

Технічні науки

УДК 614.841.1

Семичасєвський Сергій Валерійович

старший науковий співробітник

відділу вогнезахисту та пожежогасіння науково-випробувального центру

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

Семичаевский Сергей Валерьевич

старший научный сотрудник отдела

огнезащиты и пожаротушения научно-испытательного центра

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты

Semychajevsjkyj Serghij

Senior Researcher of the

Fire Protection and Fire Fighting Department of Research Center

Ukrainian Civil Protection Research Institute

Копильний Микола Іванович

провідний інженер відділу

речовин і матеріалів науково-випробувального центру

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту

Копыльный Николай Иванович

ведущий инженер отдела

веществ и материалов научно-испытательного центра

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты

Kopyljnyj Mykola

Lead Engineer of the

Substances and materials Department of Research Center

Ukrainian Civil Protection Research Institute

**АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПЛОЩІ АВАРІЙНИХ
РОЗЛИВІВ ГОРЮЧИХ РІДИН**

**АНАЛИЗ ПОДХОДОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЛОЩАДИ
АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ ГОРЮЧИХ ЖИДКОСТЕЙ**

**ANALYSIS OF APPROACHES FOR DETERMINING AREA OF
EMERGENCY SPILLS OF FLAMMABLE LIQUIDS**

Анотація. Проаналізовано існуючі підходи щодо визначення площі аварійного розливу горючих рідин, в тому числі розглянуто особливості визначення площі розливу турбінного масла марки ТП-22, яке витікає з отвору напірного маслопроводу у разі аварії в машинному залі енергопідприємства.

Ключові слова: горюча рідина, площа розливу, поверхня, турбінне масло.

Аннотация. Проанализированы существующие подходы по определению площади аварийного разлива горючих жидкостей, в том числе рассмотрены особенности определения площади разлива турбинного масла марки ТП-22, которое вытекает из отверстия напорного маслопровода при аварии в машинном зале энергопредприятия.

Ключевые слова: горючая жидкость, площадь разлива, поверхность, турбинное масло.

Summary. Existing approaches to determining the area of an emergency spill of combustible liquids are analyzed, including the features of determining the area of the spill of turbine oil of the TP-22 brand, which flows from the opening of a pressure oil line during an accident in the machine room of an energy enterprise, are considered.

Key words: flammable liquid, spill area, surface, turbine oil.

Постановка проблеми. Аварії технологічного обладнання та установок нерідко пов’язані з порушенням герметичності апаратів, резервуарів та трубопроводів, розтіканням горючих рідин, що сприяє розвитку пожежі з невеликого осередку горіння у пожежу, яка має характер катастрофи та приводить до значних матеріальних збитків, загибелі людей та порушення роботи цілого промислового об’єкта, зокрема енергопідприємства [1]. Згідно з [2] розміри пожежі залежать від площі дзеркала горючої рідини, що розлилася. Тому для дослідження особливостей розвитку пожежі під час розливу горючих рідин необхідно мати дані про залежність площі дзеркала рідини, що розлилася в результаті аварії від умов витоку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робота [1] присвячена дослідженню процесу горіння органічних рідин в умовах аварійного розливу. Наведено підходи щодо визначення площі дзеркала горючої рідини, що розливається у разі аварії технологічного обладнання. В той же час, в роботі [1] не розглянуто питання визначення площі розливу турбінного масла у разі розгерметизації технологічного обладнання в результаті аварійної ситуації в машинному залі енергопідприємства.

У даній роботі проаналізовано існуючі підходи щодо визначення площі аварійного розливу горючих рідин, в тому числі розглянуто особливості визначення площі розливу турбінного масла марки ТП-22, яке витікає з отвору напірного маслопроводу у разі аварії в машинному залі енергопідприємства.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою роботи є виявлення підходів з визначення площі розливу горючих рідин, що найбільш відповідають реальним умовам розтікання турбінного масла в машинному залі енергопідприємства.

