

В.М. Баланюк, О.І. Гарасим'юк, Ю.О. Копистинський, А.В. Гриньова
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВОГНЕГАСНОГО АЕРОЗОЛЮ НА ОСНОВІ НЕОРГАНІЧНИХ СОЛЕЙ КАЛІЮ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ТЕПЛООВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ПОЖЕЖАХ

Вступ. Виходячи з аналізу кількості пожеж горючих рідин в резервуарах в світі, 50% з них гасять досить швидко, 25% переходять в затяжні, а 25% взагалі не гасяться та ліквідовуються після згорання всієї горючої рідини. Зважаючи на це, відкритим залишається питання не лише ефективності гасіння, а й обмеження поширення пожежі внаслідок теплового випромінювання. Особливої актуальності це питання набуває за умови необхідності екранування теплового випромінювання в умовах виникнення пожежі в важкодоступному місці, зокрема, обмеженому об'ємі кабельного тунелю, будівлі значної висоти або глибини, або неможливості перебування безпосередньо біля стовпів особового складу внаслідок хімічного або радіаційного забруднення, або в інших несприятливих умовах. Застосування вогнегасного аерозолю дозволить ефективно екранувати від теплового випромінювання поверхні та обмежувати поширення пожежі внаслідок неможливості нагрівання горючих матеріалів навколо вогнища.

Метою роботи є встановлення можливості використання вогнегасного аерозолю на основі неорганічних солей калію для створення екрануючих завіс, як способу захисту об'єктів від теплового випромінювання значних потужностей (більше 10 кВт/м²) на пожежах.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та задач дослідження було використано теоретичні методи дослідження, що включали аналіз пожеж та фізико-хімічних характеристик водяних завіс, узагальнення отриманих результатів дослідження з подальшою їх систематизацією для досягнення поставленої мети дослідження.

Основні результати роботи. Встановлено, що вогнегасний аерозоль на основі неорганічних солей калію може ефективно поглинати та екранувати теплове випромінювання. При цьому протікають різні процеси – що забезпечують рух та переміщення вогнегасного аерозолю, а також процеси, котрі відбуваються з самими частинками – їх розкладання з утворенням додаткової кількості газів – CO₂, N₂, H₂O (пара), які також здатні активно поглинати теплове випромінювання. Визначено що вогнегасний аерозоль, завдяки тому, що розміри переважної більшості частинок аерозолю менші за 1 мкм, здатний найбільш ефективно поглинати інфрачервоне випромінювання.

Висновки. В роботі обґрунтовано використання вогнегасного аерозолю на основі неорганічних солей калію з метою поглинання та створення екрануючих завіс, як способу захисту об'єктів від теплового випромінювання значних потужностей. Обґрунтовано, що вогнегасний аерозоль здатний створювати стійкі (до 40 хв) в часі завіси, які можуть ефективно поглинати потужне теплове випромінювання. Теоретично обґрунтовано, що розсіювання, відбивання та поглинання теплового потоку на різних частотах є основними чинниками, які забезпечують екранування від дії теплового потоку на пожежі.

Ключові слова: Вогнегасний аерозоль, тепловий потік, теплове випромінювання, інфрачервоне випромінювання.

V. M. Balanyuk, O. I. Garasimiyuk, Y. O. Kopystynsky, A. V. Grynova
Lviv State University of Life Safety

PROSPECTS FOR THE USE OF FIRE-EXTINGUISHING AEROSOL BASED ON INORGANIC POTASSIUM SALTS FOR SCREENING OF THERMAL RADIATION IN FIRE

Introduction. Based on the analysis of the number of fires of combustible liquids in tanks in the world, 50% of them are extinguished quickly, 25% go into prolonged, and 25% are not extinguished at all and are eliminated after the combustion of all combustible liquid. Because of this, the question of the effectiveness of not only extinguishing but also the spread of fire due to thermal radiation remains open. This issue becomes especially relevant when it is necessary to

shield thermal radiation in the event of a fire in a hard-to-reach place, in particular, a limited volume of cable tunnel, the building of considerable height or depth, or inability to stay directly near personnel trunks due to chemical or radiation pollution, or other adverse conditions. The use of fire-extinguishing aerosol will effectively shield the surface from thermal radiation and limit the spread of fire due to the inability to heat combustible materials around the hearth.

