

Семичасівський 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

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ВАЛІДАЦІЇ МОДЕЛІ ГОРІННЯ ТУРБІННОГО МАСЛА МАРКИ ТП-22

У статті проаналізовано вітчизняні і закордонні публікації із питання горіння турбінного масла марки ТП-22 у машинних залах енергетичних підприємств, а також питання про моделювання цього процесу.

Наведено методику проведення експериментальних досліджень із визначення у лабораторних умовах критичної інтенсивності подавання тонкорозпиленої води під час гасіння турбінного масла марки ТП-22 на об'ємах меншого розміру.

Представлено лабораторну установку, яка є стендом для проведення експериментальних досліджень із визначення відносної вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин для гасіння вогнищ пожежі класу В тонкорозпиєними струменями. Наведено результати вищезазначених експериментальних досліджень.

Зазначено вихідні параметри для проведення моделювання експерименту за допомогою програмного забезпечення Fire Dynamic Simulator (FDS).

Акцентовано увагу на тому, що для розрахунку трьохвимірних турбулентних течій, які виникають під час горіння і поширення диму, у FDS чисельно вирішується система рівнянь Нав'є-Стокса, записана у дозвуковому наближенні. Для моделювання турбулентності застосовано метод великих вихрів (LES) із використанням статичної моделі Смагоринського або моделі Дідорфа. За моделювання горіння розглянуто глобальну незворотну одностадійну реакцію окиснення горючого (турбінного масла), в якій окрім кінцевих продуктів окиснення (CO_2 і H_2O) утворюється монооксид вуглецю (CO) та сажа (C). Задля математичного описання дисперсного складу часток рідини використовують закони теорії імовірностей і рівняння статистичних кривих у вигляді так званих диференціальних та інтегральних функцій розподілу числа, поверхні або об'єму (маси) крапель за діаметром.

Окрім того наведено, що математичний опис дисперсного складу часток рідини є аналогічним законам аналітичного описання гранулометричного складу сипучих речовин. Для моделювання процесу атомізації рідини у програмному забезпеченні FDS передбачено чотири можливих типи розподілу крапель: постійне (встановлюється за замовчуванням), Розіна-Раммлера, логнормальне та комбіноване (Розіна-Раммлера – логнормальне).

Указано на необхідність проведення експериментальної валідації моделі горіння турбінного масла марки ТП-22 шляхом порівняння результатів експерименту і результатів моделювання вищезазначеного експерименту.

Ключові слова: валідація, критична інтенсивність, машинні зали, моделювання, турбінне масло марки ТП-22.

1. Вступ

Турбінне масло є основним пожежним навантаженням у машинних залах атомних і теплових електростанцій (далі – АЕС і ТЕС). Пожежі турбінного масла унаслідок розгерметизації систем змазування та ущільнення турбогенераторів призводять до катастрофічних наслідків, руйнуванню огорожжуваних конструкцій машинних залів і знищенню вартісного технологічного обладнання.

Прикладом цього є резонансна пожежа із горінням турбінного масла, що сталася 29 березня 2013 року у машинному залі котлотурбінного цеху №1 Вуглегірської ТЕС, унаслідок чого була знищена покрівля машзалу на площі 10880 м², а також технологічне обладнання цеху. Пожежа призвела до загибелі і травмування людей [1].

Під час дослідження пожежної небезпеки машинних залів АЕС і ТЕС потрібно викорис-

товувати сучасні методи моделювання процесів пожежі, зокрема засоби обчислювальної гідродинаміки (CFD - аналіз). Проведення моделювання горіння турбінного масла марки ТП-22 та роботи систем пожежогасіння у машинних залах АЕС і ТЕС в умовах різних варіантів аварій дозволить виявити неефективні елементи цих систем і сформулювати пропозиції щодо підвищення їх ефективності [1].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В Україні проблему забезпечення пожежної безпеки об'єктів енергетики досліджували М.М. Семерак, А.В. Субота, В.М. Новак, [2] та інші. Зокрема, статтю [2] присвячено математичному моделюванню вогнестійкості несучих металевих конструкцій машинних залів електростанцій; проаналізовано причини виникнення і перебігу в них пожеж; розглянуто процес горіння водню і воднево-масляних сумішей у машинних залах за умов пожежі; проаналізовано найбільш вірогідні місця виникнення пожежонебезпечних концентрацій сумішей водень-масло-повітря; розроблено методику дослідження теплових процесів, які тривають під час пожежі; визначено температурні потоки, зумовлені випромінюванням газомасляного факела пожежі тощо. Слід зазначити, що стаття [2] не містить відомостей про здійснення експериментальної валідації моделі горіння турбінного масла.

Серед закордонних наукових публікацій, у котрих висвітлено результати досліджень пожежної безпеки енергетичних підприємств, є відомими публікації [3-23].

