

УДК 614.841.1

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.3/33>**Семичаєвський С.В.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Якіменко М.Л.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Осадчук М.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

ЩОДО АВАРІЙНОГО РОЗЛИВУ ГОРЮЧИХ РІДИН

Зазначено фактори, від яких залежить процес розтікання рідин. Проаналізовано підходи щодо визначення площі аварійного розливу горючих рідин, в тому числі розглянуто особливості визначення площі розливу турбінного масла, яке витікає з отвору напірного маслопроводу в разі аварії в машинному залі енергетичного підприємства. Показано, що радіус розтікання горючих рідин на горизонтальних поверхнях виражається здобутком ступеневих функцій критерія Галілея та критерія гомохронності. Наведено визначення таких параметрів, як радіус розтікання горючих рідин на горизонтальних поверхнях, швидкість витікання рідини із закритої ємкості через отвір, витрата рідини, що витікає з отвору. Особливу увагу приділено розрахунку геометричних розмірів осередку пожежі під час розливу турбінного масла з маслосистеми змазування та ущільнення валу генератора приймається рівною сумі витрат масла крізь два підшипника та два ущільнення генератора та може складати до 25 л/с. Відмічено, що 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. Встановлено підходи, які доцільно використовувати для розрахунку площі аварійного розливу турбінного масла під час аварійної ситуації на напірному маслопроводі в машинному залі енергетичного підприємства. Встановлено, що під час визначення площі аварійного розливу турбінного масла необхідно дослідити залежність в'язкості масла від його температури та вплив в'язкості масла на площу його розтікання. Визначена необхідність проведення експериментальних досліджень із розливу та горіння масла на бетонній чи металевій поверхні, що найбільш відповідає умовам машинного залу. Акцентовано увагу на необхідності дослідження залежності питомої масової швидкості вигорання турбінного масла від от його початкової температури та температури в процесі горіння.

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

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 призводить до значних матеріальних збитків, загибелі людей та порушення роботи цілого промислового об'єкта, зокрема енергетичного підприємства [1].

Турбінне масло є одним з основних елементів пожежної навантаги машинних залів енергетичних підприємств, до яких відносяться теплові та атомні електростанції. Пожежі турбінного масла внаслідок розгерметизації систем змазування та ущільнення турбогенераторів приводять до катастрофічних наслідків, руйнування огорожувальних

конструкцій машинних залів та знищення складного та вартісного технологічного обладнання.

Ураховуючи вищенаведене, визначення показників, що характеризують пожежну небезпеку розливу горючих рідин по твердій поверхні, до яких відносяться площа розливу, радіус зони розливу, коефіцієнт розливу тощо, є актуальною науково-практичною проблемою, що потребує вирішення.

Аналіз літературних даних. На Україні проблему забезпечення пожежної безпеки атомних електростанцій досліджували М.М. Семерак, А.В. Субота, В.М. Новак, В.М. Байтала [2] та інші. Так, стаття [2] присвячена математичному моделюванню вогнестійкості несучих металевих конструкцій машинних залів електростанцій. Проаналізовано причини виникнення та протікання пожеж у машинних залах електростанцій.

Розглянуто процес горіння водню та воднево-масляних сумішей в машинних залах за умов пожежі. Проаналізовано найбільш вірогідні місця виникнення пожежонебезпечних концентрацій сумішей водень-масло-повітря. Розроблено методику дослідження теплових процесів, які протікають під час пожежі. Визначено температурні потоки, зумовлені випромінюванням газомасляного факела пожежі тощо. Слід зазначити, що стаття [2] не містить даних щодо розрахунку площі аварійних розливів горючих рідин, зокрема турбінного масла.