The work aims to establish the possibility of using fire-extinguishing aerosol based on inorganic potassium salts to create shielding curtains as a way to protect objects from thermal radiation of significant capacity (more than 10 kW / m²) in fires.

Research methods. To achieve the goal and objectives of the study, theoretical research methods were used, which included analysis of fires, physicochemical characteristics of water curtains, generalization of the results of the study with their subsequent systematization to achieve the goal of the study.

The main results of the work. It is established that fire-extinguishing aerosol based on inorganic potassium salts can effectively absorb and shield thermal radiation while various processes take place - providing movement and mixing of fire-extinguishing aerosol, as well as processes that occur with the particles themselves - their decomposition and formation of additional gases - CO₂, N₂, H₂O (steam), which are also able to actively absorb thermal radiation. It is determined that the fire-extinguishing aerosol can most effectively absorb infrared radiation because the size of the vast majority of aerosol particles is less than one μm.

Conclusions. The paper substantiates the use of fire-extinguishing aerosol based on inorganic potassium salts to absorb and create shielding curtains as a way to protect objects from the thermal radiation of significant capacity. It is substantiated that the fire-extinguishing aerosol can create stable (up to 40 min) curtains in time, which can effectively absorb powerful thermal radiation. It is theoretically substantiated that the scattering, reflection and absorption of heat flux at different frequencies are the main factors that provide shielding from the action of heat flux on fire.

Keywords: Fire extinguishing aerosol, heat flow, thermal radiation, infrared radiation.

Вступ. Пожежа в резервуарі з нафтою (нафтопродуктом) починається, як правило, з вибуху пароповітряної суміші в ньому, на перебіг процесу утворення якої всередині резервуарів суттєво впливають показники пожежної небезпеки та фізико-хімічні властивості горючої рідини, яка в ньому зберігається, а також конструкція резервуара, технологічний режим його експлуатації, кліматичні та метеорологічні умови. При горінні резервуару відбувається утворення потужного теплового потоку від якого можуть зайнятися сусідні резервуари внаслідок нагрівання їхніх стінок до температури самозаймання рідини. Для екранування використовують водяні завіси, які не є ефективними, зважаючи зараз на статистику пожеж які продовжують виникати та часом переходять в затяжні, або ті, які припиняються лише коли вигорить вся горюча рідина. Тому пошук нових засобів ефективного екранування теплового потоку є одним із пріоритетних завдань для недопущення поширення і зменшення часу гасіння та кількості пожеж в резервуарах з горючою рідиною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що пожежі горючих рідин в резервуарах мають ряд особливостей, а саме, при горінні може статись закипання та викид палаючої рідини. Під час гасіння пожежі в резервуарі шляхом подавання піни на поверхню до рідини, нагрітої вище 100 °С, може статись скипання горючої рідини з її переливанням через борт, і поширення пожежі в межах обвалування або навіть за його межі [1]. Скипання нафтопродуктів є пов'язане з наявністю в нафті (нафтопродукті) дисперсної води. За даними дослідників, під час скипання

різко збільшується температура полум'я (приблизно до 1500 °С), а висота полум'я і потужність теплового потоку збільшуються в 2-4 рази. Скипання може бути багаторазовим, що підтверджується реальними пожежами. Це явище значною мірою ускладнює дії пожежних підрозділів і в багатьох випадках призводить до «зривання» пінних атак. Якщо існує загроза викиду, то подеколи доводиться створювати другий рубіж захисту із встановленням пожежних автомобілів на віддалені джерела водопостачання і прокладанням резервних рукавних ліній з підключеними водяними стволами і стволами-генераторами піни [1].

Згідно з даними роботи [1] більше половини пожеж в резервуарах для зберігання нафти і нафтопродуктів тривало менше ніж 2 год. Гасіння більш ніж третини пожеж потребувало доставки додаткової кількості води, оскільки її запас в резервуарних парках, згідно з нормами, розраховано лише на 6 годин гасіння пожежі. Кожна четверта пожежа набувала затяжного характеру і закінчувалася у більшості випадків повним вигоранням нафти (нафтопродукту).

