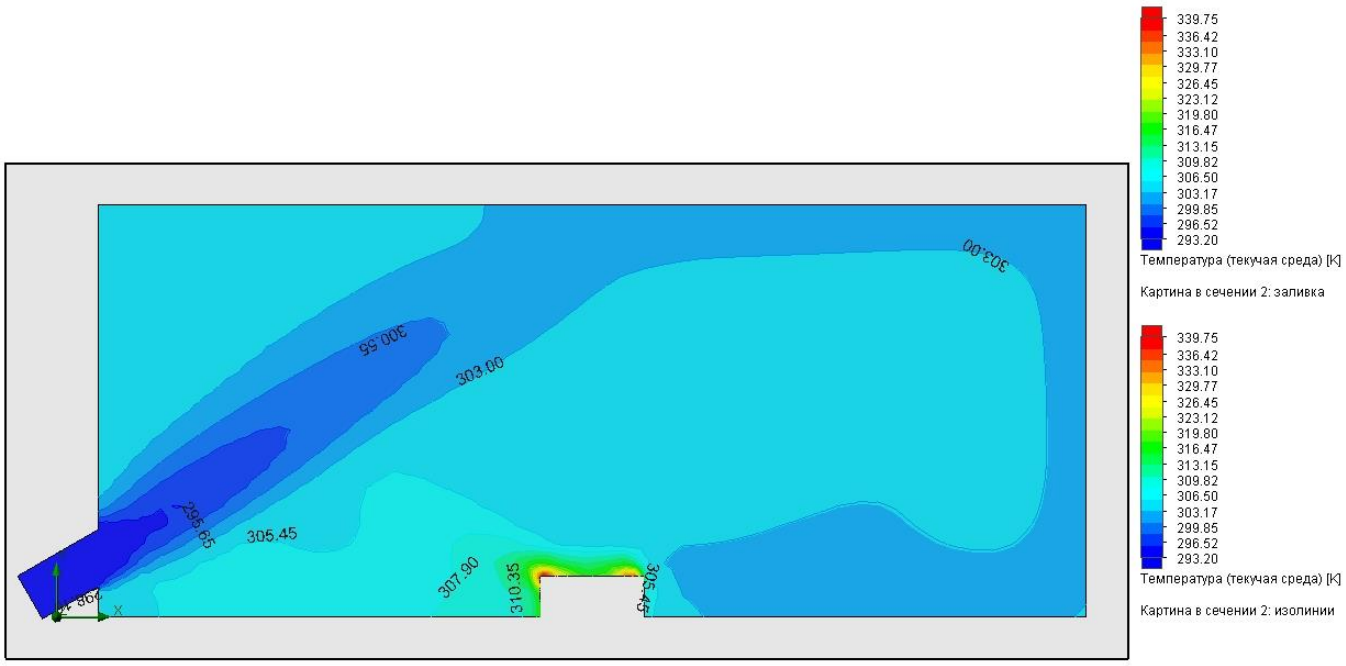


Рисунок 2.9а – Хромограма розподілу температури в середовищі моделі

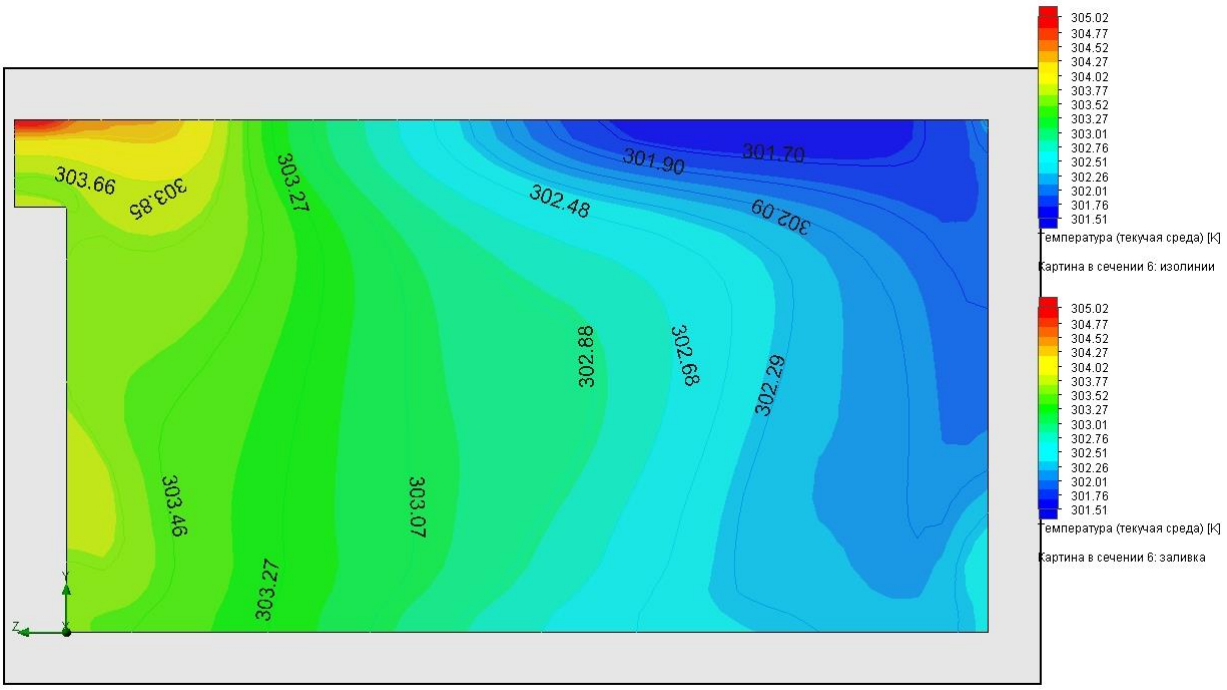


Рисунок 2.9б– Хромограма розподілу температури в середовищі моделі

Максимальна температура вологого повітря знизилася від 413 К до 340 К біля джерела тепла, а також від 329 К до 305 К на виході.

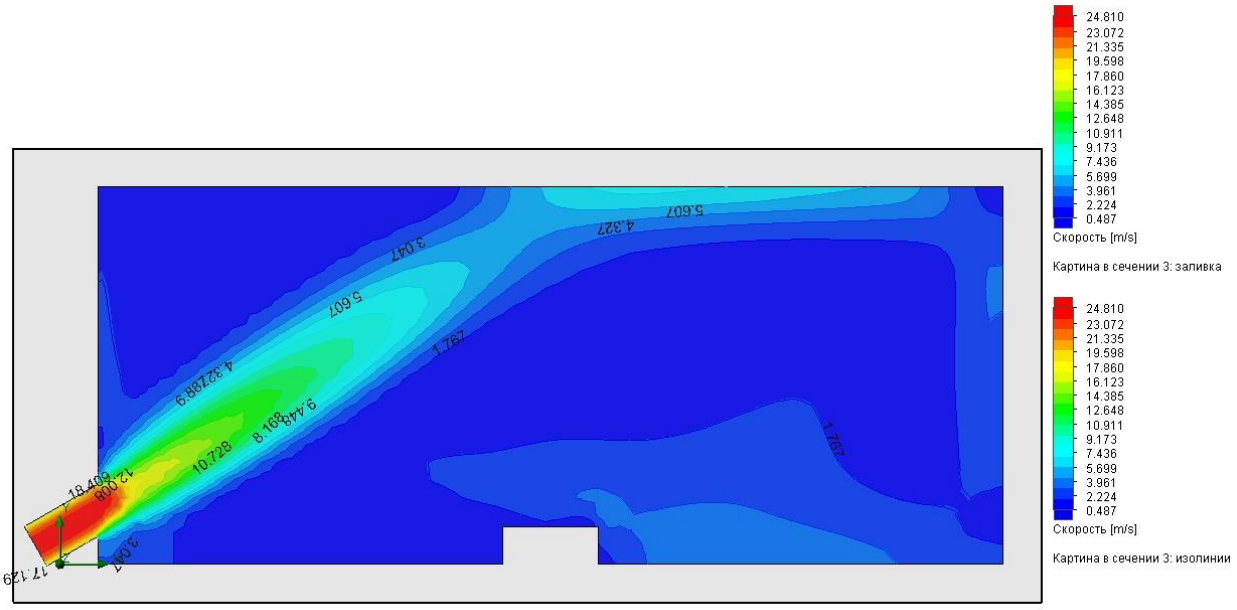


Рисунок 2.10а – Хромограма розподілу швидкості середовища

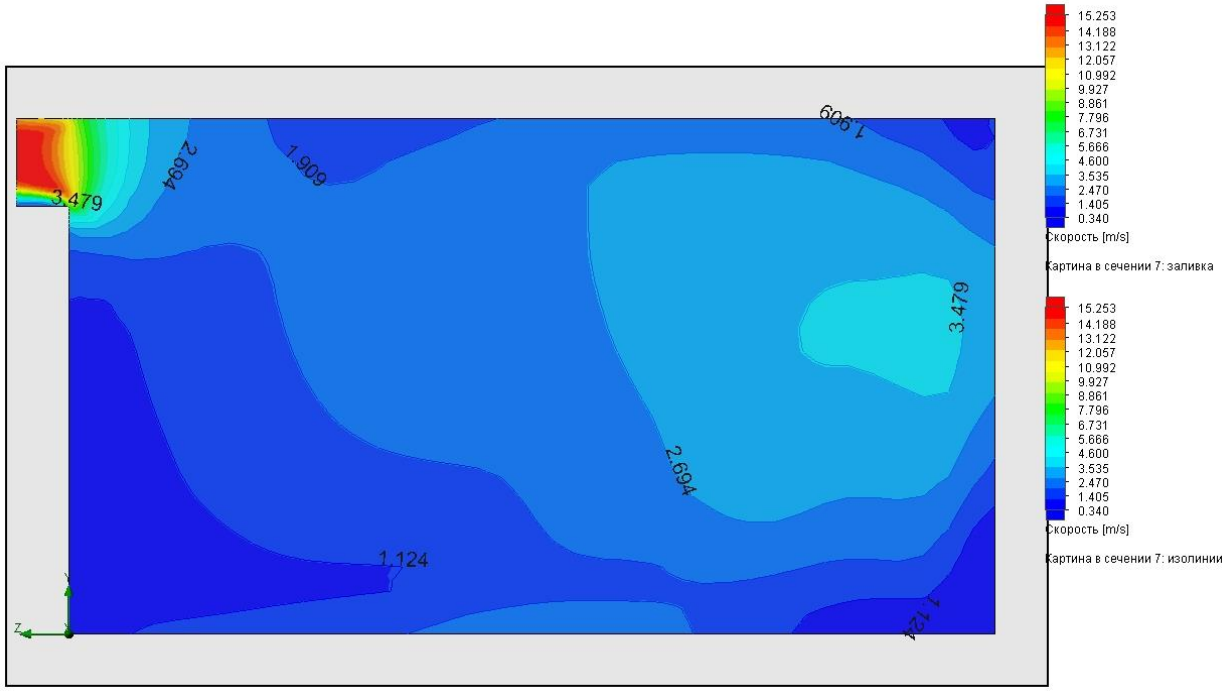


Рисунок 2.10б– Хромограма розподілу швидкості середовища

Швидкість переміщення повітря зросла від 1,5 м/с до 25 м/с на вході, та від 1,3 м/с до 15 м/с на виході.

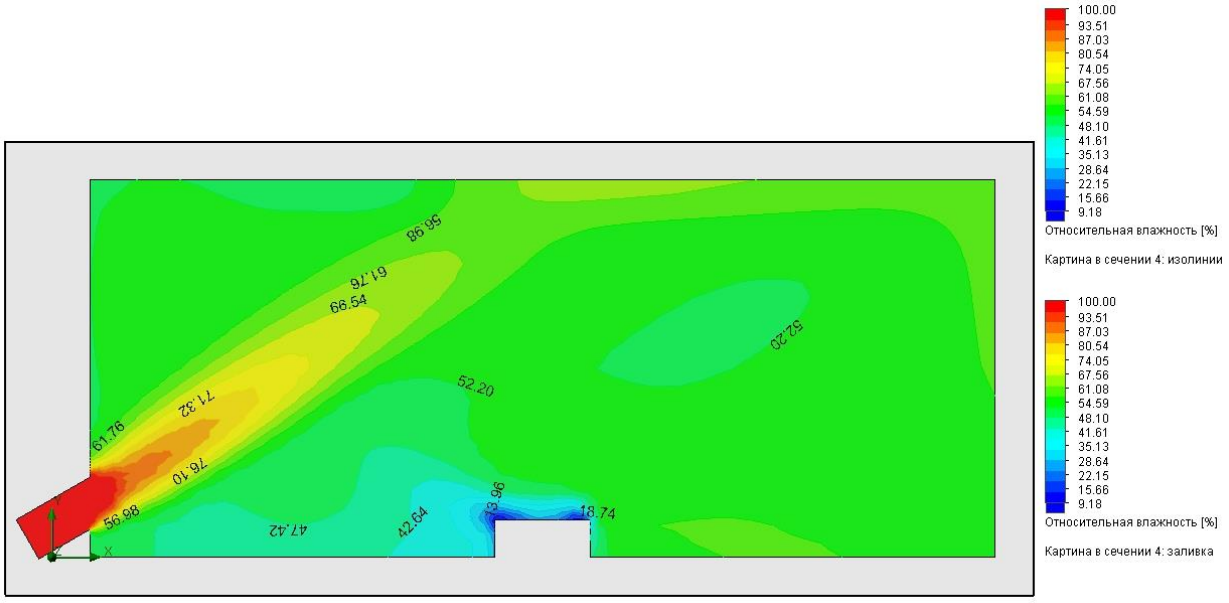


Рисунок 2.11а – Хромограма розподілу відносної вологості середовища

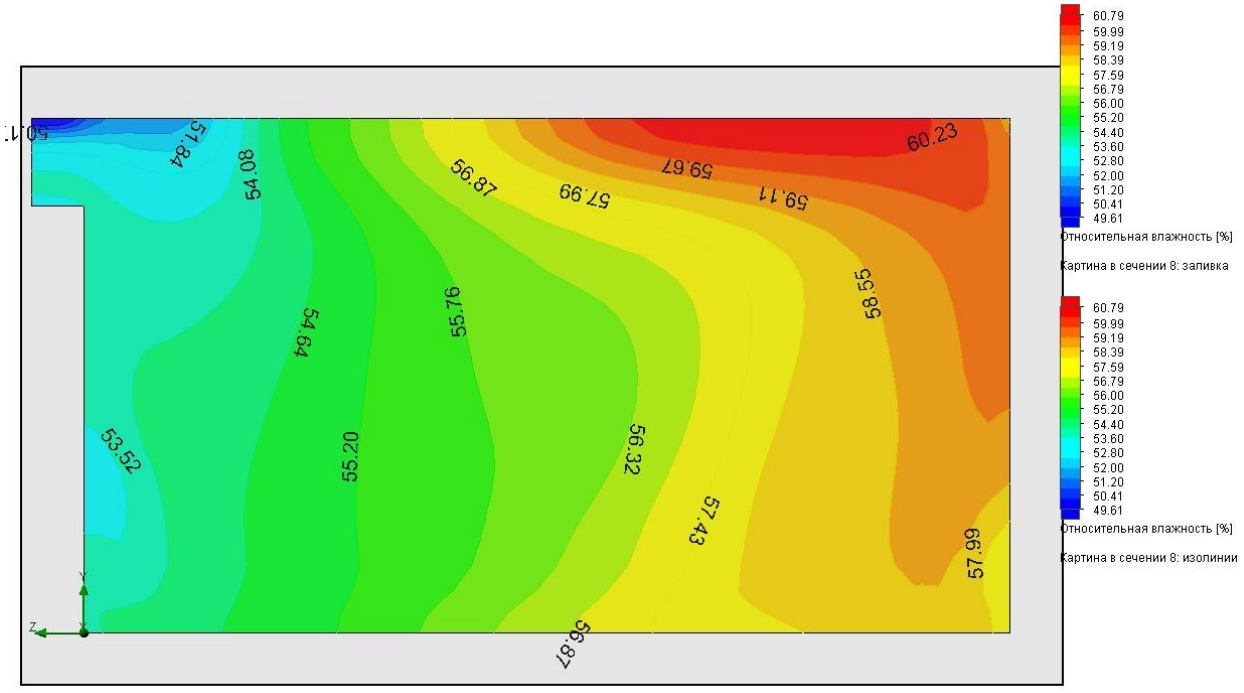


Рисунок 2.11б– Хромограма розподілу відносної вологості середовища

Відносна вологість повітря суттєво зросла. Якщо у випадку відсутності вентилятора основний об’єм кімнати знаходився в діапазоні 17 – 25 % , то вмикання вентилятора продуктивністю 1,5 м^3/с призводить до зростання вологості в цьому ж об’ємі до 52 – 55 %.

На рисунку2.12 представлено траєкторії польоту крапель води діаметром 250 мкм в масі повітря, що виходить із вентилятора.

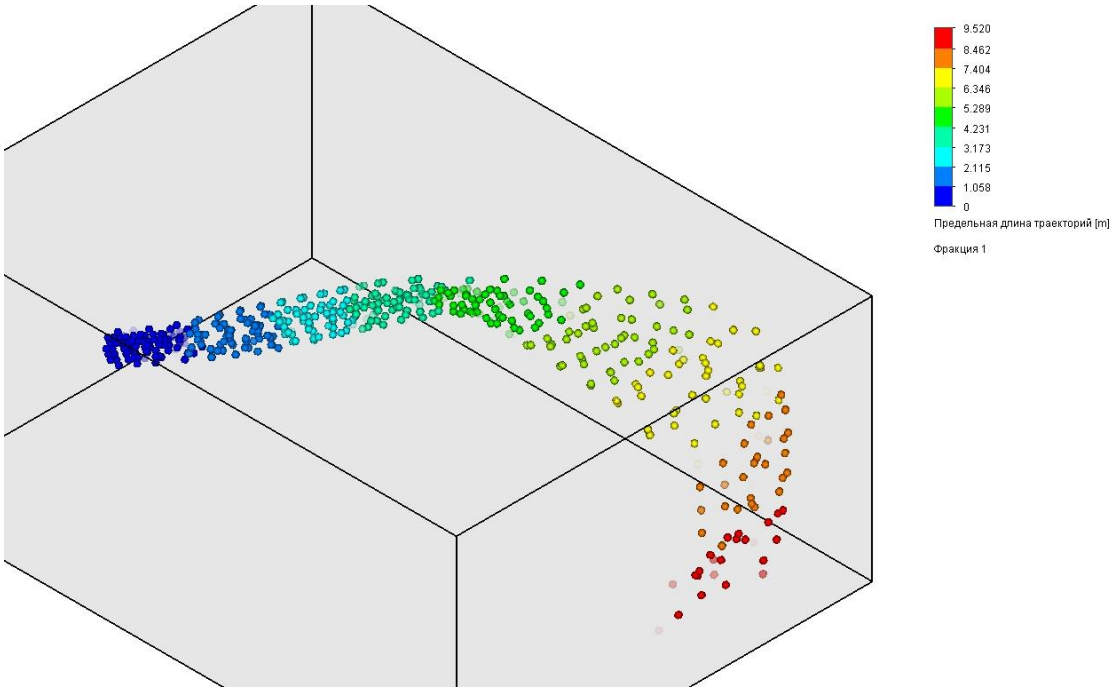


Рисунок 2.12а – Хромограма розподілу крапель води в потоці повітря(гранична довжина траєкторій)

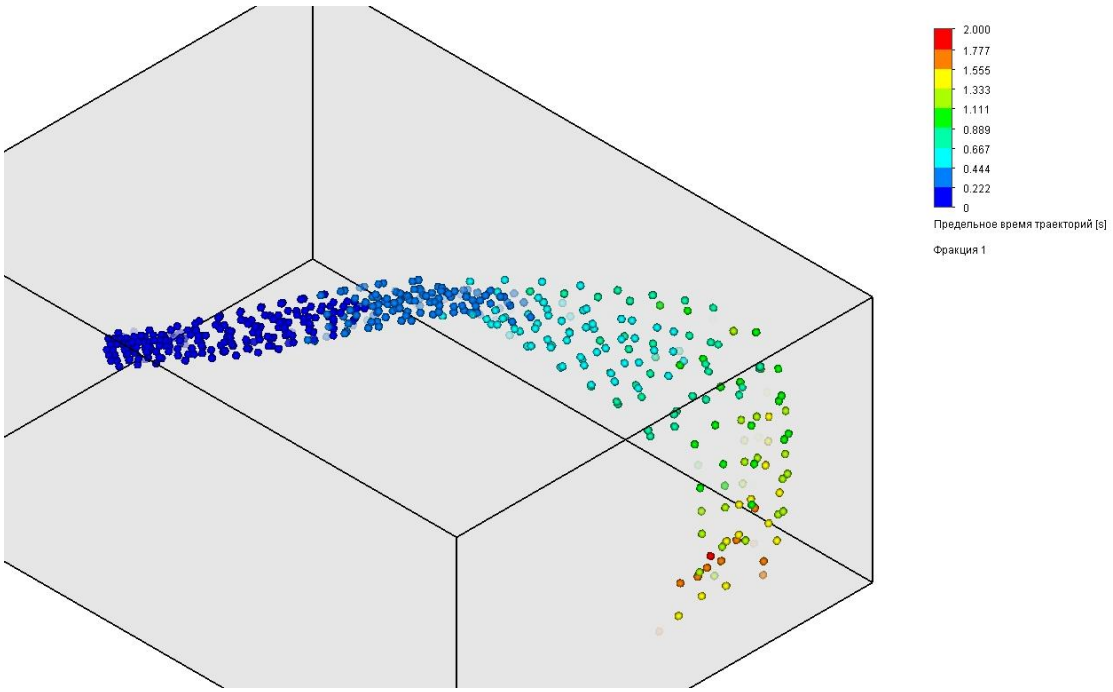


Рисунок 2.12б– Хромограма розподілу крапель води в потоці повітря(граничний час траєкторій)

Як видно із рисунку2.12а, краплі води, фракцією 250 мкм, мають максимальну довжину траєкторії 9,5 м. Після чого вона падають на стіну та підлогу кімнати.Тривалість польоту цих крапель (рис. 2.12б) становить 2 с.

Інші, доступні для аналізу дані щодо польоту крапель, такі як швидкість польоту та температура крапель корисної інформації не несуть, оскільки вони практично не відрізняються від аналогічних параметрів навколишнього середовища.

Для узагальнення даних, отриманих із математичного моделювання, побудуємо узагальнені графіки.

На рисунку 2.13 представлено графічну залежність максимальної швидкості середовища від продуктивності вентилятора.

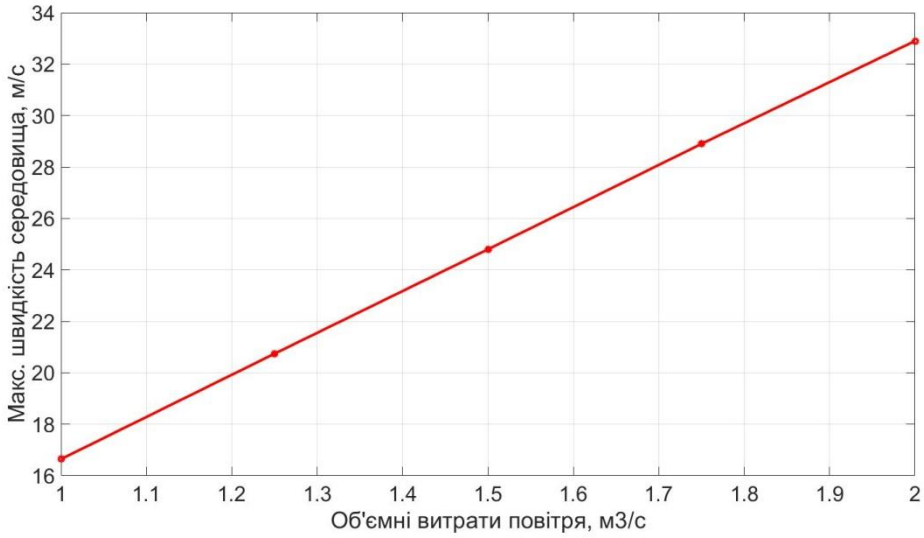


Рисунок 2.13 – Графічна залежність максимальної швидкості середовища від продуктивності вентилятора

Знаючи діаметр вентилятора можна визначити цю швидкість без математичного моделювання. Однак це буде адекватно для ламінарного та рівномірного по всій площі потоку. Однак в реальному потоці газу ця швидкість буде нерівномірною і більшою в центрі потоку. Наприклад для продуктивності

1,5 м^3/с вона становить 24,8 м/с замість 21,2 м/с, що вказує на добру адекватність моделі реальному фізичному процесу.

На рисунку2.14 представлено графічну залежність максимальної температури середовища від продуктивності вентилятора.

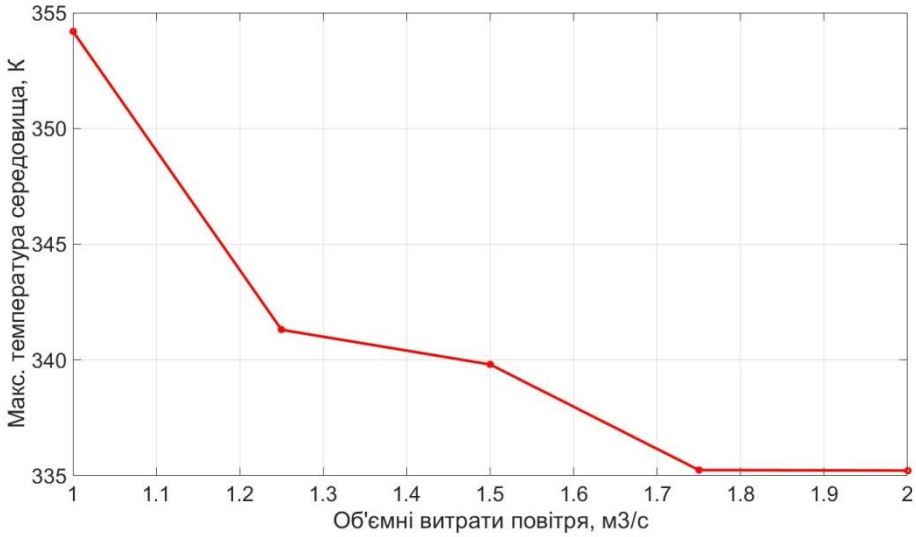


Рисунок 2.14– Графічна залежність максимальної температури середовища від продуктивності вентилятора

Як видно із рисунка2 .14, включення в роботу вентилятора призводить до значного охолодження середовища. Однак із збільшенням його продуктивності ця залежність зменшується і після значення 1,75 м^3/с процес охолодження середовища стабілізується. Тобто з точки зору охолодження приміщення збільшувати продуктивність вентилятора діаметром 300 мм вище значення 1,75 м^3/с недоцільно.

На рисунку2.15. представлено графічну залежність відносної вологості повітря від продуктивності вентилятора.

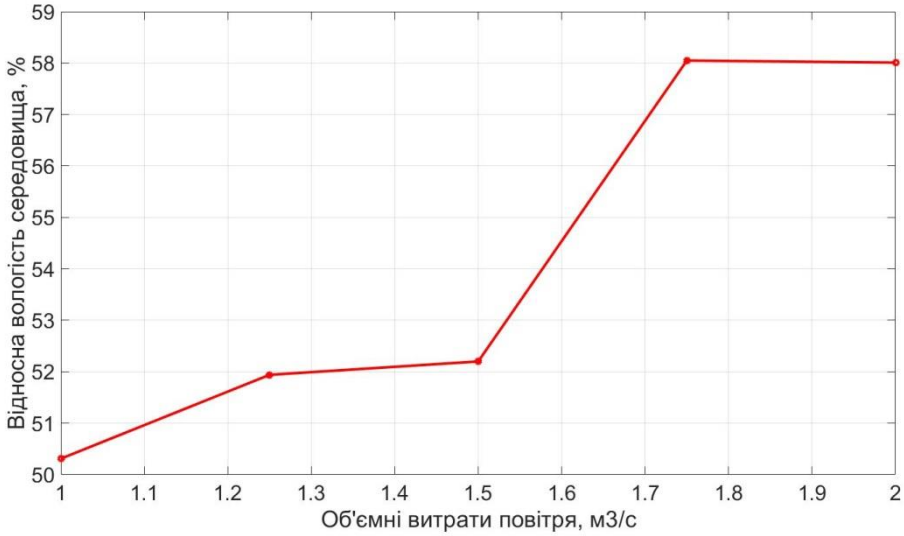


Рисунок 2.15– Графічна залежність відносної вологості середовища від продуктивності вентилятора

Як видно із рисунка 2.15, збільшення продуктивності вентилятора призводить до зростання вологості навколишнього середовища кімнати. Причому до значення 1,5 м^3/с це зростання є незначне, а в діапазоні 1,5 –1,75 м^3/с доволі значне, після 1,75 м^3/с зростання вологості взагалі не відбувається.

Враховуючи інформацію щодо охолодження (рис. 2.13.) оптимальним значенням продуктивності вентилятора слід вважати 1,5 м^3/с.

На рисунку 2.16 представлено графічну залежність максимальної довжини траєкторії польоту крапель води різних фракцій від продуктивності вентилятора. Як видно із рисунка, найбільші довжина траєкторій спостерігається у крапель дрібної фракції (125 мкм), але лише при низьких об’ємних витратах (малих швидкостях повітря). При вищих витратах вони швидше прилипають до стінок кімнати. Траєкторії фракцій крапель середнього розміру (250 мкм) набувають максимуму при середніх витратах (1,5 м/с). При зростанні швидкості повітря їх траєкторії теж вкорочуються.Траєкторії важких крапель (500 мкм) в даному діапазоні об’ємних витрат залишаються практично без змін (8,5 м).

Отже, для продуктивності вентилятора 1,5 м^3/с, оптимальною з точки зору довжини траєкторії буде фракція води із середнім розміром крапель (250 мкм).

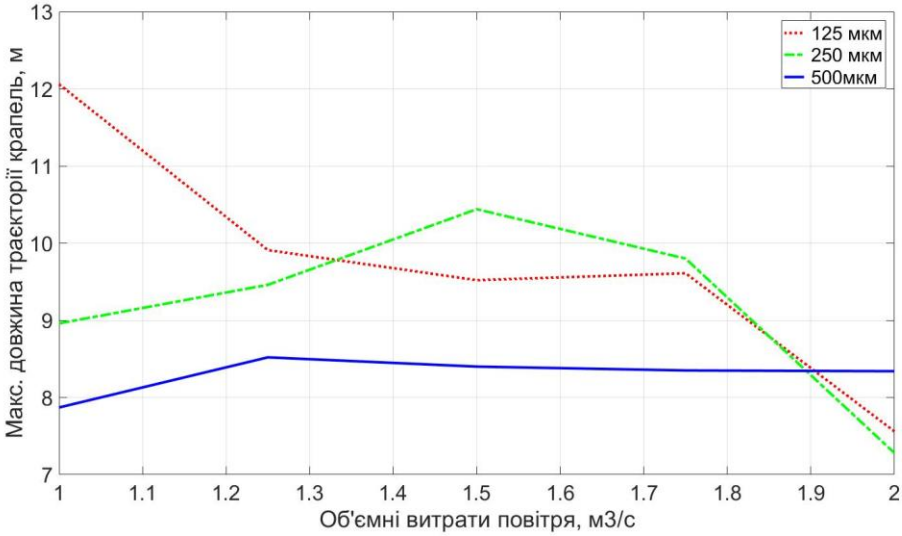


Рисунок 2.16– Графічна залежність максимальної довжини траєкторії крапель від продуктивності вентилятора

На рисунку 2.17 представлено графічну залежність тривалості польоту крапель води різних фракцій від продуктивнсті вентилятора.

