

УДК 614.841.1

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ ГАСІННЯ ВИСОКОКИПЛЯЧИХ ГОРЮЧИХ РІДИН

С.Ю. Огурцов, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., С.В. Семичаєвський*
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 10.11.2018
Пройшла рецензування: 18.12.2018

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

висококиплячі горючі рідини,
тонкорозпилена вода, дослідження
процесів гасіння, тепловізійна техніка

АНОТАЦІЯ

Визначена необхідність розробки окремих методик лабораторних досліджень водних вогнегасних речовин та параметрів їх подавання для мінімізації інтенсифікації процесів горіння висококиплячих горючих рідин. Запропонована удосконалена методика досліджень процесів гасіння, що забезпечує контроль температури модельного вогнища, температури вогнегасної речовини, а використання тепловізійного приладу забезпечує візуалізацію розміру та форми полум'я модельного вогнища в процесі його гасіння. Експериментально визначені параметри розпилю форсунки Danfoss 0,40 Gph 80° за умов її використання для розпилю дистильованої води за тисків від 4 до 8 бар. Показана можливість використання термографічного обладнання із спектральним діапазоном від 7 до 14,5 мкм для дослідження особливостей взаємодії тонкорозпилених водних вогнегасних речовин із висококиплячими горючими рідинами.

Вступ. Гасіння висококиплячих горючих рідин, на відміну від легких нафтопродуктів, має свою специфіку внаслідок взаємодії вогнегасних речовин, зокрема водних, з перегрітою поверхнею рідини. Застосування водопінних засобів ліквідації пожеж в'язких нафтопродуктів (бітумів, жирів, олив тощо) супроводжується небезпекою їх розбризкування та скипання [1]. Наслідком цих явищ може бути неконтрольована інтенсифікація горіння, перехід від турбулентного горіння розливу до об'ємного горіння крапель горючої рідини.

В машинних залах атомних та теплових електростанцій основним елементом пожежної навантаги є турбінна олива, що відноситься до вищевказаних висококиплячих рідин. Зокрема, турбінна олива марки ТП-22 має такі показники пожежовибухонебезпеки: температура спалаху у відкритому тиглі становить 219°C, температура займання - 242°C [2]. Разом з тим, згідно з НАПБ В.01.061-2011/111 [3] для гасіння обладнання, що містить турбінну оливу та її розливів, в машинних залах передбачено застосування розпиленої води та повітряно-механічної піни, що може бути неефективним та навіть небезпечним для гасіння таких пожеж.

Огляд джерел. Перспективним напрямком розвитку систем пожежогасіння для захисту приміщень та обладнання з наявністю висококиплячих горючих рідин (далі - ВГР) є застосування тонкорозпиленої води (далі- ТРВ) чи водних вогнегасних розчинів.

Основними механізмами гасіння нафтопродуктів з використанням ТРВ є [1]
- ізоляція вогнища пожежі водяним паром;

- розведення реагуючих продуктів горіння паром;
- поглинання та екранування теплового випромінювання полум'я;
- механічне зривання полум'я потужним газоводяним струменем;
- інтенсивне охолодження високотемпературних зон.

В ряді публікацій [4–6] ТРВ має інші назви, наприклад, «тонкодисперсна вода», «дрібнодисперсний потік води», «газоводяна суміш», «перезвожене повітря» тощо. Кожна назва означає певну особливість параметра ТРВ, і відповідно їх характеристики будуть різними.

Гасіння ВГР вимагає мінімізувати потрапляння водних вогнегасних речовин на поверхню палаючої рідини, разом з тим забезпечуючи взаємодію з полум'ям безпосередньо у його внутрішньому об'ємі. З цією метою має бути забезпечений баланс між розміром та кінетичною енергією краплин і потужністю вогнища пожежі.

Наприклад, за пневмогідрравлічного способу подавання, що забезпечує ефективне створення полідисперсного потоку краплин, їх високу початкову швидкість виникає короткочасне різке збільшення полум'я в діаметрі, причиною якого потрапляння додаткових порцій повітря у зону горіння. Результати теоретичного та експериментального дослідження такого явища наведено в статті [7]. Треба відмітити, що аналогічне явище виникає при гасінні нафтопродуктів імпульсними установками [8].