Так для прикладу розглянемо пожежу, яка виникла 8 червня 2015 року на нафтобазі «БРСМ-Нафта» [2] (резервуарному парку для зберігання пально-мастильних матеріалів різного виду (бензин, дизпаливо, мастило) загальною місткістю 28050 м³) у Васильківському районі в смт. Глеваха Київської області. На початок пожежі там знаходилося 14 тисяч тонн нафтопродуктів. З прибуттям 1-го підрозділу виявлено горіння одного резервуара з легкозаймистою речовиною ємкістю 900 м³ та розлив ЛЗР на ґрунті між резервуарами з горінням на площі 300 м², при

цьому пожежа була локалізована в межах периметра. 9 червня під час гасіння пожежі стався потужний вибух, в результаті пожежа за 15 годин 21 хвилину охопила всі 17 резервуарів з паливом (резервуари були щільно розміщені між собою). Виникла загроза поширення вогню на сусідню нафтобазу, ліс і військову частину, на якій зберігається арсенал зброї. Було оголошено евакуацію громадян з двокілометрової зони від кордону пожежі. Ліквідовано пожежу за зовнішніми ознаками на всій території бази було аж 12 червня 2015 року о 11 год 30 хв. Всього на пожежі було зосереджено сил і засобів: 939 чоловік та 117 одиниць техніки. Але аналізуючи пожежу необхідно зазначити, що не зважаючи на те, що працювало 5 стволів «А» на охолодження та захист резервуарів, це не дало дієвого результату, пожежа набула затяжного характеру і закінчилась повним вигоранням нафти. Внаслідок катастрофи загинуло 5 осіб (з них троє – рятувальники), 18 осіб постраждали.

Отже з короткого огляду зазначеної пожежі можна зробити висновок, що на даний час в Україні та світі гасіння таких пожеж відбувається подібним способом, що за умови високої потужності теплового випромінювання не забезпечує відповідної ефективності гасіння та короткого часу її ліквідації. До основних недоліків при гасінні пожеж вуглеводневих палив в резервуарах та розливах необхідно віднести: тривалий час підготовки до подавання піни (пінної атаки), неможливість ефективно обмежувати тепловий потік до поверхні нафтопродукту та на сусідні резервуари, неможливість забезпечити тривале флегматизування напівпустих резервуарів при дії на них теплового випромінювання, можливість закипання нафтопродукту при тривалому горінні та потраплянні в нього води. Окремо необхідно зазначити про можливість руйнування піни внаслідок випаровування води від дії теплового випромінювання. Таким чином аналіз пожеж, зокрема пожежі нафтобази в Василькові, підкреслив актуальність означеної науково-технічної проблеми, вирішення котрої забезпечить підвищення ефективності та надійності гасіння і запобігання горінню внаслідок флегматизування та екранування за умови застосування вогнегасного аерозолю.

Зазначену проблему можна вирішувати через збільшення протипожежних розривів між резервуарами і небезпечними об'єктами або екрануванням теплового випромінювання з метою обмеження впливу інфрачервоного випромінювання на сусідні резервуари. Відомо, що зараз захист від теплового потоку на пожежах забезпечується влаштуванням водяних

протипожежних завіс, які виконують як екранувальну роль, так і охолоджувальну.

Ефективність протипожежної завіси з дисперсної води блокувати випромінювання яке надходить від джерела тепла з високою температурою, залежить від ряду чинників, одним з важливіших є динаміка розпилення води. Динамічні характеристики розпилення можуть серйозно вплинути на здатність блокувати теплове випромінювання [3]. Тенденція зміни середнього діаметра частинок може безпосередньо відбивати тенденцію зміни ефективності згасання. Характеристики крапель і взаємне розташування об'єктів, що захищаються, є двома важливими факторами, що впливають на ефективність згасання.

Для того, щоб дослідити методи блокування тепла на пожежах потрібно зазначити, що теплове випромінювання – це електромагнітне випромінювання [3], що виникає за рахунок внутрішньої енергії тіла. Воно має суцільний спектр випромінювання, інтенсивність максимуму якого залежать від температури тіла. Тепловим випромінюванням (інфрачервоним випромінюванням) є невидиме електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі від 0,76 мкм до 420,00 мкм, яке має світлові і хвильові властивості. Повітря є проникним для теплового випромінювання, саме тому при проходженні теплових променів через повітря його температура не підвищується. Водяні завіси у вигляді суцільної тонкої водяної плівки товщиною 0,001 м повністю поглинають (не пропускають) частину спектра з довжиною хвилі $\lambda = 3,0$ мкм, а товщиною в 0,010 м – поглинають хвилі довжиною $\lambda = 1,5$ мм. При цьому короткохвильове випромінювання практично не поглинається. Тому автори роботи [3] вважають, що плівкові водяні завіси ефективні в основному для екранування випромінювання низькотемпературних джерел.