У [1] вказано, що міжнародна лабораторія Fire Technology Laboratory використовує комп'ютерні програми для моделювання пожеж в приміщеннях з великою пожежною небезпекою. Існує два основних типи цих програм. Програма першого типу призначена для моделювання пожежі в одному якомусь відсіку та раніше мала назву Harvard Fire Code CFC V. Більш пізня її версія була перейменована в First. Наведено результати, розраховані за допомогою програми First для випадку горіння розливу турбінного масла площею 3 м^2 та 2 м^2 у відсіку об'ємом 70 м^3 у нижній його частині. Описано польові моделі горіння розливання турбінного масла та руху газів у великих приміщеннях, таких як машинні зали атомних електростанцій. Програма розраховує температурні поля, турбулентну кінетичну енергію, швидкість розсіювання, хімічну концентрацію, інтенсивність випромінювання в трьох координатах. У [1] описано моделі горіння розливання турбінного масла, але відсутні результати моделювання цього процесу.

У [3] наведено результати оцінки ризику пожеж в машинних залах атомних електростанцій за допомогою комп'ютерного моделювання пожежі для подальшої оцінки вразливості систем безпеки станції при пожежах. Проте в публікації не розглянуто можливі сценарії розвитку пожежі під час витоку турбінного масла з маслonaповненого обладнання у машинному залі енергетичного підприємства.

Стаття [4] присвячена дослідженню виникнення пожежі, як потенційної загрози для безпеки атомних електростанцій. Представлено якісну характеристику механізмів запалювання та факторів, що впливають на розвиток пожежі (механізми виявлення, гасіння пожежі тощо) та оцінку частоти виникнення пожеж на атомних електростанціях. В імовірнісному сенсі проаналізовано динаміку розвитку пожежі на АЕС Броунс Феррі та зроблено порівняння різних моделей.

Загальний підхід досліджень в статті [4] носить параметричний характер і його результати в осно-

вному мають якісний характер. Це пов'язано із відсутністю достовірної інформації, наприклад, про горючість матеріалів, поведінку кабелю під дією полум'я, залежність розвитку пожежі від часу. Випадки пожеж на АЕС було якісно проаналізовано, при цьому було виявлено причини загорань та частоту їх виникнення. В той же час, стаття не містить даних про пожежне навантаження у машинних залах.

У статті [5] досліджено часові характеристики пожеж на АЕС. Інформація, що наведена в цій статті, отримана з бази даних Американської компанії по страхуванню діяльності, пов'язаної з ядерною енергією (American Nuclear Insurers (ANI)). Ця база даних є найбільш вичерпним джерелом статистичних даних про минулі пожежі.

У статті [5] вказано, що виникнення пожежі на атомній електростанції може вимагати або не вимагати її повної зупинки. Наслідки пожежі, як правило, призводять до будь-якого відновлювального ремонту та іноді до деяких змін заходів щодо запобігання пожеж, після чого відновлюється нормальна робота станції. Оскільки пожежі можуть відбуватися з багатьох причин та проявляти часові залежності частоти їх виникнення різних типів, автори статті припускають, що випадки пожеж можуть бути змодельовані як неоднорідна процесу Пуассона з частотою виникнення Вейбула. Ця гіпотеза була перевірена за допомогою декількох статистичних тестів.

У публікації [5] вказано, що оцінка пожежної безпеки на атомній електростанції повинна включати розгляд впливу пожежі на працездатність обладнання та системи безпеки станції. Це питання не є типовим для безпеки життя та захисту матеріальних цінностей, що є основним питанням забезпечення пожежної безпеки. Слід відмітити, що публікація не розглядає питання аварійного витоку турбінного масла та розробки заходів щодо його обмеження.

У статті [6] розглядається питання пожежної безпеки на атомних електростанціях США. До розгляду входить опис (статистика) пожеж, що мали місце на АЕС, питання розробки керівних нормативних документів з питань пожежної безпеки атомної енергетики, несприятливий досвід, пов'язаний з хибним спрацюванням системи пожежогасіння, та перспективні вимоги пожежної безпеки для майбутніх конструкцій реакторів США. Стаття стосується виключно безпеки ядерних реакторів атомних електростанцій та не поширюється на машинні зали.

