



МАТЕРІАЛИ ДРУКУЮТЬСЯ УКРАЇНСЬКОЮ,
АНГЛІЙСЬКОЮ, НІМЕЦЬКОЮ
ТА ПОЛЬСЬКОЮ
МОВАМИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

ЛДУ БЖД

№ 34, 2019

заснований у 2002 році

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

д-р с-г. наук **Кузик А.Д.** – головний редактор

д-р техн. наук **Ковалишин В.В.** – науковий редактор

д-р техн. наук **Антонов А.В.**

канд. техн. наук **Баланюк В.М.**

д-р інж. **Єжи Волянін**

д-р інж. **Даріуш Врублевський**

д-р техн. наук **Гащук П.М.**

д-р техн. наук **Гуліда Е.М.**

д-р техн. наук **Демчина Б.Г.**

канд. пед. наук **Коваль М.С.**

д-р пед. наук **Козяр М.М.**

д-р техн. наук **Костенко В.К.**

д-р техн. наук **Круковський П.Г.**

канд. техн. наук **Лозинський Р.Я.**

д-р хім. наук **Михалічко Б.М.**

д-р фіз.-мат. наук **Тацій Р.М.**

ISSN 2078-6662

DOI: 10.32447/20786662.34.2019.00

ЗАСНОВНИК ТА ВИКОНАВЕЦЬ Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності (ЛДУ БЖД)

ЗАРЕЄСТРОВАНО Державною реєстраційною службою України
14. 07. 2014 р. Серія KB №20916-10716 ПР

ВНЕСЕНО ДО ПЕРЕЛІКУ НАУКОВИХ ФАХОВИХ ВИДАНЬ УКРАЇНИ
Наказ МОН України від 06.11. 2014 року № 1279)

ВНЕСЕНО ДО БІБЛОГРАФІЧНОЇ БАЗИ ДАНИХ
«ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY»

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ЛДУ БЖД
(*Протокол № 11 від 29.05.2019 р.*)

Літературний редактор Падик Г.М.
Технічний редактор Сорочич М.П.
Комп'ютерна верстка Хлевной О.В.
Відповідальний за друк Фльорко М.Я.
Друк на різнографі Климус М.В.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007
Контактні телефони: (032) 233-24-79, тел/факс 233-00-88
E-mail: mail@ubgd.lviv.ua, pb_zbirnyk@i.ua

Збірник наукових праць "Пожежна безпека" видається з 2002 року. Запланована періодичність 2 рази на рік. Тематична спрямованість: оригінальні та оглядові праці в галузі технічних наук з напряду пожежна безпека.

Здано в набір 30.05.2019. Підписано до друку 10.06.2019.
Формат 60x84^{1/3}. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 7,5.
Гарнітура Times New Roman. Друк на різнографі.
Наклад: 100.
Друк: ЛДУ БЖД
вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

О. І. Башинський, М. З. Пелешко, Т. Г. Березжанський ВОГНЕСТІЙКІСТЬ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ СКЛАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ ТА ГОРЮЧИХ РІДИН	5	O. I. Bashynskiy, M.Z. Peleshko, T.G. Berezhanskiy FIRE RESISTANCE OF BUILDING STRUCTURES OF FLAMMABLE AND COMBUSTIBLE LIQUIDS STORES
О. І. Башинський, М. З. Пелешко, Ю. Т. Судніцин АНАЛІЗ ПРИЧИН ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ВИСОТНИХ БУДИНКІВ ТА БУДИНКІВ ПІДВИЩЕНОЇ ПОВЕРХОВОСТІ МІСТА ЛЬВІВ	10	O. I. Bashynskiy, M. Z. Peleshko, Y. T. Sydnitsyn ANALYSIS OF REASONS OF HIGH-RISE BUILDINGS FIRE HAZARD IN LVIV
С. Я. Вовк, Н. О. Ференц, Д. В. Харишин ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛІСІЛЮКСА- НОВОГО ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ З АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ	16	S. Ya. Vovk, N. O. Ferents, D.V. Kharyshyn RESEARCH ON THE EFFECT OF PROTECTING COATING ON THE FIRE RESISTANCE OF ALUMINUM ALLOY STRUCTURES
Т. М. Войтович, В. В. Ковалишин, В. В. Чернецький ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ "ПІДШАРОВОГО" ГАСІННЯ	21	T. M. Voitovych, V. V. Kovalyshyn, V. V. Chernetskyi DESIGN AND CALCULATION SPECIFICS OF THE SUBSURFACE FIRE EXTINGUISHING SYSTEM
Е. М. Гуліда, О. М. Коваль, В. В. Шарій ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ ВИРОБНИЧО-СКЛАДСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ З УРАХУВАННЯМ ПОЖЕЖНОГО РИЗИКУ	28	E. M. Hulida, O. M. Koval, V. V. Sharii PROVIDING FIRE PROTECTION OF INDUSTRIAL WAREHOUSE FACILITIES CONSIDERING FIRE RISK
О. О. Ковальов, А. Я. Калиновський, О. Г. Поліванов РОЗРОБКА ОКРЕМИХ АСПЕКТІВ КОНТЕЙНЕРНОГО МЕТОДУ ПОЖЕЖО- ГАСІННЯ	35	O. O. Kovalev, A. Y. Kalinovsky, O. G. Polivanov DEVELOPMENT OF INDIVIDUAL ASPECTS OF CONTAINER METHOD OF FIRE EXTINGUISHING
І. П. Кравець, О. І. Башинський, А. П. Кушнір, О. В. Шаповалов ЧИННИКИ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ТА ЕЛЕКТРОУСТАНОВОК	43	I. Kravets, O. Bashynskiy, A. Kushnir, O. Shapovalov FACTORS OF FIRE HAZARD OF ELECTRICITY-GENERATING EQUIPMENT
А. Д. Кузик, Д. В. Лагно ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ЛІКВІДАЦІЇ ПОЖЕЖІ У ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ЛІСАХ НА ТЕРИТОРІЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ	47	A. D. Kuzyk, D. V. Lagno SPECIAL CHARACTERISTICS OF FIRE- FIGHTING IN RADIONUCLIDE- CONTAMINATED FORESTS OF THE CHORNOBYL EXCLUSION ZONE
О. В. Лазаренко, О. Д. Синельников, І. М. Биков, А. С. Кусковець ПОЖЕЖОГАСІННЯ ТА ПРОВЕДЕННЯ ІНШИХ НЕВІДКЛАДНИХ РОБІТ В ЕЛЕКТРОКАРАХ	54	O. V. Lazarenko, O. D. Synelnikov, I. M. Bykov, A. S. Kuskovets FIRE EXTINGUISHING AND OTHER URGENT WORK IN ELECTRIC CARS