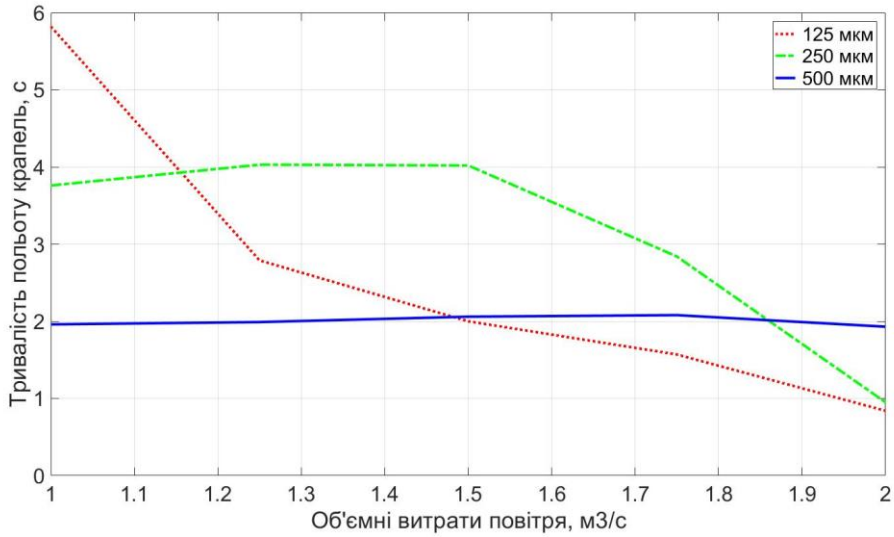


Рисунок 2.17– Графічна залежність тривалості польоту крапель від продуктивності вентилятора та їх діаметра

Як видно із рисунка 2.17, максимальна тривалість польоту спостерігається у крапель дрібної фракції, але вона швидко скорочується із ростом продуктивності вентилятора. Максимальна тривалість польоту фракцій середнього діаметра

лежить в діапазоні від 1,25 м^3/с до 1,5 м^3/с. Тривалість польоту крапель води великої фракції (500 мм) є незмінною в даному діапазоні зміни продуктивності і становить 2 с.

Отже, для продуктивності вентилятора 1,5 м^3/с, оптимальною з точки зору тривалості польоту буде фракція води із середнім розміром крапель (250 мкм).

На рисунку2.18 представлено графічну залежність відносної ефективності осадження диму від продуктивності вентилятора та діаметра крапель.

Під відносною ефективністю осадження диму будемо розуміти добуток тривалості польоту краплі на довжину її польоту, адже чим більшою буде як довжина польоту краплі так і її тривалість, то тим кращими будуть умови для взаємодії краплі води із частинками диму. Оцінку цього процесу будемо здійснювати відносно найбільшого значення добутку обох значень

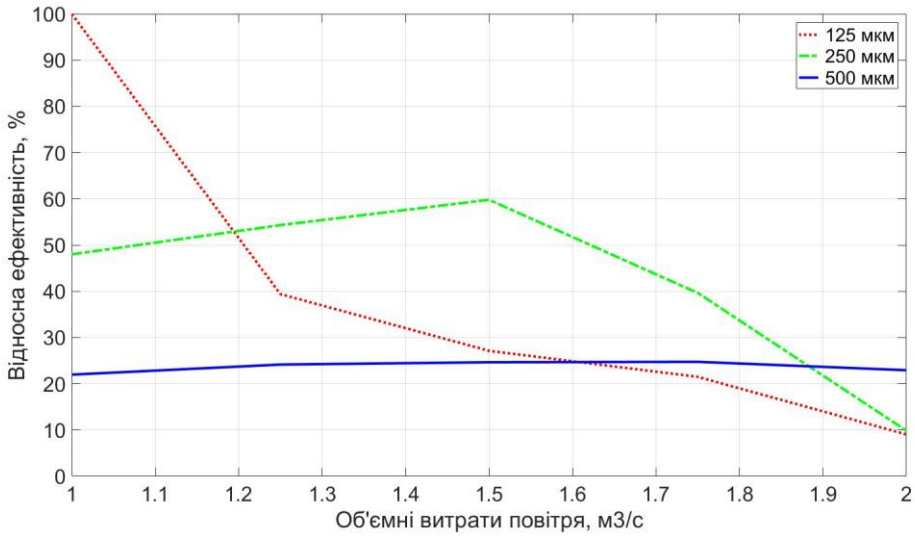


Рисунок 2.18– Графічна залежність відносної ефективності осадження диму від продуктивності вентилятора та діаметра крапель

Як видно із рисунку2.18, для об’ємних витрат повітря 1,5 м^3/с найкращою відносною ефективністю для осадження диму будуть володіти краплі води середнього діаметра (250 мм), а ефективність дрібних та крупних фракцій буде вдвічі меншою.

2.3. Висновки за розділом

2.3.1. Як показує аналіз розрахунків математичної моделі осадження диму тонкорозпиленою водою, що транспортується повітряним потоком та їх порівняння із аналогічними відомими процесами встановленими іншими методами та дослідниками, дана математична модель адекватно описує реальний фізичний процес протікання повітряно-водяної суміші через гаряче приміщення.

2.3.2. Оптимальна швидкість повітряного потоку вентилятора з точки зору максимального зниження температури в кімнаті та мінімального піднімання в ній відносної вологості є близькою до 25 м/с, що в перерахунку на вентилятор діаметром 300 мм відповідає його об’ємним витратам 1,5 $м^3$/с (продуктивність 5400 $м^3$/год).

2.3.3. Для найбільш ефективного осадження диму повітряно-водяним струменем швидкістю 25 м/с оптимальною буде фракція води продуктивністю 0,1 кг/с із середнім розміром крапель (250 мкм).

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ ДИСПЕРСНОСТІ ЧАСТИНОК ТОНКОРОЗПИЛЕНОЇ ВОДИ В РІЗНИХ ТОЧКАХ СТРУМЕНЮ РОЗПИЛУ З ФОРСУНКИ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

3.1. Мета проведення експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень є визначення дисперсності крапель тонкорозпиленої води (далі ТРВ) в залежності від діаметру вихідного отвору татиску подачі водифорсунок типу –повний конус (далі форсунка) в лабораторних умовах[31-36,66-68].

Для досягнення мети потрібно вирішити такі задачі:

- визначити вплив діаметру вихідного отвору форсунокна дисперсність крапель ТРВ;
- визначити оптимальний тиск подачі води на форсункита його вплив на дисперсність крапель ТРВ.

Експериментальні дослідження проводились згідно розробленої методикипроведення вогневих випробувань для систем пожежогасіння тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами в лабораторії УкрНДІЦЗ ДСНС України [64].

3.2. Обладнання та прилади для виконання експериментальних досліджень в лабораторних умовах

У європейських нормах [65] наведено основні вимоги до проведення випробувань розпилювачів, за результатами яких визначають параметри, що характеризують дисперсність тонкорозпиленої водної вогнегасної речовини.Загальна схема та вузли пробовідбірника показано на рисунку 3.1.

Принцип відбору проб крапель для подальшого вимірювання їх дисперсності полягає у тому, що пробовідбірник влаштовують під зрошувачем установки з визначення відносної вогнегасної ефективності на відстані 30 см (± 2 см). Після чого відкривають запірний кран установки 12 і починається подача тонкорозпиленоїводи через зрошувач 11.Після ручного включення електричної

кнопки 8 пробовідбірника спрацьовує електромеханічний привід і захисна кришка 3 повністю відкриває ємкість 3 на 0,5 сек і тонкорозпилені краплі води починають потрапляти на поверхню робочої суміші. Після закінчення заданого проміжку часу (0,5 с.), кришка автоматично повертається у своє вихідне положення, повністю закриваючи чашку.

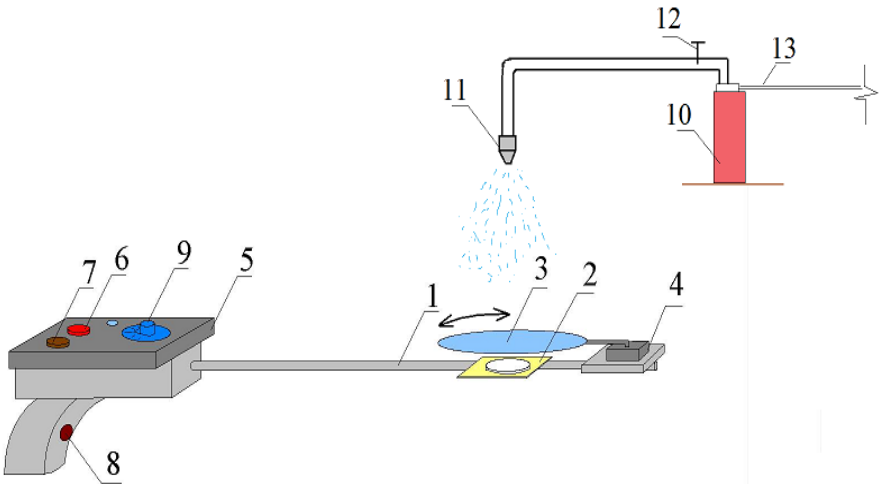


Рисунок 3.1– Загальна схема пробовідбірника крапель ТРВ:1 – подовжувальна штанга; 2 - фіксатор ємкості для збору ТРВ, 3 – механічна поворотна захисна кришка; 4 – механізм електроприводу повороту захисної кришки; 5 – електронний блок управління роботи електроприводу на малогабаритному акумуляторі; 6 – кнопка ввімкнення живлення; 7- кнопка живлення приводу захисної кришки; 8- кнопка увімкнення приводу захисної кришки; 9 - регулятор часу (експозиції) відкривання захисної кришки для ємкості; 10 - випробувальний прилад на базі вогнегасника ВВ-9; 11 - насадок-розпилювач; 12 – запірний кран; 13 – трубопровід нагнітання тиску від компресора

Пробовідбірник видаляють із під потоку тонкорозпиленого струменю води, з нього знімають ємкість 2, встановлюють її на столик мікроскопа типу МБС–9 оснащеного цифровою фотокамерою «Levenhuk C310» та фотографують краплі на поверхні ємкості. Загальна кількість повторів досліду для однієї ТРВ становить 5 разів по 15 знімків для кожного досліджуваного зразку.

Для подальшої обробки візуально обирається 10 мікрознімків з найбільшою кількістю крапель, які не злипаються між собою. Отримані цифрові мікрознімки проходять обробку з наведення контурів отриманих

крапель у графічних програмах «AdobePhotoshop» та «ScopePhoto» для зменшення похибки під час розрахунків «репрезентативних діаметрів». На рисунку3.2наведено приклад мікрознімку тонкорозпиленоїТРВ до і після його оброблення.

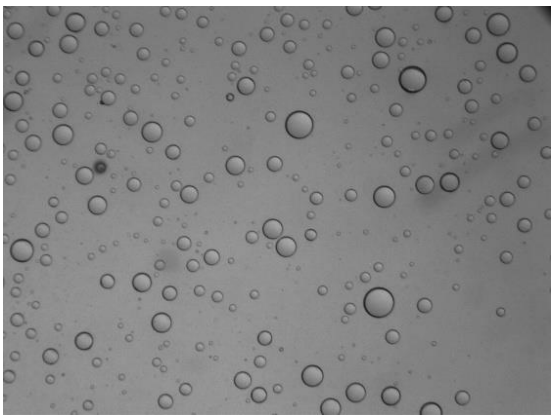
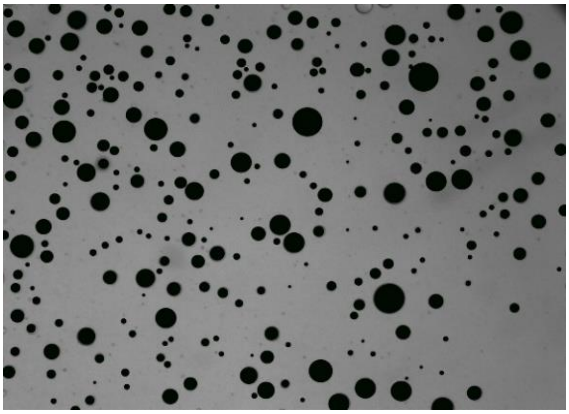
а)  б) 

Рисунок – 3.2 Приклад мікрознімку крапель ТРВ:

а – знімок без наведених контурів; б – знімок з наведеними контурами

Після оброблення мікрознімків проводиться розрахунок середніх лінійних діаметрів крапель за результатами кожного з випробувань.Значення «репрезентативних діаметрів», які характеризують дисперсність ТРВ у струмені, що подається з розпилювача розраховують за загальною формулою [46]:

$$\overline{D}_{pq}^{p-q} = \frac{\sum_{i-1}^{n} D_i^p}{\sum_{i-1}^{n} D_i^q} \qquad (3.1)$$

де: n — кількість краплин у зразку;

D_i — діаметр i-ої краплини;

q, p — цілі числа 1, 2, 3 або 4, $p \rangle q$;

$\sum_i$ — суми D_i^p і D_i^q усіх краплин, наявних у зразку.

Репрезентативними діаметрами є:

$\overline{D}_{10}$ — середній лінійний діаметр;

$\overline{D}_{20}$ — середній діаметр за площею поверхні, тобто діаметр краплини, площа якої, помножена на кількість краплин, дорівнює загальній площі зразка;

$\overline{D}_{30}$ — середній діаметр за об'ємом, тобто діаметр краплини, об'єм якої, помножений на кількість краплин, дорівнює загальному об'єму зразка;

$\overline{D}_{32}$ — середній діаметр за об'ємом/площиною (середній діаметр Соутера SMD), тобто діаметр краплини, для якої відношення об'єму до площі поверхні таке саме, як для усього зразка.

D_{vf} — такий діаметр краплин, для якого частка f загального об'єму рідини перебуває у вигляді краплин меншого діаметра.

З метою одержання достовірних результатів визначення репрезентативних діаметрів ТРВ, їхні значення розраховуються на підставі результатів, одержаних для кожного місця розташування розпилювача.

Вилучені краплини з ділянок струменя ТРВділяться на класи за розміром. Відношення об'єму найбільшої краплини до загального об'єму рідини, наявної у зразку, повинно бути меншим за прийнятне значення відносної похибки у бажаному відображенні (менше ніж 1 %).

Для спрощення процедури розрахунків визначення розподілу краплин за розмірами було розроблено програму «Obrobdisp» в яку було закладено алгоритм вищенаведеного розрахунку.

На рисунку 3.3. зображено вид вікна комп'ютерної програми з результатами розрахунків репрезентативних діаметрів за результатами випробувань одного з розпилювачів ТРВ.

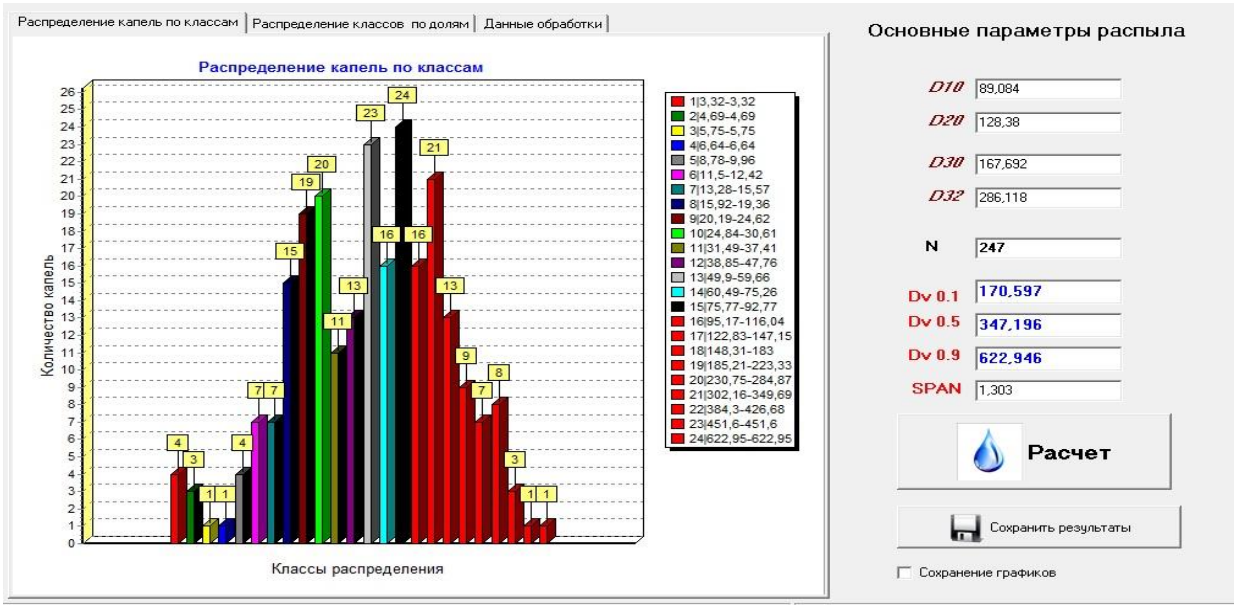


Рисунок 3.3– Вид вікна комп’ютерної програми з результатами розрахунків репрезентативних діаметрів за результатами випробувань одного з розпилювачів ТРВ

Отже, згідно розробленої методики основним критерієм дисперсності крапель тонкорозпиленої води буде братисьрепрезентативний діаметр $\overline{D}_{32}$ - за середнім діаметром за об’ємом/площиною (середній діаметр Соутера SMD), тобто діаметр краплини, для якої відношення об’єму до площі поверхні таке саме, як для усього зразка.

3.3.Експериментальні дослідження звизначення дисперсності тонкорозпиленої води

Проведено випробування в навчально-випробувальній лабораторії УкрНДІЦЗ ДСНС України, яке відбувалося згідно плану експерименту та методики проведення вогневих випробувань для систем пожежогасіння ТРВ.Дослідження проводилось в 5 етапів у відповідності до того який діаметр форсунки випробовувався: використовували форсунки з діаметрами вихідних отворів (d=2 мм, d=2,5 мм, d=3 мм, d=3,5 мм, d=4 мм) та при різних

тисках(Р=0,3;0,4;0,5МПа*)*. Кожен дослід з форсункою відповідного діаметру проводився по 2 рази.

На першому етапі проводили випробування з форсункою діаметром вихідного отвору 2 мм (рис. 3.4).

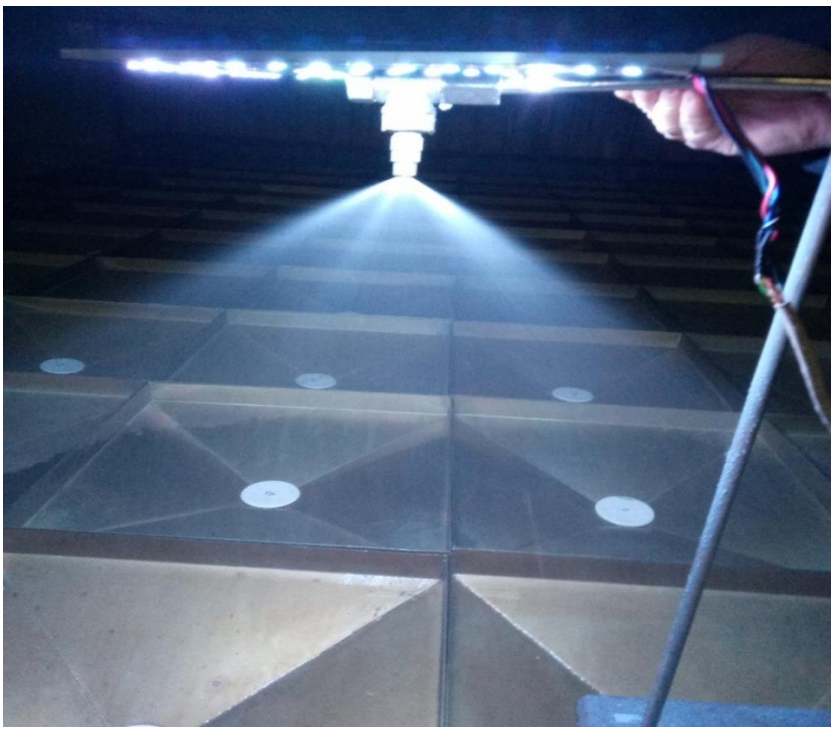
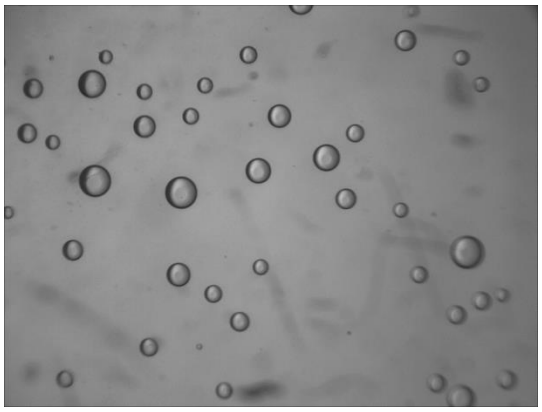


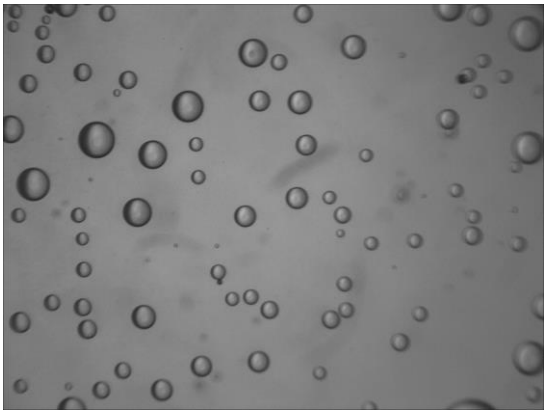
Рисунок 3.4– Порядокзабору крапель ТРВ на відповідних визначених ділянках форсункою з діаметром вихідного отвору 2 мм

Одночасно проводились та фіксувались два заміри:

1. Тиск за допомогою манометра.

2. Дисперсність методом оптичної мікроскопії, суть якого полягає у відбиранні проб рідини із струменя ТРВ, який формується розпилювачем, з подальшим їх фотографуванням цифровою камерою (рис. 3.5).

а) 

б) 

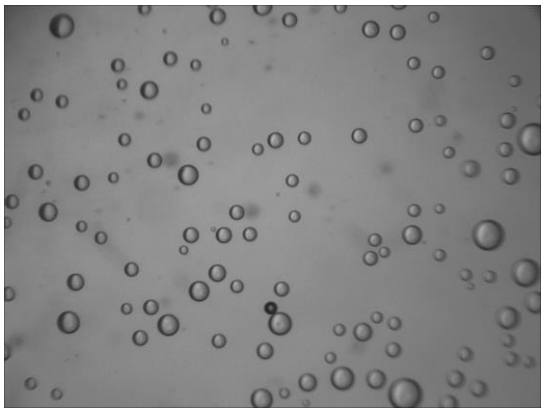
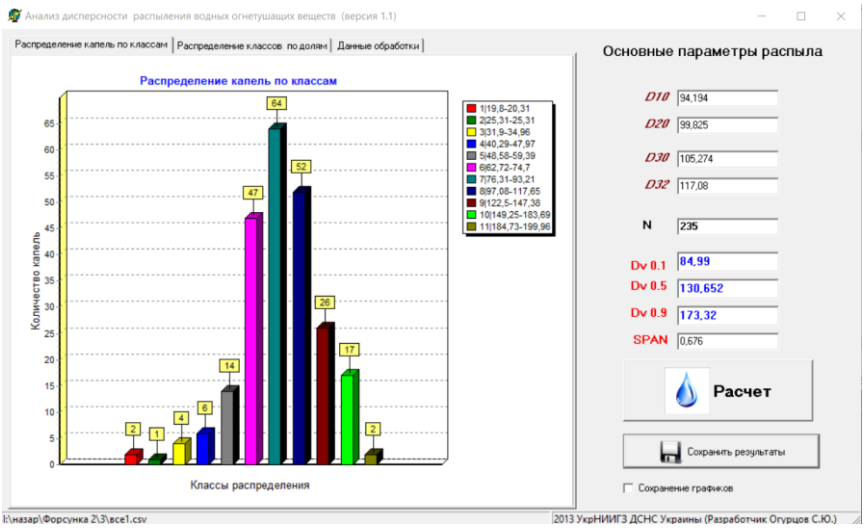
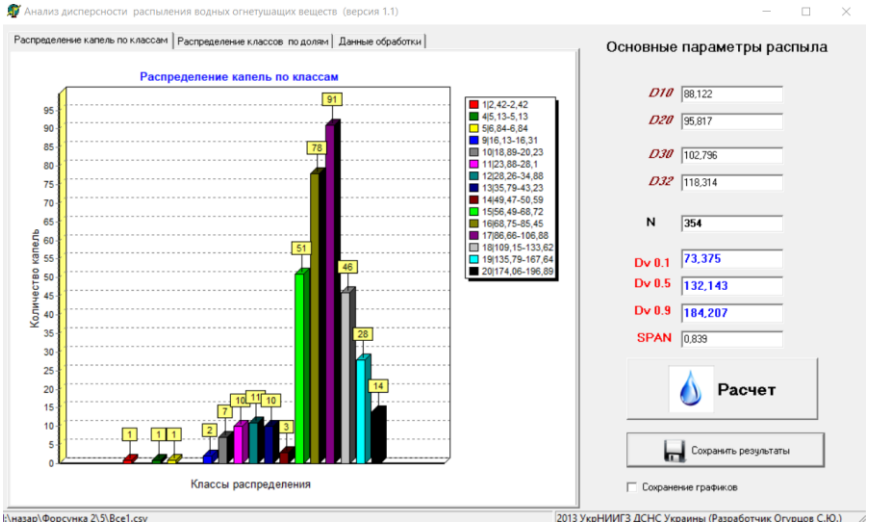
в) 

Рисунок 3.5–МікрознімокдисперсностікрапельТРВфорсунки з діаметром вихідного отвору 2 мм при тиску: а) 0,3 МПа; б) 0,4 МПа; в) 0,5 МПа

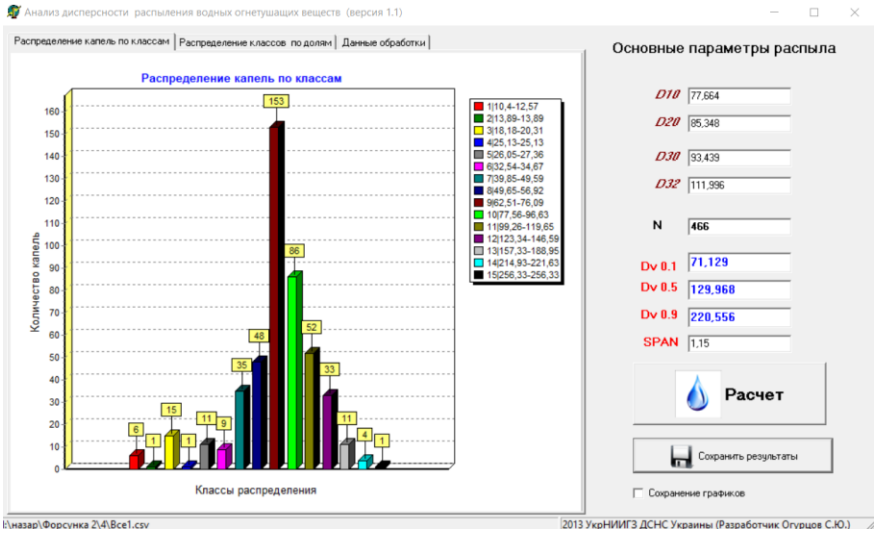
Аналіз дисперсності крапель ТРВфорсункиз діаметром вихідного отвору 2 ммпроводився за допомогою мікроскопу і комп’ютерної техніки за спеціально розробленим програмним забезпеченням (рис.3.6).



а)



б)



в)

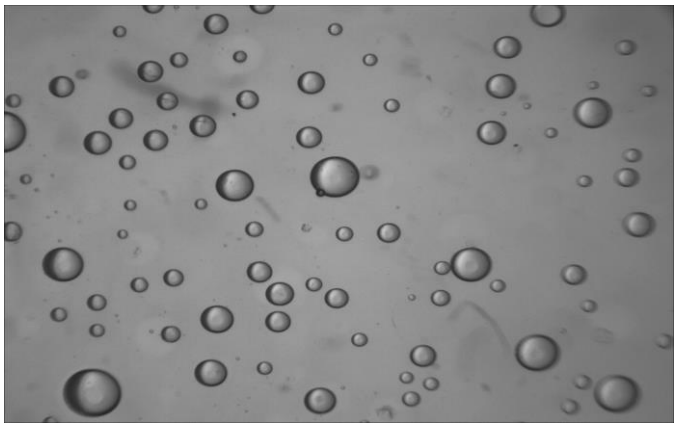
Рисунок3.6–Вид вікна комп’ютерної програми з результатами розрахунків роботи форсунки 2 мм при тиску:а) 0,3 МПа; б) 0,4 МПа; в) 0,5 МПа

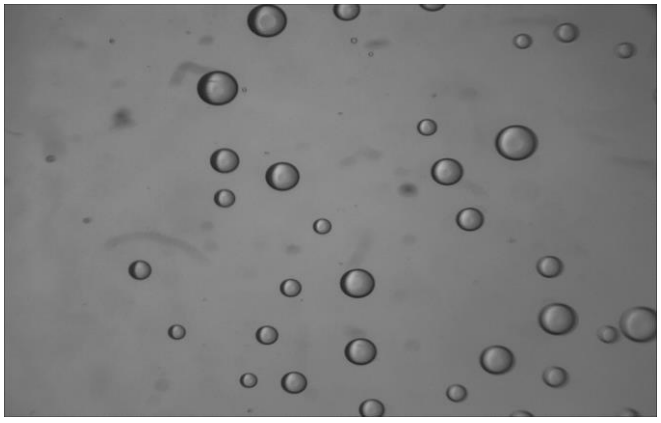
Отже, на першому етапі згідно розробленої методики основний критерій дисперсності крапель ТРВрепрезентативний діаметр $\overline{D}_{32}$ - за середнім діаметром за об'ємом/площиною (середній діаметр Соутера SMD), для форсунки 2 мм показав: при тиску 0,3 МПа− 117мкм; при тиску 0,4 МПа−118 мкм та при тиску 0,5 МПа−111 мкм.

На другому етапі експерименти проводились аналогічно на рисунку3.7показанопорядок забору крапель ТРВ на відповідних визначених ділянках форсункою з діаметром вихідного отвору 2,5 мм.

Рисунок3.7–Порядокзабору крапель ТРВ на відповідних визначених ділянках форсункою з діаметром вихідного отвору 2,5 мм

На рисунку3.8 зображено дослідження дисперсностіфорсункиз діаметром вихідного отвору 2,5 ммметодом оптичної мікроскопії.