В статті [9] для гасіння пожеж в'язких нафтопродуктів пропонується застосування

тонкорозпиленої води з діаметром крапель до 100-150 мкм. Її отримання можливе шляхом подавання води під високим тиском через спеціальні розпилювачі, а також способом перегріву, коли вода, що нагріта в замкненому просторі до температур, значно перевищуючих температуру її кипіння за атмосферного тиску, при виході в атмосферу миттєво скипає та розпадається на дрібні краплі, діаметр більшості з яких не перевищує 100 мкм. При подаванні струменів тонкорозпиленої води до осередку пожежі має місце швидке зниження температури в зоні горіння та швидке гасіння полум'я.

В публікації [10] також акцентовано увагу на методі гасіння пожеж із застосуванням полідисперсних пароводяних потоків, що є однією з найбільш перспективних технологій пожежогасіння. Цей метод може застосовуватись для гасіння пожеж в'язких нафтопродуктів.

Окрім вищезазначених, є відомими способи підвищення ефективності технологій пожежогасіння, зокрема в'язких нафтопродуктів, в яких за рахунок додавання до води солей та інших спеціалізованих домішок, а також попереднього нагрівання води забезпечується підвищення вогнегасних властивостей цих вогнегасних речовин [10–14].

Дослідження інтенсивності процесів горіння, взаємодії горіння і з ТРВ можуть бути реалізовані за допомогою сучасних засобів термографії, що дозволяють визначати розподіл полів температур, параметри енергетичного балансу полум'я [15].

З проведеного вище аналізу літературних джерел можна виділити декілька ключових питань, що мають бути визначені під час експериментальних досліджень процесів гасіння ВГР, а саме:

- дисперсність розпилу ТРВ;
- швидкість потоку часток водної вогнегасної речовини в газорідному потоці;
- температура подавання ТРВ з розпилювача;
- зміна концентрацій домішок-інгібіторів горіння;
- температура горіння рідини, що досліджується;
- інтенсивність горіння рідини, зокрема розміри факелу горіння, контроль наявності, або

відсутності інтенсифікації горіння внаслідок контакту часток ТРВ з поверхнею рідини.

- В межах цієї роботи розглядається питання розробки методики досліджень параметрів горіння ВГР при їх взаємодії з ТРВ методами зокрема термографії.

Основна частина. Для проведення досліджень пропонується використовувати відому установку з визначення порівняльної вогнегасної ефективності ТРВ [17], але змінивши параметри вільного горіння рідини та застосувавши додаткові засоби вимірювальної техніки тощо.

Принципова схема експериментальної установки наведена на рис.1. Установка складається із ємності з водною вогнегасною речовиною. Надлишковий тиск у ємності створюється за допомогою повітряного компресору в межах від 0 до 8 бар. Запірна арматура дозволяє здійснювати керуванням подавання ТРВ на гасіння модельного вогнища змінної площі. Варіюючи часом подавання та площею модельного вогнища по відношенню до фактичної площі розпилення ТРВ можна визначити залежність між часом гасіння та інтенсивністю подавання водних вогнегасних розчинів. Зміна витрати ТРВ регулюється тиском у ємності. Установка була дещо модернізована, а саме було додано підігрів ємності з водною вогнегасною речовиною за допомогою електричного підігрівача, виконано максимальне скорочення та теплоізоляцію магістралі від ємності до запірної арматури. Також запроваджено вимірювання температури в ємності, що дозволило забезпечити подавання ТРВ не лише за нормальних умов, а й у підігрітому стані.

Також виконано контроль температури ВГР у модельному вогнищі за допомогою термопари зануреної у шар рідини. Це дозволило контролювати температуру рідини у вогнищі та розпочинати гасіння за однакових вихідних умов прогріву шару рідини.

Підключення термопар здійснювалось до аналогово-цифрового перетворювача ADAM 4118 (виробництва компанії ADVANTECH), після чого здійснювалась реєстрація даних за допомогою програмного забезпечення «Вимірювальний комплекс».