**В. І. Луц, О. В. Лазаренко, В. Б. Лоїк,
С. В. Волошко**
ОБГРУНТУВАННЯ ПОПРАВКОВИХ
КОЕФІЦІЄНТІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ
РОБОТИ ЛАНОК ГАЗОДИМОЗАХИСНОЇ
СЛУЖБИ

59

**V. I. Lushch, O. V. Lazarenko, V. B. Loik,
S. V. Voloshko**
THE REASONING OF CORRECTIVE
COEFFICIENTS FOR DETERMINING THE
TIME OF PROTECTIVE ACTION OF SELF-
CONTAINED BREATHING APPARATUS
FOR FIREFIGHTERS

**П. В. Пастухов, В. В. Кочубей,
О. І. Лавренюк, Б. М. Михалічко**
ХІМІЧНОСТІЙКІ ВОГНЕЗАХИСНІ
ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНИХ
КУПРУМ(ІІ) КАРБОНАТОМ
ЕПОКСІАМІННИХ КОМПОЗИЦІЙ

66

**P. V. Pastuhov, V. V. Kochubei,
O. I. Lavrenyuk, B. M. Mykhalitchko**
CHEMICALLY RESISTANT FLAME
RETARDING COATINGS BASED ON
EPOXY-AMINE COMPOSITES MODIFIED
WITH COPPER(II) CARBONATE

А. А. Ренкас
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАГАТОПУСТОТНИХ
ПЛИТ ПЕРЕКРИТТЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ
ЛИСТОВИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

72

A. A. Renkas
FIRE RESISTANCE PROVIDING OF
HOLLOW-CORE CONCRETE SLABS
USING SHEET BUILDING MATERIALS

Ю. І. Рудик, В. М. Шунькін
ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГУ ГОРЮЧОГО
МАТЕРІАЛУ КАБЕЛЬНИХ ВИРОБІВ ПРИ
ВИПРОБУВАННІ ЗА ПОКАЗНИКАМИ
ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

78

Yu. Rudyk, V. Shunkin
DETERMINATION OF THE QUANTITY OF
COMBUSTIBLE MATERIAL IN CABLE
PRODUCTS IN THE PROCESS OF FIRE
SAFETY TESTING

Р. М. Тацій, О. Ю. Пазен, Л. С. Шупот
ВИЗНАЧЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕМ-
ПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В СИСТЕМІ ДВОХ
ЦИЛІНДРИЧНИХ ТІЛ
ЗА УМОВ ПОЖЕЖІ

84

R. Tatsii, O. Pazen, L. Shypot
DETERMINATION OF THE NON-
STATIONARY TEMPERATURE FIELD IN
THE SYSTEM OF TWO CYLINDRICAL
SHELL UNDER THE FIRE CONDITIONS

**Н. О. Ференц, С. Я. Вовк, А. С. Лин,
Д. В. Харишин**
ДОСЛІДЖЕННЯ НЕБЕЗПЕКИ ВИБУХУ
СФЕРИЧНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ІДПРИЄМСТВ
НАФТОГАЗОПЕРЕРОБНОЇ
ПРОМИСЛОВОСТІ

91

**N. O. Ferents, S. Ya. Vovk, A. S. Lyn,
D. V. Kharyshyn**
EXPLOSIVE HAZARD OF SPHERICAL
TANKS OF OIL AND GAS REFINING
ENTERPRISES

**Р. С. Яковчук, А. Д. Кузик,
О. С. Ємельяненко, Т. М. Скоробагатько**
МЕХАНІЗМ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ
ПОВЕРХНЕЮ КОНСТРУКЦІЙ ЗОВНІШНІХ
СТІН ІЗ ФАСАДНОЮ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ З
ГОРЮЧИМ УТЕПЛЮВАЧЕМ ТА ОПО-
РЯДЖЕННЯМ ШТУКАТУРКОЮ

96

**R. Yakovchuk, A. Kuzyk, S. Yemelyanenko,
T. Skorobagatko**
FIRE SPREAD MECHANISM ON SURFACE
OF CONSTRUCTION FIT WITH FACADE
HEAT INSULATION BASED ON
COMBUSTIBLE INSULANT AND
FINISHED WITH PLASTER