Встановлення водяних завіс у вигляді розпилених водяних струменів-екранів перед ствольниками не є досить ефективною оперативною дією через незначну для цієї ситуації висоту їх створення. Згідно з тактико-технічними характеристиками насадок-розпилювачів турбінного та щілинного типів, найвищу висоту водяної завіси створює щілинний розпилювач віялового типу РВ-12 – 8 м, а висота полум'я на пожежі може досягати 30 м. Крім того, тепловий потік від факела полум'я на сусідні вертикальні сталеві резервуари (РВС) падає у такій площині, при якій захист від нього можливий лиш при суворо визначених гідравлічних і геометричних параметрах водяної завіси-екрана.

В даний час застосовуються в основному різні насадки-розпилювачі, для вирішення проблеми створення вертикального водяного екрана у вигляді розпиленого водяного струменя в'ялового типу для захисту від теплового потоку резервуарів ємністю від 500 м³ до 2000 м³

При існуючому сучасному підході до гасіння пожеж на складах нафти і нафтопродуктів захист палаючого та сусідніх з ним резервуарів з нафтопродуктом забезпечується завдяки подаванню на верхній пояс стінок резервуара компактних водяних струменів з метою інтенсивного охолодження їхніх поверхонь, що перешкоджає виникненню температурних напружень металу з наступною втратою конструктивних параметрів (несучих огорожувальних властивостей) досить тонких стінок резервуара. Внаслідок проливання великої кількості води (близько 15-180 л/с), всередині обвалування групи резервуарів створюється значний шар води, який згодом не дозволяє ефективно маневрувати особовому складу, а у випадку виникнення екстремальної ситуації – швидко залишити небезпечну зону [4].

Щодо висоти створення водяної завіси то спеціальною насадкою-розпилювачем на лафетний ствол, встановлений під кутом 43,5° на відстані 6,3 м від резервуара та висоті 2,5 м, при довжині струменя 30 м і куті розпилення 47° можна створити вертикальний водяний екран між палаючим та сусіднім резервуарами для зберігання нафти і нафтопродуктів. В цьому випадку такий екран зможе захистити найбільш небезпечну зону резервуара ємністю до 2000 м³ від дії теплового впливу дифузійного факела полум'я палаючого резервуара при відстані між ними 12,6 м [4]. Зважаючи на це, створення подібної завіси потребує значної кількості води що не завжди можна забезпечити.

Постановка проблеми. Таким чином, виходячи з вищеописаного необхідно зазначити, що, незважаючи на розвиток технологій пожежогасіння питання гасіння та захисту резервуарів залишається актуальним. Крім цього, виходячи з аналізу пожеж, необхідно зазначити, що кожна 4 пожежа не піддається гасінню і триває до повного вигорання палива. Проаналізувавши характеристики водяних завіс можемо сказати, що їхня ефективність бажає бути кращою, оскільки ефективність екранування водяного випромінювання не є високою. Крім цього не завжди є можливість використання теплових завіс, оскільки для цього необхідно мати значні запаси води.

Також в результаті аналізу проблеми гасіння та захисту резервуарів від теплового випромінювання та висновку, що кожна 4 пожежа

триває до повного вигорання і застосування водяних завіс не є ефективним, було визначено, що пожежі резервуарів на даний час представляють собою значну проблему, яка потребує науково-технічного обґрунтування та розв'язання.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є обґрунтування використання вогнегасного аерозолу на основі неорганічних солей калію для створення екрануючих завіс, як способу захисту об'єктів від теплового випромінювання значних потужностей (більше 10 кВт/м²) на пожежах в тому ж огороженні.

Для досягнення мети були поставлені такі задачі:

1. Визначити наскільки аерозоль на основі неорганічних солей калію може формувати стійкі в часі завіси.

2. Теоретично обґрунтувати, які процеси та явища будуть відбуватись під час дії на аерозоль теплового потоку.