У публікації [7] вказано, що багаточисельні імовірнісні оцінки ризиків показали, що пожежа

є основним джерелом ризиків на АЕС. Тим не менш, прогнозування імовірності пошкоджень електричних кабелів і схем, викликаних пожежами та їх потенційного впливу на безпеку АЕС, залишається актуальною практичною задачею, зокрема із-за відсутності фізичних моделей за допомогою яких можна здійснювати послідовні та об'єктивні оцінки.

Ця стаття містить обговорення двох моделей – передачі тепла («heat transfer») та К-фактору (IR «K-factor») – для оцінки імовірності пошкоджень кабелів в результаті пожежі.

Таким чином, модель теплопередачі є перспективною, оскільки вона враховує властивості і характеристики кабелів і їх матеріалів та характеристики теплового пошкодження. Ця модель може бути використана для оцінки імовірності пошкодження кабеля за різних температурних умов.

Стаття в основному стосується безпеки електричних кабелів на атомних електростанціях та містить недостатньо інформації стосовно пожежної небезпеки, яка пов'язана з витоком і загоранням турбінного масла.

У публікації [8] йдеться про концепції пожежогасіння для закритих пожежних зон атомних електростанцій, основаних на аналізі практичної діяльності.

Згідно з [8], якщо на АЕС сталася пожежа, пожежна команда повинна виявити місце пожежі, щоб погасити її. Крім того, пожежна команда повинна боротися з вогнем у відповідності з вимогами програми протипожежного захисту на АЕС.

Однак якщо дії з гасіння пожеж проводяться невірні, це може призвести до погіршення ситуації і поширення вогню на сусідні пожежні зони, а також представляти небезпеку для функцій безпечної зупинки реактора.

Результати досліджень показують, що ефективні методи пожежогасіння включають підхід до управління вентиляцією, використання горючих матеріалів в замкнених пожежних зонах, ручне подавання інертного газу пожежною командою та ручне пожежогасіння в кінці.

Недоліком публікації є те, що вона розглядає тільки закриті пожежні зони на атомних електростанціях, таких як гермооболонка ядерного реактора, та не поширюється на машинні зали.

Публікація [9] стосується аналізу впливу зовнішньої пожежі на безпеку експлуатації електростанції. Головною метою цієї роботи є вивчення основних параметрів зовнішніх пожеж та їх впливу на навколишнє середовище.

Робота основана на аналітичному дослідженні осередку пожежі, її розвитку та поширення.

Далі вказано, що комп'ютерна програма Fire dynamic simulation (FDS) використовується для моделювання пожежі. Ця програма використовує «Eddie simulation» (LES) для розрахунку розвитку пожежі та поширення продуктів горіння до навколишнього середовища. Осередок пожежі розташований у безпосередній близькості від небезпечних виробництв, наприклад енергетичного, хімічного тощо.

У статті [9] представлено коротку інформацію про комп'ютерну програму FDS та початкові і граничні умови, які використовуються в математичній моделі.

Проте стаття не розглядає питання розвитку пожеж всередині машинних залів атомних електростанцій.

Публікація [10] стосується інтегрованої методології прогнозування імовірності хибних спрацювань ланцюгів змінного струму із-за пожеж на АЕС.

Науково-дослідні роботи, які проводилися підприємствами атомної енергетики та регулюючим органом – Комісією з питань ядерного регулювання США (U.S. Nuclear Regulatory Commission (USNRC)), забезпечили корисною інформацією про ризики хибного спрацювання електричних ланцюгів змінного струму на АЕС.

Ці результати було враховано в методології прогнозування імовірності хибних спрацювань ланцюгів змінного струму із-за пожеж на АЕС.

Публікація має вузьку спрямованість та не містить аналізу підходів до визначення площі аварійних розливів горючих рідин.