Т. М. Войтович¹, В. В. Ковалишин¹, В. В. Чернецький²
¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
²ГУ ДСНС України у Івано-Франківській обл.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКУ СИСТЕМИ “ПІДШАРОВОГО” ГАСІННЯ

Вступ. Незважаючи на значний прогрес технологій, у тому числі й у сфері пожежної безпеки, пожежі рідин у резервуарах з нафтою і нафтопродуктами залишаються одними з найскладніших для гасіння. Вони розвиваються стрімко, мають затяжний характер і потребують залучення великої кількості сил та засобів. Також такі пожежі характеризуються величезними матеріальними і екологічними збитками, небезпекою для життя та здоров'я людей.

Одним з найбільш безпечних способів гасіння пожеж в резервуарах з нафтою і нафтопродуктами є “підшарове” гасіння. Для гасіння цим способом використовують саме пінний концентрат із фторованими стабілізаторами, водний розчин якого здатен самовільно розтікатись і покривати поверхню нафти і нафтопродуктів тонкою плівкою. На сучасному етапі розвитку нашої країни дослідженню цього питання приділяли недостатньо уваги. У вітчизняних нормативних документах описані технічні параметри системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами, але описана в них методика є однаковою і для “підшарового” гасіння, і для подачі піни на поверхню резервуара, що горить. Тому виникла необхідність описати методику розрахунку основних параметрів системи гасіння резервуарів саме “підшаровим” способом.

Мета роботи – описати методику розрахунку основних параметрів системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом. Розрахувати технічні параметри системи гасіння пожеж згідно із запропонованою методикою для різних типів резервуарів, видів палива, концентрацій піноутворювача тощо.

Основні результати дослідження:

Викладені основні проблеми пожеж в резервуарах з нафтою і нафтопродуктами, а також особливості їх ліквідації за допомогою подачі фторсинтетичних піноутворювачів під шар горючої речовини.

Описано методику розрахунку основних параметрів системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами піною низької кратності “підшаровим” способом.

Наведено приклади розрахунку для резервуара типу РВС-10000 згідно із запропонованою нами методикою, а також методикою, описаною у вітчизняних нормативних документах.

Розраховано технічні параметри системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом для різних типів резервуарів, видів палива, концентрацій піноутворювача тощо.

Висновок. При дослідженні визначено, що вартість витраченого піноутворювача і збиток від горіння бензину є меншими при “підшаровому” гасінні, ніж при гасінні поверхневим способом.

Ключові слова: піноутворювач, резервуар, бензин, дизельне паливо, “підшарове” гасіння.

Постановка проблеми. Проблема боротьби з пожежами в розвинутих індустріальних країнах стає все більш актуальною. Щорічні матеріальні втрати та кількість жертв від пожеж і вибухів неухильно зростають і досягають таких значних величин, що боротьба з ними набуває важливого державного значення. Достатньо, наприклад, відмітити, що лише в США щорічні збитки від пожеж і вибухів сягають 5 млрд доларів [1].

Пожежна небезпека резервуарів з нафтою і нафтопродуктами визначається можливістю виникнення горючої (вибухонебезпечної) концентрації парів як всередині, так і зовні резервуара.

Основними джерелами запалювання є: удари блискавки (грозові розряди), розряди статичної електрики, механічні іскри від пошкоджень і порушення регламенту виконання операцій, са-

мозаймання пірофорних відкладень, а також іскри пускової, регулюючої апаратури, електроприладів засувки й іншого обладнання.

Основними шляхами поширення пожежі в резервуарних парках може бути дихаюча арматура (патрубки), пролиті нафтопродукти, горючі пароповітряні суміші, які утворюються при загазованості території [2].

Протипожежний захист нафтової та нафтохімічної промисловості, об'єктів транспортування нафти, сховищ і перевалочних баз багато в чому забезпечується завдяки використанню, в якості засобу гасіння пожеж, піни різної кратності, ефективність якої визначається складом піноутворюючої композиції.

Головною перевагою використання піни є, одночасно з її ізолюючою здатністю, охоло-

дження розчином піноутворювача зони пожежі, що забезпечує надійність гасіння, зниження ймовірності повторного займання і утворення вибухонебезпечної суміші парів пального з повітрям.

В шістдесяті роки були синтезовані фторвмісні поверхнево активні речовини, застосування яких в рецептурах піноутворювачів різко підвищило їх вогнегасну ефективність завдяки утворенню водяних плівок на поверхні нафтопродуктів [3].

Для гасіння пожеж нафти і нафтопродуктів “підшаровим” способом використовують саме пінний концентрат із фторованими стабілізаторами, водний розчин якого здатен самовільно розтікатись і покривати поверхню нафти і нафтопродуктів тонкою плівкою.

Резервуари рекомендується захищати установками пожежогасіння низьократною плівкоутворюючою піною на основі фторсинтетичних піноутворювачів типу AFFF, оскільки така піна інертна до впливу вуглеводнів в процесі її підйому на поверхню нафтопродукту [2].

Для отримання та подавання піни низької кратності під шар пального в резервуар можуть використовуватися високонапірні піногенератори типу “ВПГ” та інші високонапірні піногенератори, сертифіковані в Україні [4].