а) 

б) 

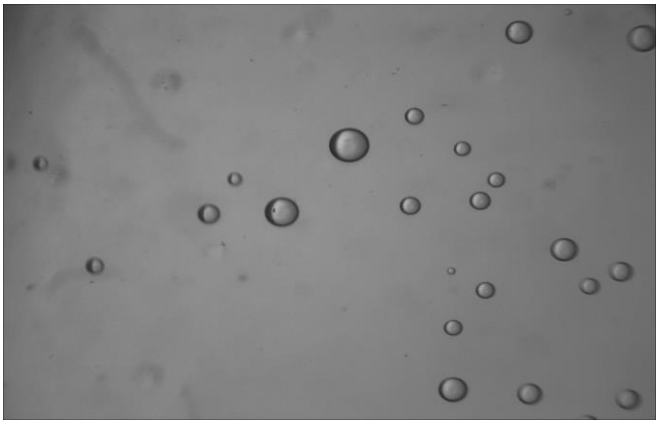
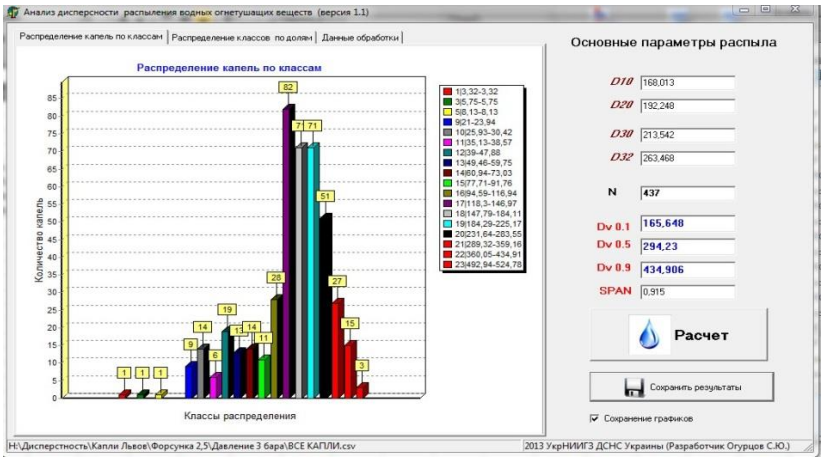
в) 

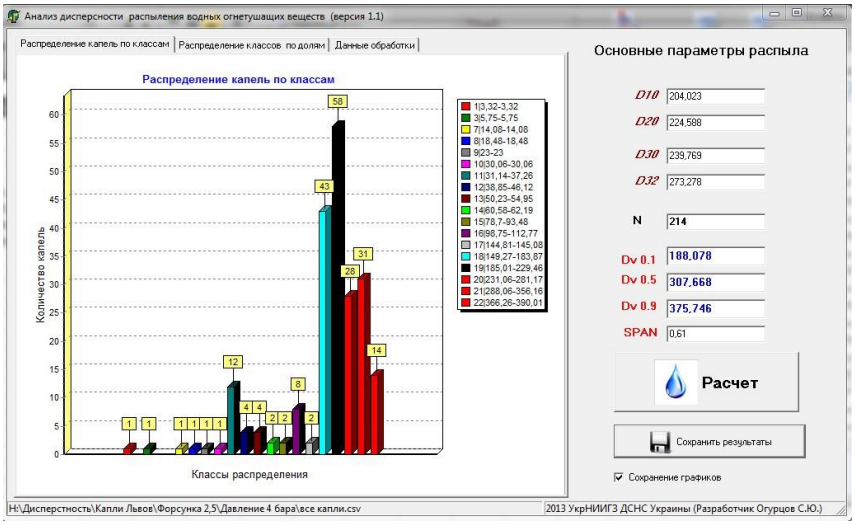
Рисунок 3.8–МікрознімокдисперсностікрапельТРВфорсунки з діаметром вихідного отвору 2,5 мм при тиску: а)0,3 МПа; б)0,4 МПа; в)0,5 МПа

Аналіз дисперсності крапель ТРВфорсункиз діаметром вихідного отвору 2,5 ммпроводився за допомогою мікроскопу і комп’ютерної техніки за спеціально розробленим програмним забезпеченням (рис.3.9).

а)



б)



в)

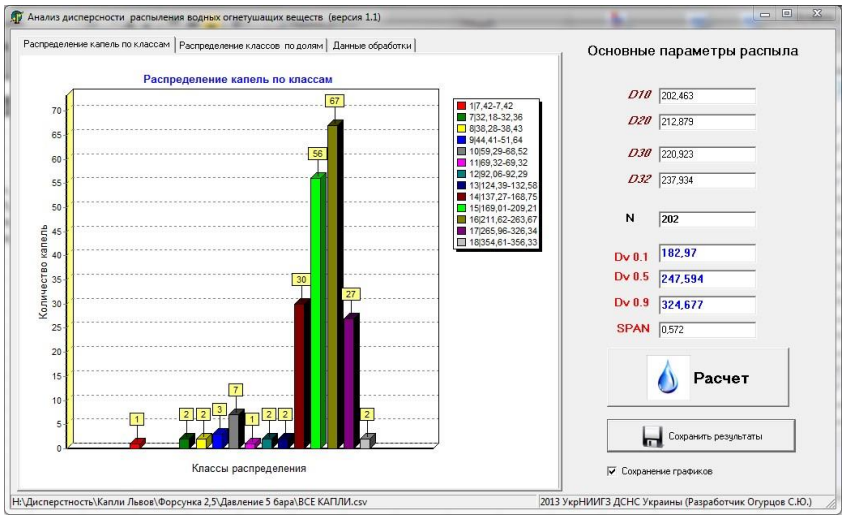
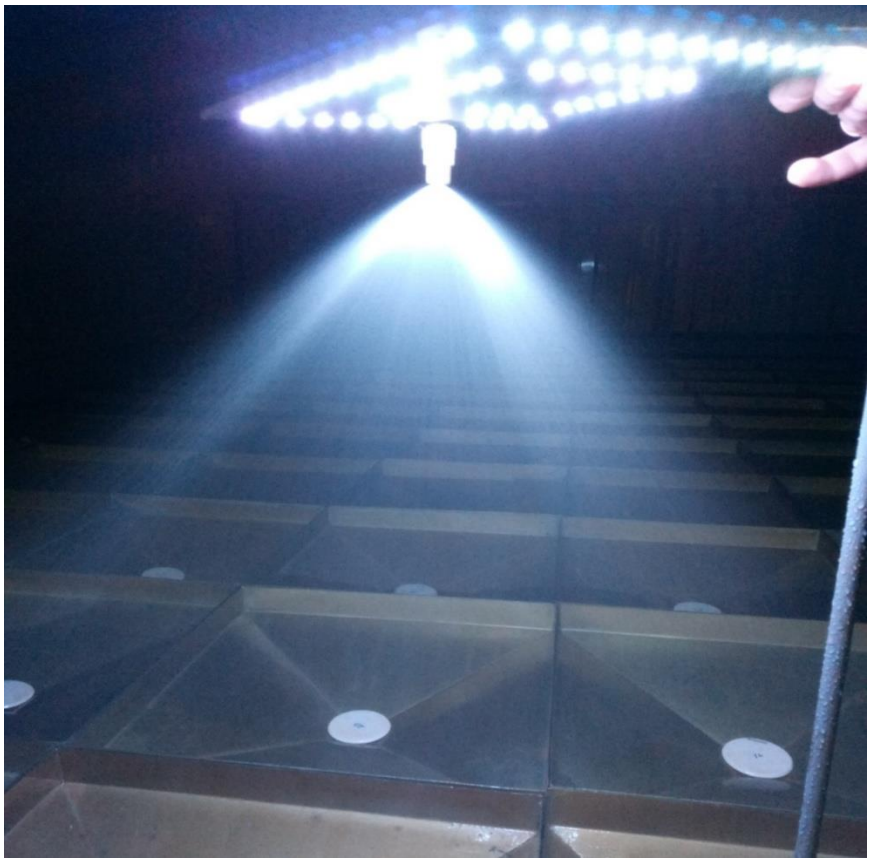


Рисунок3.9–Вид вікна комп’ютерної програми з результатами розрахунків роботи форсунки 2,5 мм при тиску: а) 0,3 МПа; б) 0,4 МПа; в) 0,5 МПа

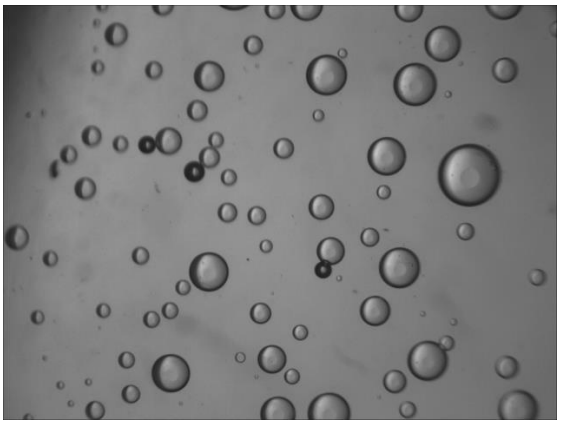
Отже, на другому етапі основний критерій дисперсності крапель ТРВза репрезентативним діаметром $\overline{D}_{32}$, для форсунки 2,5 мм показав: при тиску 0,3 МПа − 263 мкм; при тиску 0,4 МПа– 273мкм; та при тиску 0,5 МПа – 238 мкм.

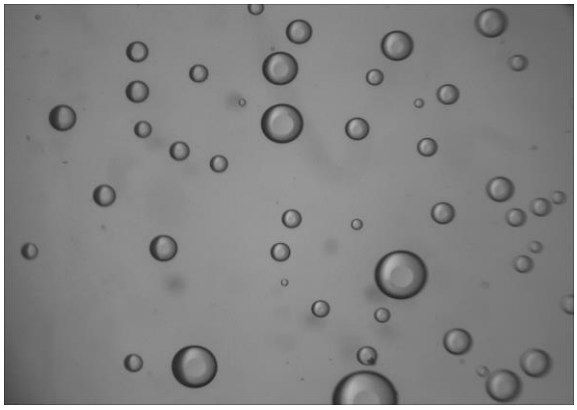
На третьому етапі експерименти проводились аналогічно на рисунку 3.10показано порядок забору крапель ТРВ на відповідних визначених ділянках форсункою з діаметром вихідного отвору 3 мм.



Рисунку3.10–Порядокзабору крапельТРВ на відповідних визначених ділянках форсункою з діаметром вихідного отвору 3 мм

На рисунку 3.11 зображено дослідження дисперсностіфорсункиз діаметром вихідного отвору 3 ммметодом оптичної мікроскопії.

а) 

б) 

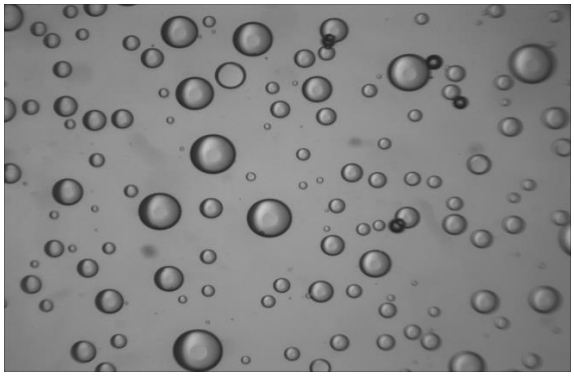
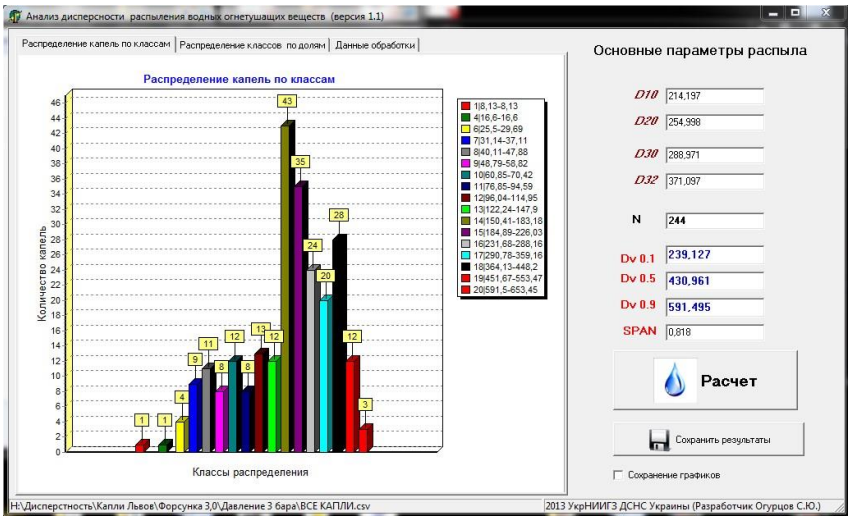
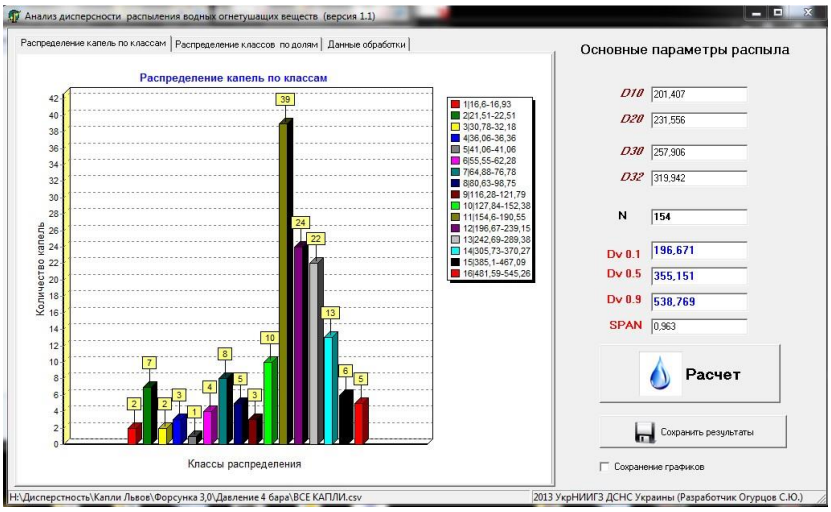
в) 

Рисунок3.11–Мікрознімокдисперсності крапельТРВфорсунки з діаметромвихідного отвору 3 мм при тиску:а) 0,3 МПа; б) 0,4 МПа; в) 0,5 МПа

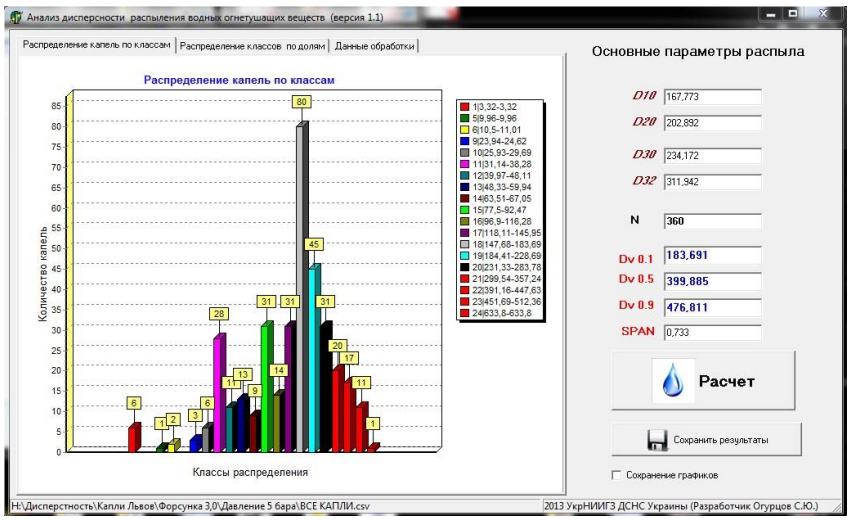
Аналіз дисперсності крапель ТРВфорсунки з діаметромвихідного отвору 3 ммпроводився за допомогою мікроскопу і комп’ютерної техніки за спеціально розробленим програмним забезпеченням (рис.3.12).



а)



б)



в)

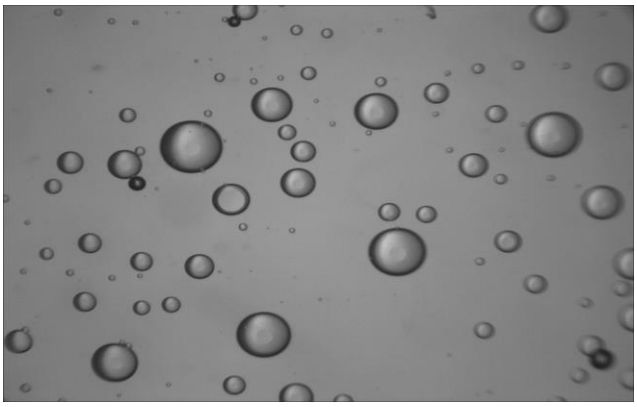
Рисунок 3.13–Вид вікна комп’ютерної програми з результатами розрахунків роботи форсунки 3 мм при тиску: а) 0,3 МПа; б) 0,4 МПа; в) 0,5 МПа

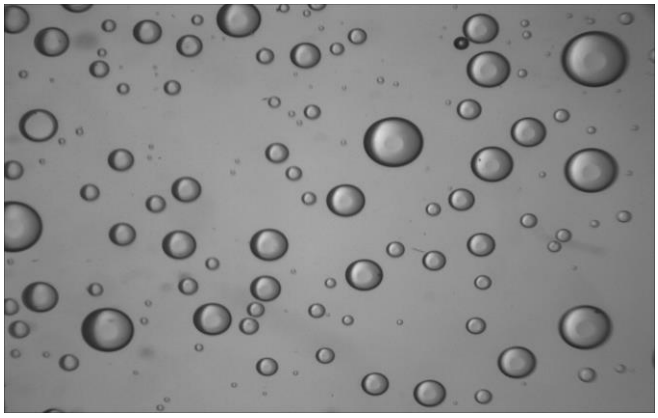
Отже, на третьому етапі основний критерій дисперсності крапель ТРВза репрезентативним діаметром $\overline{D}_{32}$, для форсунки 3 мм показав: при тиску 0,3 МПа−371мкм; при тиску 0,4 МПа−319мкм; та при тиску 0,5 МПа−312мкм.

На четвертому етапі експерименти проводились аналогічно нарисунку 3.14 показанопорядок забору крапель ТРВ на відповідних визначених ділянках форсункою з діаметром вихідного отвору 3,5 мм.

Рисунок 3.14–Порядокзабору крапельТРВ на відповідних визначених ділянках форсункою з діаметром вихідного отвору 3,5 мм

На рисунку 3.15 зображено дослідження дисперсності форсунки з діаметром вихідного отвору 3,5 ммметодом оптичної мікроскопії.

а) 

б) 

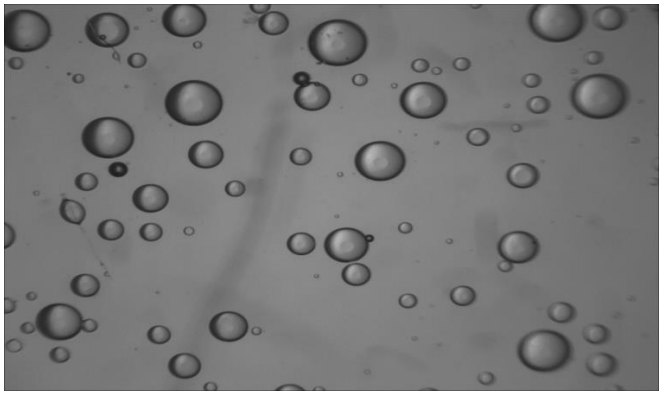
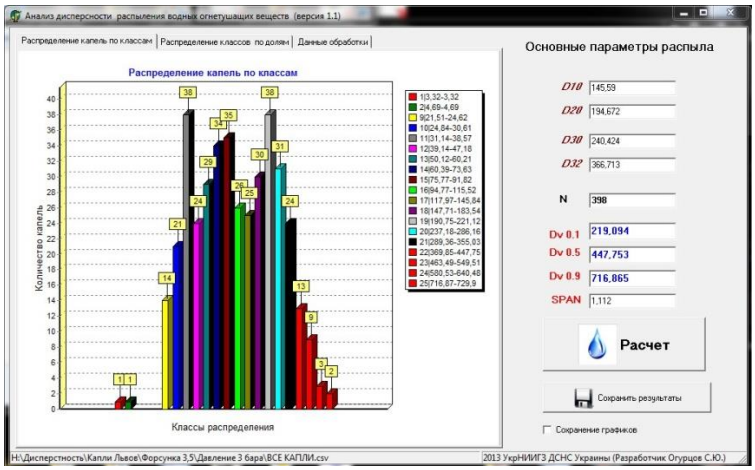
в) 

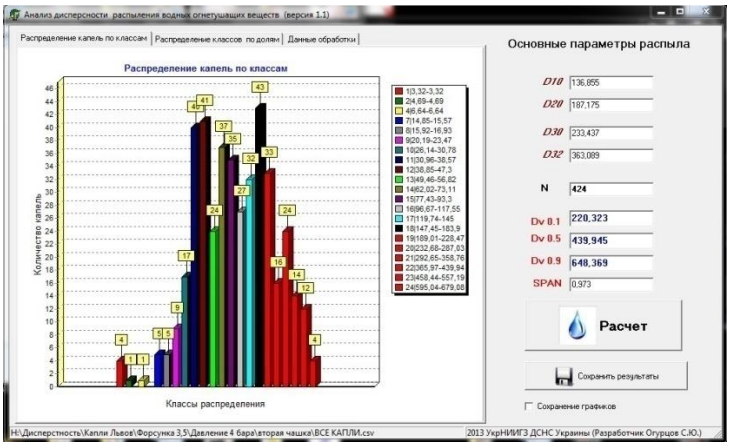
Рисунок 3.15–МікрознімокдисперсностікрапельТРВфорсунки з діаметромвихідного отвору 3,5 мм при тиску:а)0,3 МПа; б)0,4 МПа; в)0,5 МПа

Аналіз дисперсності крапель ТРВ проводився за допомогою мікроскопу і комп’ютерної техніки за спеціально розробленим програмним забезпеченням (рис.3.16).

а)



б)



в)

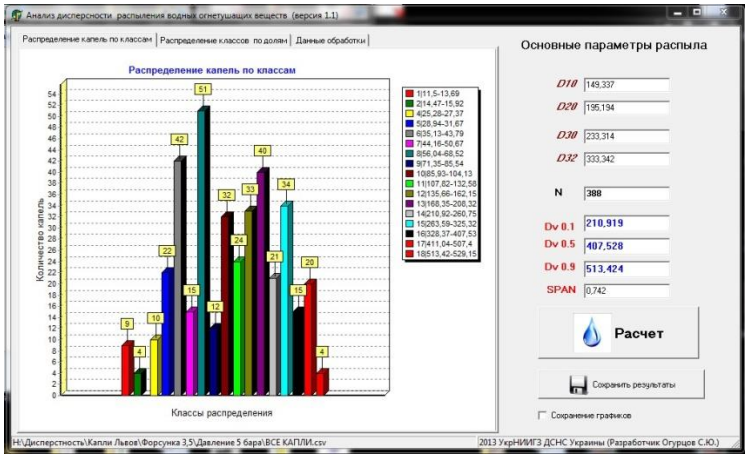


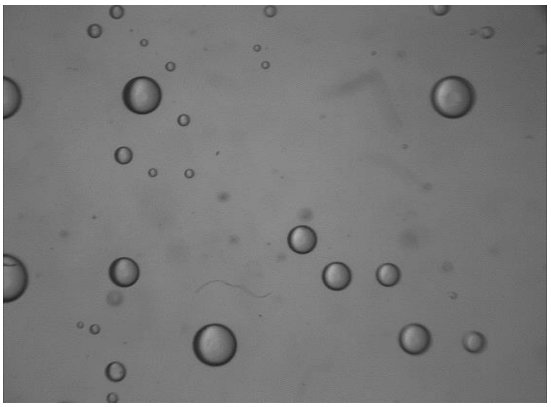
Рисунок3.16–Вид вікна комп’ютерної програми з результатами розрахунків роботи форсунки 3,5 мм при тиску:а) 0,3 МПа; б) 0,4 МПа; в) 0,5 МПа

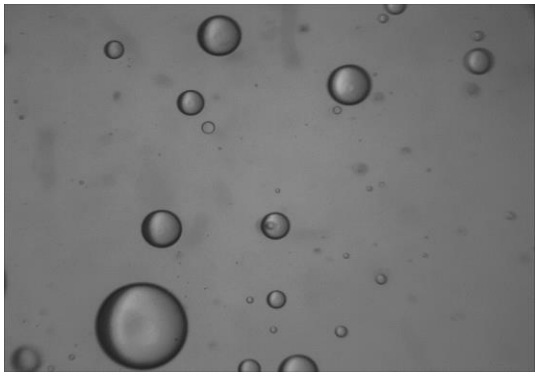
Отже, на четвертому етапі основний критерій дисперсності крапель ТРВза репрезентативним діаметром $\overline{D}_{32}$, для форсунки3,5 мм показав: при тиску0,3 МПа–367 мкм; при тиску 0,4 МПа– 363мкм та при тиску 0,5 МПа– 333 мкм.

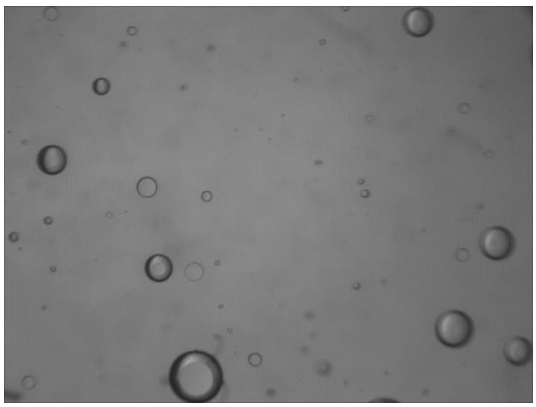
На п’ятому етапі експерименти проводились аналогічнона рисунку3.17показанопорядок забору крапель ТРВ на відповідних визначених ділянках форсункою з діаметром вихідного отвору 4 мм.

Рисунок 3.17–Порядокзабору крапельТРВ на відповідних визначених ділянках форсункою з діаметром вихідного отвору 4 мм

На рисунку3.18 зображено дослідження дисперсності методом оптичної мікроскопіїфорсункиз діаметром вихідного отвору 4 мм.

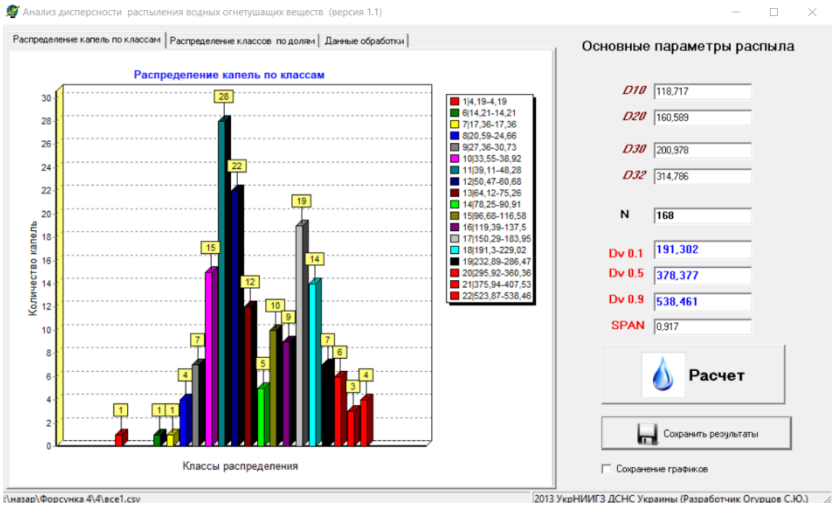
а) 

б) 

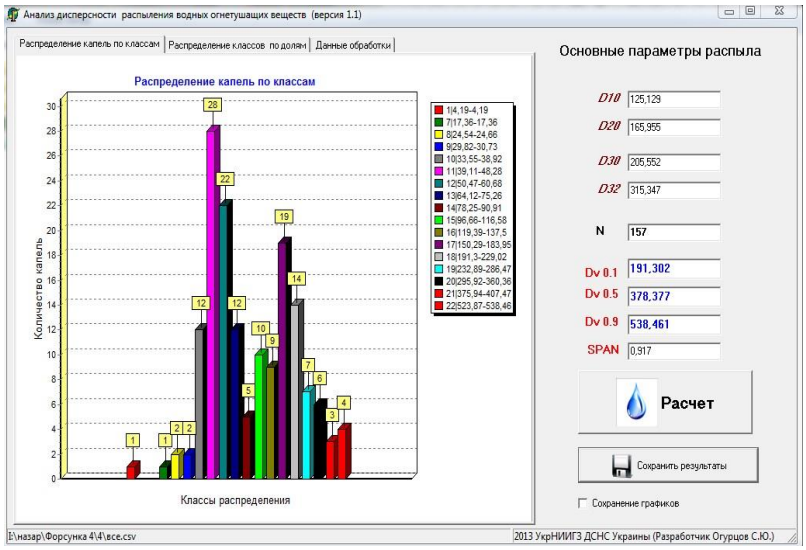
в) 

Рисунку 3.18–МікрознімокдисперсностікрапельТРВфорсунки з діаметромвихідного отвору 4 мм при тиску:а) 0,3 МПа; б) 0,4 МПа; в) 0,5 МПа

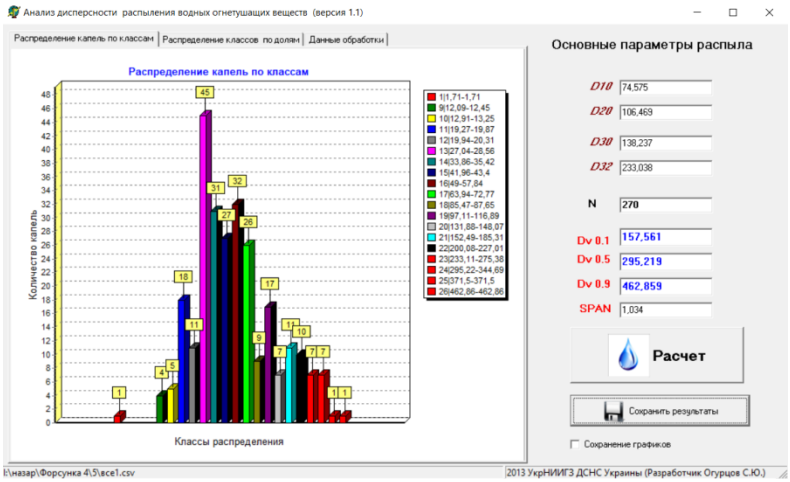
Аналіз дисперсності крапель ТРВфорсункиз діаметром вихідного отвору 4 ммпроводився за допомогою мікроскопу і комп’ютерної техніки за спеціально розробленим програмним забезпеченням (рис.3.19).



а)



б)



в)

Рисунку 3.19–Вид вікна комп’ютерної програми з результатами розрахунків роботи форсунки 4 мм при тиску:а) 0,3 МПа; б) 0,4 МПа; в) 0,5 МПа

Отже, на п’ятому етапі основний критерій дисперсності крапель ТРВза репрезентативним діаметром $\overline{D}_{32}$, для форсунки 4 мм показав: при тиску 0,3 МПа–414мкм; при тиску 0,4 МПа–415 мкм та при тиску 0,5 МПа–407 мкм.

Після аналізу результатів за допомогою програмного забезпечення отримано такі числові дані по зміні дисперсності в залежності від тиску та діаметру вихідного отвору форсунки (табл. 3.1).

Таблиця 3.1– Результати експерементальних досліджень з виявлення впливу тиску та діаметру внутрішнього отвору форсунок типу «повний конус» на еквівалентдіаметра краплин у струменях тонкорозпиленої води

Діаметр форсунки, мм	P=0,3 МПа	P=0,4 МПа	P=0,5 МПа	Усереднений еквівалент діаметра краплин води, мкм
2,0	117	118	111	115±3
2,5	263	273	238	258±15
3.0	371	319	312	334±33
3,5	367	363	333	354±15
4,0	414	415	433	420±10

На підставі експериментальних досліджень отримано залежність еквіваленту діаметра капель струменів тонкорозпиленої води від технічного параметра форсунки та тиску (рис.3.20).