Стаття [11] присвячена чисельному моделюванню контролювання спринклерними системами приміщення дизель-генераторної (UBS (emergency diesel generator)) на АЕС.

У статті [11] зазначено, що приміщення дизель-генераторних АЕС, в яких розташовані баки з дизельним паливом, представляють собою місця з високою частотою виникнення пожеж, які проблематично гасити при їх виникненні. Сильне теплове випромінювання, спричинене пожежею, завдає шкоди обладнанню та бакам з дизельним паливом, що приводить до поширення пожежі.

Стаття містить інформацію стосовно розливу та загорання дизельного пального в приміщеннях дизель-генераторних на АЕС та не стосується питань розливу турбінного масла в машинних залах.

Стаття [12] стосується проектування протипожежного захисту АЕС на основі практичного досвіду. У статті описаний метод протипожежного захисту, заснований на результатах практичного досвіду.

Також описаний метод імовірнісного аналізу пожежної безпеки та протипожежного захисту на АЕС. Описана комбінація протипожежного захисту на основі практичного досвіду та передбаченого проектом. Метод імовірнісного аналізу буде використаний для оцінки придатності та рівня протипожежного захисту на АЕС.

Стаття не поширюється на стадію експлуатації АЕС.

Таким чином, у статтях [1–12] не розглянуто підходи щодо визначення площі розливу турбінного масла у разі розгерметизації технологічного обладнання в результаті аварійної ситуації в машинному залі енергетичного підприємства.

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.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження аварійного розливу горючих рідин на горизонтальних поверхнях.

Для досягнення поставленої мети потребували вирішення такі завдання: а) дослідити наявні підходи щодо визначення площі аварійних розливів горючих рідин; б) виявити підходи придатні для визначення площі аварійного розливу турбінного масла.

Виклад основного матеріалу.

1. Дослідження існуючих підходів щодо визначення площі аварійного розливу горючих рідин

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 [13; 14]:

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

де R – радіус розтікання рідини;

l – визначальний розмір;

A – постійна величина;

$G_a = g \cdot \frac{l^3}{v^3}$ – критерій Галілея (g – прискорення сили тяжіння, v – 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 [13–14] встановлено залежність радіуса розтікання від тривалості, в'язкості, об'єму та витрати горючої рідини, що витікає під час аварії. Ці залежності описуються рівняннями:

при разовому витоку

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

при безперервному витоку

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

де R – радіус розтікання рідини, м;

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

τ – тривалість витоку, с;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

v – в'язкість рідини, м²/с.

Швидкість витоку 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;

$\Delta = p - p_0$ – 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.

У [15–19] для оцінки площі розливу під час аварії трубопроводу або розгерметизації резервуару приймалось, що товщина шару нафтопродукту на ґрунті складає $h_{\min} = (0,1-0,12)$ м. Для моделювання динаміки розтікання використовувалась модель гравітаційного розтікання рідини, яка не враховує в'язкого тертя:

$$\frac{dR}{dt} = \sqrt{(2 \cdot g \cdot [h(t) - h_{\min}])} \quad (6),$$

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

Роботи [20–22] присвячені визначенню розливу рідин (води та бензину) на твердих та пористих поверхнях при аваріях технологічних трубопроводів. У статтях містяться результати експериментальних досліджень із вивчення геометричних параметрів розливу легкозаймистих рідин.

У [20–22] для визначення площі розливу легкозаймистих рідин використовувалась експериментальна установка для визначення геометричних параметрів розливу рідини на різних поверхнях.

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

2. Виявлення підходів придатних для визначення площі аварійного розливу турбінного масла

Оскільки в умовах машинного залу під час аварії має місце безперервний виток турбінного масла, для визначення радіусу його розливу доцільно використання формули (3) згідно з [13; 14].