Виклад основного матеріалу. Відомо [5], що атмосферні аерозолі та гази можуть ефективно поглинати та розсіювати сонячну теплову радіацію майже в усіх спектрах випромінювання. Ті ж дослідники [5] вказують, що сонячна радіація ефективно поглинається водяними хмарами, вуглекислим газом, оксидами азоту, які перебувають в атмосфері, що відповідно буде відбуватись і при полум'яному горінні.

Аерозольні вогнегасні суміші одержують спалюванням аерозольотворювальної сполуки (АУС), яка складається з окисника (як правило, KNO₃; KClO₄ чи їх суміші) і відновника-пального (епоксидна смола, ідітол, каучуки і т.п.). В процесі горіння АУС утворюються конденсована та газова фази [6]. Висока ефективність аерозолів пояснюється утворенням високодисперсної конденсованої фази з розміром частинок 1 мкм і менше, з наступним відсотковим розподілом за розмірами – 80% – частинки з розміром менше 1 мкм, 20% – частинки з розміром більше 1 мкм [7]. Зазначена суміш частинок перебуває у завислому стані в газовій суміші повітря та газів CO₂ N₂ та інш.

Оскільки конденсована фаза містить такі речовини як K₂CO₃, KOH, KCl, то деякі дослідники схильні вважати, що механізм дії аерозолу подібний до механізму дії вогнегасних порошків. Підвищення екрануючої здатності аерозолу можна досягнути шляхом збільшення газифікації вихідних компонентів рецептур АУС такими газами, як N₂, CO₂, пари води, відтак, кількість газових компонентів має бути більшою, ніж твердих. Також автори праць [7, 8] зазначають, що високий ступінь газифікації аерозолу сприяє значному підвищенню вогнегасної ефективності аерозолів, які також

мають більш значну розвинуту поверхню та площу. [9].

Автор [10] подає таку класифікацію за дисперсністю: аерозоль може бути системою грубої, колоїдної і аналітичної дисперсності. Грубодисперсний аерозоль включає в себе частинки, видимі за допомогою оптичного мікроскопа, тобто частинки з розміром більше 0,5- 1,0 мк; аерозолі колоїдної дисперсності містять частинки речовини колоїдних розмірів, тобто в межах від 5 до 500 нм, що піддаються спостереженню тільки методами ультра- і електронної мікроскопії; і аерозолі аналітичної дисперсності мають частинки розміром 1-5 нм. Найбільш ефективно будуть поглинати теплове випромінювання на коротких хвилях аерозолі з дисперсністю менше 1 мкм. Спираючись на результати роботи [9] необхідно зазначити, що вогнегасний аерозоль складається з полідисперсних частинок 80% котрих мають розмір менше 1 мкм, які відповідно найбільш ефективно поглинають інфрачервоне випромінювання.

Щодо деяких фізичних характеристик аерозолів то необхідно зазначити, що вони можуть мати різну дисперсність від ступеня котрої буде залежати інтенсивність поглинання та розсіювання теплового потоку [11]. В роботі зазначається, що вхідний світловий потік зазнає значних змін при проходженні через аерозоль, що проявляється у його поглинанні на частоті короткохвильового випромінювання, розсіюванні та поглинанні на аерозольних частинках. Враховуючи, що вогнегасний аерозоль складається з суміші газів та солей, а саме вуглекислого газу, водяної пари, азоту та дисперсних солей, – K_2CO_3 , KCl , $KOH \cdot H_2O$. Вогнегасна концентрація аерозолу лежить в межах 30-50 $г/м^3$, причому частинки вищеназаних солей при нагріванні можуть забезпечувати додатковий вихід CO_2 та H_2O , які флегматизують зону горіння. Беручи до уваги те, що аерозоль містить додатково адсорбовані гази, в районі полум'я буде виділятися деяка кількість газів, яка буде сприяти посиленню конвективних потоків, руху та перемішуванню аерозолу.