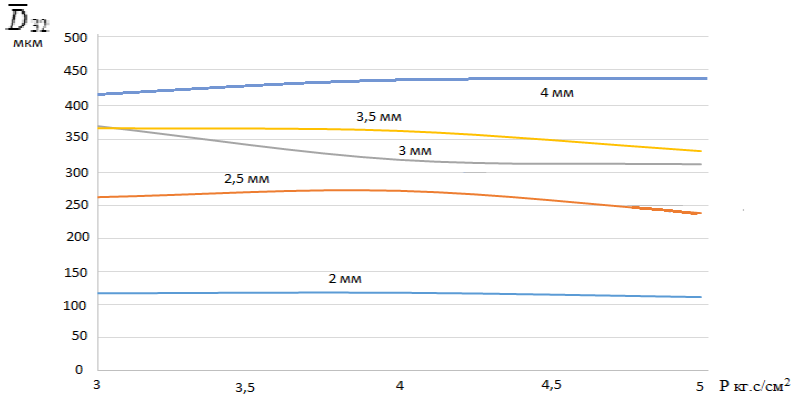


Рисунок 3.20–Залежність еквіваленту діаметра капель струменів тонкорозпиленої води від технічного параметра форсунки

3.4. Висновки за розділом

3.4.1.Відповідно до розробленої методики основним критерієм дисперсності капель водних вогнегасних речовин бравсярепрезентативний діаметр $\overline{D}_{32}$ - за середнім діаметром за об'ємом/площиною (середній діаметр Соутера SMD).

3.4.2. На підставі аналізу результатів експеременталь них досліджень із застосуваннм програмного забезпечення з виявлення впливу надлишкового тиску та діаметру внутрішнього отвору запропонованих форсунок типу «повний конус» на еквівалент діаметра краплин у струменях тонкорозпиленої води встановлено, що за надллишкового тиску в межах від 0,3 до 0,5МПа у разі застосування запропонованих форсунок типу повний конус з діаметрами вихідних отворів 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 мм генеруються струмені тонкорозпиленої води з діаметром краплин від 110 до 430 мкм.

3.4.3. Визначено, що зміна надлишкового тиску в діапазоні від 0,3 до 0,5 МПа практично не впливає на дисперсність краплин тонкорозпиленої води у разі застосування форсунок такого типу однакового діаметру, а суттєвий вплив має діаметр їх вихідного отвору. Встановлено, що за надлишкового тиску 0,4±0,1 МПа, характерного для роботи насосів пожежних автомобілів під час подавання вогнегасних речовин в процесі ліквідування пожеж, у разі застосування запропонованих форсунок типу «повний конус» діаметрами 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 мм генеруються струмені тонкорозпиленої води з усередненими діаметрами краплин 115±3; 258±15; 334±33; 354±15; 420±10 мкм відповідно.

3.4.4.Наступним етапом роботи будуть проведені експериментальні дослідження з визначення впливу дисперсності крапель ТРВ на осадження продуктів горіння (видимість оптичну та візуальну) і зниження температури під час пожежі в лабораторних умовах за допомогою насадки розпилювача (форсунка - повний конус) з осьовимдимовсмоктувачемпри постійному тиску 0,4 МПа та при різних діаметрах вихідного отвору зазначеної форсунки а саме: 2; 2,5; 3; 3,5 та 4 мм.

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИСПЕРСНОСТІ КРАПЕЛЬ ТОНКОРОЗПИЛЕНОЇ ВОДИ НА ОСАДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ ТА ПОНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ДІАМЕТРУ ВИХІДНОГО ОТВОРУ ФОРСУНКИ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

4.1. Мета проведення експериментальних досліджень

Метою експериментальних досліджень було досягнення середньо об’ємної температури в межах 60±5^{0}С та видимості: оптичної в межах 0,78 Нп/м (200±7) мВ і візуальної в межах 3±0,5 м шляхом нагнітання повітряно-водяного струменю (різної дисперсності ТРВ) в приміщення де розміщено модельне вогнище пожежі за допомогою насадки розпилювача (форсунка - повний конус) при постійному тиску 0,4 МПа одночасно з осьовим димовсмоктувачем (далі вентилятором) продуктивністю 5000 м^3/год.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі задачі:

- визначити вплив дисперсності крапель тонкорозпиленої води (далі ТРВ) на пониження температурив приміщенні при пожежі класів А і В ;
- визначити вплив дисперсності крапель тонкорозпиленої води на залежність оптичної та візуальної видимості при пожежі класів А і В в приміщенні;
- на дослідному зразку пристрою для подачі повітряно-водяного струменю провести дослідження ефективності насадки розпилювача (форсунка - повний конус) в залежності від діаметру вихідного отвору в лабораторних умовах;
- визначити тактико-технічні характеристики форсунки для подачі повітряно-водяного струменю по витраті води;

Експериментальні дослідження проводились згідно розробленої методики (додаток В) з визначення параметрів небезпечних чинників пожежі (температури, оптичної густини диму) класів А і В в об’ємах приміщень [69].

4.2. Обладнання та прилади для виконання експериментальних досліджень в лабораторних умовах

На підставі аналізу робіт [70-78] для дослідження процесу з визначення ефективності засобів осадження диму було розроблено та сконструйовано прилад з визначення оптичної густини диму (рис. 4.1 та 4.2) в закритих об'ємах (класи пожеж А, В) [79-81].

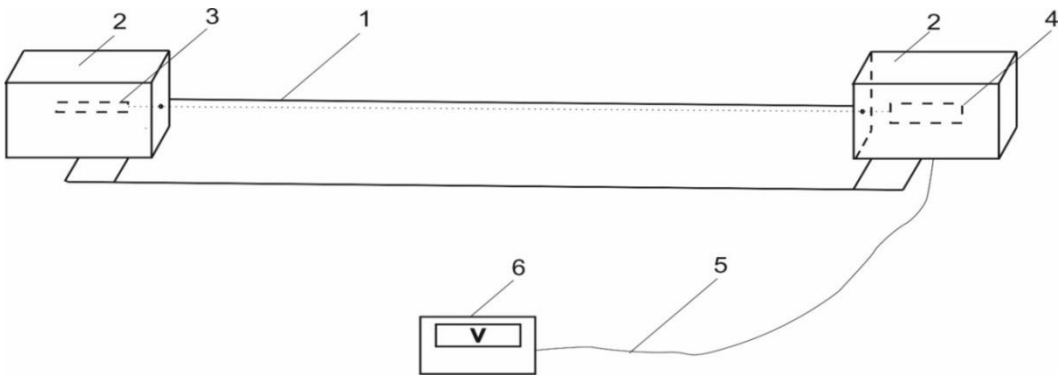


Рисунок 4.1 – Схема зображення приладу для дослідження оптичної густини диму: 1 – рама для кріплення елементів; 2 – термобокс; 3 – лазер з автономним джерелом живлення (довжина хвилі лазера 532±10 нанометрів); 4 – світлоприймач; 5 – термостійкий електропровід; 6 – мілівольтметр

Рисунок 4.2 – Фото приладу для дослідження оптичної густини диму

Покази приладу показують числові значення у мілівольтах але у зв'язку з тим що, загальноприйнятою одиницею вимірювання оптичної густини диму є

Нп/м [13, 56,58], відповідно покази приладу за допомогою тарувального графіка переводились в загальноприйняту одиницю непер/метр (рис. 4.3).

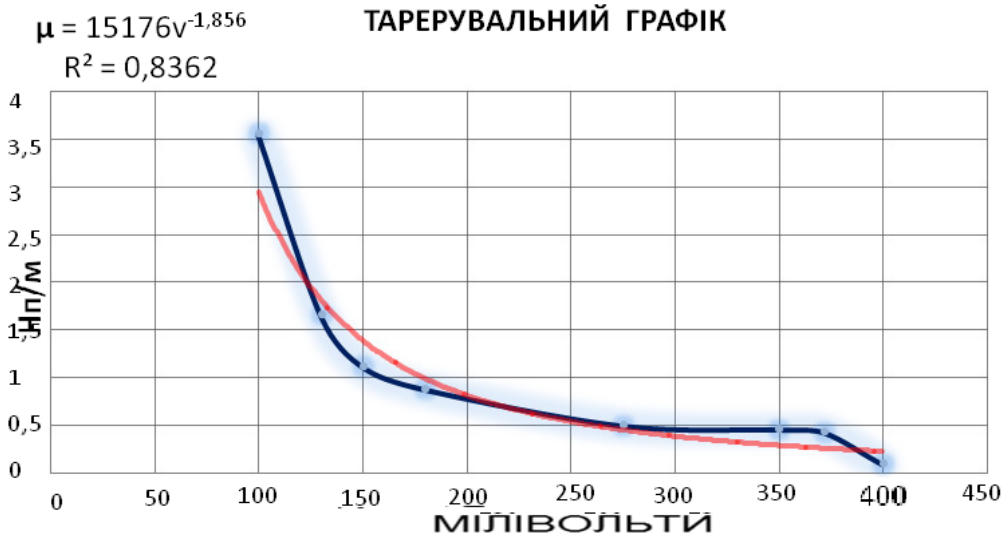


Рисунок 4.3 – Тарерувальний графік переводу одиниць оптичної густини диму

Попередні експериментальні дослідження оптичної густини диму проводилися в трьох грануляціях: мілівольти, метри і Нп/м. Величини пропорційні одна до одної, як наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Таблиця переводу величин вимірювання оптичної густини диму

Мілівольти (відносна похибка ±7 мВ)	Метри	Нп/м
320	6 і більше	0,21
300	5,5	0,29
280	5	0,37
260	4,5	0,42
240	4	0,49
220	3,5	0,62
200	3	0,78
180	2,5	0,83

Продовження таблиці 4.1

Мілівольти (відносна похибка ±7 мВ)	Метри	Нп/м
160	2	0,91
140	1,5	1,42
120	1	1,84
100	0,5	2,06
80	0	2,37

Схема розміщення приладу для дослідження оптичної густини диму, термоперетворювачів, отворів в стіні для забору проб газового середовища, обладнання і вхідних отворів для подавання тонкорозпиленого водяного струменя та вихідних отворів для вилучення продуктів згоряння (диму) з приміщення лабораторії показана на рисунку 4.4. Прилад для дослідження оптичної густини диму в приміщенні лабораторії встановлюється на спеціальному штативі на висоті 1,7 м від рівня підлоги.

Довжина приміщення становить 6 м, а його висота і ширина у просвіті 2,4 м, і 4,5 м відповідно. Таким чином, приведений об’єм приміщення дорівнює: $V = a \cdot b \cdot h = 6 \cdot 4{,}5 \cdot 2{,}4 = 64{,}8$ м^3. Якщо, враховувати площу підвалу відповідно до [4], яка повинна становити не більше 500 м^2, відповідно об’єм буде близько 1200 м^3. При реальному наведеному об’ємі підвалу геометричний масштаб моделювання становить 1:16.

Модельне вогнище пожежі розміщується в куті приміщення лабораторії на відстані 5 м від вхідного отвору та 3 м від вихідного отвору та відступаємо від стін по 1 м. Модельне вогнище пожежі – загальною вагою 50 кг, яке створюємо з: брусків із деревини, вагою 25 кг, вологість брусків має бути у межа 12 – 16 %. Бруски складають шарами у вигляді решітки (рис. 4.5). Зверху на нього складають: гумотехнічних виробів – 5 кг (автомобільна шина); паперу – 5 кг; бавовни та виробів з неї – 10 кг; каучуку синтетичного – 2 кг; дизельного палива – 3 кг.

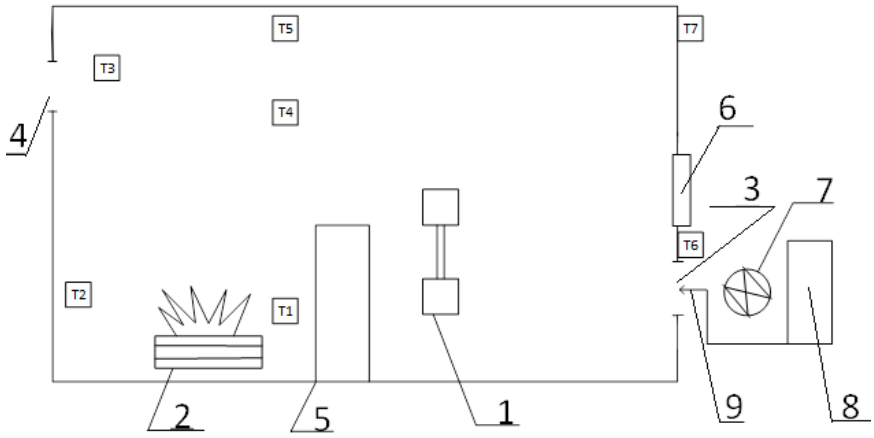


Рисунок 4.4 – Схема розміщення приладу для дослідження оптичної густини диму і термоперетворювачів (вигляд збоку): 1 – прилад для дослідження оптичної густини диму; 2 – модельне вогнище пожежі; 3– вхідний отвір; 4 – вихідний отвір; 5 – металеві двері; 6 – оглядове вікно з термостійким склом; 7 – осьовий електричний вентилятор; 8 – ємність з водою; 9 – насадка-розпилювач; термоперетворювачі(замір температури від підлоги на висоті): Т-1 і Т-2 (110 см), Т-3 і Т-4 (188 см), Т-5 і Т-7 (236 см), Т-6 (160 см); отвори в стіні для забору проб газового середовища на висоті від рівня підлоги: Г-1(50 см), Г-2 (100 см), Г-3(150 см)

Модельне вогнище встановлюємо на бетонних блоках на висоті 200±10 мм над рівнем підлоги у приміщенні лабораторії. Для підпалювання під макетним вогнищем розташовуємо сталеве деко розміром (635×635×100 мм). Перед випробуванням в деко (модельне вогнище 3А) наливаємо 3,0 л ± 0,2 л дизельного пального, за ДСТУ 3868-99.

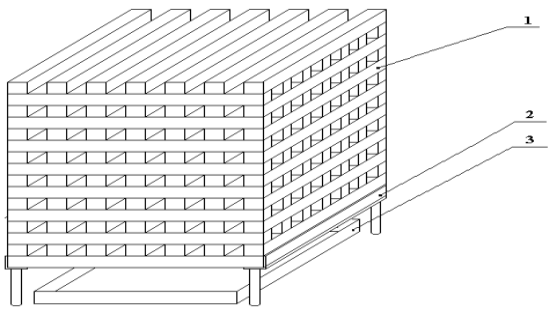


Рисунок 4.5 – Модельне вогнище пожежі класу А у вигляді решітчастої кладки: 1 - штабель з дерев’яних брусків; 2 - опори; 3 - деко для підпалювання штабеля

На рисунку 4.6. зображено план-схему приміщення лабораторії, на якому показано розміщення манекена людини та електричного ліхтаря з лампочкою потужністю 21 Вт.

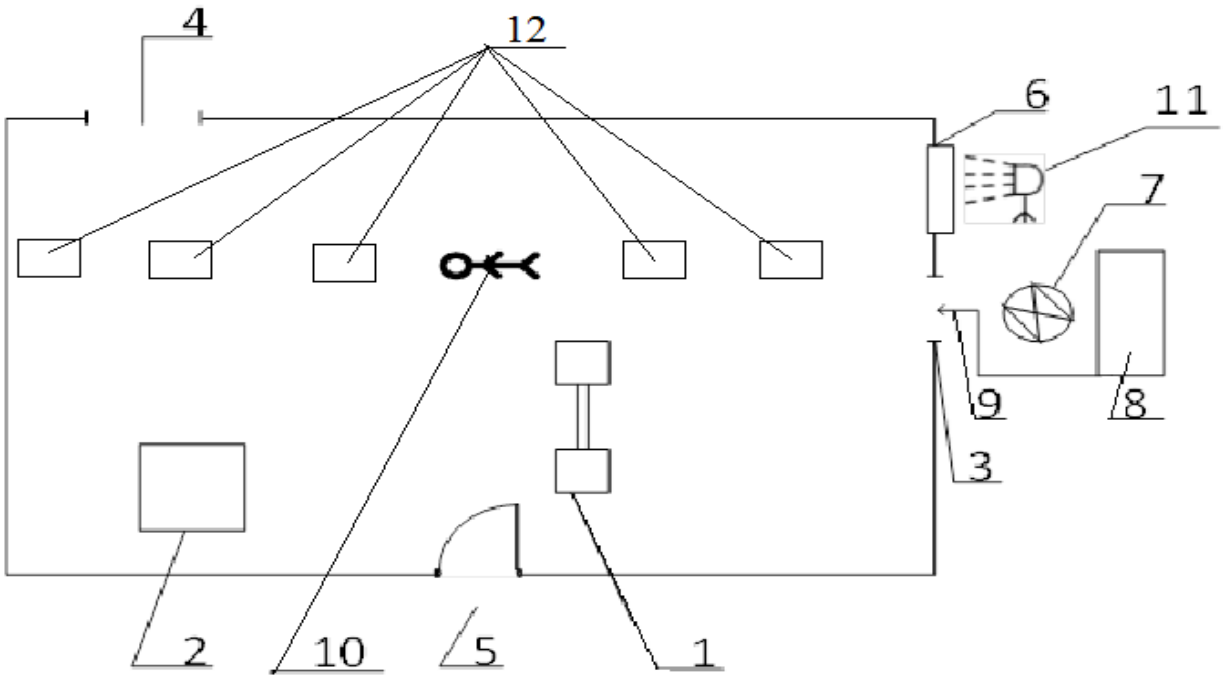


Рисунок 4.6 – План-схема розміщення манекена людини, покажчиків та електричного групового ліхтаря: 1 – прилад для дослідження оптичної густини диму; 2 – модельне вогнище пожежі; 3– вхідний отвір; 4 – вихідний отвір; 5 – металеві двері; 6 – оглядове вікно з термостійким склом; 7 – осьовий електричний вентилятор; 8 – резервуар з водою під тиском; 9 – насадка-розпилювач; 10 – манекен людини; 11– електричний ліхтар; 12 – покажчики

На підставі аналізу робіт [82-87] та відповідно до міжнародної конвенції де зазначено три основних кольори: червоний, зелений та синій, які найкраще сприймаються людським оком. Відповідно було прийняте рішення для експериментальних досліджень тулуб манекена людини одягнути в червоний колір. Манекен людини з розміром тулуба (0,7 на 0,5 на 0,2 м), який був одягнутий в одяг червоного кольору клався на підлогу на відстані 3-ох метрів від оглядового вікна, аналогічно п’ять покажчиків які відповідали розміру

тулуба людини та були пофарбовані в червоний колір також розміщувались на підлозі на одній лінії разом з манекеном з кроком в один метр, як показано на рисунку 4.6.

Експериментальні дослідження проводилися на базі пристрою (рис. 4.7), який створений в університеті, на основі осьового вентилятора та форсунки, які подаватиме в задимлене приміщення повітряно-водяний струмінь для осадження продуктів горіння, зниження температури та збільшення видимості в задимлених приміщеннях [88-90].

а) б)

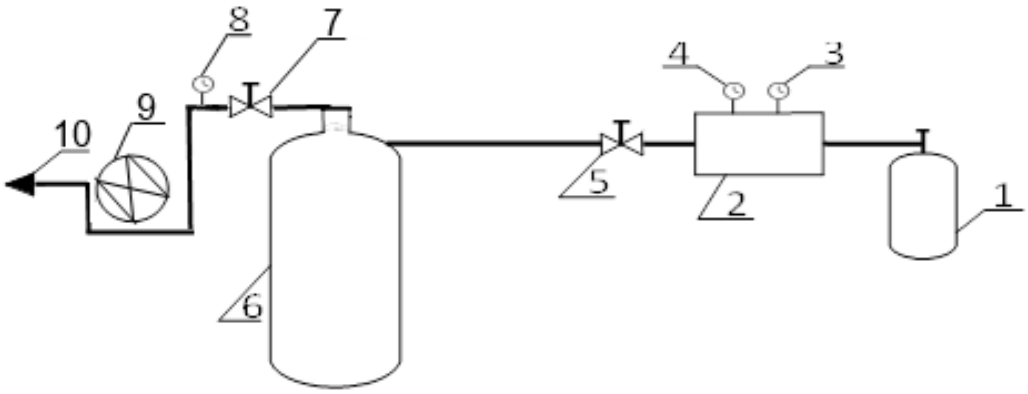
Рисунок 4.7 – Пристрій для осадження продуктів горіння:

а) вигляд пристрою з переду; б) вигляд пристрою з заду

Конструкція пристрою для осадження продуктів горіння та зниження температури, складається з осьового електричного вентилятора, з'єднувальної муфти, манометра, перикривного крана, патрубка, форсунки (насадка – розпилювача).

Подача ТРВ проводиться відповідно до методики за схемою, яка показана на рисунку 4.8 а) та б).

а)



б)

Рисунок 4.8 – Схема подавання тонко розпиленого водного струменя: а) схема побудови установки; б) фото з позначенням зібраної установки; 1 – балон зі стисненим повітрям (P_1= 20 МПа); 2 – редуктор; 3 – манометр для показання тиску у балон зі стисненим повітрям; 4 – манометр для показання вторинного тиску повітря (P_2= 0,4 МПа); 5 – запірний вентиль; 6 – посудина (V = 50 дм^3) з водою під тиском; 7 – запірний кран подачі води; 8 – манометр для показання тиску на виході; 9 – осьовий електричний вентилятор;10 – форсунка (насадка-розпилювач)

Таким чином за допомогою осьового вентилятора в задимлене приміщення нагнітатиметься свіже повітря і одночасно по патрубку через форсунку подаватиметься ТРВ. Це дозволить при подачі повітряно-водяного

струменю в задимлене приміщення осаджувати тверді частинки вуглецю, що знаходяться в диму, які осідатимуть за рахунок зволоження – при цьому збільшуватиметься видимість, температура в приміщенні знизиться, зменшиться концентрація деяких розчинних у воді токсичних продуктів горіння за короткий період часу, а значить створяться більш сприятливі умови для ведення оперативних дій ланками газодимозахисної служби.

4.3. Проведення експериментальних досліджень впливу дисперсності крапель води на осадження продуктів горіння та пониження температури в залежності від діаметру вихідного отвору форсункив лабораторних умовах

Проведено випробування насадки розпилювача в навчально-випробувальній лабораторії університету, яке відбувалося згідно плану експерименту, за допомогою осьового електричного вентилятора та форсунки - повний конус (далі форсунки) для осадження продуктів горіння, зниження температури та збільшення видимості в задимлених приміщеннях.

Дослідження проходило в 5 етапів у відповідності до того який діаметр форсунки випробовувався: використовували форсунки з діаметрами вихідних отворів (d=2 мм, d=2,5 мм, d=3 мм, d=3,5 мм, d=4 мм) при постійному тиску (Р= 0,4 МПа*)*. Кожен дослід з форсункою відповідного діаметру проводився по 2 рази, після чого бралось середнє значення. Температура навколишнього середовища під час проведення експериментальних досліджень становила 30^0С.

На першому етапі проводили випробування з форсункою діаметром вихідного отвору 2 мм (рис. 4.9). Одночасно фіксувались три заміри:

1. Температури в ^{0}С за допомогою термопар.
2. Оптичної видимості за допомогою приладу для дослідження оптичної густини диму в Нп/м (мВ).
3. Візуальної видимості в метрах за допомогою групового ліхтаря з лампочкою 21 Вт, який закріплювався на штативі на висоті 1,7 м, що є приблизним рівнем висоти очей людини, освічуючи (зверху вниз) манекен людини та покажчики, який був одягнутий в одяг з матеріалу червоного кольору клався на підлогу на

відстані 3-ох метрів від оглядового вікна, аналогічно п’ять покажчиків які відповідали розміру тулуба людини та були пофарбовані в червоний колір також розміщувались на підлозі на одній лінії разом з манекеном з кроком в один метр.

Рисунок 4.9 – Подача ТРВ форсункою з діаметром вихідного отвору 2 мм

Було запалено модельне вогнище та через кожні 30 с. термопарами здійснено заміри температури в задимленому приміщенні, що наведено в графіку на рисунку 4.10.

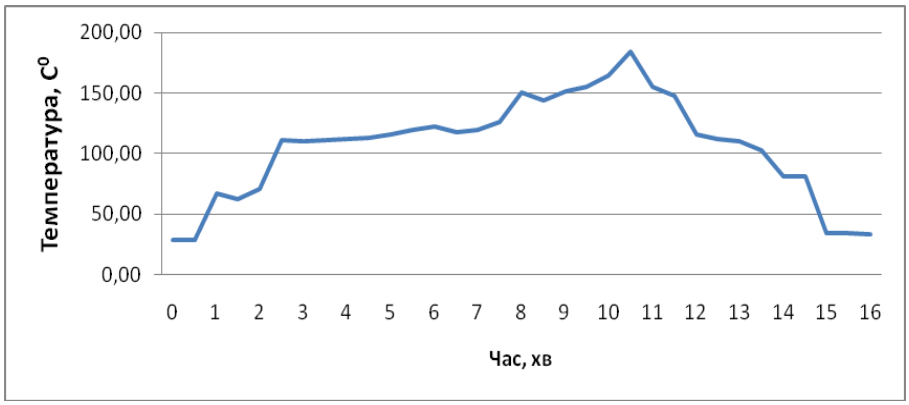


Рисунок 4.10 – Графік зміни температури в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 2 мм

Станом вже на 3 хв. видимість стала рівна нулю, що було зафіксовано по мілівольтметру де покази становили 80 мВ (2,37 Нп/м), а візуальна видимість за допомогою електричного ліхтаря була відсутня та середньо об'ємна температура становила 100^0С. Станом на 10 хв. було відкрито вихідний отвір та ввімкнено електричний осьовий вентилятор з подачею ТРВ на форсунку при тиску 0,4 МПа. Прилад для дослідження оптичної густини диму показував рівень задимленості в 80 мВ (2,37 Нп/м), а середньо об'ємна температура становила 160^0С що нотується на папері кожні 30 с. На рисунках 4.11. та 4.12 показано графіки зміни оптичної та візуальної видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 2 мм.

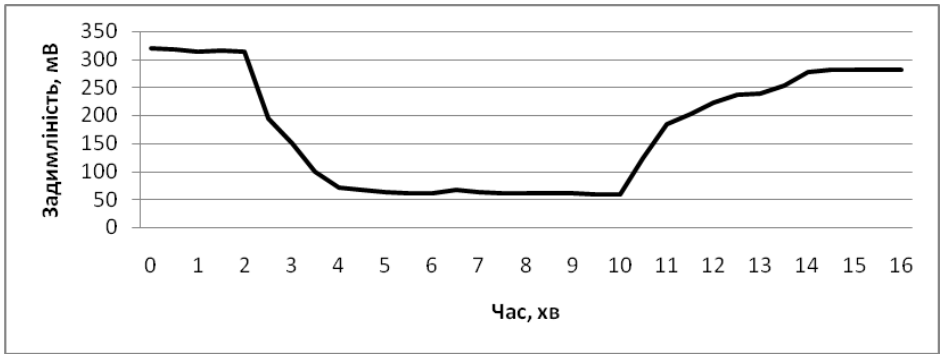


Рисунок 4.11 – Графік зміни оптичної видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 2 мм

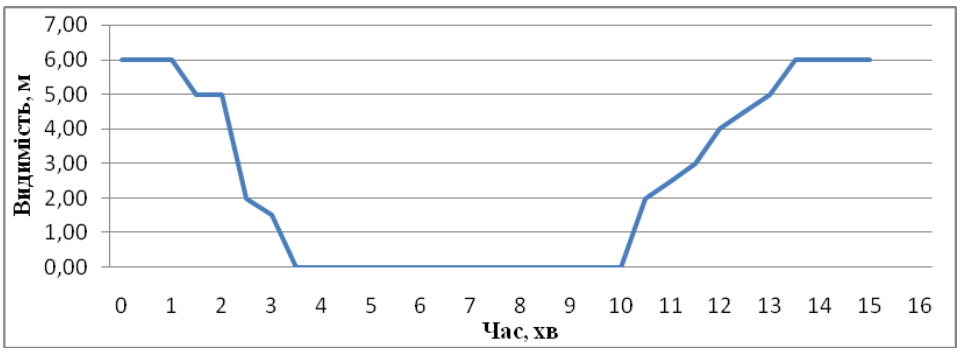


Рисунок 4.12 – Графік зміни візуальної видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 2 мм

Отже, встановлено, що з моменту нагнітання електричним осьовим вентилятором та подачі ТРВ форсункою з діаметром вихідного отвору 2 мм при тиску 0,4 МПа ми досягнули середньо об’ємну температуру 60 ^{0}С через 4 хв. 2с, а видимість: візуальну – 3 м; оптичну – 0,78 Нп/м (200±7 мВ) за 2 хв. 40 с.

На другому етапі проводили випробування з форсункою діаметром вихідного отвору 2,5 мм (рис. 4.13). проводилось аналогічно першому етапу.

Рисунок 4.13 – Подача ТРВ форсункою з діаметром вихідного отвору 2,5 мм

Станом на 3,25хв. видимість стала рівна нулю, що було зафіксовано по мілівольтметру де покази становили 80 мВ (2,37 Нп/м) а візуальна видимість за допомогою електричного ліхтаря була відсутня та середньо об’ємна температура становила 80^{0}С. Станом на 10 хв. було відкрито вихідний отвір та ввімкнено електричний осьовий вентилятор з подачею води на форсунку діаметром вихідного отвору 2,5 мм при тиску 0,4 МПа. Прилад для дослідження оптичної густини диму показував рівень задимленості в 2,37 Нп/м (80 мВ), а середньо об’ємна температура становила 157 ^{0}С що нотується на папері кожні 30 с.

Було отримано такі результати по температурі (рис. 4.14), по видимості: оптичній (рис. 4.15), візуальній (рис. 4.16).