Згідно з [13; 14] геометричні розміри осередку пожежі під час розливу турбінного масла з маслонаповненого обладнання розраховується за формулою, яка аналогічна формулі (3):

$$\frac{R}{\sqrt[3]{Q \cdot \tau}} = 0,46 \cdot \left(g \cdot \frac{Q \cdot \tau}{v^2}\right)^{0,06} \cdot \left(g \cdot \frac{\tau^2}{\sqrt[3]{Q \cdot \tau}}\right)^{0,06} \quad (7)$$

де R – радіус розтікання турбінного масла, м;

Q – витрата масла, м³/с.

τ – тривалість витoku, с;

g – прискорення сили тяжіння, м/с²;

v – в'язкість масла, м²/с.

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 [18; 19].

Тривалість витoku масла залежить від часу спрацювання відсічної арматури на маслопроводах. Тривалість витoku масла приймається від 1 до 5 хвилин.

В'язкість масла складає $28,8 \cdot 10^{-6}$ – $35,2 \cdot 10^{-6}$ м²/с при $t=40^\circ\text{C}$ [18; 19].

Приймається, що діаметр отвору чисельно дорівнює діаметру маслопроводу.

Витрата масла, яке витікає з отвору в маслопроводі, визначається за формулою (8):

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho}} \quad (8),$$

де μ – коефіцієнт витрати отвору, (згідно з [18-19]=0,6);

S – площа перерізу отвору, м²;

ΔP – надлишковий тиск в трубопроводі, Па;

ρ – густина масла, що витікає, кг/м³, (згідно з [18-19]=0,9 кг/м³).

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 залежно від температури масла. Так, у нормальному режимі масло обертається в турбогенераторі при робочій температурі 40-50°C. Під час витoku та горіння масла його температура буде значно

зростати, і в'язкість буде зменшуватися. Це неминуче вплине на збільшення площі його розливу.

3. Обговорення результатів дослідження аварійного розливу горючих рідин на горизонтальних поверхнях

Мета роботи вирішувалась шляхом застосування аналітичного методу досліджень. Для досягнення поставленої мети проведено аналіз підходів щодо визначення площі аварійного розливу горючих рідин. Показано, що радіус розтікання горючих рідин на горизонтальних поверхнях виражається здобутком ступеневих функцій критерія Галілея та критерія гомохронності. Наведено залежність радіуса розтікання від тривалості, в'язкості, об'єму та витрати горючої рідини, що витікає під час аварії. Ці залежності описуються відповідними рівняннями для випадків разового та безперервного витоків. Наведено визначення таких параметрів, як радіус розтікання горючих рідин на горизонтальних поверхнях, швидкість витoku рідини з закритої ємкості через отвір, витрата рідини, що витікає з отвору.

Представлено модель гравітаційного розтікання рідини для моделювання динаміки розтікання.

Новизна роботи полягає у виявленні підходів, придатних для визначення площі аварійного розливу турбінного масла під час його розтікання з отвору напірного маслопроводу, які є найбільш наближеними до реальних умов розтікання турбінного масла в машинному залі енергетичного підприємства.

Слід зазначити, що полум'я рідини, яка розлита на горизонтальній площині та горить, за своєю структурою не відрізняється від полум'я, що виникає під час горіння рідин в пальниках та резервуарах. Тому з практичної точки зору, вивчення процесу горіння органічних рідин, в тому числі турбінного масла в умовах аварійного розливу доцільно проводити на моделях, які являють собою циліндричні пальники різного діаметру. При цьому, на відміну від проливів, умови проведення дослідів становляться строго контрольованими, а отримані результати можуть бути поширені на умови аварійного розливу.

Також під час визначення площі аварійного розливу турбінного масла необхідно додатково дослідити залежність в'язкості масла від його температури та вплив в'язкості масла на площу його розтікання.

Результати роботи сприятимуть виявленню закономірностей виникнення та поширення пожеж на турбогенераторах машинних залів атомних і

теплових електростанцій за різних сценаріях аварій, а також встановленню механізмів припинення горіння в захищеній зоні, що є важливою науковою задачею, розв'язання якої створить передумови підвищення ефективності систем пожежогасіння турбогенераторів в машинних залах.