В системі “підшарового” гасіння резервуара рекомендується передбачати лінію розчинопроводів для подачі піноутворюючого розчину до високонапірних піногенераторів (далі ВПГ) і далі низьократною плівкоутворюючої піни по пінопроводах через зворотний клапан на запобіжну розривну мембрану, потім, через засувку біля стінки резервуара, всередину, безпосередньо в нафту або нафтопродукт через пінну насадку, яка гасить швидкість потоку емульсованої піни через нафту і нафтопродукти. Принципова схема подачі представлена на рисунку 1.

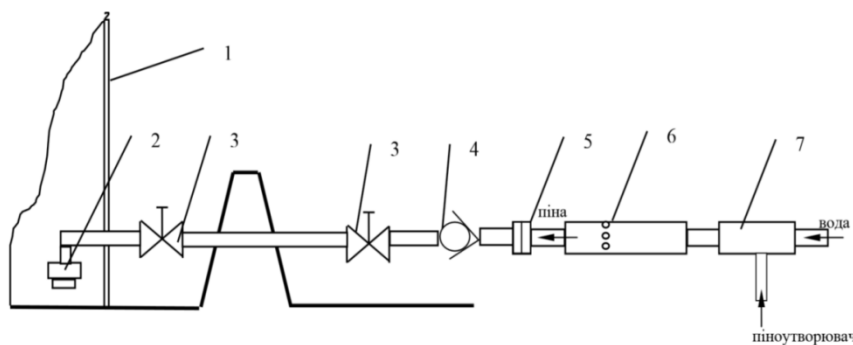


Рисунок 1 – Принципова схема системи “підшарового” пожежогасіння з використанням незалежного пінопроводу для подавання піни під шар продукту: 1 – резервуар; 2 – пінна насадка; 3 – засувки; 4 – зворотний клапан; 5 – мембрана; 6 – піногенератор; 7 – пінозмішувач.

Пінні насадки розташовуються в певних місцях ліній розводки пінопроводів всередині резервуара, як правило, для рівномірного розподілення піни по вільній поверхні пального і для швидшого залучення в процес перемішування всієї маси пального в резервуарі (рис. 2) [2].

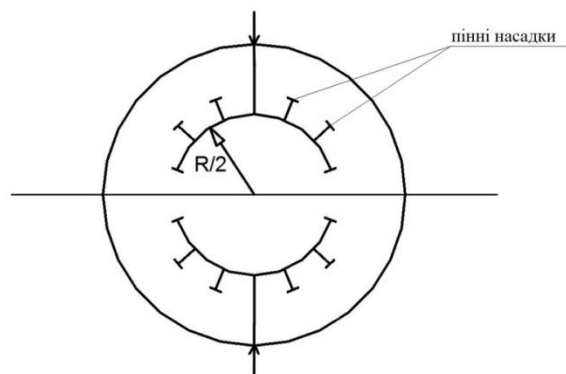


Рисунок 2 – Принципова схема розташування пінних насадок всередині резервуара

Аналіз існуючих публікацій. Технічні параметри системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами описані у вітчизняних нормативних документах [4, 5], але описана в них методика є однаковою і для “підшарового” гасіння, і для подачі піни на поверхню резервуара, що горить.

Метою статті є необхідність опису методики розрахунку основних параметрів системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом, а також розрахунок технічних параметрів системи гасіння пожеж згідно із запропонованою методикою для різних типів резервуарів, видів палива, концентрацій піноутворювача тощо.

Виклад основного матеріалу. Напірні вузли пінопроводів рекомендується розташовувати на відстані не більше 50 м від гідрантів протипожежного водозабезпечення.

Кількість вводів для подачі розчину піноутворювача до напірних вузлів і піни до системи внутрішньої розводки автоматичної системи “підшарового” гасіння (далі СПГ) доцільно передбачувати в кількості не менше двох.

Не рекомендується проектувати максимальну довжину пінопроводу від ВПГ до найбільш віддаленої точки вводу в середину резервуара більше 100 м.

В обвалуванні наземно рекомендується розташовувати таке обладнання:

- пінопроводи;

- зворотні клапани;
- розривні мембрани;
- корінні засувки, які розділяють зовнішню і внутрішню розводку пінопроводів;
- патрубки з фланцевим з'єднанням і заглушкою для випробування автоматичної системи пожежогасіння і промивки внутрішньої і зовнішньої розводки пінопроводу.

Діаметр перетину запобіжних мембран, зворотних клапанів, корінних засувок, як правило, відповідає діаметру пінопроводу.

Розривні запобіжні мембрани для систем “підшарового” пожежогасіння призначені для:

- герметизації пінопроводів, які з'єднуються з резервуаром з нафтою і нафтопродуктами;
- гарантованої підтримки тиску стовпа нафти або нафтопродуктів зі сторони резервуара;
- прориву розривної діафрагми і відкриття прохідного перетину пінопроводу при спрацюванні піногенератора.

Засувки пінопроводів в обвалуванні рекомендується встановлювати на відстані не більше 1 м від стінки резервуара. Вони можуть бути в положенні «Відкрито» і закриватись після гасіння для заміни запобіжної мембрани.

За корінною засувкою на зовнішньому пінопроводі рекомендується установка розривної запобіжної мембрани та зворотного клапана.