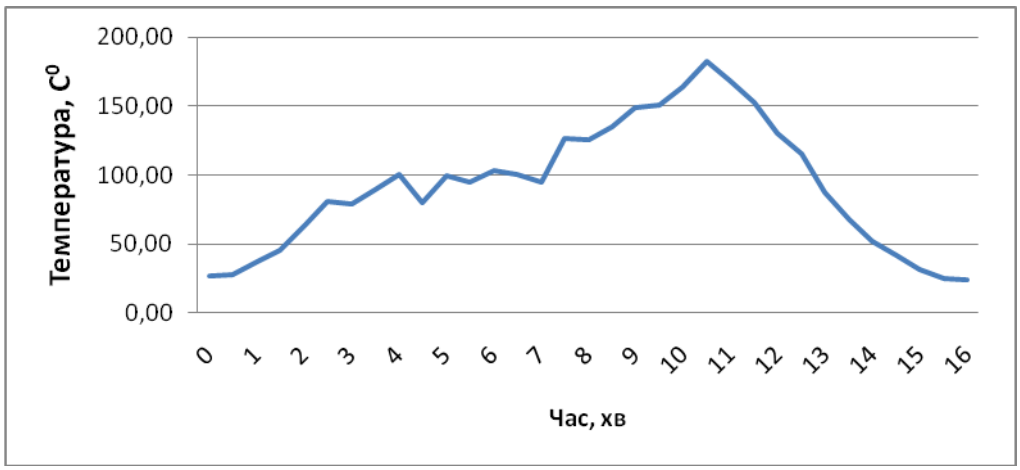


Рисунок 4.14 – Графік зміни температури в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 2,5 мм

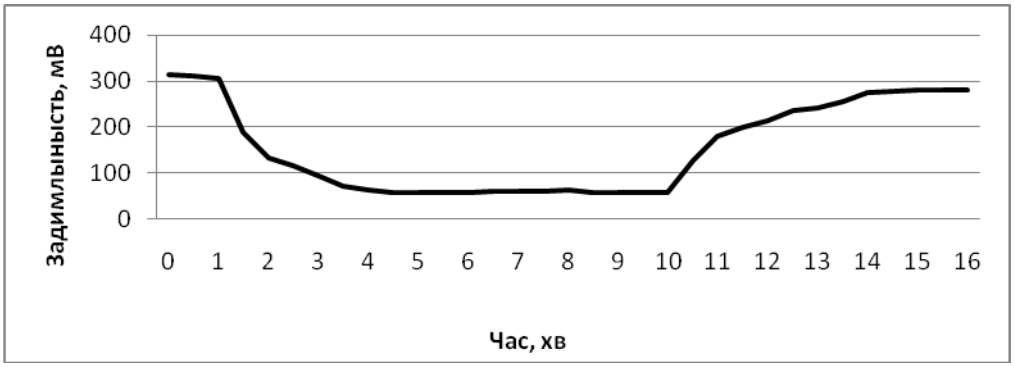


Рисунок 4.15 – Графік зміни оптичної видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 2,5 мм

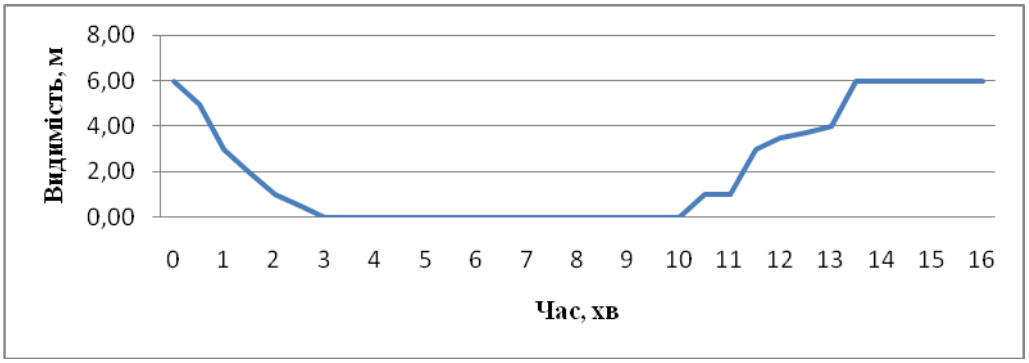


Рисунок 4.16 – Графік зміни візуальної видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 2,5 мм

Отже, встановлено, що з моменту нагнітання електричним осьовим вентилятором та подачі ТРВ форсункою з діаметром вихідного отвору 2,5 мм при тиску 0,4 МПа ми досягнули середньо об'ємну температуру 60 ^{0}С через 3хв. 35с а видимість: візуальну – 3 м; оптичну – 0,78 Нп/м (200±7 мВ) за 2 хв. 10 с.

На третьому етапі проводили випробування з форсункою діаметром вихідного отвору 3 мм (рис. 4.17) проводилось аналогічно другому етапу.

Рисунок 4.17.Подача ТРВ форсункою з діаметром вихідного отвору 3 мм

Станом на 3хв 46с видимість стала рівна нулю, що було зафіксовано по мілівольтметру де покази становили 80 мВ а візуальна видимість за допомогою електричного ліхтаря була відсутня та середньо об'ємна температура становила 76 ^{0}С. Станом на 10 хв. було відкрито віконний отвір та ввімкнено електричний осьовий вентилятор з подачею води на форсунку діаметром вихідного отвору 3мм при тиску 0,4 МПа. Прилад для дослідження оптичної густини диму показував рівень задимленості в 80 мВ, а середньо об'ємна температура становила 160 ^{0}С що нотується на папері кожні 30 с. Було отримано такі результати по температурі (рис. 4.18), по видимості: оптичній (рис. 4.19), візуальній (рис. 4.20).

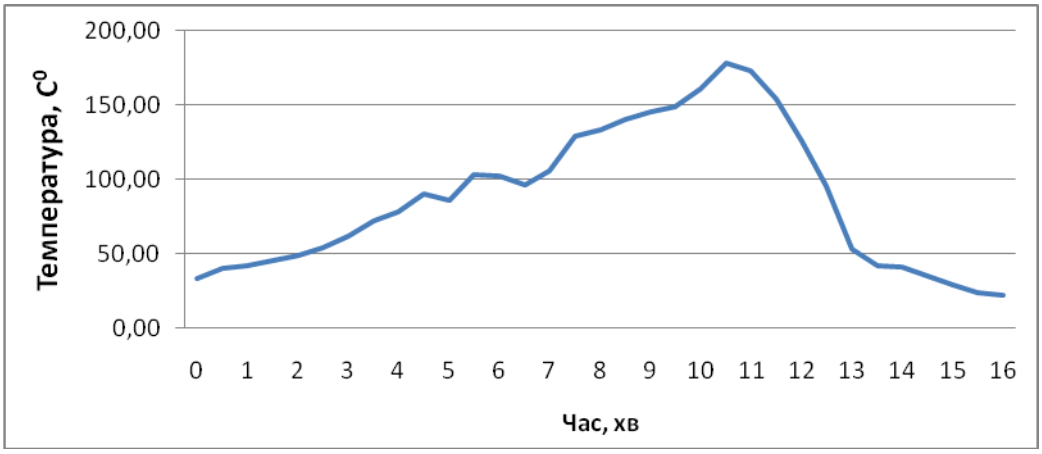


Рисунок 4.18 – Графік зміни температури в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 3 мм

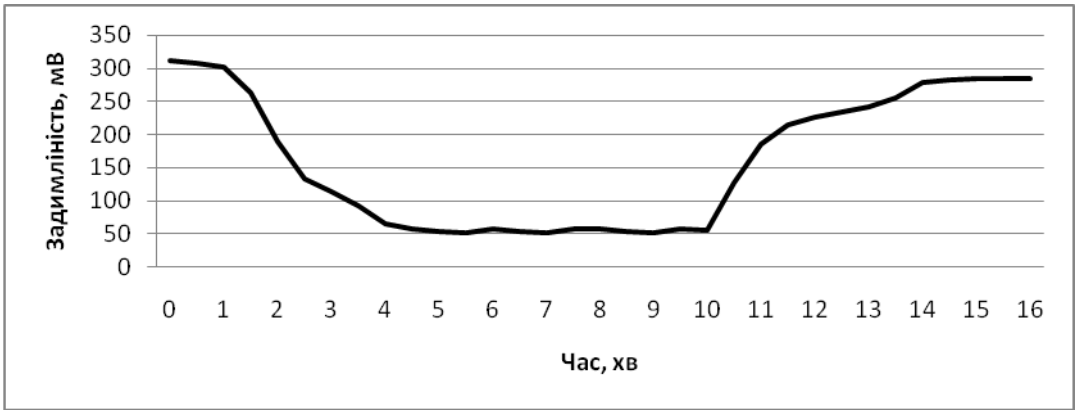


Рисунок 4.19 – Графік зміни оптичної видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 3 мм

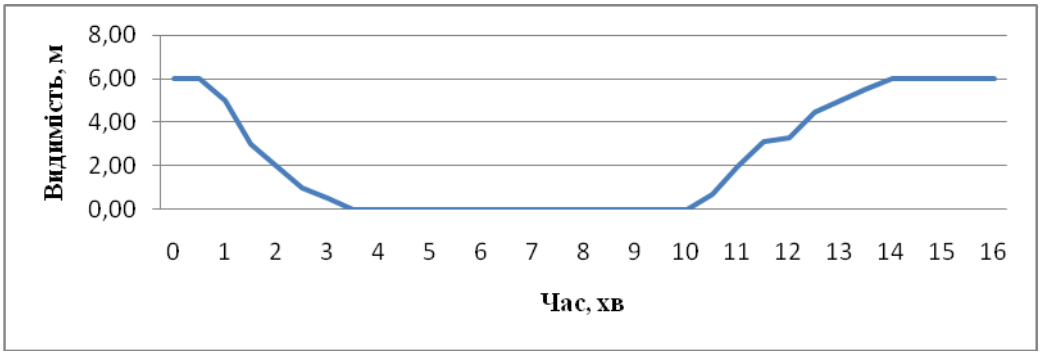


Рисунок 4.20 – Графік зміни видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 3 мм

Отже, встановлено, що з моменту нагнітання електричним осьовим вентилятором та подачі ТРВ форсункою з діаметром вихідного отвору 3мм при тиску 0,4 МПа ми досягнули середньо об’ємну температуру 60 ^{0}С через 3хв. а видимість: візуальну – 3 м; оптичну – 0,78 Нп/м (200±7 мВ) за 1хв 35с.

На четвертому етапі проводили випробування з форсункою діаметром вихідного отвору 3,5 мм (рис. 4.21) проводилось аналогічно, третьому етапу.

Рисунок 4.21 – Подача ТРВ форсункою з діаметром вихідного отвору 3,5 мм

Станом на 3хв. 22с видимість стала рівна нулю, що було зафіксовано по мілівольтметру де покази становили 80 мВ а візуальна видимість за допомогою електричного ліхтаря була відсутня та середньо об’ємна температура становила 117 ^{0}С. Станом на 10 хв. було відкрито вихідний отвір та ввімкнено електричний осьовий вентилятор з подачею води на форсунку діаметром вихідного отвору 3мм при тиску 0,4 МПа. Прилад для дослідження оптичної густини диму показував рівень задимленості в 80 мВ, а середньо об’ємна температура становила 160С^0 що нотується на папері кожні 30 с. Було отримано такі результати по температурі (рис. 4.22) , по видимості: оптичній (рис. 4.23), візуальній (рис. 4.24).

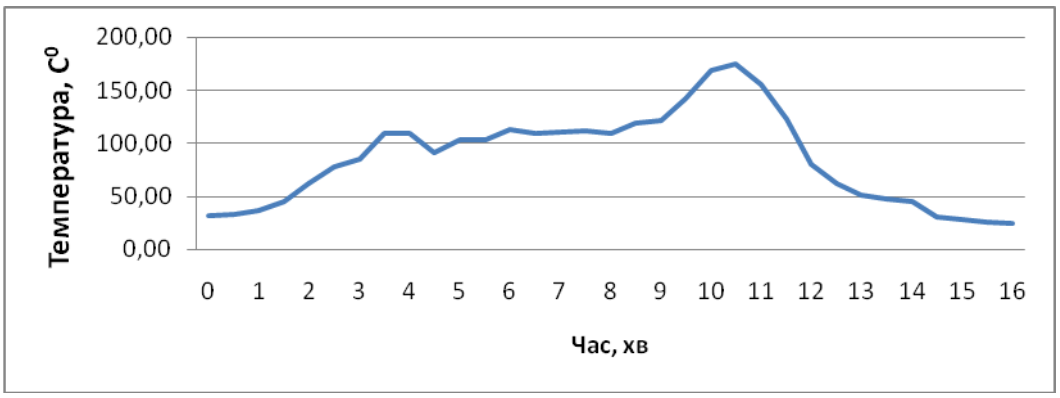


Рисунок 4.22 – Графік зміни температури в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 3,5 мм

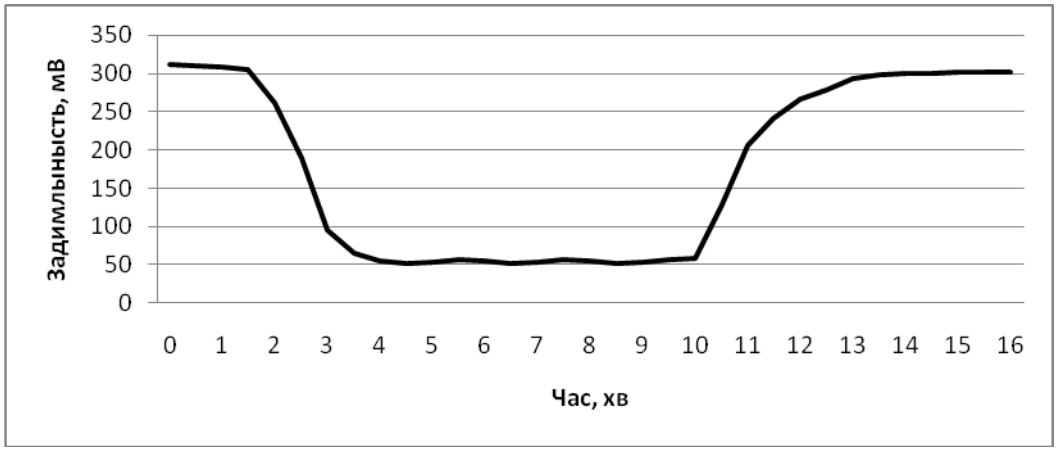


Рисунок 4.23 – Графік зміни оптичної видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 3,5 мм

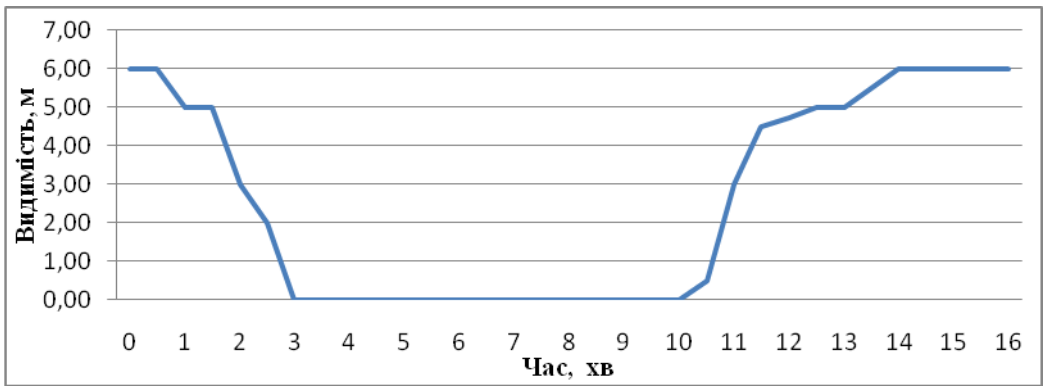


Рисунок 4.24 – Графік зміни візуальної видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 3,5 мм

Отже встановлено, що з моменту нагнітання електричним осьовим вентилятором та подачі ТРВ форсункою з діаметром вихідного отвору 3,5 мм при тиску 0,4 МПа ми досягнули середньообємну температуру 60 ^{0}С через 2хв. 30с а видимість: візуальну – 3м; оптичну –0,78 Нп/м (200±7 мВ) за 1хв 15с.

На п’ятому етапі проводили випробування з форсункою діаметром вихідного отвору 4 мм (рис. 4.25). проводилось аналогічно четвертому етапу.

Рисунок 4.25 – Подача ТРВ форсункою з діаметром вихідного отвору 4 мм

Станом на 3хв. 16с видимість стала рівна нулю, що було зафіксовано по мілівольтметру де покази становили 80 мВ а візуальна видимість за допомогою електричного ліхтаря була відсутня та середньо об’ємна температура становила 51 ^{0}С. Станом на 10 хв. було відкрито вихідний отвір та ввімкнено електричний осьовий вентилятор з подачею води на форсунку діаметром вихідного отвору 4 мм при тиску 0,4 МПА. Прилад для дослідження оптичної густини диму показував рівень задимленості в 80 мВ, а середньо об’ємна температура становила 160 ^{0}С що нотується на папері кожні 30 с. Було отримано такі результати по температурі (рис. 4.26), по видимості: оптичній (рис. 4.27), візуальній (рис. 4.28).

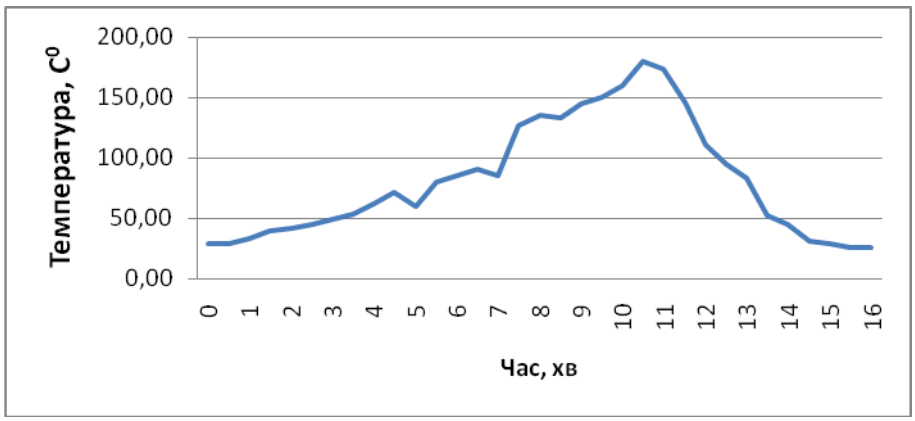


Рисунок 4.26 – Графік зміни температури в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 4 мм

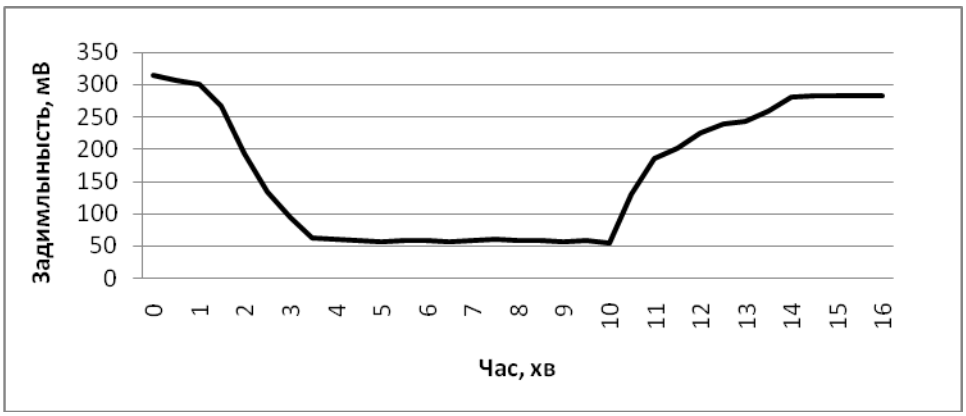


Рисунок 4.27 – Графік зміни оптичної видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 4 мм

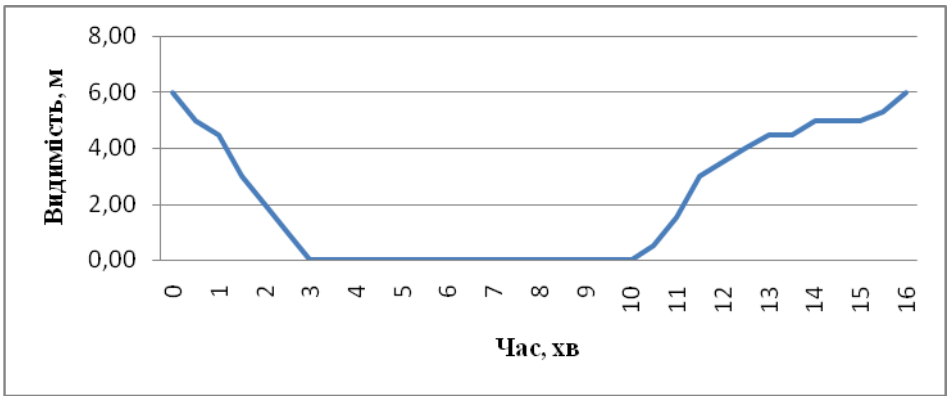


Рисунок 4.28 – Графік зміни візуальної видимості в приміщенні при використанні форсунки діаметром вихідного отвору 4 мм

Отже, встановлено, що з моменту нагнітання електричним осьовим вентилятором та подачі ТРВ форсункою з діаметром вихідного отвору 4 мм при тиску 0,4 МПа ми досягнули середньо об'ємну температуру 60 ^{0}С через 3 хв. 30с а видимість: візуальну – 3м; оптичну – 0,78 Нп/м (200±7 мВ) за 1хв. 40с.

Відповідно провівши досліди в п'ять етапів зведемо показники всіх результатів в одні графіки та таблиці. А саме на рисунку 4.29 зображено графік зміни температури в приміщенні при 5 етапах досліду згідно діаметрів вихідного отвору форсунки, що випробовувались.

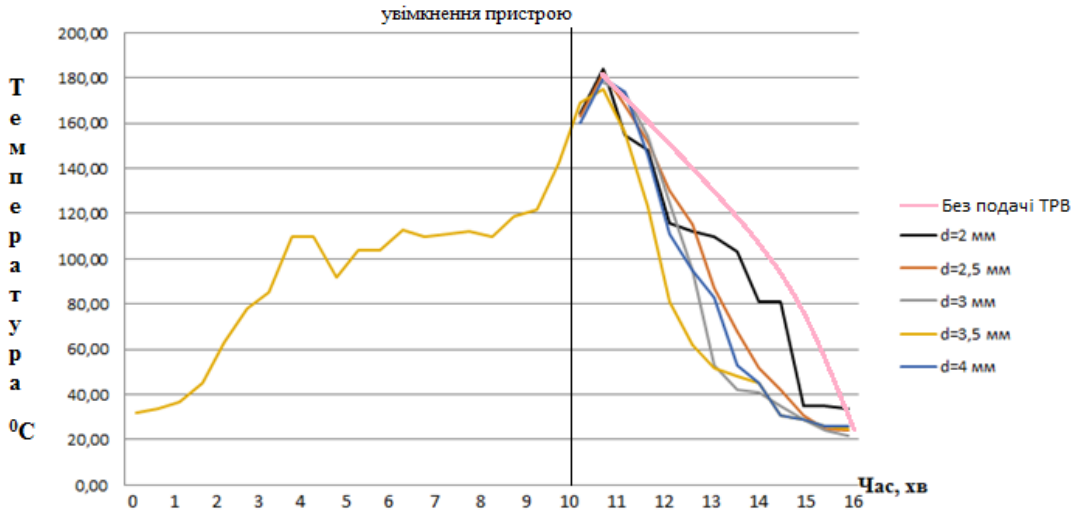


Рисунок 4.29 – Графік зміни температури в приміщенні

В таблиці 4.2 наведені всі показники зміни температури при 5-ти етапах експериментальних досліджень.

Таблиця 4.2 – Зміна температуру за різними діаметрами вихідного отвору форсунки

Час, хв	Показники температури в приміщенні, ^{0}С				
	d=2 мм	d=2,5 мм	d=3 мм	d=3,5 мм	d=4 мм
1	2	3	4	5	6
0,00	29,00	27,00	33,00	32,00	29,00
0,50	29,00	28,00	40,00	34,00	29,00
1,00	67,00	37,00	42,00	37,00	33,00
1,50	63,00	45,00	45,00	45,00	40,00

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6
2,00	71,00	63,00	49,00	63,00	42,00
2,50	111,00	81,00	54,00	111,00	45,00
3,00	110,00	79,00	62,00	112,00	49,00
3,50	111,00	89,00	72,00	120,00	54,00
4,00	112,00	100,00	78,00	113,00	62,00
4,50	113,00	80,00	90,00	92,00	72,00
5,00	116,00	99,00	86,00	104,00	60,00
5,50	120,00	95,00	103,00	104,00	80,00
6,00	122,00	103,00	102,00	113,00	86,00
6,50	118,00	100,00	96,00	54,00	91,00
7,00	120,00	95,00	106,00	63,00	85,00
7,50	126,00	126,00	129,00	126,00	127,00
8,00	150,00	125,00	133,00	135,00	135,00
8,50	144,00	135,00	140,00	140,00	133,00
9,00	151,00	149,00	145,00	145,00	145,00
9,50	155,00	150,00	149,00	157,00	150,00
10,00	164,00	163,00	161,00	168,00	160,00
10,50	184,00	182,00	178,00	186,00	180,00
11,00	155,00	168,00	173,00	181,00	174,00
11,50	148,00	152,00	154,00	125,00	146,00
12,00	116,00	130,00	125,00	81,00	111,00
12,50	112,00	115,00	85,00	62,00	95,00
13,00	110,00	87,00	63,00	52,00	83,00
13,50	83,00	68,00	42,00	48,00	53,00
14,00	61,00	52,00	41,00	45,00	45,00
14,50	41,00	42,00	35,00	31,00	31,00
15,00	35,00	31,00	29,00	29,00	29,00
15,50	35,00	25,00	24,00	26,00	26,00
16,00	34,00	24,00	22,00	25,00	26,00

Отже, щодо вище наведених результатів по досягненню середньо об’ємної температури в межах 60±5 ^{0}С температури з моменту подачі повітряно-водяного струменю пристроєм найкращий результат 2 хв. 32 с показала форсунка діаметром 3,5 мм.

Відповідно в таблиці 4.3 наведено вплив дисперсності крапель ТРВ на час в хв. для досягнення середньо об’ємної температури в межах 60±5 ^{0}С за різними діаметрами вихідного отвору форсунки при постійному тиску 0,4 МПа.

Таблиця 4.3 – Вплив дисперсності крапель ТРВ на зміну температури за різними діаметрами вихідного отвору форсунки

Діаметр форсунки, мм	Дисперсність крапель ТРВ, мкм	Час, хв
2	118	4,0
2,5	273	3,5
3.0	319	3,0
3,5	363	2,5
4	413	3,5

Відповідно до таблиці 4.3 найкращий результат, щодо досягнення середньо об’ємної температури в межах 60±5 ^{0}С з часом 2,5 хв. показала форсунка з діаметром вихідного отвору 3,5мм та дисперсністю крапель ТРВ 363 мкм.

На рисунку 4.30 показано графік зміни оптичної видимості при 5 етапах досліду згідно діаметрів вихідного отвору форсунки, що випробовувались.

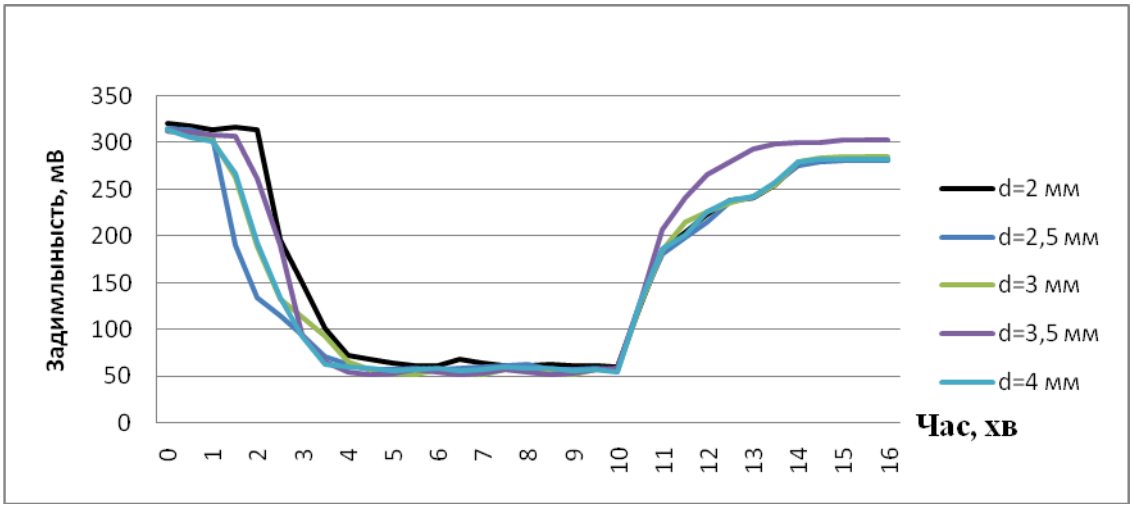


Рисунок 4.30 – Графік зміни зміни оптичної видимості (мВ) в приміщенні

В таблиці 4.4 наведені всі показники оптичної видимості (мВ) при 5-ти етапах досліджень.

Таблиця 4.4 – Зміна оптичної видимості за різними діаметрами вихідного отвору форсунки

Час, хв	Показники задимленості в приміщенні, мВ				
	d=2 мм	d=2,5	d=3 мм	d=3,5	d=4 мм
1	2	3	4	5	6
0,00	320	315	312	312	314
0,50	317	313	309	310	306
1,00	313	307	303	308	301
1,50	316	190	263	306	267
2,00	313	134	189	261	193
2,50	196	115	133	190	134
3,00	150	94	114	125	117
3,50	101	91	93	95	83
4,00	92	92	86	85	80
4,50	88	97	80	82	79
5,00	84	97	80	83	77
5,50	82	98	79	87	78
6,00	82	97	79	85	79
6,50	88	90	79	82	77
7,00	84	90	79	83	78

Продовження таблиці 4.4

1	2	3	4	5	6
7,50	82	91	78	87	80
8,00	82	91	77	85	79
8,50	83	87	78	82	79
9,00	82	87	78	83	77
9,50	81	85	78	81	78
10,00	80	79	78	80	77
10,50	125	128	127	130	130
11,00	154	180	185	206	186
11,50	182	189	203	241	201
12,00	194	199	226	266	226
12,50	203	215	235	279	239
13,00	238	237	242	293	243
13,50	240	241	255	298	258
14,00	254	256	279	300	280
14,50	278	275	283	300	282
15,00	281	279	285	302	283
15,50	282	281	285	302	283
16,00	282	281	285	302	283

Отже, щодо вище наведених результатів по досягненню оптичної видимості в межах 200±5 мВ з моменту подачі повітряно-водяного струменю найкращий результат 1 хв.2 с показала форсунка діаметром вихідного отвору 3,5 мм.

Відповідно в таблиці 4.5 наведено вплив дисперсності крапель ТРВ на час в хв. для досягнення оптичної видимості в межах 200±7 мВ за різними діаметрами вихідного отвору форсунки при постійному тиску 0,4 МПа .

Таблиця 4.5 – Вплив дисперсності крапель ТРВ на зміну оптичної видимості за різними діаметрами вихідного отвору форсунки

Діаметр форсунки, мм	Дисперсність крапель ТРВ, мкм	Час, хв
2	118	2,5
2,5	273	2,0
3.0	319	1,5
3,5	363	1
4	413	1,5

Відповідно до таблиці 4.5 найкращий результат з часом 1хв 2 с показала форсунка з діаметром вихідного отвору 3,5мм та дисперсністю крапель ТРВ 363 мкм.

На рисунку 4.31 зображено графік зміни візуальної видимості (м) в приміщенні при 5 етапах досліду згідно діаметрів вихідного отвору, що випробовувались.

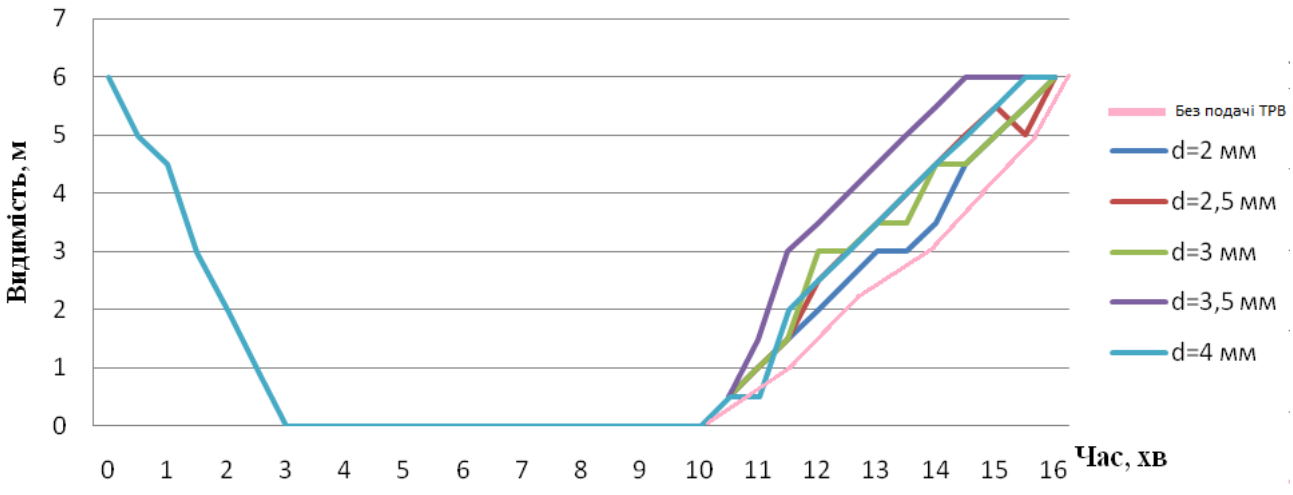


Рисунок 4.31 – Графік зміни візуальної видимості (м) в приміщенні

В таблиці 4.6 наведені всі показники замірів видимості 5 етапів досліду.