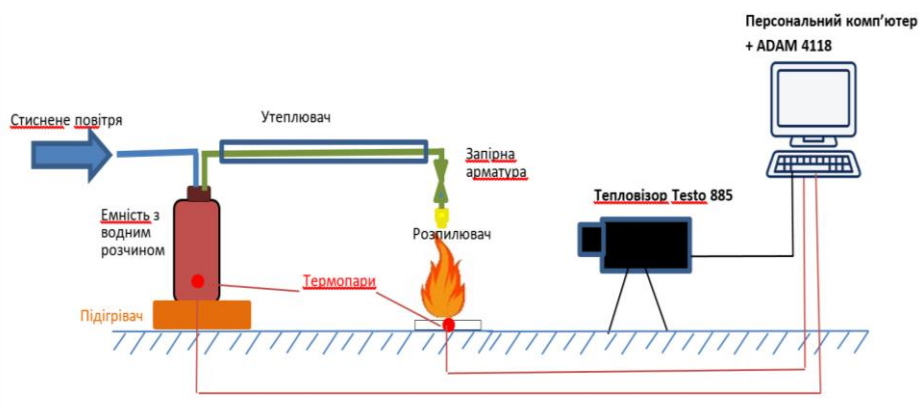


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки

Для візуалізації та оцінки параметрів взаємодії ТРВ з полум'ям та поверхнею горючої рідини було використано тепловізійний прилад Testo 885 із розширеним вимірювальним діапазоном (до 1200 °С).

В якості розпилювача ТРВ було використано паливну форсунку Danfoss 0,40 Gph 80° S, що забезпечує розпил рідини у формі цільного конусу з кутом розпилу 80°. Застосування такого типу розпилювачів, дозволяє розподіляти ТРВ в лабораторних умовах забезпечуючи гасіння модельного вогнища незначної площі.

З метою визначення дисперсності розпилу ТРВ було використано метод оптичної мікроскопії, описаний в роботі [18]. Калібрування цифрового мікроскопу відбувалось за допомогою зйомки об'єкта-мікромметра з поділкою 0,01 м та з подальшим визначенням попиксельного співвідношення цифрового зображення та відомого розміру шкали (рис.2). З цією метою була використана програмне забезпечення ImageJ розробки National Institutes of Health (США). За результатами калібрування мікроскопу USB Magnifier Kronos SuperZoom були отримані коефіцієнти перерахунку піксельного зображення (табл. 1).

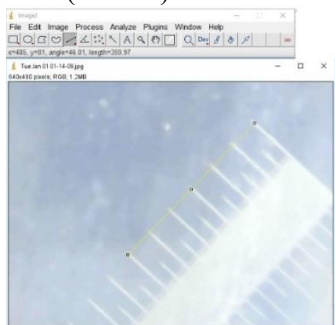


Рисунок 2– Калібрування цифрового мікроскопу за допомогою програмного забезпечення ImageJ

Таблиця 1- Результати калібрування мікроскопу USB Magnifier Kronos SuperZoom 500x

№ з/п	Фактична відстань, мкм	Визначена відстань, пікселі	Коефіцієнт масштабування, пікселів/мкм
1.	800	478,00	0,598
2.	700	418,65	0,598
3.	600	356,39	0,594
4.	500	297,26	0,595
5.	400	237,00	0,593
6.	300	180,00	0,600
7.	200	119,10	0,596
8.	100	58,14	0,581
9.	50	29,83	0,597
Середнє значення			0,594

Визначення дисперсності розпилу ТРВ для розпилювача Danfoss 0,40 Gph 80° S було виконано за серією мікрофотографій краплин в уловлюючому середовищі (приклад наведено на рис.3) після чого за допомогою розробленого скрипту MATLAB та програмного забезпечення «Дисперсність розпилу» (рис.3) описаних в роботі [17] було обраховано показники масиву краплин за методом викладеним в ДСТУ EN 14972 [18]. Визначені показники дисперсність розпилу краплин наведено в табл.2.

Спектральний діапазон матриці тепловізора Testo 885 становить від 7,5 до 14 мкм. Зрозуміло, що це не є достатнім для дослідження температури полум'я. Так в [15] наголошено на необхідності використання для досліджень полум'я та його енергетичного балансу тепловізійної техніки «дослідницького класу», з охолоджуємою матрицею та короткохвильовим спектральним діапазоном від 3 до 5 мкм. Використання «довгохвильових» тепловізійних приладів дозволяє візуалізувати лише конденсовану фазу продуктів горіння. Разом з тим, проведення експериментальних

досліджень в рамках відпрацювання методики експериментальних досліджень дозволило отримати на термографічному відео зображенні

візуалізацію полум'я турбінної оливи марки ТП-22 (рис.4).