Виклад основного матеріалу. Як відомо, розтікання рідини залежить від таких факторів, як витрата, тривалість витоку, в’язкість тощо. Радіус

розтікання горючих рідин на горизонтальних поверхнях виражається здобутком ступеневих функцій критерія Галілея та критерія гомохронності [1-2]:

$$\frac{R}{l} = A \cdot G_a^m \cdot H_0^n, \quad (1)$$

де R – радіус розтікання рідини;

l – визначальний розмір;

A – постійна величина;

$G_a = g \cdot \frac{l^3}{\nu^3}$ – критерій Галілея (g – прискорення сили тяжіння, ν – кінематична в'язкість);

$H_0 = g \cdot \frac{\tau^2}{l}$ – перетворений критерій гомохронності (τ – тривалість витоку);

m та n – показники ступеню, які визначаються експериментально.

На підставі формули (1) в [2] встановлено залежність радіуса розтікання від тривалості, в'язкості, об'єму та витрати горючої рідини, що витікає під час аварії. Ці залежності описуються наступними рівняннями:

при разовому витоку

$$\frac{R}{\sqrt[3]{V}} = 0,58 \cdot \left(g \cdot \frac{\nu}{\nu^2}\right)^{0,08} \left(g \cdot \frac{\tau^2}{\sqrt[3]{\nu}}\right)^{0,06} \quad (2)$$

при безперервному витоку

$$\frac{R}{\sqrt[3]{Q \cdot \tau}} = 0,46 \cdot \left(g \cdot \frac{Q \cdot \tau}{\nu^2}\right)^{0,08} \left(g \cdot \frac{\tau^2}{\sqrt[3]{Q \cdot \tau}}\right) \quad (3)$$

де R – радіус розтікання рідини, м;

V та Q – швидкість руху та витрата рідини, м/с і м³/с.

τ – тривалість витоку, с;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

ν – в'язкість рідини, м²/с.

Згідно з [3] швидкість витoku рідини з закритої ємкості з тиском p на поверхні рідини до середовища з тиском p_0 через отвір визначається за формулою (4).

$$V = \varphi \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot [g \cdot H + (p - p_0)]} \quad (4)$$

де φ - коефіцієнт, який враховує втрати напору в отворі;

ρ - густина рідини, що витікає, кг/м³;

H – напір в центрі отвору, м;

$\Delta P = p - p_0$ – надлишковий тиск в центрі отвору, Па.

Витрата рідини, що витікає з отвору визначається за формулою (5):

$$Q = \mu \cdot S_0 \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot [g \cdot H + (p - p_0)]} \quad (5)$$

де μ - коефіцієнт витрати отвору;

S_0 - площа перерізу отвору, м².

Використовуючи формули (2) та (3), можна визначити фактичну площу дзеркала горючої рідини, що розтікається під час аварії.

Далі розглянемо питання визначення площі розливу турбінного масла марки ТП-22, яке витікає з отвору напірного маслопроводу у разі аварії в машинному залі енергопідприємства.

Оскільки в умовах машинного залу під час аварії має місце безперервний виток турбінного масла, для визначення радіусу розливу доцільно використання формули (3).

Згідно з [4] геометричні розміри осередку пожежі під час розливу турбінного масла з маслonaповненого обладнання розраховується за формулою, яка аналогічна формулі (3):

$$\frac{R}{\sqrt[3]{Q \cdot \tau}} = 0,46 \cdot \left(g \cdot \frac{Q \cdot \tau}{v^2}\right)^{0,06} \cdot \left(g \cdot \frac{\tau^2}{\sqrt[3]{Q \cdot \tau}}\right)^{0,06} \quad (6)$$

де R – радіус розтікання турбінного масла, м;

Q – витрата масла, м³/с.

τ – тривалість витоку, с;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

ν - в'язкість масла, м²/с.

Згідно з [4] витрата турбінного масла при його розливі з маслосистеми змазування та ущільнення валу генератора приймається рівним сумі витрат масла крізь два підшипника та два ущільнення генератора та може складати до 25 л/с.

Тривалість витоку масла залежить від часу спрацювання відсічної арматури на маслопроводах. Згідно з [4] тривалість витоку масла приймається від 1 до 5 хвилин.