Таблиця 4.6 – Зміна часу та видимості за різними діаметрами вихідного отвору форсунки

Час, хв	Показники видимості в приміщенні, м				
	d=2 мм	d=2,5 мм	d=3 мм	d=3,5 мм	d=4 мм
1	2	3	4	5	6
0	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
0,5	6,00	5,00	6,00	6,00	5,00
1	6,00	3,00	5,00	5,00	4,50
1,5	5,00	2,00	3,00	5,00	3,00
2	5,00	1,00	2,00	3,00	2,00
2,5	2,00	0,50	1,00	2,00	1,00
3	1,50	0,00	0,50	0,00	0,00
3,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,5	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
11	1,00	1,00	1,50	3,00	1,50
11,5	1,50	1,50	3,00	3,50	3,00
12	1,50	2,50	3,00	4,00	3,00
12,5	2,50	3,00	3,50	4,50	3,50
13	3,00	3,00	3,50	5,00	3,50
13,5	3,00	3,00	3,50	5,00	3,50
14	3,00	3,00	3,50	5,00	3,50
14,5	3,00	3,00	3,50	5,00	3,50
15	3,00	3,00	3,50	5,00	3,50
15,5	3,00	3,00	3,50	5,00	3,50
16	3,00	3,00	3,50	5,00	3,50

Отже, щодо вище наведених результатів по досягненню візуальної видимості в межах 3±0,5м з моменту подачі повітряно-водяного струменю найкращий результат 1 хв. 15 с також показала форсунка діаметром 3,5 мм.

Відповідно в таблиці 4.7 наведено вплив дисперсності крапель ТРВ на час в хв. для досягнення візуальної видимості в межах 3±0,5 м за різними діаметрами вихідного отвору форсунки при постійному тиску 0,4 МПа.

Таблиця 4.7 – Вплив дисперсності крапель ТРВ на зміну візуальної видимості за різними діаметрами вихідного отвору форсунки

Діаметр форсунки, мм	Дисперсність крапель ТРВ, мкм	Час, хв.
2	118	2.40
2,5	273	2,10
3.0	319	1,35
3,5	363	1,15
4	413	1.40

Відповідно до таблиці 4.7 найкращий результат з часом 2 хв. показала форсунка з діаметром вихідного отвору 3,5мм та дисперсністю крапель ТРВ 363 мкм.

На рисунку 4.32 зображено графік зміни видимості у розмірності Н/м в приміщенні при 5 етапах досліду згідно діаметрів вихідного отвору, що випробовувались.

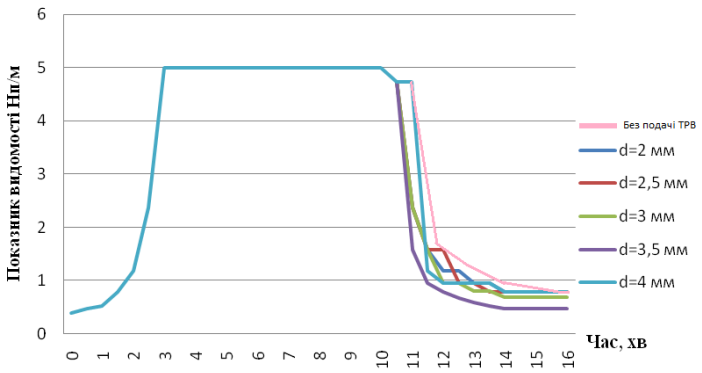


Рисунок 4.32 – Графік зміни видимості в приміщенні в Нп/м

В таблиці 4.8 наведені всі показники замірів видимості у розмірності Н/м 5 етапів досліду.

Таблиця 4.8 – Зміна видимості за різними діаметрами вихідного отвору форсунки

Час, хв	Показники видимості в приміщенні, Н/м				
	d=2 мм	d=2,5 мм	d=3 мм	d=3,5 мм	d=4 мм
1	2	3	4	5	6
0	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
0,5	0,40	0,47	0,40	0,40	0,47
1	0,40	0,79	0,47	0,47	0,53
1,5	0,47	1,19	0,79	0,47	0,79
2	0,47	2,37	1,19	0,79	1,19
2,5	1,19	4,74	2,37	1,19	2,37
3	1,58	5,00	4,74	5,00	5,00
3,5	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
4	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
4,5	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
5	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
5,5	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
6	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
6,5	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
7	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
7,5	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
8	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
8,5	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
9	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
9,5	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
10	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
10,5	4,74	4,74	4,74	4,74	4,74
11	2,37	2,37	2,37	1,58	4,74
11,5	1,58	1,58	1,58	0,95	1,19
12	1,19	1,58	0,95	0,79	0,95
12,5	1,19	0,95	0,95	0,68	0,95
13	0,95	0,95	0,79	0,59	0,95
13,5	0,95	0,79	0,79	0,53	0,95
14	0,79	0,79	0,68	0,47	0,79
14,5	0,79	0,79	0,68	0,47	0,79
15	0,79	0,79	0,68	0,47	0,79
15,5	0,79	0,79	0,68	0,47	0,79
16	0,79	0,79	0,68	0,47	0,79

Отже, щодо вище наведених результатів по досягненню оптичної видимості в одиниці Нп/м з моменту подачі повітряно-водяного струменю найкращий результат 1 хв. 58 с показала форсунка діаметром 3,5 мм.

Відповідно в таблиці 4.9 наведено вплив дисперсності крапель ТРВ на час в хв. для досягнення видимості (в загальноприйняті величині Нп/м) в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ) за різними діаметрами вихідного отвору форсунки при постійному тиску 0,4 Мпа.

Таблиця 4.9 – Вплив дисперсності крапель ТРВ на зміну візуальної видимості за різними діаметрами вихідного отвору форсунки

Діаметр форсунки, мм	Дисперсність крапель ТРВ, мкм	Час, хв
2	118	2,30
2,5	273	2,0
3.0	319	1,30
3,5	363	1,05
4	413	1,30

Відповідно до таблиці 4.9 найкращий результат з часом 1,05 хв. показала форсунка з діаметром вихідного отвору 3,5 мм та дисперсністю крапель ТРВ 363 мкм.

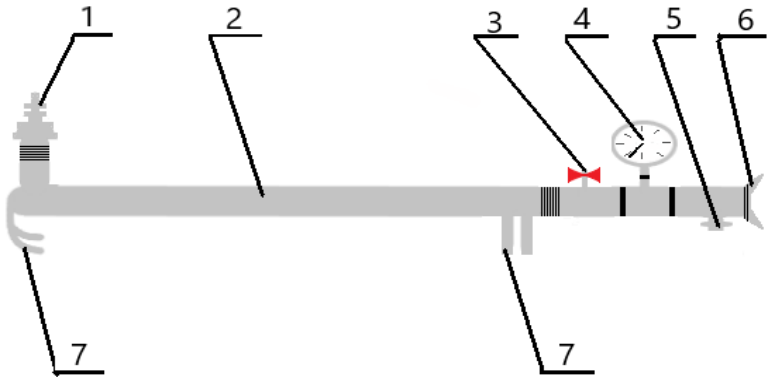
4.4. Розроблення пристрою для подачі тонко розпилених водних вогнегасних речовин на базі осьового димовисмоктувача

Метою розроблення даного пристрою, є сконструювати та виготовити саме такий пристрій, який разом з переносним пожежним димовсмоктувачем ДП-7(10) можливо було б застосовувати під час гасіння реальних пожеж в підвальних приміщеннях ланками ГДЗС [30].

Пристрій для подачі тонко розпилених водних вогнегасних речовин (далі пристрій) призначений для утворення та подачі ТРВ у об’єми приміщень під час пожежі працює разом з переносним пожежним димовсмоктувачем.

Загальна будова пристрою, який складається з форсунки- розпилювача (повний конус) 1, трубопроводу 2, кульового крана 3, манометра 4, фільтра води 5, з'єднувальної головки 6, спеціального кріплення до димовисмоктувача 7 показана на рисунку 4.33 а) та б).

а)



б)

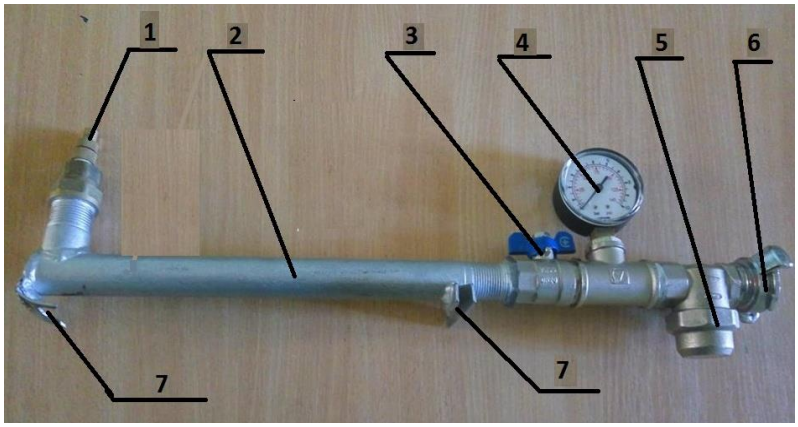


Рисунок 4.33 – Загальна будова пристрою: 1 – форсунка- розпилювач (повний конус); 2 – трубопровід; 3 – кульовий кран; 4 – манометр; 5 – фільтр води; 6 – з'єднувальна головка; 7 – спеціальне кріплення до димовисмоктувача

Розташовується і кріпиться пристрій в передній частині до переносного пожежного димовисмоктувача за допомогою спеціального кріплення (рис. 4.34).

Рисунок 4.34 – Загальний вигляд пристрою разом з пожежним димовсмоктувачем: 1– пристрій для подачі ТРВ; 2 – переносний пожежний димовсмоктувач

Принцип дії пристрою для подачі ТРВ та переносного пожежного димовсмоктувача, полягає у їх одночасній роботі з метою отримання та подачі повітряно-водяного струменю. Повітряно-водяний струмінь отримують в результаті 2-х компонентів: води та повітря. Для отримання тонкорозпиленої води – використовується пристрій, а для отримання потоку повітря – переносний пожежний димовсмоктувач.

Від пожежного автомобіля по напірному пожежному рукаву діаметром 38 мм, приєднаного до з'єднувальної головки 6 пристрою, вода через фільтр води 5, виносний манометр 4 повз відкритий кран 3 по трубопроводу 2 надходить до форсунки 1, де розпилюється і потоком повітря від працюючого димовисмоктувача подається в приміщення де відбувається пожежа.

Також вагомим показником є витрата води яка відбувається при використанні даних насадок розпилювачів. Відповідно використовуючи формулу 4.1 проведемо підрахунок витрати води для форсунки (повний конус) з діаметрами вихідних отворів (d=2 мм, d=2,5 мм, d=3 мм, d=3,5 мм, d=4 мм) при постійному тиску (Р= 0,4 Мпа) [91-93].

$$Q_m = \mu\omega\sqrt{(2gH)}, \quad (4.1)$$

де:

Q_m – середня витрата води, $^{л}/_{с}$;

μ – коефіцієнт витрати залежний від типу насадки;

ω –площа перерізу насадки,$м^2$;

g– прискорення сили тяжіння, $^{м}/_{с^2}$;

H– напір над центром тяжіння вихідного отвору з урахуванням швидкості підходу, $м$.

Для форсункиd=3,5 мм:

$$Q_m = \mu\omega\sqrt{(2gH)} = \mu \times \frac{\pi d^2}{4} \times \sqrt{(2gH)} =$$

$$0{,}5 \times \frac{3{,}14\times(0{,}0035)^2}{4} \times \sqrt{(2 \times 9{,}81 \times 40)} = 0{,}5 \times 0{,}00000961625 \times 28{,}01428 =$$

$$0{,}00013469616\,^{м^3}/_{с} = 0{,}135\,^{л}/_{с}$$

Технічна характеристика пристрою наведена у таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Технічна характеристика пристрою

Параметри	Значення
Діаметр насадки розпилювача, мм	3,5
Витрата води при тиску 0,4 МПа, л/с	0,13
Діаметр трубопроводу, мм	25
Діаметр з'єднувальної головки, мм	38
Довжина приладу, мм	515
Довжина сопла з форсункою, мм	125
Маса, кг	2,1

На основі математичної моделі яка детально розглянута в 2 розділі, виконаємо перерахунок відносної ефективності струменя для конкретних параметрів (червона крива), що використовувалися в експерименті (рис. 4.34). Аналогічним чином визначаємо відносну ефективність осадження диму шляхом вимірювання часу протягом якого досягається необхідна видимість (синя крива), але у ці ефективності вже враховано ефективність параметрів

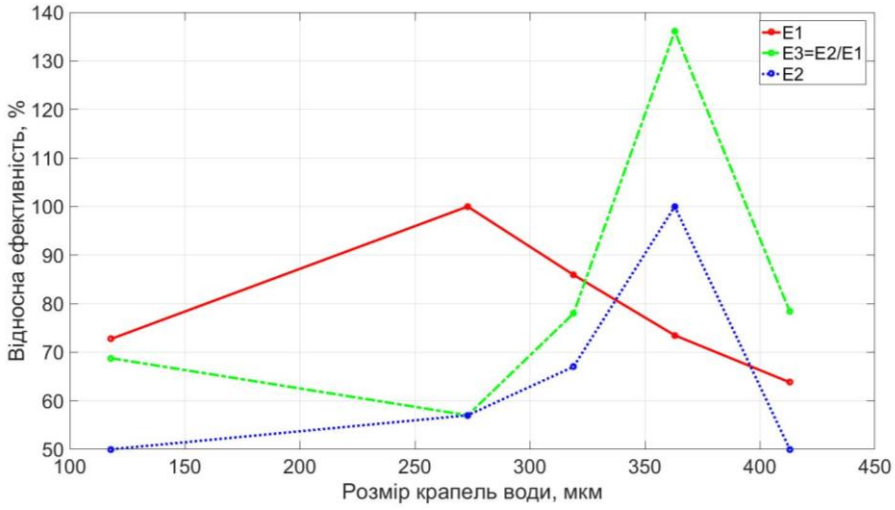


Рисунок 4.34 – Графічна залежність відносної ефективності від розміру крапель тонкорозпиленої води, їх кількості та параметрів струменя

Графічну залежність ефективності осадження диму від кількості крапель тонкорозпиленої води (червона лінія) показано на рисунку 4.35. Як видно із рисунку вплив кількості крапель спостерігається лише при значній різниці більше десяти разів. Для вилучення цього впливу знову поділимо одну криву (синю на червону) на іншу і отримаємо результат вплив тільки розміру крапель води на ефективність осадження диму, максимум спостерігається на фракції із середнім розміром 363 мкм.

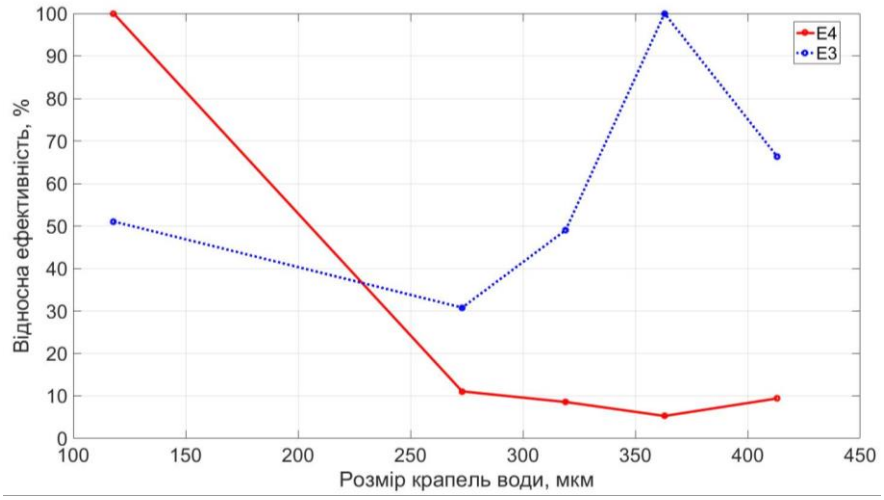


Рисунок 4.35 – Графічна залежність відносної ефективності від розміру крапель тонкорозпиленої води та їх кількості

Графічна залежність відносної ефективності від розміру крапель тонкорозпиленої води показана на рисунку 4.36.

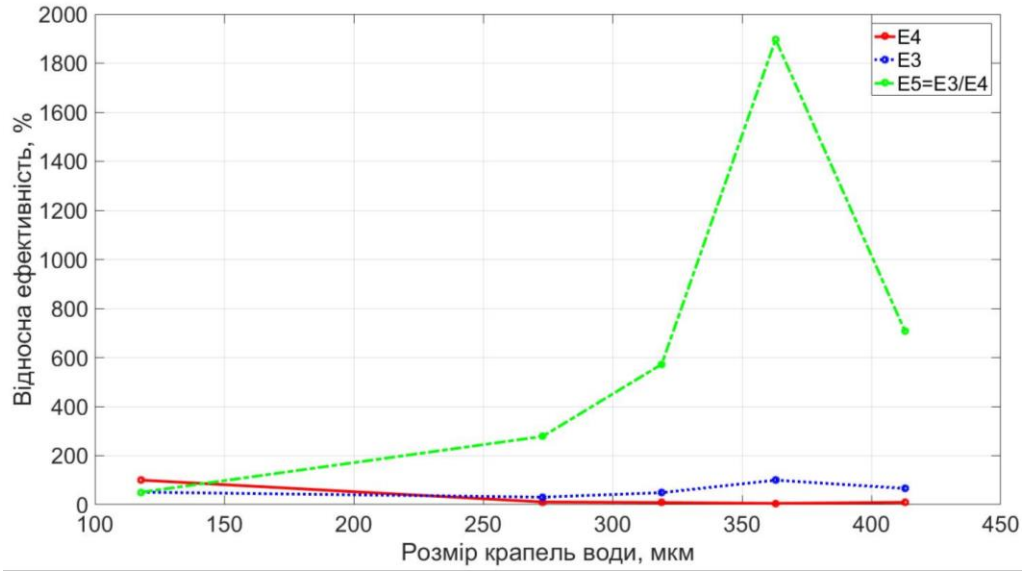


Рисунок 4.36 – Графічна залежність відносної ефективності від розміру крапель тонкорозпиленої води

4.5. Висновки за розділом

При проведенні лабораторних досліджень насадок розпилювачів для осадження продуктів горіння та пониження температури було отримано такі результати:

4.51. При 5-ти етапах досліджень на 10-ту хвилину в приміщенні де розміщено макетне вогнище пожежі на момент подачі повітряно-водяного струменя за допомогою пристрою з осьовим димовсмоктувачем середньо об'ємна температура становила 160^{0}С а видимість: візуальна – 0 м а оптична по приладу –2,37 Нп/м (80 мВ).

4.5.2. Проведено досліди на зразку пристрою для подачі повітряно-водяного струменю, проведено дослідження з визначення його тактико-технічних характеристик в лабораторних умовах.

4.5.3. Дослідження показали, що найефективніше (швидше по часу) пониження середньо об'ємної температури в межах 60±5^{0}С та збільшення видимості: візуальної в межах 3±0,5 м і оптичної в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ) в приміщенні було досягнуто при використанні осьового електричного вентелятора продуктивністю 5000 м^3/год та форсунки (повний конус) діаметром вихідного отвору 3,5 мм при тиску подачі ТРВ на виході 0,4 МПа з дисперсністю ТРВ 360 мкм.

4.5.4. Відповідно до вище наведених результатів по досягненню середньо об'ємної температури в межах 60±5^{0}С з моменту подачі повітряно-водяного струменю пристроєм найкращий результат 2 хв. 32 с показала форсунка діаметром 3,5 мм.

4.5.5. На підставі наведених результатів по досягненню видимості:

- візуальної в межах 3±0,5 м з моменту подачі повітряно-водяного струменю пристроєм аналогічно найкращий результат 1 хв. 15с показала форсунка діаметром 3,5 мм з дисперсністю ТРВ 360 мкм;

- оптичної в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ) з моменту подачі повітряно-водяного струменю пристроєм аналогічно найкращий результат 1 хв. 5 с показала форсунка діаметром 3,5 мм з дисперсністю ТРВ 360 мкм;

4.5.6. Якщо проаналізувати час досягнення середньо об’ємної температури, який становить в середньому 2хв. 32с та видимості: візуальної та оптичної, яка становить в середньому 1хв 10с.То побачимо, що видимість була набута швидше ніж пониження температури оскільки швидкість охолодження нагрітого приміщення є меншою ніж видалення продуктів горіння з приміщення.

4.5.7. Створений зразок пристрою для подачі ТРВ з форсункою (повний конус) діаметром 3,5 мм та наведена його технічна характеристика.

4.5.8. Як показує аналіз графічних залежностей ефективності осадження диму від кількості та розміру крапель води, вплив оптимального потоку повітряно-водяного струменя на ефективність осадження диму є в півтора рази менший ніж вплив розміру краплі, а вплив зміни кількості крапель є незначним.

Таким чином, результати лабораторних досліджень підтвердили теоретичні, що добре видно на результатах та графіках всіх етапів дослідження.

РОЗДІЛ 5 ОСОБЛИВОСТІ ТАКТИКИ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ У ПІДВАЛЬНИХ ПРИМІЩЕННЯХ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОСАДЖЕННЯ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ТА ЗНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

5.1. Конструктивні особливості використання пристроїв для вилучення продуктів горіння та зниження температури в приміщеннях під час пожежі

Особливості гасіння пожеж у підвальних приміщеннях за допомогою традиційних для сучасної практики приладів та пристроїв для вилучення продуктів горіння та зниження температури в приміщеннях, детально проаналізовано і подано в Розділі 1 даної дисертаційної роботи. У роботах [94-110] наводиться короткий огляд засобів димовидалення з атріумів та інформація про останні дослідження, що відносяться до проектування систем димовидалення з приміщень. На основі опрацювання досвіду гасіння найбільш характерних пожеж у підвальних приміщеннях житлових будівель, можна зробити висновок, що найбільш важливою характеристикою, що ставиться до мобільного пожежно-технічного обладнання для захисту та ефективної роботи газодимозахисників при гасінні пожеж в підвалах є вимога зменшення середньо об’ємної температури та збільшення оптичної видимості.

Виходячи з статистичних даних, саме ці фактори мають визначальне значення, що дозволяє забезпечити безпечну роботу газодимозахисників та підвищення ефективності роботи такого обладнання.

Виходячи з конструктивних та технологічних характеристик пристрою на базі осьового димовсмоктувача для осадження продуктів згоряння та зниження температури, що детально описані в розділах 2 та 4, можна відзначити його переваги у співставленні із існуючими димовсмоктувачами (ДП-7 та ДП-10):

– при подачі повітряно-водяного струменю в задимлене приміщення швидше (наприкладі, ДП-7 - у 1,5-2 рази) осадження твердих частинок вуглецю, що знаходяться в диму, внаслідок чого збільшуватиметься видимість в задимленому приміщенні;

– за рахунок надходження повітряно-водяного струменю швидше вилучення продуктів горіння, внаслідок чого температура в приміщенні буде швидше знижуватись;

– зменшується концентрація деяких розчинних у воді токсичних продуктів горіння за короткий період часу, що дозволяє газодимозахисникам пришвидшити гасіння пожеж, рятування людей та ліквідацію надзвичайних ситуацій;

– підвищується безпека роботи газодимозахисників, внаслідок застосування пристрою збільшується видимість та знижується температура в приміщенні під час пожежі.

– внаслідок більш швидкого осадження продуктів горіння для збільшення видимості та зниження температури, пришвидшується знаходження осередку пожежі та його ліквідація відповідно і зменшення матеріальних збитків.

– не використовується спеціальна пожежно-рятувальна техніка та зменшується кількість особового складу, які залучаються до виконання спеціальних робіт з димовидалення, що підвищує ефективність використання обладнання при ліквідації пожеж у підвальних та цокольних приміщеннях.

Всі ці переваги спричинюють суттєві відмінності у тактиці використання даних пристроїв під час гасіння пожеж у підвальних та цокольних приміщеннях.

5.2. Тактичні особливості пожежної вентиляції

Організаційно-тактичні заходи гасіння пожеж у підвальних та цокольних приміщеннях в основному відповідають нормативним документам ДСНС України, а саме:

– “ Статут дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж.” [6];

- “Настанова з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України.” [7];
- Наказ МНС України від 07.05.2007 р.№ 312 “Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України.” [8];
- Довідник керівника гасіння пожеж [20];
- ДСТУ 2273:2006 “Протипожежна техніка. Терміни та визначення основних понять”[16].

Згідно вищеназваних нормативних документів під час гасіння пожежі в підвалах керівник гасіння пожежі зобов’язаний:

— встановити конструктивні особливості перекриття над підвалом, стін та перегородок, наявність прорізів та комунікацій різного призначення (вентиляційних, ліфтових, електрокабельних, технологічних тощо) і можливість поширювання по них вогню на поверхи будівлі та у прилеглі приміщення підвалу;
— встановити наявність віконних приямків та можливість введення через них стволів для зниження температури, видалення диму;
— вжити заходів для попередження задимлення сходових кліток, використовуючи з цією метою перемички і засоби димовидалення;
— за неможливості швидкого проникнення до осередку пожежі через двері або віконні приямки визначити місця розкриття отворів у перекриттях чи стінах;
— вжити заходів щодо зниження температури у приміщеннях підвалу, для чого використовувати розпилені водяні струмені або піну;
— провести перевірку будівельних конструкцій (у тому числі методом розкривання) поверху, розташованого над підвалом;
— у разі необхідності подати стволи на захист поверху, розташованого вище;
— для гасіння застосовувати, як правило, стволи "Б", стволи-розпилювачі та піну; більш потужні стволи використовувати при розвинутих пожежах.

Керівник гасіння пожеж під час розроблення оперативно-тактичного задуму

розвідки пожежі, проведенні пожежно-рятувальних робіт та пожежогасіння визначає доцільність організації вентилювання продуктів згоряння [20].

Вентилювання продуктів згоряння - це сукупність організаційно об’єднаних оперативно-тактичних заходів, що вживаються з метою видалення продуктів горіння із будівлі чи споруди з метою зниження значень показників небезпечних чинників пожежі.

Вентилювання продуктів згоряння поділяється на природне та механічне. Механічне вентилювання продуктів згоряння може здійснюватися за допомогою стаціонарних установок димовидалення або пожежних димовсмоктувачів.

Під час розроблення оперативно-тактичного задуму ліквідації пожежі із застосуванням вентилювання приміщень слід враховувати напрямок та силу вітру, умови вільного розвитку пожежі, температуру, властивість продуктів горіння та вплив цих заходів на подальший розвиток пожежі і напрямок руху продуктів горіння.

Вентилювання продуктів згоряння ґрунтується на принципі різниці тисків, які виникають у будівлі під час розвитку пожежі та назовні. Спосіб природного вентилювання продуктів згоряння полягає у відкриванні дверей, вікон, люків, утворенні прорізів у протипожежних перешкодах, самочинному поширюванні продуктів згоряння у навколишнє середовище та заміні їх на чисте повітря. Цю властивість необхідно враховувати під час проведення розвідки. Приклад схеми природного вентилювання продуктів згоряння в одноповерховій будівлі показано на рисунку 5.1.

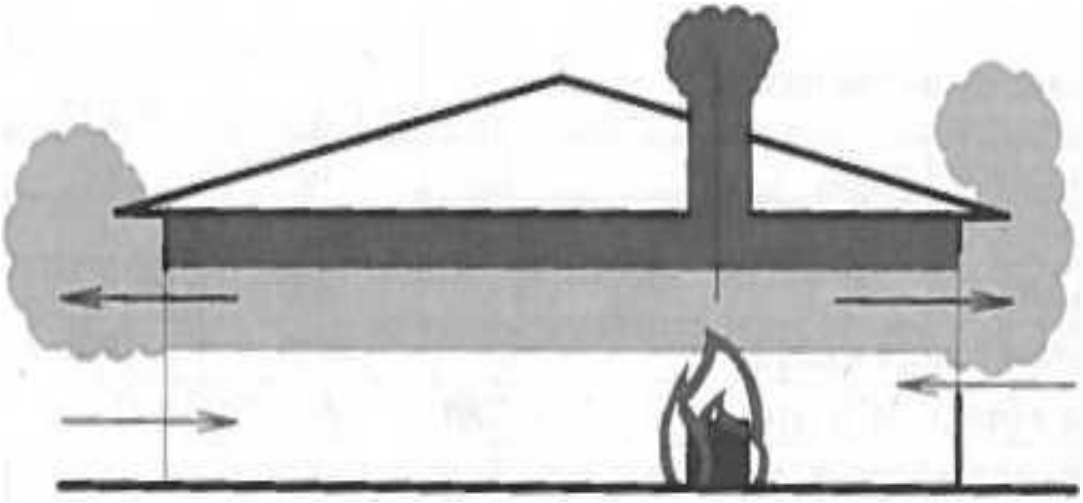


Рисунок 5.1 – Схема природного вентилювання продуктів згоряння в одноповерховій будівлі

Різниця тисків у будівлі та назовні, як правило, не перевищує декілька десятків Па. Додатковий вплив на розрідження чинить вітер, яким створюється розрідження із підвітряної сторони. Використання цих властивостей є суттєвим інструментом для забезпечення безпеки та підвищення ефективності ліквідації пожеж і повинне враховуватися керівником гасіння пожежі.

Додаткова вентиляція на пожежі (приплив свіжого повітря), безперечно, впливає на розвиток горіння, подаючи свіже повітря в зону горіння буде зростати сама інтенсивність горіння і навпаки при відсутності надлишку кисню розвиток горіння буде сповільнюватись.

Проте використання способів димовидалення рідко приводить до негативних наслідків під час гасіння пожежі, основною умовою під час проведення димовидалення є здійснення, паралельно, основних заходів по пожежогасінню, наприклад, подачі стволів направлених на локалізацію та ліквідацію горіння.

Під час проведення заходів по вилученню продуктів горіння може спостерігатися короткочасний негативний ефект, але паралельно створює умови підрозділам для проведення розвідки, введення сил і засобів на гасіння

пожежі. Додаткова вентиляція повинна реалізовуватись лише на вирішальному напрямку оперативних дій і координуватися з іншими заходами по пожежогасінню.

КГП повинен чітко визначити на якому саме етапі та де краще застосувати додаткову вентиляцію:

- якщо пожежа тільки на початкових стадіях то актуально використовувати додаткову вентиляцію саме в приміщенні яке охоплене вогнем;
- якщо за результатами розвідки зрозуміло, що пожежа динамічно розвивається та розповсюджується то доцільніше здійснювати додаткову вентиляцію суміжних приміщень для запобігання зростанню температури і як наслідок швидкого поширення вогню.