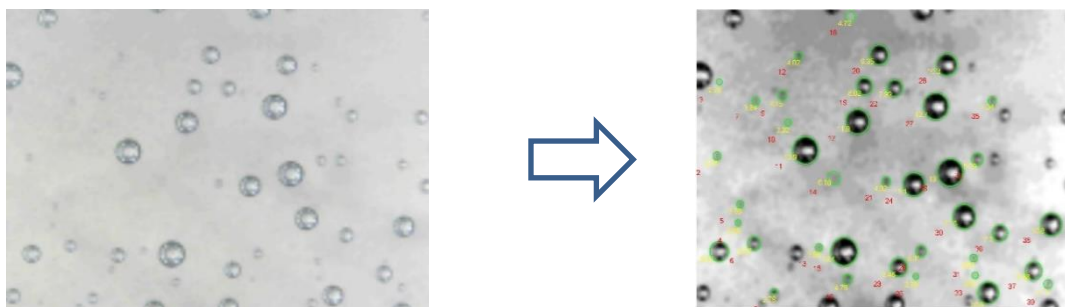
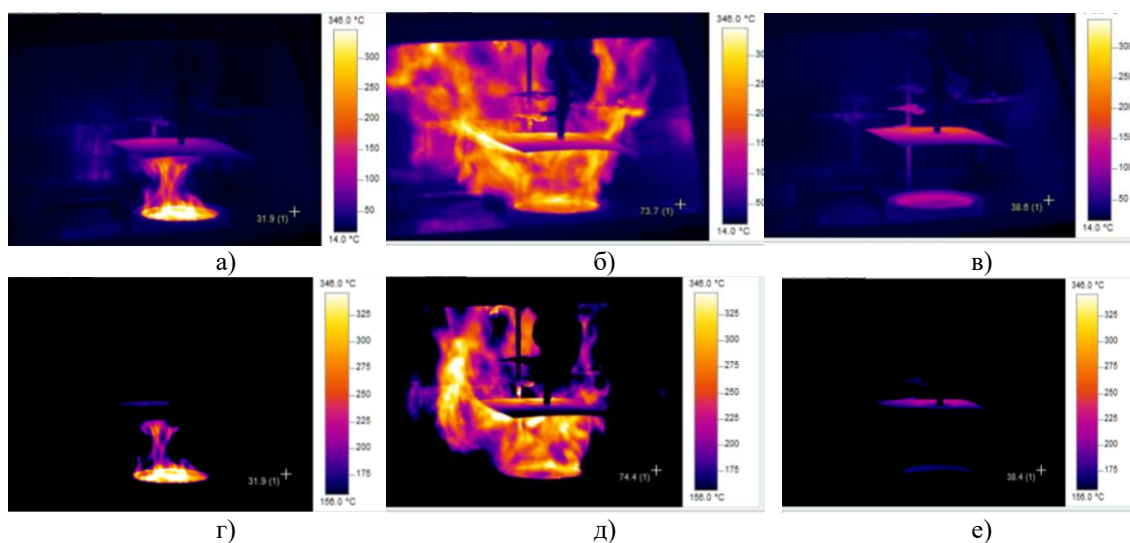


Рисунок 3 – Визначення та вимірювання діаметрів краплин за допомогою процедур Image Processing Toolbox MATLAB

Таблиця 2 – Результати визначення дисперсності розпилу дистильованої води форсункою Danfoss 0,40 Gph 80°

Тиск, бар	Кількість краплин, од	D10, мкм	D20, мкм	D30, мкм	D32	Dv0,1	Dv0,5	Dv0,9
4	1185	14,5	17,4	20,2	26,9	18,9	30,9	43,0
6	2179	10,6	12,6	14,9	20,8	12,3	25,9	36,7
8	1079	12,7	14,4	16,0	19,7	14,2	22,2	29,5



а, г- процес вільного горіння
б, д- процес гасіння
в, е- полум'я погашене

Рисунок 4 – Окремі кадри термографічного відео процесу горіння та гасіння модельного вогнища турбінної оливи ТП-22

Характерні зображення окремих стадій процесів дозволяють візуалізувати зовнішні розміри полум'я та його характер, особливо за умов зниження меж вимірювань за подальшої програмної обробки відеоряду (рис.4., зображення (г-е)). Зображення (б) та (д) на рис.4. дозволяють оцінити інтенсифікацію процесу

горіння ВГР на прикладі турбінної оливи марки ТП-22.