Виходячи з характеристик вогнегасного аерозолу необхідно зазначити, що внаслідок його фізичних характеристик він здатний ефективно поглинати значні дози теплового випромінювання вже при невеликих його концентраціях. При цьому відбувається поглинання теплового випромінювання, розклад і рух аерозольних частинок під кутом до напрямку потоку випромінювання. Це забезпечує додаткове перемішування вогнегасних частинок та відповідно отримання свіжих порцій аерозолу,

який назад поглинає інтенсивно зазначені гази. Молекулярне, або релеевське розсіювання на ультрадисперсних аерозольних частинках, в мутному середовищі на частках, розміри яких малі в порівнянні з довжиною хвилі випромінювання, призводить до утворення конуса Тіндаля. Система електронів, що здійснюють вимушені коливання в атомах електрично ізотропної частинки малого розміру $r \sim (0,1-0,2) \lambda$, еквівалентна одному електричному диполлю, що коливається [12]. Цей диполь коливається з частотою падаючого на нього випромінювання, і інтенсивність теплової радіації, що випромінюється ним, пропорційна четвертому ступеню частоти (зворотно пропорційна четвертого ступеня довжини хвилі). Процес розсіювання радіації багато в чому визначається геометричною структурою аерозольного середовища, яке прийнято характеризувати безрозмірними параметрами r/λ та l/λ , де l – відстань між частинками, r – діаметр частинки. Закони розсіювання виявляються суттєво різними для випадків, коли $r \ll \lambda$, і для частки, розмір якої можна порівняти, або значно більший за довжину хвилі падаючої радіації ($r \gg \lambda$) [13].

Розсіювання, відображення та поглинання світла аерозолями залежить від розміру, форми та природи частинок, а також від довжини хвилі падаючого світла. Якщо світловий пучок, що проходить через аерозоль, спостерігати під деяким кутом на темному тлі, то наявність частинок легко виявити за розсіяним світлом, що утворює конус Тіндаля [14].

Отже процеси розсіювання, відбивання і поглинання визначають послаблення теплового потоку, який проходить через вогнегасний аерозоль, і є основними факторами, що характеризують зменшення потужності теплового випромінювання на пожежі і аерозоль можна використовувати в якості теплового поглинача та з метою екранування.

Висновок. В роботі обґрунтовано використання вогнегасного аерозолу на основі неорганічних солей калію з метою поглинання та створення екрануючих завіс, як способу захисту об'єктів від теплового випромінювання значних потужностей на пожежах. Обґрунтовано, що вогнегасний аерозоль здатний створювати стійкі (до 40 хв) в часі завіси, які можуть ефективно поглинати потужне теплове випромінювання. Теоретично обґрунтовано, що розсіювання, відбивання та поглинання теплового потоку на різних частотах є основними чинниками, які забезпечують екранування від дії теплового потоку на пожежі.

Список літератури:

1. Боровиков В. О. Возможні сценарії розвитку пожеж в резервуарах для зберігання нафти і нафтопродуктів. Інтернет журнал F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты. 2014 (<http://security-info.com.ua/>)

2. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%B6%D0%B0_%D0%BD%D0%B0_%D0%BD%D0%B0%D1%84%D1%82%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D0%B7%D1%96_%D1%83_%D0%92%D0%B0%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BA%D1%96%D0%B2%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D1%83_%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD%D1%96 Пожежа на нафтобазі у Васильківському районі

3. Стилик І., Бенедюк В., Тимошенко О., Грачов А. Шляхи та проблемні питання впровадження водяних протипожежних завіс в Україні. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2020. № 2 (10). С.22-31. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.22-31>

4. Dendarenko, Y. Y., Dyven, V. I., & Blashchuk, O. D. (2017). Ефективність радіального водяного струменя-екрана в зоні теплової дії дифузійного факела полум'я. Науковий вісник НЛТУ України, 27(9), 104-106. <https://doi.org/10.15421/40270922>

5. <https://studfile.net/preview/994677/page:3/> Ослабление инфракрасного излучения в атмосфере. Інтернет ресурс.

6. Balanyuk, V. M. (2016). Specific Nature of Phlegmatizing Air-Heptan Mixture using aerosol and Nitrogen Binary Mixture. ВіТР, 44 (4), 139–149.

7. Баланюк В. М., Грималюк Б. Т., Кіт Ю. В., Левуш С. С. Вплив газової фази на ефективність вогнегасних аерозолів. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2004. № 497 : Хімія, технологія речовин та їх застосування. С. 102–104.

8. Баланюк В. М. Определение эффективности тушения огнетушащими аэрозолями горючих жидкостей на открытом пространстве. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. №5. С. 4–1

9. Баланюк В. М., Грималюк Б. Т. Дослідження впливу інертних розріджувачів на ефективність вогнегасних аерозолів. Пожежна безпека. 2005. №5. С. 113-116.