Патрубок, який закінчується фланцевим з'єднанням із заглушкою для візуальної перевірки працездатності системи подачі піни в нижню частину резервуара і промивки внутрішньої та зовнішньої розводки пінопроводу може бути встановлений на зовнішньому пінопроводі між напірним вузлом і зворотним клапаном.

В зимовий період при низьких температурах зовнішнього повітря для запобігання замерзанню корінної засувки на зовнішньому пінопроводі зворотного клапана і розривної мембрани доцільно забезпечити їх постійний нагрів до температури вищої за 0°C.

В якості вихідних даних для розрахунку і проектування рекомендуються:

- генеральний план резервуарного парку;
- геометричні розміри та конструкція резервуарів;
- температура спалахування горючої речовини;
- наявна система пожежогасіння;
- наявна система водозабезпечення;
- джерела енерго- і теплозабезпечення;
- наявна система автоматизації;
- діапазон температури, тиску і вологості повітря, в якому розміщуються складові частини системи пожежогасіння;
- тип піноутворювача і концентрації його робочого розчину;

– вид і тактико-технічні характеристики протипожежного обладнання, яке пропонується використовувати;

– розрахунковий (нормативний) час гасіння пожежі.

Розрахунок основних параметрів системи виконується за допомогою таких формул:

1. Кількість ВПГ, необхідних для гасіння резервуара ($N_{\text{впг}}$, шт.), розраховується за формулою:

$$N_{\text{впг}} = \frac{I_{\text{н}}^{\text{спг}} \cdot S_{\text{г}}}{Q_{\text{впг}}}, \quad (1)$$

де $I_{\text{н}}^{\text{спг}}$ – нормативна інтенсивність подачі піноутворювача, л/(м²·с);

$S_{\text{г}}$ – площа гасіння (площа горизонтального перерізу резервуара), м²;

$Q_{\text{впг}}$ – розхід розчину піноутворювача через ВПГ, л/с.

Отриманий результат округляється до цілого числа $N_{\text{впг}}$ в більшу сторону.

2. Фактична інтенсивність подачі розчину піноутворювача ($I_{\text{ф}}^{\text{спг}}$, л/(м²·с)) розраховується таким чином:

$$I_{\text{ф}}^{\text{спг}} = \frac{Q_{\text{впг}} \cdot N_{\text{впг}}}{S_{\text{г}}}, \quad (2)$$

3. Розрахунковий запас розчину піноутворювача, необхідний для одного гасіння пожежі в резервуарі ($V_{\text{р-ну}}^{\text{спг}}$, л), визначається за формулою:

$$V_{\text{р-ну}}^{\text{спг}} = I_{\text{ф}}^{\text{спг}} \cdot S_{\text{г}} \cdot t, \quad (3)$$

де t – розрахунковий (нормативний) час гасіння, с.

4. Розрахунковий запас концентрату піноутворювача, необхідний для одного гасіння пожежі в резервуарі ($V_{\text{пу}}^{\text{спг}}$, л), визначається таким чином:

$$V_{\text{пу}}^{\text{спг}} = \frac{V_{\text{р-ну}}^{\text{спг}} \cdot C}{100}, \quad (4)$$

де C – концентрація розчину піноутворювача, % об.

5. При цьому передбачається трикратний запас піноутворювача ($V_{\text{пу}}^3$, л):

$$V_{\text{пу}}^3 = 3 \cdot V_{\text{пу}}^{\text{спг}}, \quad (5)$$

Розраховуємо основні параметри системи “підшарового” пожежогасіння для резервуара типу РВС-10000. В якості горючої речовини беремо бензин.

1. За формулою (1) визначаємо розрахункову кількість ВПГ, необхідних для гасіння резервуара.

Нормативна інтенсивність подачі піноутворювача вказана в нормативному документі [4] ($I=0,08$ л/(м²·с) для бензину і $I=0,05$ л/(м²·с) для дизельного палива), але вона вказана лише для піни низької кратності, без уточнення способу її подачі (в шар пального чи на його поверхню).

Ми провели ряд випробувань на спроектованій нами установці для “підшарового” гасіння, і визначили, що інтенсивність подачі піни низької кратності для гасіння горіння бензину становить $I=0,1$ л/(м²·с), а для дизельного палива

$I=0,08 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)}$ [6]. Такі ж нормативні інтенсивності подаються у іноземному документі [7], де уточнюється не лише спосіб подачі вогнегасної речовини, а і вид піноутворювача. Також саме такі інтенсивності продиктовані при гасінні великих резервуарів в Європі.

Діаметр резервуара беремо з табличних значень оптимальних розмірів вертикальних і горизонтальних циліндричних резервуарів ($D=28,5 \text{ м}$) [8, 9]. Визначаємо площу горизонтального перерізу резервуара:

$$S_r = \frac{3,14 \cdot 28,5^2}{4} = 637,6 \text{ м}^2$$

Розхід розчину піноутворювача приймаємо для ВПГ-10 ($Q_{\text{впг}} = 10 \text{ л/с}$).

Після отримання всіх вихідних даних визначаємо розрахункову кількість ВПГ для резервуара РВС-10000:

$$N_{\text{впг}} = \frac{0,1 \cdot 637,6}{10} = 6,4 \approx 7$$

2. Фактичну інтенсивність подачі розчину піноутворювача визначаємо за формулою (2):

$$I_{\text{ф}}^{\text{спг}} = \frac{10 \cdot 7}{637,6} = 0,11 \text{ л/(м}^2 \cdot \text{с)}$$

3. Розрахунковий запас розчину піноутворювача, необхідний для одного гасіння пожежі в резервуарі, згідно з формулою (3).