Мінімізація такого роду ефектів має бути предметом подальших досліджень авторів. Змінюючи вихідні умови подачі ТРВ, її початкову температуру, інтенсивність подавання, використовуючи домішки інгібітори

горіння необхідно буде визначити умови найбільш ефективного гасіння пожеж розливів турбінної оливи марки ТП-22.

Висновки.

1. Дослідження процесів гасіння високиплячих горючих рідин має специфіку внаслідок взаємодії водних вогнегасних речовин з нагрітою поверхнею рідини. Це вимагає розробки окремих методик лабораторних досліджень, що дозволяють визначити найбільш оптимальні склади водних вогнегасних речовин та параметрів їх подавання для мінімізації інтенсифікації процесів горіння.

2. Запропонована удосконалена методика досліджень процесів гасіння високиплячих горючих рідин, що забезпечує контроль

температури модельного вогнища, температури вогнегасної речовини, а використання тепловізійного приладу забезпечує візуалізацію розміру та форми полум'я модельного вогнища в процесі його гасіння.

3. Експериментально визначені параметри розпилю форсунки Danfoss 0,40 Gph 80° за умов її використання для розпилю дистильованої води за тисків 4,6 та 8 бар. Dv0.9 за таких умов становить відповідно 43,0, 37,7, 29,5. мкм.

4. Показана можливість використання термографічного обладнання із спектральним діапазоном від 7 до 14,5 мкм для дослідження особливостей взаємодії тонкорозпиленних водних вогнегасних речовин із високиплячими горючими рідинами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- С.М. Попов. Исследование эффективности тушения модельного очага пожара вязких нефтепродуктов потоком переувлажненного воздуха: автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.26.03. С.-Петербург. гос. ун-т ГПС МЧС России, 2007. 23 р.
- С.В. Семичаевський, С.Ю.Огурцов, Експериментальне обґрунтування вихідних даних для моделювання горіння турбінної оливи марки ТП-22 // Науковий вісник Цивільний захист та пожежна безпека № 2(4) 2017. 2017. Р. 4–7.
- НАПБ В.01.061-2011/111 Протипожежний захист машзалів електростанцій. Правила проектування та експлуатації протипожежного устаткування. 2011.
- А.Ю. Андрюшкин Получение тонкораспыленной воды газодинамическим распылением // Научно-аналитический вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. 2012. № №01. Р. 70–74.
- А.Ф. Шароварников Тушение горючих жидкостей распыленной водой // Пожаровзрывобезопасность. 2013. № Том 22, № 11. Р. 70–74.
- С.В. Сычев О способах получения тонкораспыленной воды // Вестник СПб ИГПС МЧС России. 2006. № №1(12)-2(13).
- Xk X. et al. Study on Flame Expansion Phenomenon in Pool Fire Extinguished by Water Mist. 2011. Vol. 11. Р. 550–559.
- В.В. Христин, М.В. Маляров Сучасні способи підвищення ефективності гасіння пожежі розпорошеною водою // Проблеми пожежної безпеки. Сборник научных трудов. 2016. № НУЦЗУ, Харьков, Выпуск 40. Р. 201–205.
- А.В. Шариков. О новых технологиях и средствах тушения пожаров углеводородных жидкостей на объектах нефтяного и газового комплекса // Русский Инженер. 2009. № №3(22), Санкт-Петербург.
- Р.С. Волков, А.О.Жданова, П.А. Стрижак, А.Е. Кузнецов, О роли распылительных устройств при тушении пожаров // Пожаровзрывобезопасность. 2015. № том 24, №3. Р. 42–53.
- Ишматов А.Н. Метод исследования тонкодисперсного распыления жидкостей // Оптика атмосферы и океана. 2012. № Т.25, №7. Р. 653–656.
- А.А. С. Современная система пожаротушения “водяной туман” высокого давления // Энергетик. 2012. № №3. Р. 16–18.
- Korobeynichev O.P., Shmakov A.G., Chernov A.A., Kutsenogiy K.P., Makarov V.I., Kopylov S.N. Sposob tusheniya pozhara Method for fire extinguishing: pat. 2396095 USA. Patent RU.
- Kononov V.V. Sposob tusheniya pozhara i ustanovka pozharotusheniya Fire extinguishing method and apparatus: pat. 2050866 USA. Patent RU.
- Лобода Е.Л. et al. Применение термографии при исследовании процессов горения. Изд-во Том. Томск, 2016.
- Я.В. Балло Підвищення ефективності роботи систем водяного пожежогасіння висотних будинків. - Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 - пожежна безпека. Український науково-дослідний інститут цивільного зах. 2017.
- А. Г. Виноградов, С. Ю. Огурцов, В. А. Дунюшкин, В. С. Бенедюк, Е. А. Линчевский // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. - 2014. - № 2. - С. 99-108. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvundipb_2014_2_18
- ДСТУ CEN/TS 14972:2016 Стационарные системы пожаротушения. Системы пожаротушения тонкораспыленной водой. Проектирование и монтаж (CEN/TS 14972:2011, IDT)