Недоліками роботи є відсутність аналізу статистики найбільш великих аварій технологічних трубопроводів на об'єктах енергетики та визначення основних причин їх виникнення.

Висновки. Досліджено наявні підходи щодо визначення площі аварійного розливу горючих рідин на горизонтальних поверхнях.

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 [13; 14]. Виявлені підходи справедливі для безперервного витоку турбінного масла. При цьому встановлено, що витрата турбінного масла при його розливі з маслосистеми змазування та ущільнення валу генератора приймається рівною 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 та приймається від 1 до 5 хвилин.

Список літератури:

1. O. Keski-Rahkonen, E. Eloranta, R. Huhtanen, Use of numerical simulation computer codes to fire problems in nuclear power plants in Finland, *Nuclear Engineering and Design* 125 (2012). P. 377–382.
2. М.М. Семерак, А.В. Субота, В.М. Новак, В.М. Байтала Математичне моделювання вогнестійкості несучих металевих конструкцій машинних залів електростанцій. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць*. Львів : ЛДУБЖД, 2012. № 21. С. 7–11.
3. V.F. Niolette, S.P. Nowlen, Fire models for assessment of nuclear power plant fires, *Nuclear Engineering and Design* 125 (2011). P. 389–394.
4. Mardyros Kazarians, George Apostolakis, On the fire hazard in nuclear power plants, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM 87185, USA, *Nuclear Engineering and Design* 47 (2012). P. 157–168.
5. R.W. Hockenbury, R.H.V. Gallucci, D.J. Parker, M.L. Yeater, Occurrence rates of fires in nuclear power plants, *Nuclear Engineering and Design* 66 (2013). P. 233–240.
6. W.E. Vesely, Nuclear Power Plants: A Unique Challenge to Fire Safety, Department of Nuclear Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY 12181, USA, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, USA *Fire Safety Journal* 19 (2011). P. 3–18.
7. Steven P. Nowlen, Development of probabilistic models to estimate fire-induced cable damage at nuclear power plants, Division 6419, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico 87185, USA, *Nuclear Engineering and Design* 239 (2013). P. 1113–1127.
8. Genebelin Valbuena I, Mohammad Modarres, Performance-based fire fighting strategies for confined fire zones in nuclear power plants, University of Maryland, Department of Mechanical Engineering, College Park, MD 20742, USA, *Progress in Nuclear Energy* 62 (2013).
9. Moon-Hak Jee, Chan-Kook Moon, Hyeong-Taek Kim, Analysis of the effect of an external fire on the safety operation of a power plant, Nuclear Safety Laboratory, KHNP Central Research Institute, 70-1312-gil, Yuseong-daero, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Republic of Korea, article in press, *Fire Safety Journal* 41 (2014). P. 486–490.
10. Peter Vidmar, Stojan Petelin, An integrated methodology to predict the likelihood of spurious actuation of AC circuits due to fires in commercial nuclear power plants, Faculty of Maritime Studies and Transportation, University of Ljubljana, Pot pomorscakov 4, Portoroz, Slovenia, *Fire Safety Journal* 46 (2011). P. 388–396.
11. Raymond H.V. Gallucci, Naeem Iqbal, Numerical Simulation Study on Sprinkler Control Effect in UBS Fuel Tank Room of Nuclear Power Plants, Office of Nuclear Reactor Regulation, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC 20555-0001, USA, *Procedia Engineering* 43 (2012). P. 276–281.
12. Shi Qiang, Ma Rongyi, Li Juan, Zuo Jiaxu, Zhang Chunming, Chai Jianshe, Performance-Based Fire Protection in the Nuclear Power Plant Design, Capital University of Economics and Business, No. 121 Zhangjialu, Fengtai District, Beijing 100070, China, Nuclear and Radiation Safety Center, No. 54 Hongliannancun, Haidian District, Beijing 100082, China, *Procedia Engineering* 43 (2012). P. 318–323.
13. Van Hees P. Validation and verification of fire models for fire safety engineering. *Procedia Eng.* 2013; 62:154–68.
14. McGrattan K, Peacock R, Overholt K. Validation of Fire Models Applied to Nuclear Power Plant Safety. *Fire Technol* [Internet]. 2016;52(1):5–24. URL : <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-014-0436-z>.
15. S. E. Magnusson, and s. Thelandersson, A Discussion of Compartment Fires, *Fire Technology*, Vol. 10, No. 3 (pp. 228- 246), August 2011. A 2.
16. R. S. Alger and s. J. Wiersma, Ship Fire Characteristics Part I-Sealed Compartments, Naval Surface Weapons Center Report NSWC/WOL TR 76-125, Dahlgren, VA, November 2014.