В'язкість масла згідно з [5] складає $28,8 \cdot 10^{-6} - 35,2 \cdot 10^{-6}$ м²/с при $t=40^{\circ}\text{C}$.

Згідно з [6] приймається, що діаметр отвору чисельно дорівнює діаметру маслопроводу.

Витрата масла, яке витікає з отвору в маслопроводі, визначається за формулою (7):

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho}} \quad (7),$$

де μ - коефіцієнт витрати отвору, (згідно з [6] =0,6);

S – площа перерізу отвору, м²;

ΔP - надлишковий тиск в трубопроводі, Па;

ρ - густина масла, що витікає, кг/м³, (згідно з [6] =0,9 кг/м³).

Згідно з [6] для реальних діаметрів маслопроводів відомі відповідні значення надлишкового тиску в трубопроводі. Наприклад, для маслопроводу діаметром 50 мм, $\Delta P = 0,3$ МПа.

Значення в'язкості масла буде змінюватися в залежності від температури масла. Так в нормальному режимі масло обертається в турбогенераторі при робочій температурі 40-50^oC. Під час витоку та горіння

масла його температура буде значно зростати і відповідно в'язкість буде зменшуватися. Це неминуче вплине на збільшення площі його розливу.

Крім того, існують інші підходи до визначення аварійних розливів горючих рідин.

В публікації [7] наведено огляд існуючих моделей оцінки площі розливу та товщини шару при розтіканні горючої рідини на горизонтальній поверхні.

Тепловий потік від пожежі буде визначатися видом горючої рідини і параметрами розливу. При цьому найбільшу складність для оцінки являє форма і розміри розливу, оскільки вони залежать від рельєфу, характеру поверхні й виду рідини [7].

В роботі [8] побудована математична модель теплового впливу пожежі горючої рідини, що розлилася на залізничну цистерну, в якій зроблено допущення, що, розлив має форму круга відомої площі. При цьому залежність площі розливу, товщини шару і часу горіння від об'єму рідини, що витекла, не розглядаються.

Згідно з [2; 7-8] для оцінки площі розливу використовуються формули (2), (3), які приведені відповідно до критеріального рівняння (1).

В [7] для оцінки площі розливу при аварії трубопроводу або розгерметизації резервуару приймалось, що товщина шару нафтопродукту на ґрунті складає $h_{\min} = (0,1-0,12)$ м. Там же для моделювання динаміки розтікання використовувалась модель гравітаційного розтікання рідини, яка не враховує в'язкого тертя:

$$\frac{dR}{dt} = \sqrt{(2 \cdot g \cdot [h(t) - h_{\min}])} \quad (8),$$

де $h(t)$ – товщина шару нафтопродукту в момент часу t .

В [2] приведені емпіричні формули, які характеризують розлив горючої рідини (керосину, бензину, дизельного палива, масла, нафти) на стандартній поверхні (поверхня скла).

Робота [9] присвячена визначенню розливу рідин (води та бензину) на твердих та пористих поверхнях при аваріях технологічних трубопроводів. В статті містяться результати експериментальних досліджень з вивчення геометричних параметрів розливу легкозаймистих рідин.

В [9] для визначення площі розливу легкозаймистих рідин використовувалася експериментальна установка для визначення геометричних параметрів розливу рідини на різних поверхнях.

Площа розлитої рідини визначається за допомогою дзеркального ефекту, використовуючи міліметровий папір.

Треба, відмітити, що підходи, наведені в [7–9] не відповідають реальним умовам розтікання турбінного масла в машинному залі енергопідприємства. У зв’язку з цим, для розрахунку площі аварійного розливу масла доцільно використовувати підходи, наведені в [4; 6].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямі.

1. Встановлено, що для розрахунку площі аварійного розливу турбінного масла під час аварійної ситуації на напірному маслопроводі в машинному залі енергопідприємства доцільно використовувати підходи, наведені в [4; 6].

2. Встановлено, що під час визначення площі аварійного розливу турбінного масла необхідно дослідити залежність в’язкості масла від його температури та відповідно вплив в’язкості масла на площу його розтікання.