Згідно з іноземними методиками, у разі гасіння нафти та нафтопродуктів з температурою спалаху 28°C і нижче та рідин, які нагріті до температури вищої за температуру спалаху, розрахунковий час подавання піни під шар рідини в резервуарі (t) рекомендується приймати не більше 30 хв.

$$V_{\text{р-ну}}^{\text{спг}} = 0,11 \cdot 637,6 \cdot 30 \cdot 60 = 126245 \text{ л}$$

4. Розрахунковий запас концентрату піноутворювача, необхідний для одного гасіння пожежі в резервуарі 6% розчином піноутворювача ($V_{\text{пу}}^{\text{спг}}$, л), визначаємо таким чином (4):

$$V_{\text{пу}}^{\text{спг}} = \frac{126245 \cdot 6}{100} = 7575 \text{ л}$$

5. Трьохкратний запас піноутворювача ($V_{\text{пу}}^3$, л) за формулою (5):

$$V_{\text{пу}}^3 = 3 \cdot 7575 = 22725 \text{ л} = 22,73 \text{ м}^3$$

Такі ж розрахунки ми провели для інших типів резервуарів, видів палива, піногенераторів тощо. Усі результати занесли в таблицю 1.

Таблиця 1

Технічні параметри системи гасіння резервуарів з нафтою і нафтопродуктами “підшаровим” способом

Тип резервуара	Площа горіння, м^2	Вид пального	Нормативна інтенсивність, $\text{л/(м}^2 \cdot \text{с)}$	Нормативний розхід, л/с	Кількість піногенераторів шт./при розході л/с	Концентрація ПУ в розчині, %	Трихкратний запас ПУ, м^3 , при часі гасіння 10 хв	Трихкратний запас ПУ, м^3 , при часі гасіння 15 хв	Трихкратний запас ПУ, м^3 , при часі гасіння 30 хв	Трихкратний запас ПУ, м^3 , при часі гасіння 50 хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
РВС-5000	346,2	$T_{\text{сп}} \leq 28^\circ\text{C}$	0,10	34,62	4/10	3	2,16	3,24	6,48	10,8
						6	4,32	6,48	12,96	21,6
					2/20	3	2,16	3,24	6,48	10,8
						6	4,32	6,48	12,96	21,6
		$T_{\text{сп}} > 28^\circ\text{C}$	0,08	27,7	3/10	3	1,62	2,43	4,86	8,1
						6	3,24	4,86	9,72	16,2
					2/20	3	2,16	3,24	6,48	10,8
						6	4,32	6,48	12,96	21,6
РВС-10000	637,6	$T_{\text{сп}} \leq 28^\circ\text{C}$	0,10	63,76	7/10	3	3,78	5,67	11,34	18,9
						6	7,58	11,36	22,73	37,9
					4/20	3	4,32	6,48	12,96	21,6
						6	8,61	12,91	25,92	43,2
		$T_{\text{сп}} > 28^\circ\text{C}$	0,08	51,01	6/10	3	3,24	4,86	9,72	16,2
						6	6,48	9,71	19,44	32,4
					3/20	3	3,24	4,86	9,72	16,2
						6	6,48	9,71	19,44	32,4
		$T_{\text{сп}} \leq 28^\circ\text{C}$	0,10	125,6	7/20	3	7,56	11,34	22,68	37,8
						6	15,12	22,68	45,36	75,6
					4/40	3	8,64	12,96	25,92	43,2
						6	17,28	25,92	51,84	86,4
РВС-20000	1256	$T_{\text{сп}} \leq 28^\circ\text{C}$	0,10	100,5	6/20	3	6,48	9,72	19,44	32,4
						6	12,96	19,44	38,88	64,8
					4/40	3	8,64	12,96	25,92	43,2
						6	17,28	25,92	51,84	86,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PBC-30000	1632	$T_{\text{сп}} \leq 28^\circ\text{C}$	0,10	163,2	9/20	3	9,72	14,58	29,16	48,6
						6	19,44	29,16	58,32	97,2
					5/40	3	10,8	16,2	32,4	54
						6	21,6	32,4	64,8	108
		$T_{\text{сп}} > 28^\circ\text{C}$	0,08	130,6	7/20	3	7,56	11,34	22,68	37,8
						6	15,12	22,68	45,36	75,6
					4/40	3	8,64	12,96	25,92	43,2
						6	17,28	25,92	51,84	97,2
PBC-40000	2542	$T_{\text{сп}} \leq 28^\circ\text{C}$	0,10	254,2	13/20	3	14,04	21,06	42,12	70,2
						6	28,08	42,12	84,24	140,4
					7/40	3	15,12	22,68	45,36	75,6
						6	30,24	45,36	90,72	151,2
		$T_{\text{сп}} > 28^\circ\text{C}$	0,08	203,4	11/20	3	11,88	17,82	35,64	59,4
						6	23,76	35,64	71,28	118,8
					6/40	3	12,96	19,44	38,88	64,8
						6	25,92	38,88	77,76	129,6
PBC-50000	2892	$T_{\text{сп}} \leq 28^\circ\text{C}$	0,10	289,2	15/20	3	16,2	24,3	48,6	81
						6	32,4	48,6	97,2	162
					8/40	3	17,28	25,92	51,84	86,4
						6	34,56	51,84	103,68	172,8
		$T_{\text{сп}} > 28^\circ\text{C}$	0,08	231,4	12/20	3	12,96	19,44	38,88	64,8
						6	25,92	38,88	77,76	129,6
					6/40	3	12,96	19,44	38,88	64,8
						6	25,92	38,88	77,76	129,6

Для порівняння, наведемо приклад **методи-ки розрахунку, описаної у вітчизняних нормативних документах** [4, 5]. Вихідні дані беремо аналогічні минулому прикладу.