10. Рябова Н. В., Маркова К. П., Пчельникова М. Н., Аэрозоли / пер. с чешского Атомиздат. 1964. С. 362.

11. Борен К., Хафман Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М.: Мир, 1986. С. 660.

12. Кутателадзе С. С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1990. 366с.

13. Everett DH. Some important properties of colloids II scattering of radiation. In: Everett DH, ed. Basic Principles of Colloid Science. 1st ed. London: The Royal Society of Chemistry; 1988:95–109.

14. James W Gentry, and Jui-Chen Lin, Legacy of John Tyndall in aerosol science: Journal of Aerosol Science [J AEROSOL SCI], vol. 27, no. Suppl 1, pp. S503-S504, 1996.

References:

1. Internet zhurnal F S: Tehnologii bezopasnosti i protivopozharnoy zaschityi / Borovikov V. O. Mozhlyvi stsenariy rozvitku pozhezh v rezervuarah dlya zberigannya nafti i naftoproduktiv, 2014 Режим доступу: <http://security-info.com.ua/>

2. Pozhezha_na_naftobazi_u_Vasilkivskomu_rayoni. Pozhezha na naftobazi u Vasilkivskomu rayoni. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>

3. Shlyahi ta problemni pitannya vprovadzheniya vodyanih protipozhezhnih zavis v Ukrayini I. Stilik, V. Benedyuk, O. Timoshenko, A. Grachov - Naukoviy visnik: Tsivilniy zahist ta pozhezha bezpeka # 2 (10) 2020. S.22-31. <https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.22-31>.

4. Dendarenko, Y. Y., Dyven, V. I., & Blashchuk, O. D. (2017). Efektivnist radialnogo vodyanogo strumenya-ekrana v zoni teplovoyi diyi difuziynogo fakela polum'ya. Naukoviy visnik NLTU Ukrainu, 27(9), 104-106. <https://doi.org/10.15421/40270922>.

5. Oslablenie infrakrasnogo izlucheniya v atmosfere. Internet resurs. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/994677/page:3/>

6. Balanyuk, V. M. (2016). Specific Nature of Phlegmatizing Air-Heptan Mixture using aerosol and Nitrogen Binary Mixture. ВіТР, 44 (4), 139–149.

7. Vpliv gazovoi fazi na effektivnist vognegasnih aerezoliv / V. M. Balanyuk, B. T. Grimalyuk, Yu. V. KIt, S. S. Levush // Visnik Natsionalnogo universitetu «Lvivska politehnika». – 2004. – # 497 : Himiya, tehnologiya rechovin ta ih zastosuvannya. – S. 102-104.

8. Balanyuk V. M. Opredelenie effektivnosti tusheniya ogetushaschimi aerezolyami goryuchih zhidkostey na otkryitom prostranstve. / V. M. Balanyuk. // Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovyih tehnologiy. – 2015. #5. P. 4–1

9. Balanyuk V.M., Grimalyuk B.T. Doslidzhennya vplyvu Inertnih rozridzhuvachiv na effektivnist vognegasnih aerezoliv // Pozhezha bezpeka. - 2005. #5. P. 113-116.

10. Aerosoli. Per. s cheshskogo N.V. Ryabova i K.P. Markova i M.N. Pchelnikova. M., Atomizdat, 1964. 362s.

11. Boren K., Hafman D. Pogloschenie i rasseyanie sveta malymi chastitsami. M.: Mir, 1986. 660s.

12. Kutateladze, S.S. Teploperedacha i gidrodinamicheskoe soprotivlenie. Spravochnoe posobie / M.: Energoatomizdat, 1990. – 366s.

13. Everett DH. Some important properties of colloids II scattering of radiation. In: Everett DH, ed. Basic Principles of Colloid Science. 1st ed. London: The Royal Society of Chemistry; 1988:95–109.

14. James W Gentry, and Jui-Chen Lin, Legacy of John Tyndall in aerosol science: Journal of Aerosol Science [J AEROSOL SCI], vol. 27, no. Suppl 1, pp. S503-S504, 1996.

* **Оглядова стаття.**

Надійшла до редакції 01.12.2021 р.