17. V. Babrauskas and R. B. Williamson, Post-Flashover Compartment Fires, University of California-Berkeley Report UCB FRG 75-1, Berkeley, CA, December 2011.
18. A. F. Robertson and D. Gross, Fire Load, Fire Severity, and Fire Endurance, Fire Test Performance ASTM STP 464, American Society for Testing and Materials (pp. 3-29), 2015.
19. R. Baldwin and P. H. Thomas, Passive and Active Fire Protection- The Optimum Combination, Fire Technology, Vol. 10, No. 2 (pp. 140-146), May 2011.
20. T. T. Lie, Characteristic Temperature Curves for Various Fire Severities, Fire Technology, Vol. 10, No. 4 (pp. 315- 326), November 2013.
21. T. Z. Harmathy, Designers Option- Fire Resistance or Ventilation, 6th c. I. B. Congress, Budapest, 2011.
22. AS. T. E. Waterman, Scaling of Fire Conditions Supporting Room Flashover, Illinois Institute of Technology Research Institute Report M 6170, Chicago, IL, December 2013.

Semichaevsky S.V., Yakimenko M.L., Osadchuk M.V. REGARDING EMERGENCY SPILLAGE OF FLAMMABLE LIQUIDS

The factors on which the process of liquid spreading is indicated are indicated. The existing approaches to determining the area of emergency spillage of flammable liquids are analyzed, including the features of determining the area of spill of turbine oil, which flows from the opening of the pressure pipeline in case of an accident in the engine room of the power plant. It is shown that the radius of spread of combustible liquids on horizontal surfaces is expressed by the product of the power functions of the Galileo criterion and the homochrony criterion. The definition of such parameters as the radius of spread of flammable liquids on horizontal surfaces, the rate of leakage of liquid from a closed container through the hole, the flow rate of liquid flowing from the hole. Particular attention is paid to the calculation of the geometric dimensions of the fire during the bottling of turbine oil from oil-filled equipment. It is shown that the flow of turbine oil when it is poured from the oil system of lubrication and sealing of the generator shaft is taken equal to the sum of oil consumption through two bearings and two seals of the generator and can be up to 25 l/s. It is noted that when the combustible liquid spreads on a horizontal surface, the heat flux from the fire will be determined by the type of combustible liquid and the parameters of the spill. The greatest difficulty for assessment is the shape and size of the spill, as they depend on the terrain, the nature of the surface and the type of liquid. Approaches have been established that should be used to calculate the area of emergency turbine oil spill during an emergency situation on the pressure oil pipeline in the engine room of the power plant. It has been established that when determining the area of an emergency spill of turbine oil, it is necessary to investigate the dependence of the oil viscosity on its temperature and, accordingly, the effect of oil viscosity on its spreading area. The necessity of conducting experimental researches on pouring and burning of oil on a concrete or metal surface, which most corresponds to the conditions of the engine room, has been determined. Emphasis is placed on the need to study the dependence of the specific mass rate of combustion of turbine oil on its initial temperature and temperature during combustion.

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