METHODS OF LABORATORY RESEARCH OF EXTINGUISHING PROCESSES PECULIARITIES OF HIGH-BOILING COMBUSTIBLE LIQUIDS

S. Ohurtsov, Cand. of Sc. (Eng.), Senior Fellow, S. Semychaievskyi

The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

high-boiling combustible liquids, sprayed water, extinguishing processes research, thermal-imaging equipment

ANNOTATION

According to the analysis of literature sources of extinguishing of high-boiling combustible liquids, several key issues were identified that should be determined during experimental research of extinguishing processes, namely: dispersion of spraying, particle velocity of water extinguishing agent, temperature of its supply, change in concentrations of impurities-combustion inhibitors, the temperature of liquid layer, investigated the intensity of liquid combustion (size of torch of combustion, control of combustion intensification presence or absence). The need of development of individual methods of laboratory research of water-based fire extinguishing substances and their supply parameters to minimize the intensification of the combustion processes of high-boiling combustible liquids, taking into account the specificity of their extinguishing, has been determined. The proposed improved methods of research of extinguishing processes of high-boiling combustible liquids provides control of the temperature of model fireplace, the temperature of extinguishing agent, and the use of the TESTO 885 thermal-imaging device provides visualization of model fireplace size and shape during extinguishing process. The parameters of cutting of Danfoss nozzle 0,40 Gph 80 ° were experimentally determined in terms of its use for cutting of distilled water at pressures of 4.6 and 8 bar. The possibility of using thermographic equipment with a spectral range from 7 to 14.5 microns for research the features of the interaction of sprayed water extinguishing agents with high-boiling combustible liquids are experimentally identified. The characteristic images of individual stages of processes allow to visualize external dimensions of flame and its character, especially in the conditions of reducing the limits of measurements for further programmed processing of the video sequence. Minimization of combustion intensification shall be the subject of further research of the authors. Changing the initial conditions of supply of sprayed water, its initial temperature, the intensity of supply, using impurities-combustion inhibitors, it will be necessary to determine conditions for the most effective extinguishing of fires of turbine oil spills of the TP-22 brand.

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССОВ ТУШЕНИЯ ВЫСОКОКИПАЮЩИХ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ

С.Ю. Огурцов, канд. техн. наук, ст. наук. сотр., С.В. Семичаевский

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

высококипящие горючие жидкости, тонкораспыленная вода, исследования процессов тушения, тепловизионная техника

АННОТАЦИЯ

Определена необходимость разработки отдельных методик лабораторных исследований водных огнетушащих веществ и параметров их подачи для минимизации интенсификации процессов горения высококипящих горючих жидкостей. Предложенная усовершенствованная методика исследований процессов гашения высококипящих горючих жидкостей, обеспечивает контроль температуры модельного очага, температуры огнетушащего вещества, а использование телевизионного прибора обеспечивает визуализацию размера и формы пламени модельного очага в процессе его тушения. Экспериментально определены параметры распыла форсунки Danfoss 0,40 Gph 80 ° в условиях ее использования для распыления дистиллированной воды в диапазоне давлений 4- 8 бар. Показана возможность использования термографического оборудования со спектральным диапазоном от 7 до 14,5 мкм для исследования особенностей взаимодействия тонкораспыленной водных огнетушащих веществ с высококипящими горючими жидкостями