Також необхідно пам’ятати і враховувати, що приплив свіжого повітря в зону горіння може викликати ефект «Флешовер» або «Бекдрафт» [111-113].

5.3. Методичні рекомендації щодо застосування пристрою для осадження продуктів згоряння та зниження середньооб’ємної температури в підвальних приміщеннях житлових і промислових будівель у разі ліквідування пожеж

Задачею вентиляції з нагнітанням свіжого повітря в задимлене або охоплене вогнем приміщення є підвищення тиску в середині будівлі і як наслідок витіснення продуктів згорання назовні (рис. 5.2).

Основною метою нагнітання свіжого повітря є швидке зниження температури та збільшення видимості в середині приміщення для проведення подальших дій з пожежогасіння та рятування людей.

Слід також враховувати, що надходження свіжого повітря в зону горіння може призвести до збільшення інтенсивності горіння. Саме тому нагнітання свіжого повітря необхідно проводити коли:

- відсутня небезпека утворення ефекту зворотної тяги або займання продуктів неповного згорання;

- не існує можливість здійснення прихованого горіння;
- визначено місце пожежі;
- відсутні люди на ділянці осередок пожежі та вихідний отвір.

Методика застосування пожежників димовсмоктувачів ґрунтується на його розміщенні (можливе одночасне розміщення декількох димовсмоктувачів) перед входом в задимлене середовище з подальшим нагнітанням свіжого повітря в середину та витісненням продуктів згорання через попередньо зроблені вихідні отвори.

Пропонується методика проведення вентиляції задимлених приміщень з використанням пожежного димовсмоктувача разом з пристроєм для подачі тонкорозпиленої води, яка виглядає наступним чином:

1. Проведення підготовчих заходів (попереднє розгортання засобів);

2. Проведення розвідки, визначення місця осередку займання;

3. Визначити місця вихідних отворів (відкрити вікна, двері, провести вскриття конструкцій);

4. Встановлення пожежного димовсмоктувача разом зпристроєм для подачі тонкорозпиленої води та приведення їх в дію;

5. Введення сил та засобів (ланки ГДЗС) для здійснення рятування, евакуації чи пожежогасіння.

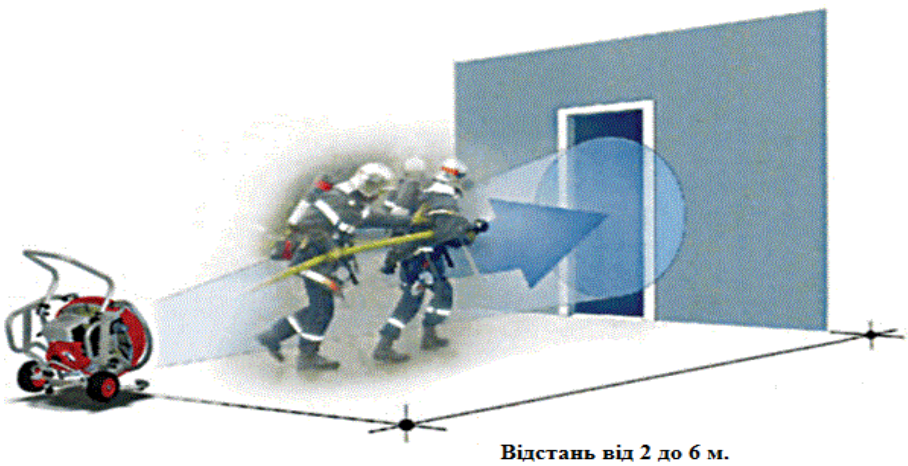


Рисунок 5.2 – Приклад встановлення пожежного димовсмоктувача, що працює на нагнітання свіжого повітря в задимлене приміщення

Як правило для здійснення нагнітання свіжого повітря використовуються пожежні димовсмоктувачі з приводом від двигуна внутрішнього згорання чи від гідравлічної турбіни. Продуктивність таких димовсмоктувачів може коливатися від 8000 до 50000 м^3/год. (тобто 2–4 м^3/с). На продуктивність димовсмоктувача впливатимуть такі чинники як: потужність двигуна чи турбіни, форма та діаметр лопатей. Як показали лабораторні дослідження для ефектективної вентиляції задимлених приміщень мінімальна продуктивність димовсмоктувачів повинна бути від 5000 м^3/год.

Не зважаючи на потужність пожежного димовсмоктувача основним фактором який впливатиме на якість та кількість повітря, що надходитиме буде геометрія приміщення, кількість та розміщення меблів, саме тому місце розміщення димовсмоктувача має визначне значення в цьому процесі.

Для запобігання виходу продуктів згорання через вхідний отвір важливо, щоб потік свіжого повітря повністю перекривав цей отвір. Для стандартних вхідних отворів (дверей квартир чи будинків) відстань димовсмоктувача від вхідного отвору повинна складати в межах 1-3 метри, залежно від типу і розміру вентилятора. Зазвичай ця відстань визначається методом підбору або ґрунтуючись вже власному досвіді (за рахунок проведення навчальних занять).

Досить часто, якщо все-таки не вдається повністю перекрити вхідний отвір або кількість повітря, що нагнітається замала, димовсмоктувач можна розмістити в середині приміщення, за умови, що він не заважатиме роботі пожежно-рятувальних підрозділів (ланкам ГДЗС).

Також під час проведення заходів з вентиляції задимлених приміщень, пожежні димовсмоктувачі можливо розміщувати поруч один з одним або один за одним, для досягнення більшого тиску і більшої об'ємної витрати, а також для перекриття великих вхідних отворів, наприклад дверей гаража чи цеху (рис.5.3).

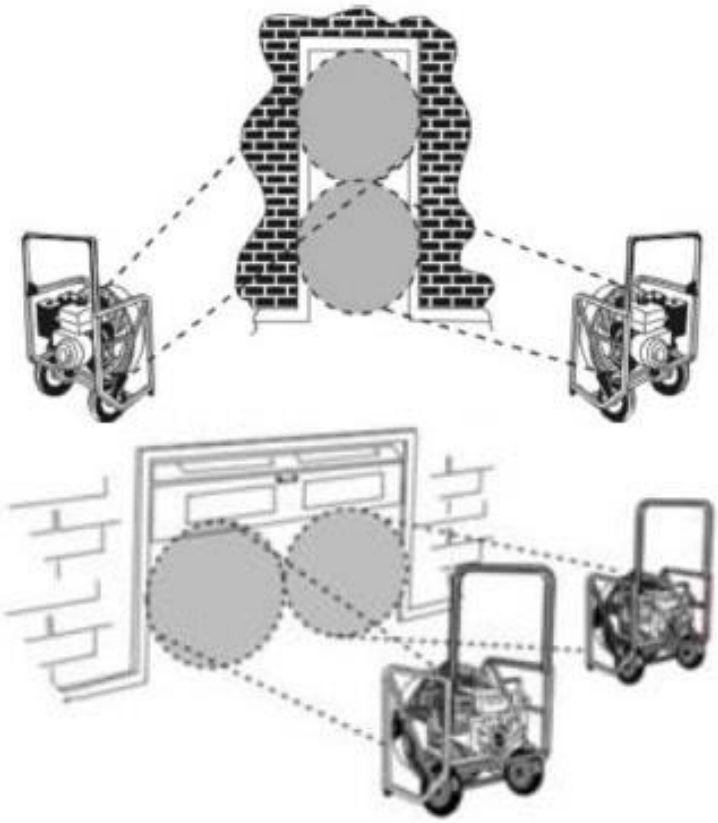


Рисунок 5.3 – Приклад розміщення пожежних димовсмоктувачів

Під час димовидалення, важливо, щоб вентиляційні отвори розміщувалися в потрібному місці по відношенню до осередку пожежі.

Температура в задимленому або палаючому приміщенні є ключовим фактором, що впливатиме на розмір вентиляційних отворів які в свою чергу, впливатимуть на швидкість розвитку пожежі в приміщенні. На розмір вентиляційних отворів також впливатиме мета їх утворення, тобто, який саме тактичний прийом необхідно забезпечити під час димовидалення. Під час утворення вентиляційних отворів необхідно пам’ятати, що між ними повинна існувати деяка кореляція, щоб об’єм газів, що виходив на зовні відповідав об’єму чистого повітря яке надходитиме.

Для досягнення найкращих результатів вентиляції з використанням пожежників димовсмоктувачів співвідношення між вхідним та вихідним

отворами повинно бути, принаймні 1:2. Це означає, що площа вихідного отвору повинна бути однаковою, а краще в два рази більша за площу вхідного отвору.

Необхідно зазначити, що велика площа вихідного отвору забезпечує більшу об'ємну витрату, але одночасно це підвищує небезпеку потрапляння в середину приміщення зовнішніх повітряних мас, саме тому під час проведення нагнітання свіжого повітря необхідно здійснювати постійний контроль за результатами роботи.

Не меншу уваги під час виконання вентиляційних отворів, керівнику гасіння пожежі, слід приділити часу виконання тих самих вентиляційних отворів та підготовки особового складу.

Саме з фактору часу та технічного забезпечення підрозділу необхідно здійснювати аналіз можливості здійснення димовидалення на пожежі.

5.4. Визначення порядку застосування пристрою з осьовим димовсмоктувачем оперативними розрахунками на автоцистернах

Відповідно до вище запропонованої методики проведення вентиляції задимлених приміщень з використанням пожежного димовсмоктувача разом з пристроєм для подачі тонкорозпиленої води, КГП повинен врахувати, що подавання води у пристрій з форсункою оптимально подавати по пожежному рукаву з діаметром d=38 мм під тиском Р= 0,4 МПа, що може забезпечити насос, яким обладнуються автоцистерни підрозділів ДСНС України, а мінімальна продуктивність димовсмоктувача при цьому повинна бути від 5000 $м^3$/год. Згідно наведених у розділі 3 результатів експериментальних лабораторних досліджень, можна стверджувати, що ці показники досягаються будь-якою конструкцією димовсмоктувачів ДП-7 та ДП-10.

Витрата води у пристрої з форсункою з діаметром вихідного отвору 3,5 мм при тиску Р= 0,4 МПа, як було зазначено у 4 розділі буде становити 0,13 л/с. При цій витраті ВВР з форсунки типу - повний конус, якщо її використовувати одночасно з вісьовим димовсмоктувачем на прикладі АЦ-40(130)63Б в якої

запас води становить 2500 л зможе забезпечити роботу установки з подачею води через рукава діаметром 38 мм протягом 298 хв. відповідно до формули 5.1[20].

Час роботи водяних стволів визначається за формулою:

$$\tau_{пр} = \frac{W_ц - \Sigma(N_р \cdot W_р)}{\Sigma(N_{пр} \cdot q_{пр}) \cdot 60} = 2350 - (1 \cdot 23)/ (1 \cdot 0{,}13) \cdot 60 = 298{,}3 \approx 298 \text{ хв.}, \qquad (5.1)$$

де, $\tau_{пр}$ – час роботи водяних стволів, хв;

$W_ц$ – об'єм води в цистерні ПА , л;

$N_р$ – кількість рукавів в рукавних лініях, шт.;

$W_р$ – об'єм води в одному рукаві (визначається за формулою 5.2), л;

$N_{пр}$ – кількість стволів за схемою, шт.;

$q_{пр}$ – витрата одного ствола, л/с.

$$W_р = \pi R^2 h \cdot 1000 = 3{,}14 \cdot (0{,}019)^2 \cdot 1000 = 22{,}7 \approx 23 \text{л} \qquad (5.2)$$

де, $1 м^3 = 1000$л.

Відповідно на практиці під час гасіння пожеж в підвальних та цокольних приміщеннях для створення безпечних умов (досягнення середньо об'ємної температури в межах 60 ± 5^0С та видимості: візуальної в межах 3±0,5 м і оптичної в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ)при використані одного пристрою на базі осьового димовсмоктувача для осадження продуктів згоряння та зниження температури ланкам ГДЗС буде достатньо 3-4 хв. для приміщення об'ємом 65-70 $м^3$. Після досягнення безпечних умов за допомогою пожежного димовсмоктувача разом з пристроєм для подачі тонкорозпиленої води, ланка ГДЗС проводить необхідні оперативні дії пов'язані з гасінням пожежі в підвальних та цокольних приміщеннях, як показано на схемі (рис 5.5).

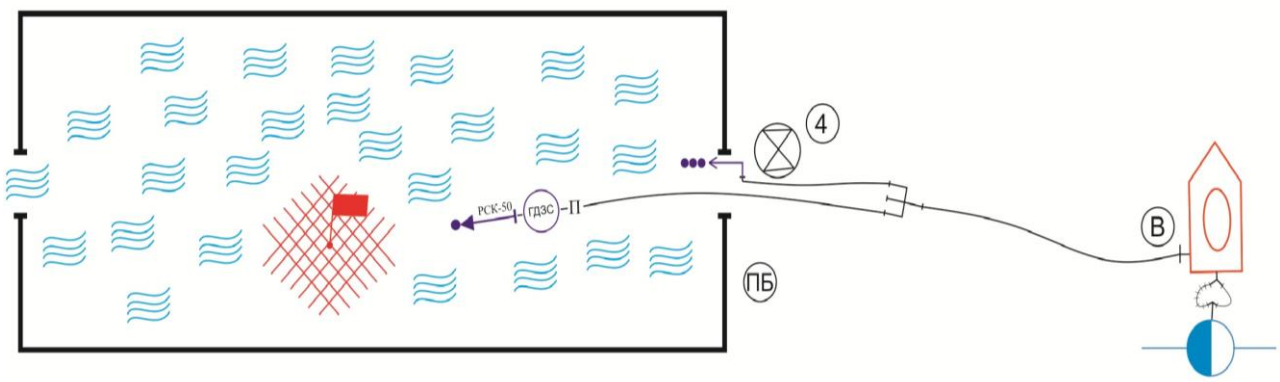


Рисунок 5.5 – Схема оперативного розгортання відділення на АЦ при застосуванні пожежного димовсмоктувача разом з пристроєм для подачі тонкорозпиленої води під час гасіння пожежі у підвалі:

Умовні позначення:

-Пожежний гідрант;

-Автоцистерна;

-Зона задимлення;

-Місце виникнення пожежі;

-Зона розповсюдження пожежі;

РСК-50 ГДЗС -П -Ланка ГДЗС зі стволом Б в підвалі;

-Розгалуження триходове;

ПБ -Пост безпеки;

4 -Пожежний №4;

В -Водій ПА;

-Димовсмоктувач пожежний;

-Пристрій з форсункою

Так, як в табелі [6], де викладені обов’язки номерів оперативного розрахунку на АЦ-40(130)63Б, пропонуються додаткові обов’язки для водія

автоцистерни та пожежника № 4 при застосуванні пристрою з подачі тонкорозпиленої води вісьовим димовсмоктувачем ДП-7М при гасінні пожеж у підвальних та цокольних приміщеннях житлових будівель (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Обов'язки розрахунку на АЦ при застосуванні пристрою

Склад оперативного розрахунку	Основні обов'язки розрахунку при роботі	Запропоновані обов'язки
1	2	3
Командир відділення	Віддає команду, або розпорядження відділень, іде в розвідку, керує роботою відділення по рятуванню людей, гасінню пожежі та евакуації майна.	Керує роботою відділення по встановленню димовсмоктувача (командир ланки ГДЗС)
Пожежник №1	Прокладає магістральну або робочу лінію, працює зі стволом, виконує роботу по рятуванню людей або по розкриттю та розборі конструкцій.	Прокладає робочу лінію, в ланці ГДС працює зі стволом
Пожежник №2	З пожежником №3 переносить та встановлює висувну драбину, прокладає рукави Ø66 (77) мм працює зі стволом та з інструментом для різки електродротів, виконує роботу по рятуванню людей, розкриттю та розборі конструкцій.	Замикаючий у ланці ГДЗС

Продовження таблиці 5.2

1	2	3
Пожежник №3	З пожежником №2 переносить та встановлює висувну драбину, допомагає прокладати магістральну лінію, встановлює розгалуження, залишається на посту безпеки, працює з шанцевим інструментом, евакуює людей, розбирає конструкції, підносить ел. ліхтар та освітлює місце роботи, прокладає робочу лінію, працює з стволом, встановлює (гідроелеватор).	Разом з пожежником № 4, переносить та встановлює димовсмоктувач, постовий на посту безпеки ланки ГДЗС.
Пожежник №4	Разом з водієм встановлює автомобіль на вододжерело, прокладає магістральну лінію, працює на розгалуженні, виконує роботу по рятуванні людей, розкриттю та розробки конструкцій , встановлює рукавні містки та встановлює зв’язок з ОКЦ по радіостанції або телефону.	Разом з пожежником № 3, переносить та встановлює димовсмоктувач і пристрій з фосункою, та під’єднює до нього рукав Ø 38 мм. Приводить димовсмоктувач в дію і працює з ним та слідкує за подачею води на форсунку.
Водій	З пожежником №4встановлює автомобіль на вододжерело, переключає роботу двигуна на насос, працює на насосі, забезпечує подачу води (піни) в рукавну лінію.	Забезпечує необхідну подачу води під тиском в рукавну лінію до пристрою димовсмоктувача та на гасіння.

5.5. Полігонні випробування пристрою для подачі ТРВ на базі димовисмоктувача ДП-7

Об’єктом випробувань був переносний пристрій для подачі ТРВ на базі димовисмоктувача ДП-7.

Мета проведення полігонних випробувань полягає у визначенні ефективності використання пристрою для подачі ТРВ на базі димовисмоктувача ДП-7.

Випробування проводились на території навчально-тренувального полігону ЛДУ БЖД в підвальному приміщені фрагменту житлової будівлі по вул. Зеленій, 301б. Умови випробувань: температура повітря 12^0С, швидкість вітру не перевищувала 3 м/с, відносна вологість повітря 78%.

Позитивним результатом випробувань вважалося:

1) зниження середньо об’ємної температури до 60±5 ^{0}С - фіксація за допомогою тепловізора Fluke TiS40 (рис. 5.6);

2) досягнення видимості:

– візуальної в межах 3±0,5 м - фіксація за допомогою групового ліхтаря з лампочкою потужністю 21 Вт;

– оптичною в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ) - фіксація за допомогою приладу по вимірюванню оптичної густини диму.

Рисунок 5.6 – Загальний вигляд тепловізора Fluke TiS40

Полігонні випробовування проводились відповідно до розробленої методики, обладнання розміщувалось згідно схеми як показано на рисунку 5.7.

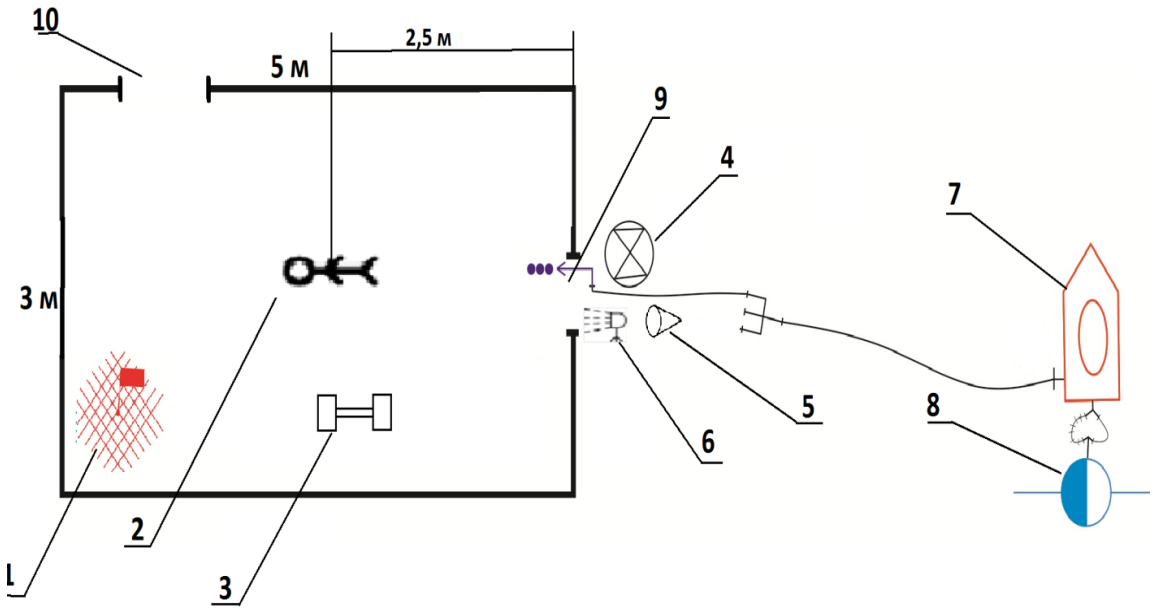


Рисунок 5.7 – Схема полігонних випробувань: 1 - модельне вогнище; 2 - маникен людини; 3 - прилад для вимірювання оптичної густини диму; 4 - димовсмоктувач з пристроєм; 5 - тепловізор; 6 - електричний ліхтар; 7 – автоцистерна; 8 - пожежний гідрант; 9 - вхідний отвір; 10 - вихідний отвір

Для виготовлення модельного вогнища загальною масою 50 кг використовувались заготовки деревини сосни з вологістю від 10 до 14% масою - 35 кг та сіна масою – 15 кг, складені в штабель з розмірами 1×1×1 м.

Випробування проводилось у два етапи, кожний з яких включав в себе два досліди (спроби). Перший етап – без подачі тонкорозпиленої води, тобто нагніталось повітря тільки осьовим димовисмоктувачем. Другий етап – з подачею ТРВ та одночасно з осьовим димовисмоктувачем.

Проведення полігонних випробувань. Модельне вогнище розташовується в підвальному приміщенні розмірами 5×3×1,8 м, підпал макетного вогнища здійснюється за допомогою бензину марки А-92 об’ємом 2л, загальна площа

горіння становить 2 м^2. Манекен людини лежить на землі по середині кімнати на відстані 2.5 м від вхідного отвору поруч за допомогою спеціального штативу на висоті 0,9 м від рівня підлоги встановлюється прилад для дослідження оптичної густини диму. На відстані 6 м від вогнища перед вхідним отвором розташовується пристрій для подачі ТРВ на базі димовисмоктувача ДП-7, який під'єднаний до автоцистерни АЦ-40 (130) 63Б, встановленої на пожежний гідрант.

Тривалість вільного горіння модельного вогнища дорівнювала 5 хв.± 30 с, станом вже на 1 хв. 30 с видимість стала рівна нулю, що було зафіксовано по мілівольтметру де покази становили 80 мВ а візуальна видимість була відсутня та середньо об'ємна температура становила 130±5^{0}С. Станом на 5 хв. було відкрито вихідний отвір та приводився в дію ДП-7М з подачею (без подачі) ТРВ на форсунку при тиску 0,4 МПа (рис. 5.8).

а) б)

Рисунок 5.8 – Полігонні випробування: а) заміри середньо об'ємної температури за допомогою тепловізора Fluke TiS40; б) подача ТРВ пристроєм на базі ДПМ-7

Результати полігонних випробувань з визначення ефективності використання пристрою для подачі тонкорозпиленої води на базі димовисмоктувача ДПМ-7 наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати натурних вогневих випробувань з визначення ефективності пристрою для подачі ТРВ на базі димовисмоктувача ДПМ-7

Характеристика параметрів	Без подачі ТРВ	З подачею ТРВ
	фактичні значення, с	фактичні значення, с
пониження середньо об'ємної температури до 60±5 ^{0}C	80	57
	76	53
середнє значення, с	78±2	55±2
досягнення візуальної видимості в межах 3±0,5 м	45	36
	43	38
середнє значення, с	44±1	37±2
досягнення оптичної видимості в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ)	38	28
	40	30
середнє значення, с	39±1	29±1

За результатами (табл. 5.2) проведених полігонних випробувань пристрою для подачі тонкорозпиленої води на базі димовисмоктувача ДПМ-7 встановлено, що, у разі його застосування пониження середньо об'ємної температури до 60±5^{0}C під час гасіння пожеж у підвалах досягатиметься в 1,4 рази швидше 55 с ніж без нього 78с. Аналогічно, що стосується досягнення видимості: візуальної в межах 3±0,5 м в 1,2 рази швидше відповідно 37с до 44с, по оптичній в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ) 1,3 рази швидше відповідно 29с до 39с.

5.6. Проведення експериментальних досліджень впливу видимості на виконання робіт ланкою ГДЗС

Як показує практичний досвід використання газодимозахисної служби, приблизно 50% робіт, що виконують газодимозахисники під час пожежі, мають середній ступінь важкості. У таблиці 5.3, можна побачити як впливає вид роботи або вправи на ступінь її важкості та на швидкість руху ланки ГДЗС під час гасіння пожеж у підвалах житлових будівель.

Таблиця 5. 3– Види роботи що виконується газодимозахисниками під час гасіння пожеж у підвалах житлових будівель

Вид роботи або вправи	Швидкість руху, м/хв	Ступінь важкості роботи
Ходіння по горизонтальній площині	50-60	середня
Пересування навприсядки	18-20	середня
Перенесення потерпілого по горизонтальній площині двома газодимозахисниками	30-40	середня
Проведення розвідки з пошуком осередку пожежі або потерпілого. Видимість відсутня.	-	середня
Пересування через вузький лаз	6-8	важка
Пересування з стволом під тиском води 0,4- 0,45 МПа	48-50	важка

Як видно з таблиці 5.3 види робіт, що виконується ланками ГДЗС під час гасіння пожеж у підвалах житлових будівель в основному відповідають середньому та важкому ступеню важкості і впливають на швидкість руху

пересування ланки, щодо виду роботи по проведення розвідки з пошуком осередку пожежі або потерпілого при відсутній видимості інформація швидкість руху відсутня. Так, як при гасінні пожеж у підвалах в більшості випадків відбувається в складних умовах, а саме в умовах обмеженої видимості та високих температур. Відповідно мета проведення експериментальних досліджень полягає у визначенні швидкість руху пересування ланки ГДЗС в умовах різної видимості предметів в залежності від густини диму.

Тому, необхідно експериментально визначити швидкість руху пересування ланки ГДЗС при проведенні розвідки з пошуком осередку пожежі або потерпілого у підвалі в умовах різної видимості предметів залежно від густини диму [22, 23, 24]:

1) При відсутній видимості – 0 м.
2) До 3 м.
3) Від 3 до 6 м.
4) Від 6 до 12м.

Експериментальні дослідження проводились на території навчально-тренувального полігону ЛДУ БЖД в підвальному приміщені фрагменту житлової будівлі розміром 10×8×2,5 м по вул. Зеленій, 301б.

Умови проведення: температура повітря 12^0С, задимлення створювалось за допомогою дим машина BIG BK-001B, контроль за задимленістю та видимістю візуальною - фіксувався за допомогою групового ліхтаря з лампочкою потужністю 21 Вт, а оптичною видимістю за допомогою приладу по вимірюванню оптичної густини диму, час фіксувався за допомогою електронного секундоміру РС-2810.

Для проведення експериментального дослідження, було створено ланку ГДЗС з курсантів 3-го курсу ЛДУБД, ланка була оснащені всім необхідним спорядженням [7,8], таким як: захисним одягом, апаратами на стисненому повітрі фірми “Dreger” серії РА-92, зв’язкою, рукавною лінією зі стволом

першої допомоги (стволом «Б»), ломом легким, груповим ліхтарем та засобом зв’язку - переносною радіостанцією.

Експериментальне дослідження було проведено в чотири етапи, кожний з яких включав в себе два досліди (спроби). Перший етап – при видимості від 6 до 12м. Другий етап – при видимості від 3 до 6м. Третій етап – при видимості до 3.Четвертий етап – при відсутній видимості менше 1 м. Пересування ланки ГДЗС в підвальному приміщені відбувався, як показано на схемі (рис. 5.9).

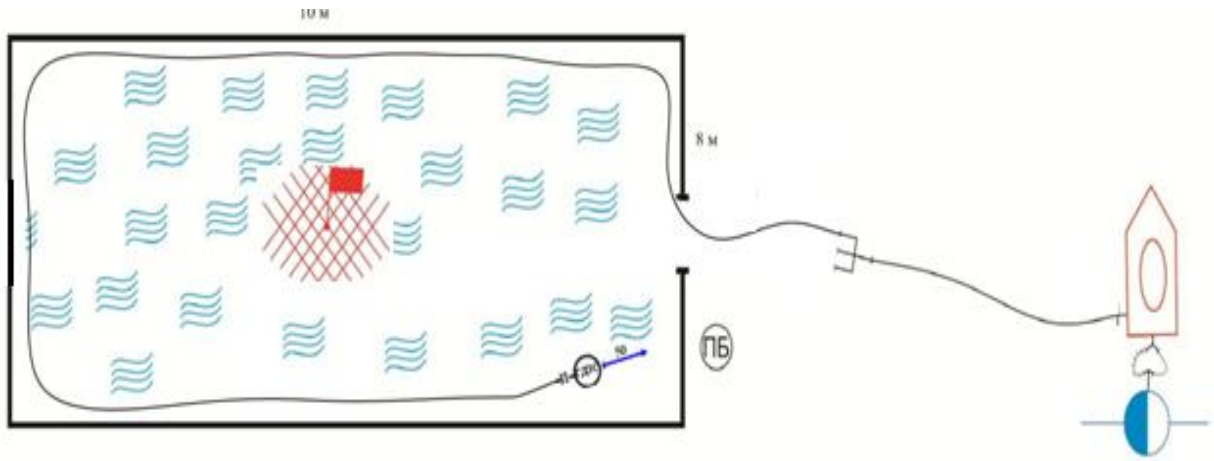


Рисунок 5.9 – Схема пересування ланки ГДЗС в підвальному приміщені під час проведення експериментальних досліджень

Порядок проведення. Ланка ГДЗС із необхідним спорядженням включена в АСП розташовується перед входом підвальне приміщення, яке задимлене у відповідності до етапу та контролюється по приладу для дослідження оптичної густини диму та групового електричного ліхтаря. Початок подана команда і вмикається секундомір – ланка ГДЗС заходить у підвальне приміщення з метою проведення розвідки та рухається по периметру вздовж капітальних стін до виходу з підвалу, загальна відстань яку повинна пройти ланка ГДЗС становить 36 м. При виході з підвального приміщення останнього газодимозахисника фіксувався час (ри. 5.10).

а) б)

в) г)

Рисунок 5.10 – Експериментальні досліджень з визначення швидкості руху пересування ланки ГДЗС в залежності від видимості: а) від 6 до 12 м; б) від 3 до 6 м; в) до 3 м; г) відсутня видимість – менше 1 м

Ефективність ліквідації пожеж в підвальних приміщеннях в першу чергу залежить від швидкості та безпечного просування ланки ГДЗС до осередку пожежі або для пошуку постраждалого, що можна забезпечити лише швидким осадженням диму для збільшення видимості та зниженням середньооб'ємної температури навколишнього середовища за допомогою комбінованого застосування димовсмоктувачів і пристрою для подачі струменів тонкорозпиленої води.