3. Необхідно провести експериментальні дослідження з розливу та горіння масла на бетонній чи металевій поверхні, що найбільш відповідає умовам машинного залу. При цьому дослідити залежність питомої масової швидкості вигорання масла від от його початкової температури та температури в процесі горіння.

Література

1. Гурьянова Н.Н. Процесс горения органических жидкостей в условиях аварийного разлива. 1984. 192 с.
2. Иванов Е.Н. Противопожарная защита открытых технологических установок. М., 1986. 288с.
3. Остренко С.А., Пермяков В.В. Гидравлика, гидравлический привод и газовая динамика. Учебное пособие Владивосток: ВГУЭС, 2005. 110 с.
4. Володьян И.Л., Калинин В.И., Угорелов В.А. Разработать предложения по защите несущих конструкций машзалов АЭС от воздействия опасных факторов (отчет). Москва, 1993.
5. ТУ 38.101.821-2013 Масло турбинное ТП-22С марка 1. 2013.
6. Определение сценариев возможных пожаров в машзалах АЭС, связанных с проливом масла и утечкой водорода по теме: Разработка технических предложений для повышения пожарной безопасности турбогенераторов с водородным охлаждением. Москва, 2008.
7. Горпинич И.А. Методы оценки площади разлива горючей жидкости при аварии железнодорожной цистерны // Сборник научных трудов НУГЗУ. Выпуск 31. НУГЗУ, 2012.
8. Козлитин А.М., Попов А.И., Козлитин П.А. Количественный анализ риска возможных разливов нефти и нефтепродуктов // Управление промышленной и экологической безопасностью производственных объектов на основе риска – Саратов: СГТУ. 2005. С. 135-160.
9. Хафизов Ф.Ш., Халиков В.Д., Кокорин В.В., Халикова О.Д. Исследование разлива нефтепродуктов при авариях технологических трубопроводов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2014. С. 390-403.

References

1. Guryanova N.N. Protsess goreniya organicheskikh zhidkostey v usloviyakh avariynogo razliva. 1984. 192 s.
2. Ivanov Ye.N. Protivopozharnaya zashchita otkrytykh tekhnologicheskikh ustanovok. M., 1986. 288s.
3. Ostrenko S.A., Permyakov V.V. Gidravlika, gidravlicheskiy privod i gazovaya dinamika. Uchebnoe posobie Vladivostok: VGUES, 2005. 110 s.
4. Volodyan I.L., Kalinkin V.I., Ugorelov V.A. Razrabotat predlozheniya po zashchite nesushchikh konstruktsiy mashzalov AES ot vozdeystviya opasnykh faktorov (otchet). Moskva, 1993.
5. TU 38.101.821-2013 Maslo turbinnoe TP-22S marka 1. 2013.
6. Opredelenie stsenariiev vozmozhnykh pozharov v mashzalkh AES, svyazannykh s prolivom masla i utechkoy vodoroda po teme: Razrabotka tekhnicheskikh predlozheniy dlya povysheniya pozharnoy bezopasnosti turbogeneratorov s vodorodnym okhlazhdeniem. Moskva, 2008.
7. Gorpnich I.A. Metody otsenki ploshchadi razliva goryuchey zhidkosti pri avarii zheleznodorozhnoy tsisterny // Sbornik nauchnykh trudov NUGZU. Vypusk 31. NUGZU, 2012.
8. Kozlitin A.M., Popov A.I., Kozlitin P.A. Kolichestvennyy analiz riska vozmozhnykh razlivov nefi i nefteproduktov // Upravlenie promyshchlennoy i ekologicheskoy bezopasnostyu proizvodstvennykh obektov na osnove riska – Saratov: SGTU. 2005. S. 135-160.
9. Khafizov F.Sh., Khalikov V.D., Kokorin V.V., Khalikova O.D. Issledovanie razliva nefteproduktov pri avariyakh tekhnologicheskikh truboprovodov // Elektronnyy nauchnyy zhurnal «Neftegazovoe delo». 2014. S. 390-403.