1. Кількість ГПС для гасіння резервуара:

$$N_{\text{ГПС}} = \frac{S_{\text{рез}} \cdot I_p}{g_{\text{ГПС}}}, \quad (6)$$

де $S_{\text{рез}}$ – площа резервуара, який горить, м^2 . Для резервуара PBC-10000 $S_{\text{рез}} = 637,6 \text{ м}^2$;

I_p – інтенсивність подавання розчину піноутворювача на гасіння пожежі в резервуарі $\text{л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Як було зазначено вище, нормативні інтенсивності подачі піноутворювача $I_p = 0,1 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ для бензину і $I_p = 0,08 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ для дизельного палива;

$g_{\text{ГПС}}$ – витрати ГПС, $\text{л}/\text{с}$. Для ГПС-600, $g_{\text{ГПС}} = 6 \text{ л}/\text{с}$.

Звідси отримуємо:

$$N_{\text{впг}} = \frac{637,6 \cdot 0,1}{6} = 10,6 \approx 11$$

2. Необхідний запас піноутворювача для гасіння пожежі, л :

$$W_{\text{пу}} = N_{\text{ГПС}} \cdot g_{\text{ГПС}} \cdot \tau_{\text{п.п.}} \cdot K, \quad (7)$$

де $\tau_{\text{п.п.}}$ – розрахунковий час подавання піни, с . Розрахунковий час гасіння стволами ГПС для гасіння нафти та нафтопродуктів з температурою спалаху 28°C і нижче становить 50 хвилин [4];

K – коефіцієнт запасу піноутворювача. Запас піноутворювача необхідно приймати у такій кількості, що дорівнює потрійному запасу піноутворювача, необхідного для забезпечення подавання піни протягом розрахункового часу її подавання [4].

Розраховуємо необхідний запас розчину піноутворювача:

$$W_{\text{пу}} = 11 \cdot 6 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 3 = 594000 \text{ л}$$

3. Необхідний запас концентрату піноутворювача для гасіння пожежі в резервуарі:

$$W_{\text{пу}}^{\text{к}} = \frac{W_{\text{пу}} \cdot C}{100}. \quad (8)$$

Приймемо аналогічно з попереднім розрахунком – 6% розчин піноутворювача, тоді запас концентрату становитиме:

$$W_{\text{пу}}^{\text{к}} = \frac{594000 \cdot 6}{100} = 35640 \text{ л} = 35,64 \text{ м}^3$$

Для аналогічної пожежі трикратний запас піноутворювача при “підшаровому” гасінні, при однаковій інтенсивності подачі, згідно із запропонованою нами методикою, становив $22,73 \text{ м}^3$, що на 36% менше, ніж для поверхневого гасіння стволами ГПС-600, згідно з методикою, описаною у вітчизняному документі [4] ($35,64 \text{ м}^3$). Різниця в ціні такої кількості піноутворювача становить 27111 \$.

Цю різницю маємо завдяки тому, що кількість часу для ліквідації пожежі при “підшаровому” гасінні є меншою на 20 хвилин від поверхневого гасіння. Причиною є одна з переваг “підшарового” гасіння – весь піноутворювач потрапляє безпосередньо в резервуар, що горить, на відміну від поверхневого гасіння, яке залежить від погодних умов, зокрема вітру. Зайві 20 хвилин горіння бензину коштуватимуть майже 137000 \$, бо саме на таку суму бензину вигорить за вказаний час.

Висновок. Проведений розрахунок та використані визначені в попередніх дослідженнях інтенсивності гасіння для резервуарів 0,08 л/(м²·с) та 0,1 л/(м²·с), забезпечують ефективне гасіння резервуарів “підшаровим” способом з використанням піноутворювачів вітчизняних «Барс», «Софір», німецького – «Штабекс» типу AFFF (півкоутворюючий). В таблиці 1 викладена методика розрахунку. Отримані результати підтверджують і приклади пожеж.

Результати дослідження показали, що вартість витраченого піноутворювача і збиток від горіння бензину є меншими при “підшаровому” гасінні, ніж при гасінні поверхневим способом. Враховуючи переваги “підшарового” гасіння, а саме відсутність впливу погодних умов, потрапляння всього піноутворювача на поверхню горіння, економічний ефект від умовної пожежі резервуара PBC-10000, за умови вдалого гасіння при подаванні на поверхню, становитиме більше 164111 \$.