Результати експериментальних досліджень з визначення швидкості руху пересування ланок ГДЗС в умовах різної видимості предметів в залежності від густини диму у підвальному приміщенні наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати експериментальних досліджень з визначення швидкості руху пересування ланок ГДЗС в умовах різної видимості

Видимість, м	І спроба, с	ІІ спроба, с	Середнє значення швидкості руху, м/хв
від 6 до 12м	104	98	20
від 3 до 6 м	155	150	14
від 1 до 3 м	174	171	12
При відсутній видимості – менше 1 м	235	232	9

5.6. Висновки за розділом

5.6.1. Виходячи з конструктивних та технологічних характеристик пристрою на базі димовсмоктувача ДП-7М для осадження продуктів згоряння та зниження температури, відзначаються такі їх переваги у співставленні із існуючими аналогами (ДП-7 та ДП-10): при подачі комбінованого повітряно-водяного струменю в задимлене приміщення швидше (наприкладі, ДПЕ-7 – в середньому у 1,5 рази) осадження твердих частинок вуглецю, що знаходяться в диму, внаслідок чого збільшуватиметься видимість в задимленому приміщенні; за рахунок надходження повітряно-водяного струменю швидше вилучення продуктів горіння, внаслідок чого температура в приміщенні буде швидше знижуватись; зменшується концентрація деяких розчинних у воді токсичних продуктів горіння за короткий період часу, що дозволяє газодимозахисникам пришвидшити гасіння пожеж, рятування людей та ліквідацію надзвичайних ситуацій; підвищується безпека роботи газодимозахисників, внаслідок застосування пристрою збільшується видимість та знижується температура в приміщенні під час пожежі; внаслідок більш швидкого осадження продуктів горіння для збільшення видимості та зниження температури, пришвидшується

знаходження осередку пожежі та його ліквідація відповідно і зменшення матеріальних збитків; не використовується спеціальна пожежно-рятувальна техніка та зменшується кількість особового складу, які залучаються до виконання спеціальних робіт з димовидалення, що підвищує ефективність використання обладнання при ліквідації пожеж у підвальних. Всі ці переваги спричинюють суттєві відмінності у тактиці використання даних пристроїв під час гасіння пожеж у підвальних та цокольних приміщеннях.

5.6.2. Під час розроблення оперативно-тактичного задуму ліквідації пожежі із застосуванням вентилювання приміщень слід враховувати напрямок та силу вітру, умови вільного розвитку пожежі, температуру, властивість продуктів горіння та вплив цих заходів на подальший розвиток пожежі і напрямок руху продуктів горіння.

5.6.3. Подавання води у пристрій з форсункою оптимально подавати по пожежному рукаву з діаметром d=38 мм під тиском Р= 0,4 МПа, що може забезпечити насос, яким обладнуються автоцистерни підрозділів ДСНС України, а мінімальна продуктивність димовсмоктувача при цьому повинна бути від 5000 $м^3$/год. Згідно наведених у розділі 4 результатів експериментальних лабораторних досліджень, можна стверджувати, що ці показники досягаються конструкціями димовсмоктувачів ДП-7 та ДП-10.

5.6.4. Витрата води у пристрої з форсункою з діаметром вихідного отвору 3,5 мм при тиску Р= 0,4 МПа буде становити 0,13 л/с. При цій витраті води з форсунки, якщо її використовувати одночасно з осьовим димовсмоктувачем на прикладі АЦ-40(130)63Б в якої запас води становить 2500 л зможе забезпечити роботу установки з подачею води через рукава діаметром 38 мм протягом 298 хв, що фактично не впливає на витрату води на гасіння пожежі ланкою ГДЗС.

5.6.5. Відповідно на практиці під час гасіння пожеж в підвальних приміщеннях для створення безпечних умов (досягнення середньо об’ємної температури в межах 60±5 ^{0}С та видимості: візуальної в межах 3±0,5 м і

оптичної в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ) при використані одного пристрою на базі димовсмоктувача для осадження продуктів згоряння та зниження температури ланкам ГДЗС буде достатньо 3-4 хв. для приміщення об'ємом 65-70 м^3.

5.6.6. Наведені методичні рекомендації щодо застосування пристрою для осадження продуктів згоряння та зниження середньооб'ємної температури в підвальних приміщеннях

5.6.7. Наведено обов'язки номерів оперативного розрахунку на АЦ-40(130)63Б, при застосуванні пристрою для подачі ТРВ разом з димовсмоктувачем ДП-7М.

5.6.8. Проведено полігонні випробування пристрою для подачі тонкорозпиленої води на базі димовисмоктувача ДП-7 де встановлено, що, у разі його застосування пониження середньо об'ємної температури до 60±5 ^{0}С під час гасіння пожеж у підвалах досягатиметься в 1,4 рази швидше 55 с ніж без нього 78с. Аналогічно, що стосується досягнення видимості: візуальної в межах 3±0,5 м в 1,2 рази швидше відповідно 37с до 44с, по оптичній в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ) 1,3 рази швидше відповідно 29с до 39с.

5.6.9 Проведено експериментальне дослідження, щодо визначення швидкості руху пересування ланок ГДЗС в умовах різної видимості у підвальному приміщенні встановлено, що проведення розвідки з пошуком осередку пожежі або потерпілого у підвалі в умовах видимості менше 1 м швидкість руху ланки ГДЗС в середньому буде становити до 9 м/хв. А в разі застосування пристрою для комбінованої подачі тонкорозпиленої води на базі димовисмоктувача ДП-7 для пониження середньо об'ємної температури до 60±5 ^{0}С та збільшення видимості: візуальної в межах 3±0,5 м і оптичної в межах 0,78 Нп/м (200±7 мВ) швидкість руху ланки ГДЗС в середньому буде становити до 12 м/хв., що в 1,3 рази швидше.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі, яка є завершеною кваліфікаційною науковою працею, наведено розв'язок актуальної наукової задачі розкриття особливостей впливу процесів взаємодії струменів тонкорозпиленої води із нагрітими та забрудненими внаслідок пожеж продуктами згоряння об'ємами приміщень житлових і промислових будівель на зниження середньооб'ємної їх температури, а також ефективність димоосадження.

При цьому отримано основні наукові та практичні результати, які наведено нижче.

1. Результати аналізу статистики пожеж в Україні за період з 2009 по 2017 рік, свідчать, що щороку виникає в середньому понад 70 тис. пожеж. Майже 73 % усіх пожеж виникали у спорудах житлового сектора. Внаслідок пожеж гине 2-3 тис. осіб на рік, з яких 90 % – у житловому секторі, з яких 17 % у підвалах переважно внаслідок дії основних небезпечних чинників пожежі, а саме від продуктів повного та неповного згоряння та підвищених температур.

2. Висунуто ідею, що підвищення ефективності ліквідування пожеж у підвальних приміщеннях може бути досягнуто комбінованим застосуванням димовсмоктувачів та струменів тонкорозпиленої води з визначеними параметрами.

3. Розроблено узагальнену математичну модель процесу взаємодії струменів тонкорозпиленої води із нагрітими та забрудненими продуктами згоряння, де доведено, що оптимальна швидкість повітряного потоку вентилятора з точки зору максимального охолодження та мінімального піднімання в ній відносної вологості є близькою до 25 м/с, що в перерахунку на вентилятор діаметром 300 мм відповідає його об'ємним витратам 1,5 $м^3$/с (продуктивність 5400 $м^3$/год). Розраховано, що ефективне осадження диму досягається дією повітряно-водяним струменю швидкістю 25 м/с із середнім розміром краплин 250 мкм та масовою витратою води 0,1 кг/с.

4. На підставі аналізу результатів експерементальних досліджень із застосуваннм програмного забезпечення з виявлення впливу надлишкового тиску та діаметру внутрішнього отвору запропонованих форсунок типу «повний конус» на еквівалент діаметра краплин у струменях тонкорозпиленої води встановлено, що за надллишкового тиску в межах від 0,3 до 0,5МПа у разі застосування запропонованих форсунок типу повний конус з діаметрами вихідних отворів 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 мм генеруються струмені тонкорозпиленої води з діаметром краплин від 110 до 430 мкм.

5. Визначено, що зміна надлишкового тиску в діапазоні від 0,3 до 0,5 МПа практично не впливає на дисперсність краплин тонкорозпиленої води у разі застосування форсунок такого типу однакового діаметру, а суттєвий вплив має діаметр їх вихідного отвору. Встановлено, що за надлишкового тиску 0,4±0,1 МПа, характерного для роботи насосів пожежних автомобілів під час подавання вогнегасних речовин в процесі ліквідування пожеж, у разі застосування запропонованих форсунок типу «повний конус» діаметрами 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0 мм генеруються струмені тонкорозпиленої води з усередненими діаметрами краплин 115±3; 258±15; 334±33; 354±15; 420±10 мкм відповідно.

6. Теоретично обґрунтовано та запропоновано схемні рішення, а також виготовлено переносний пристрій, який на відміну від відомих, реалізує комбінований, одночасний вплив струменів тонкорозпиленої води та потоку повітря на зменшення середньооб’ємної температури та задимленості продуктами згоряння об’ємів приміщень.

7. Обгрутровано схемні рішення та створенено прилад для вимірювання оптичної густини диму з визначеними параметрами, суть роботи якого полягає у виявлнні послаблення інтенсивності лазерного променя внаслідок його проходження крізь задимлене середовище.

8. Із застосуванням розробленого приладу для вимірювання оптичної густини диму експерементальними дослідженнями доведено, що найефективніше (за часом) зниження середньооб’ємної температури до 60 ± 5^0C з моменту подачі повітряно-водяного струменя пристроєм становить 2 хв 32 с

відповідає значенню діаметра форсунки 3,5 мм. За таких умов збільшення видимості пристроєм було досягнуто: оптичної у межах 0,78 Нп/м за 1 хв 5 с та візуальної в межах 3±0,5 м за 1хв 15 с найкращий результат показала форсунка діаметром вихідного отвору 3,5 мм з дисперсністю ТРВ 360 мкм. Як показують результати експерементальних досліджень, видимість досягається майже в 2,5 рази швидше ніж температура за часом.

9. Розроблено та апробовано методичні рекомендації для осадження продуктів згоряння та зниження середньооб'ємної температури в підвальних приміщеннях житлових і промислових будівель у разі ліквідування пожеж з використанням пожежного димовсмоктувача і пристрою для подачі тонкорозпиленої води. Проведено полігонні випробування пристрою для подачі тонкорозпиленої води на базі димовсмоктувача ДП-7М і встановлено, що у разі його застосування відбувається зниження середньооб'ємної температури до 60 ± 5^0С, а гасіння пожеж у підвалах досягатиметься в 1,4 раза швидше (55 с) ніж без нього (78с). Аналогічним є і досягнення видимості: візуальної в межах 3±0,5 м в 1,2 раза швидше відповідно з 37с до 44с, оптичної 0,78 Нп/м (200±7 мВ) 1,3 раза швидше відповідно з 29с до 39с.

10. Ефективність ліквідації пожеж в підвальних приміщеннях в першу чергу залежить від швидкості та безпечного просування ланки ГДЗС до осередку пожежі або для пошуку постраждалого, що можна забезпечити лише швидким осадженням диму для збільшення видимості та зниженням середньооб'ємної температури навколишнього середовища за допомогою комбінованого застосування димовсмоктувачів і пристрою для подачі струменів тонкорозпиленої води.

11. Проведено експериментальне дослідження, щодо визначення швидкості руху пересування ланок ГДЗС в умовах різної видимості у підвальному приміщенні встановлено, що проведення розвідки з пошуком осередку пожежі або потерпілого у підвалі в умовах видимості менше 1 м швидкість руху ланки ГДЗС в середньому буде становити до 9 м/хв. А в разі застосування пристрою для комбінованої подачі тонкорозпиленої води на базі

димовисмоктувача ДП-7 для пониження середньо об’ємної температури до 60±5 ^{0}С та збільшення видимості: візуальної в межах 3±0,5 м і оптичної в межах 0,78 Нп/м (**200**±7 мВ) швидкість руху ланки ГДЗС в середньому буде становити до 12 м/хв., що в 1,3 рази швидше. Відповідно пришвидшується знаходження осередку пожежі та його ліквідація відповідно і зменшення матеріальних збитків; не використовується спеціальна пожежно-рятувальна техніка та зменшується кількість особового складу, які залучаються до виконання спеціальних робіт з димовидалення, що підвищує ефективність використання обладнання при ліквідації пожеж у підвальних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз масиву карток обліку пожеж (POG_STAT) за 2012-2017 роки. *УкрНДІ ЦЗ ДСНС України.* Київ, URL:http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html.

2. Повзик Я. С., Клюс П. П., Матвейкин А. М. Пожарная тактика. М. : Стройиздат, 2007. 144 с.

3. Кимстач И. Ф., Девлишев П. П., Евтюшкин Н. М. Пожарная тактика : учебн. пособие для пожарно-техн. училищ и нач. состава пожарной охраны. М. : Стройиздат, 1984. 590 с., С. 272

4. ДБН В.2.2-15-2005 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. [Чинний від 2012-10-01]. Київ : Держбуд України, 2005. 36 с.

5. Наказ МВС України №1417 від 30.12.14 «Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні».

6. Статут дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж : Наказ МВС України № 340 від 26.04.2018 року.

7. Настанова з організації газодимозахисної служби в підрозділах Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту МНС України : Наказ МНС України №1342 від 16.12.2011 року.

8. Правила безпеки праці в органах і підрозділах МНС України : Наказ МНС України № 312 від 07.05.2007 року.

9. Абдурагимов И. М., Андросов А. С., Исаева Л. К., Крылов Е. В. Процессы горения. М. : РИО ВИПТШ МВД СССР, 1984. 270 с.

10. Абдурагимов И. М.,Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М. : РИО ВИПТШ МВД СССР, 1980. 256 с.

11. Алексашенко А. А., Кошмаров Ю. А., Молчадский И. С. Тепломассоперенос при пожаре. М.: Стройиздат, 1982. 176 с.

12. Штайн Б. В. Обґрунтування методу і технічних засобів оцінювання показників якості теплозахисного одягу пожежника : дис. … канд. техн. наук : 21.06.02. Львів, 2012. 220 с.

13. Гуліда Е. М. Прогнозування величин оптичної густини диму при пожежі в приміщенні. *Пожежна безпека*. Львів : ЛДУБЖД. 2011. №19. С.65.

14. Иванов А. Ф., Алексеев П. П., Безбородько М. Д. Пожарно-техническое оборудование : в 2 ч. М.: Стройиздат, 1988. Ч 1. 406 с.

15. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2007-07-01]. Київ : УкрНДІПБ МНС України, 2007. 32 с.

16. ДСТУ 2273: 2006 Протипожежна техніка. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2007-04-01]. Київ : УкрНДІПБ МНС України, 2007. 44 с.

17. Перепечаев В. Д., Береза В. Ю. Газодымозащитная служба пожарной охраны. Чернигов : РИК «Деснянська правда», 2000. 468 с.

18. Грачев В. А., Поповский Д. В. Газодымозащитная служба : учебник / под общ. ред. д.т.н., профессора Е.А. Мешалкина. М.: Пожкнига, 2004. 384 с.

19. Ковалишин В. В., Лущ В. І., Пархоменко Р. В. Основи підготовки газодимозахисника : навч. посіб. Львів : ЛДУ БЖД, 2015. 379 с.

20. Довідник керівника гасіння пожеж / П. А. Коротинський та ін. / за ред. В. С. Кропивницького. К.: ТОВ «Літера-Друк», 2016. 320 с.

21. Огляд стану служби, підготовки та пожежогасіння в Україні за 2003 рік. URL: https://www.google.com.ua/search?q=16.%0921.%09

22. Абдурагимов И. М., Андросов А. С., Исаева Л. К., Крылов Е. В.Процессы горения. М.: РИО ВИПТШ МВД СССР, 1984. 270 с.

23. Абдурагимов И. М., Говоров В.Ю., Макаров В.Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. М.: РИО ВИПТШ МВД СССР, 1980. 256 с.

24. Алексашенко А. А., Кошмаров Ю. А., Молчадский И. С. Тепломассоперенос при пожаре, М.: Стройиздат, 1982. 176 с.

25. Foster J. A., Roberts G.V. Measurements of the Firefighter Environment Summary Report, Fire Engineers Journal, Vol. 55, No. 178, September 1995. P. 30-34.

26. Abbott, N. J., Schulman, S. Protection from Fire: Nonflammable Fabrics and Coatings. J. Coated Fabrics, Vol. 6, July 1976, P. 48-62.

27. Coletta G. C., Arons I. J., Ashley L. E. and Drenman A. P. The Development of Criteria for Firefighter's Gloves, Volume II: Glove Criteria and Test Methods. Arthur D. Little, Inc., Cambridge, MA 02140.

28. Лазаренко О. В. Екранування теплового потоку радіальною водяною завісою, генерованою переносним водяним пожежним стволом багатоцільового призначення : дис. … канд.. техн. наук : 21.06.02. Львів, 2012. 132 с.

29. Лущ В. І. Лазаренко О. В., Штангрет Н. О. Підвищення ефективності застосування переносних пожежних димовсмоктувачів. *Пожежна безпека*. Львів : ЛДУБЖД. 2016. №. 28. С. 88-94.

30. Пристрій для осадження продуктів горіння, зниження температури та збільшення видимості в задимлених приміщеннях : патент ua 119365 Україна : заявл. 27.03.2017. ; опубл. 25.09.2017.

31. Мирошниченко В. М. Технологии дымоподавленния. «BEST OF SECURITY». 2007. №15.

32. Мирошниченко В. Н., Соколов В. В., Шеверев Е. Ю., Гончарук С. А., Антонов А. В. Исследование дымоосаждающей и охлаждающей эффективности устройств УДП ГИБК. 065289.001. *Науковий вісник УкрНДІПБ.* К. : УкрНДІПБ. 2001. № 4. С.76–82.

33. Борьба с пожарами на судах. Т.1. Пожарная опасность на судах / под ред. М. Г. Стивицкого, Л.: Судостроение, 1976.136 с

34. Виноградов А. Г. Методика розрахунків параметрів водяних завіс на основі теорії затоплених струменів. *Науковий вісник УкрНДІПБ.* Київ, : 2013. № 2 (28). С. 127–139

35. Виноградов А. Г., Яхно О. М. Эквивалентный диаметр капель струй распыленной воды и его зависимость от технических параметров. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування*. К. : НТУУ «КПІ». 2016. № 1(76). С.39 – 45.

36. Дударев В. В., Горовых О. Г., Бардушко С. Н., Шмулевцов И. А., Бобрышева С. Н. Влияние дисперсности распылённой воды на интенсивности её

подачи при тушении пожара в закритом объёме. *Науковий вісникУкр. НДІПБ.* К. : Укр. НДІПБ. 2009. № 1(19). С.149–157.

37. Провести исследования и разработать исходные требования на новые виды пожарных машин и оборудования (Гидравлическое оборудование) : заключительный отчет / ВНИИПО МВД СССР ; руководитель В.Л. Варганов. – № ГР 01890030326. М., 1988. 232 с.

38. Провести исследование по определению области применения тонкораспыленной (перегретой) воды и разработать рекомендации по тактике пожаротушения : заключительный отчёт / ВНИИПО МВД СССР ; руководитель И.Ф. Безродный. М., 1990. 115 с.

39. Natarajan R., Ikosh K. Dynamics of Vaporizing Drops Injected into Stagnant Gas / 2-Phase Momentum, Heat and Mass Transfer in Chemical Processes and Energy Engineering Systems. Ed. Durst et al. 1979. Vol. l. P. 133–144.

40. Gogos G. A, Aygasvvamy P.S. Model for the Evaporation of a Slowly Moving Drop / Combustion and Flame. 1988. Vol. 74, N 2. P. 111–119.

41. Dumarque P., Audebert P. Evaporation convective d’une particule sphere que liquide a faible nombre de eynolds dans un gaz a haute temperature / Dumarque P, // Ann. Phys. (Fr). – 1988. – Vol. 13, N 3. Collouque № 2. – P. 81–88.

42. Дикий Н. А., Мочалов А. Н., Павлищев В. И. Исследование процессов тепло- и массообмена с учётом пограничного слоя испаряющейся капли на релаксационном участке. *Труды НКИ*, 1975. №97.

43. Lee S.K., Chung T. J. Axisym metric Unsteady Droplet Vaporisation and Gas Temperature Distribution. Trans ASME. J. Heat Transfer. 1989. Vol. 3, № 2. P. 487–494.

44. Кухно А. Н., Фёдоров А. П., Абрамов В. С. Тепломассообмен потока капель в горячем воздухе. *Пожаротушение.* М., 1986. С. 9–17.

45. Pietrzfk L. M., Lohanson G. A. Directions for Improving Manual Fire Suppression Using a Physically Based Computer Simulation. *Fire Technology*. 1986. Vol. 22. № 3.

46. Pietrzfk L. M., Ball J. A. Investigation to Improve the Effectiveness of Water in the Suppression of Compartment. *Fire Research*. 1978. Vol. 1. P. 291–300.

47. Дикий Н.А., Мочалов А. А., Павлищев В. И., Шевцов А. П. Методика расчёта контактного теплообменного аппарата с учётом полидисперсности распыла жидкости. *Труды НКИ*. 1975. № 100.

48. Козлюк А. И. Водоснабжение угольных шахт для борьбы с пожарами и пылью. М.: Недра. 287 с.

49. Безродный И. Ф., Пучков С. И., Филиппов В. Д. Расчёты траектории испаряющейся капли в среде с пространственно-неоднородными свойствами. *Проблемы пожарной безопасности зданий и сооружений.* М.: ВНИИПО МВД СССР, 1990. С. 184–185.

50. Rasbash D. J. The extinction of fires by Water spray. *Fire research abstracts and reviews*. 1962. Vol. 4. P.28–53.

51. Enclosure fires / Lars-Göran Bengtsson – Swedish Rescue Services Agency: Printed by NRS Tryckeri, Huskvarna, 2001. 194 p.

52. Fire Ventilation / Stefan Svensson – Swedish Rescue Services Agency: Printed by NRS Tryckeri, Huskvarna, 2005. 119 p.

53. Лущ В. І., Лазаренко О. В. Димовидалення на пожежі : навч. посіб. Львів : ЛДУБЖД, 2017. 100 с.

54. ГОСТ 12.1.004 – 91. Пожарная безопасность. – М.: Издательство стандартов, 1991. 31 с.

55. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. 336 с.

56. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М. : Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

57. Рыжов А. М. Дифференциальный (полевой, CFD) метод моделирования пожаров. *Моделирование пожаров и взрывов* / под общ. ред.: Н. Н. Брушлинского, А. Я. Корольченко. М. : Ассоциация «Пожнаука», 2000. С. 25–88.

58. Кошмаров Ю. А., Молчадский И. С. Моделирование пожара в помещениях зданий различного назначения. *Пожаровзрывобезопасность*, 1992, №1. С. 22–28.

59. Астахова И. Ф., Молчадский И. С. Развитие полевого моделирования пожара в помещении и теории огнестойкости в России. *Моделирование пожаров и взрывов* / под общ. ред. Н. Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. М.: Ассоциация «Пожнаука», 2000. С. 89–106.

60. Алямовский А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб. : БХВ-Петербург, 2008. 1040 с. : ил. + DVD – (Мастер).

61. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М. : ДМК Пресс, 2015. 562 с.

62. Дударева Н. Ю., Загайко С. А. SolidWorks 2007/2008. СПб.: БХВ_Петербург, 2007. 1328 с.

63. Уханська О. М., Штангрет Н. О. Математична модель визначення тривалості руху та пройденого шляху крапель водних вогнегасних речовин у приміщенні під час пожежі. *Пожежна безпека.* Львів : ЛДУБЖД. 2018. № 32. С. 63–68.

64. Огурцов С. Ю., Дунюшкин В. О., Бенедюк В. С., Тимошенко О. М., Стилик І. Г. Провести дослідження і розробити методики проведення вогневих випробувань для систем пожежогасіння тонкорозпиленими водними вогнегасними речовинами, Київ : УкрНДІЦЗ. 2014.

65. 5 CEN/TS 14972:2011. Fixed firefighting systems. Water mist systems. Design and installation (Стаціонарні системи пожежогасіння. Системи пожежогасіння тонкорозпиленою водою. Проектування і монтування).

66. Лущ В. И., Лоик В. Б., Штангрет Н. О. Матушкевич Р. Влияния конструктивних элементов устройств на дисперсность капель воды для осаждения продуктов горения и снижения температуры в объемах помещений во время пожара. *Zeszyty Naukowe SGSP.* Warszawa, 2017. Вип.64. С. 125–149.

67. Лущ В. И., Штангрет Н. О. Экспериментальные исследования по определению дисперсности капель тонкораспыленных водных огнетушащих

веществ при распылении форсунки в лабораторных условиях. *Исторические аспекты, актуальные проблемы и перспективы развития гражданской обороны* : сб. тезисов и докладов VI Междунар. науч.-практ. конф. адъюнктов, магистрантов, курсантов и студентов. Кокшетау, 2018 . С. 150–158.

68. Лущ В. И., Штангрет Н. О. Экспериментальные исследования влияния выходного диаметра форсунки на дисперсность водного огнетушащего вещества в лабораторных условиях : сб. тезисов XII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов). Минск, 2018. С. 135–136.

69. Лущ В. І., Лоїк В. Б., Штангрет Н. О. Розроблення методики з визначення параметрів небезпечних чинників пожежі в об’ємах приміщень. *Пожежна безпека*. Львів : ЛДУБЖД, 2017 № 31. С. 90–96.

70. X 10-702-2, 1994.Détermination de l’opacité des fumes en atmosphère non renouvelée, Agencefrançaise de normalisation.

71. ASTM E 662, 2009. Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials, American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1997.

72. Jin, T., 2002. Visibility and Human Behavior in Fire Smoke, in “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, 3rd ed. Society of Fire Protection Engineers, Boston, P. 2–42.

73. Modest F. M., Radiative Heat Transfer, 2sd ed. Academic Press. 2003.

74. Seader J. D, Einhorn I. N. Some Physical, Chemical, Toxicological and Physiological Aspects of Fire Smokes. *Proceedings of the Combustion Institute 16*, 1976. P. 14–23.

75. Mulholland G., 2002. Smoke Production and Properties, in “SFPE Handbook of Fire Protection Engineering”, 3rded. *Society of Fire Protection Engineers*. Boston, P. 2-258.

76. Putorti A. D. 1999. Design Parameters for Stack-Mounted Light Extinction Measurement Devices. NISTIR 99-6215, National Institute of Standards and Technology Gaithersburg.

77. Coppalle A., Nedelka D., Bauer B. Fire Protection: Water Curtains. *Fire Safety Journal*. 1993. 20(3). P. 241.

78. Yon J., Lemaire R., Therssen E., Desgroux P., Coppalle A., Ren K. F., Examination of Wavelength Dependent Soot Optical Properties of Diesel and Diesel. *Rapeseed Methyl Ester Mixture by Extinction Spectra Analysis and LII Measurements. Applied Physics B*, 2011. DOI 10.1007/s00340-011-4416-4.

79. Лущ В. І., Штангрет Н. О. Розроблення приладу для дослідження оптичної густини диму в об'ємах приміщень при пожежі. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. Черкаси, 2017. Вип. 2. С. 45–53.

80. Прилад для вимірювання оптичної густини диму / Лущ В. І., Лоїк В.Б., Петровський В. Л., Штангрет Н. О.: пат.201608098 Україна: Заявл. 21.07.2016. ; Опубл.25.01.2017.

81. Лущ В. І. Штангрет Н. О. Розроблення приладу для дослідження оптичної густини диму в об'ємах приміщень при пожежі. *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку* : зб. тез Всеукр. наук.-практ. конф. Київ, 2017. С. 269–270.

82. Филимонов В.И. Физиология человека : учебник. К.: Медицина, 2008. 816 с.

83. Демидов В. В. Как мы видим то, что видим. М.: Знание, 1987. 240 с.

84. Кезели А. Р. Нейрофизиологические механизмы цветного зрения. Тбилиси : Мецниереба, 1983. 184 с.

85. Соколов Е. Н., Измайлов Ч.А. Цветовое зрение. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1984. 175с.

86. Основы сенсорной физиологии : учебн. пособ. / Шмидт Р. и др. ; под. общ. ред.. Р. Шмидта. М. : Мир, 1984. 287 с.

87. Фізіологія людини : навч. посіб. 2-ге вид., доп. / Яремко Є.О. та ін. Львів : ЛДУФК, 2013. 208с. ISB N978-966-2328-54-7

88. Лущ В. І., Штангрет Н. О. Експериментальні дослідження впливу дисперсності крапель тонкорозпилених водних вогнегасних речовин на осадження продуктів горіння та пониження температури при пожежі в лабораторних умовах. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки*

життєдіяльності : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. курсантів і студентів, Львів, 2018. С.134–136.

89. Лазаренко О. В., Штангрет Н. О. Розробка динамічного макету з управління газовими потоками для підготовки газодимозахисників. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Черкаси, 2016. С. 279–280.

90. Лущ В. І., Штангрет Н. О. Підвищення ефективності застосування повітряно-водяного струменя переносними пожежними димовсмоктувачами. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності* : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених курсантів і студентів. Львів, 2016. С.154–155.

91. Лаврівський З. В., Мандрус В. І. Технічна механіка рідин та газів : навч. посіб. Львів : СПОЛОМ, 2004. 198 с.

92. Рабинович Е. З. Гидравлика. М. : Недра, 1974. 296 с.

93. Гусев В. П. Основы гидравлики : учебн. пособ. Томск : Изд-во ТПУ, 2009. 172 с.

94. NFPA 92B. Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas. National Fire Safety Association. Quincy, 2000.

95. Klote, J. K., Milke, J.A. Design of Smoke Management Systems. Atlanta : ASHRAE, 1992.

96. Webb W. Smoke extraction systems – do they work? Fire Protection Engineering, summer edition, 2000.

97. Evans D. A unique method for the design of smoke removal. Fire Protection Engineering, summer release, 2000

98. Milke J. The use of models in the design of smoke removal systems. Fire Protection Engineering, summer edition, 2000.

99. Klote J. H. Overview of atrium smoke exhaust systems. Fire Protection Engineering, summer edition, 2000.

100. Tamura G. T. Smoke Movement and High Rise Buildings. National Fire Safety Association. Quincy, 1994.

101. Purser D. Toxicity Assessment of Combustion Products. SFPE Fire Safety Guide. National Fire Safety Association. Quincy, 1995.

102. Design methods for smoke and heat exhaust ventilation. BRE 368, Construction Research Communication Ltd / Morgan H.P. et al. London, 1999.

103. Lougheed G. D., Hadjisophocleus G. V. Investigations of the effectiveness of mechanical smoke removal systems in atriums. *ASHRAE Transactions Volume*. 1997. 103 (2). P. 519–533.

104. Klote J. H. New developments for atrium smoke exhaust systems. *ASHRAE Transactions Volume* 106 (1). 2000

105. CIBSE. TM19: Relationships for smoke control calculations. London : Institute of Building Engineering Equipment, 1995.

106. Lougheed G. D., Hadjisophocle-us G. V. Danger of smoke from a fire in high premises. *ASHRAE Transactions Volume.* 107. 2001.

107. Milke J. Evaluation of the first studies of the danger of smoke in case of fire in large rooms. *ASHRAE Transactions Volume*. 106 (1). 2000

108. Tewarson A. Heat generation and chemical formation in a flame. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Secondedition. Quincy : National Fire Safety Association, 1995.

109. NFPA 92B. Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas. Quincy : National Fire Safety Association, 1995.

110. Klote J.K. Method of predicting Smoke Movement in Atria with Application to Smoke Management. NISTIR 5516. National Institute of Standardization and Technology. Gettysburg, 1994.

111. Flashover and Fire Analysis. A Discussion of the Practical Use of Flashover In Fire Investigation/ Patrick M. Kennedy, CFEI, CFPS Kathryn C. Kennedy, CFE: Sarasota, Florida, 2003. 30 p.

112. Karel Lambert. Backdraft: fire science and firefighting, a literature review, 2013. 43 p.

113. Fundamentals of Fire Fighter Skills / By International Association of Fire Chiefs, 2008. 1068 p.