Список літератури:

1. Петров И. И., Реутт В. Ч. Тушение пламени жидких топлив методом перемешивания. Новые способы и средства тушения пламени нефтепродуктов. Москва : Гостоптехиздат, 1960. С. 30-83.
2. Рекомендации по использованию пенообразователей UNISERALAF 15-01, UNISERALAF 15-21, UNISERALAF 22.
3. Шароварников А. Ф. Противопожарные пены. Состав, свойства, применение. Москва : Знак, 2000. 464 с.
4. Інструкція щодо гасіння пожеж у резервуарах із нафтою та нафтопродуктами: НАПБ 05.035-2004 : наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України від 16.02.2004 р. № 75.
5. Про затвердження Методики розрахунку сил і засобів, необхідних для гасіння пожеж у будівлях і на територіях різного призначення : наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України від 16.12.2011 № 1341.
6. Войтович Т. М., Гусар Б. М., Ковалишин В. В., Кошеленко В. В., Грушовичук О. В. Дослідження вітчизняних піноутворювачів для “підшарового” гасіння. *Пожежна безпека*. 2018. № 32. С. 5–14.
7. Руководство по тушению нефти и нефтепродуктов в резервуарах и резервуарных парках : утверждены Главным управлением Государственной противопожарной службы Министерства внутренних дел Российской Федерации 12.12.1999 г.

8. Ковалишин В. В., Васильєва О. Е., Козяр Н. М. Пінне гасіння : навч. посіб. Львів : Сполом, 2007. 168 с.

9. ВБН В.2.2-58.1-94 Проектування складів нафти і нафтопродуктів з тиском насичених парів не вище 93,3 кПа [Чинний від 1994-04-01].- Вид. офіц. Київ : Держкомнафтогаз, 1994. 151 с.

References:

1. Petrov I.I, Reutt V.Ch. Tushenie plameni zhidkikh topliv metodom peremeshivaniya (Extinguishing the flames of liquid fuels by mixing) in Novye sposoby i sredstva tusheniya plameni nefteproduktov (New ways and tools extinguish the flame of oil products). Moscow, Gostoptekhizdat, 1960. pp. 30–83.
2. Recommendations for use of fire-fighting foam agents UNISERAL AF 15-01, UNISERAL AF 15-21, UNISERAL AF 22 (in Russian).
3. Sharovarnikov, A. F. (2000), Protivopozharnyye peny. Sostav, svoystva, primeneniye [Firefighting foam. The composition, properties and application], Znak Publ., Moscow, Russia.
4. Instruction for extinguishing fires in tanks with oil / imperative of State EmergencyService dated 16.02.2004 № 75 (in Ukrainian).
5. Methods of calculating the forces and means necessary to extinguish fires in buildings and territories of different purposes: the Order of the Ministry of Emergencies of Ukraine dated 16.12.2011 № 1341 (in Ukrainian).
6. Voitovych T. M., Husar B. M., Kovalyshyn V. V., Koshelenko V. V. and Hrushovinchuk O. V. Doslidzhennya vitchyznyanykh pinoutvoryuvachiv dlya “pidsharovoho” hasinnya [Research on domestically produced fire-fighting foam agents for sub-surface fire extinguishing]. *Pozhezhna bezpeka – Fire Safety*, 2018, no. 32, pp. 5–14.
7. Guidance for extinguishing oil and oil products fires and oil in tanks and tank farms. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2000 (in Russian).
8. Kovalyshyn, V. V., Vasylieva, O. E. and Koziar, N. M. (2007), Pinne hasinnia [Foam quenching], Spolom, Lviv, Ukraine.
9. VBN V.2.2-58.1-94 Laying-out of store premises for oil and oil products with saturated vapor pressure not exceeding 93.3 kPa. Kyiv: Oil and residue gas State Committee of Ukraine, 1994. 151 p. (in Ukrainian).

DESIGN AND CALCULATION SPECIFICS OF THE SUBSURFACE FIRE EXTINGUISHING SYSTEM

Introduction

Despite the significant progress in technology, including the field of fire safety, fires of oil and petroleum products tanks remains one of the most difficult ones to extinguish. This type of deflagration develops rapidly, has protracted nature and requires the involvement of a large number of means and forces. Also, such fires cause enormous material and environmental damage and pose a significant danger to people's life and health.

One of the safest ways to extinguish fires in oil and petroleum products tanks is a subsurface fire extinguishing method. This method uses foam concentrate with fluorinated stabilizers, an aqueous solution of which can cover the surface of petroleum products with a thin film. At the moment, this issue is not researched well enough in our country. The official Ukrainian regulation documents describe technical parameters of oil tanks extinguishing system, but the method described in these documents is the same for both subsurface fire extinguishing and surface foam supply. Therefore, a specific methodology for calculating the main parameters of the subsurface tank extinguishing system is necessary.

Purpose

The purpose of this study is to describe the methodology for calculating the main parameters of the subsurface tank extinguishing system. Calculation of the different technical parameters of the subsurface method-based extinguishing system depending on the tanks type, fuel types, concentrations of foaming agent, etc. is provided.

Results

This research outlines the main problems of fire extinguishing in tanks with oil and petroleum products, and specifics of their elimination by supplying fluorosynthetic foaming agents into the layer of combustible material. The research also describes calculation methods of the main parameters of the subsurface fire extinguishing method for extinguishing fires in oil and petroleum tanks using low expansion foam. Examples of calculation using tank RVS-10000 for both proposed methodology and methodology described in the official Ukrainian regulation documents are provided. Various technical parameters of the subsurface method-based extinguishing system were calculated depending on the tanks type, fuel types, concentrations of foaming agent, etc.

Conclusion

The results of this research prove that spendings on foam agents and damages from the oil fire can be reduced when using subsurface fire extinguishing method.

Key words: fire-fighting foam agent, tank, gasoline, diesel fuel, subsurface extinguishing.