У [3] указано, що міжнародна лабораторія Fire Technology Laboratory використовує комп'ютерні програми для моделювання пожеж у приміщеннях із великою пожежною небезпекою. Наявні два основних типи цих програм. Програма першого типу призначена для моделювання пожежі в одному певному відсіку і раніше мала назву Harvard Fire Code CFC V. Більш пізня її версія була перейменована на First. У статті [3] спочатку представлено 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 мастила 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 у трьох координатах. У публікації [3] описано моделі горіння розливання турбінного масла, але відсутні результати моделювання цього процесу.

У статті [4] представлено результати оцінки ризику пожеж у машинних залах атомних електростанцій за допомогою комп'ютерного моделювання пожежі для подальшої оцінки вразливості систем безпеки станції у разі пожеж. Проте у публікації не розглянуто можливі сценарії розвитку пожежі під час витоку турбінного масла із маслонаповненого обладнання у машинній залі енергетичного підприємства та не представлено результатів здійснення експериментальної валідації відповідної моделі.

У статтях [5-23] також не розглянуто питання необхідності проведення експериментальної валідації моделі горіння турбінного масла, зокрема марки ТП-22, тому це питання є актуальним і підлягає розкриттю у цій статті.

3. Мета і завдання дослідження

Метою роботи є обґрунтування необхідності проведення експериментальної валідації моделі горіння турбінного масла марки ТП-22.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання: 1) навести методику проведення й описати результати експериментальних досліджень із визначення у лабораторних умовах критичної інтенсивності подавання тонкорозпиленої води під час гасіння турбінного масла марки ТП-22 на об'ємах зменшеного розміру; 2) зазначити вихідні дані для проведення моделювання експерименту за допомогою програмного забезпечення Fire Dynamic Simulator (FDS); 3) обґрунтувати необхідність проведення експериментальної валідації моделі горіння турбінного масла марки ТП-22 у програмному забезпеченні (FDS) шляхом порівняння результатів експерименту і результатів моделювання вищезазначеного експерименту.

4. Методика проведення і результати експериментальних досліджень із визначення у лабораторних умовах критичної інтенсивності подавання тонкорозпиленої води під час гасіння турбінного масла марки ТП-22 на об'ємах зменшеного розміру

Для визначення критичної інтенсивності подавання тонкорозпиленої води під час гасіння турбінного масла марки ТП-22 на об'ємах зменшеного розміру використано експериментальний метод, застосований на лабораторній установці, наведеній нижче.

Лабораторна установка є стендом для проведення експериментальних досліджень із

визначення відносної вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин для гасіння вогнищ пожежі класу В тонкорозпиленими струменями, схема якого представлена на рис. 1.

Нижче представлена методика проведення експериментальних досліджень. За допомогою компресора в емності створюється надлишковий тиск 0,6 МПа, значення якого контролюється манометром. Запірна арматура закривається. Для створення струменя тонкорозпиленої води в якості розпилювача використовується форсунка Danfoss 1,65-S-45° [24], яка встановлюється на висоті 0,2 м від поверхні дзеркала горючої речовини – турбінного масла.

У камері для гасіння розміщуються металеві дека із внутрішнім діаметром від 100±1 мм до 200±1 мм, висотою 25 мм і товщиною стінок 2,5 мм.

У дека у певних об'ємах заливають турбінне масло і підпалюють його.

Після (30±5) секунд вільного горіння відкривають запірний кран і починають подавати тонкорозпилену воду на поверхню турбінного масла, яке горить упродовж не більше 30 секунд до моменту гасіння.

У разі успішного гасіння вогнища розмір дека збільшують і повторюють дослід із кількістю турбінного масла, встановленого для кожного розміру дека. Таким чином визначають максимальний розмір дека, яке було впевнено погашено тонкорозпиленою водою у трьох послідовно проведених дослідях.

Досліди починають із модельного вогнища пожежі діаметром 0,1 м. У випадку його успішного гасіння поступово переходять до вогнищ пожежі із діаметрами 0,12 м, 0,14 м, 0,16 м, 0,18 м, 0,2 м. У випадку отримання негативного результату для вогнищ із діаметрами 0,12 м, 0,14 м, 0,16 м, 0,18 м, 0,2 м переходять до менших вогнищ із діаметрами відповідно 0,11 м, 0,13 м, 0,15 м, 0,17 м, 0,19 м.

Таблиця 1
Результати експериментального дослідження із визначення критичної інтенсивності подавання тонкорозпиленої води під час гасіння турбінного масла марки ТП-22

Номер дослід	Діаметр дека (D), м	Площа дека (S), м ²	Тиск, створений компресором, (P), атм	Витрата тонкорозпиленої води (R), мл/с	Час гасіння, (τ), с	Результат гасіння	Критична інтенсивність, (J), мл/м ² ·с
1	0,20	0,0314	6	1,098	26	потушено	34,961
2	0,20	0,0314	6	1,195	21	потушено	38,071
3	0,20	0,0314	5	1,029	30	потушено	32,771

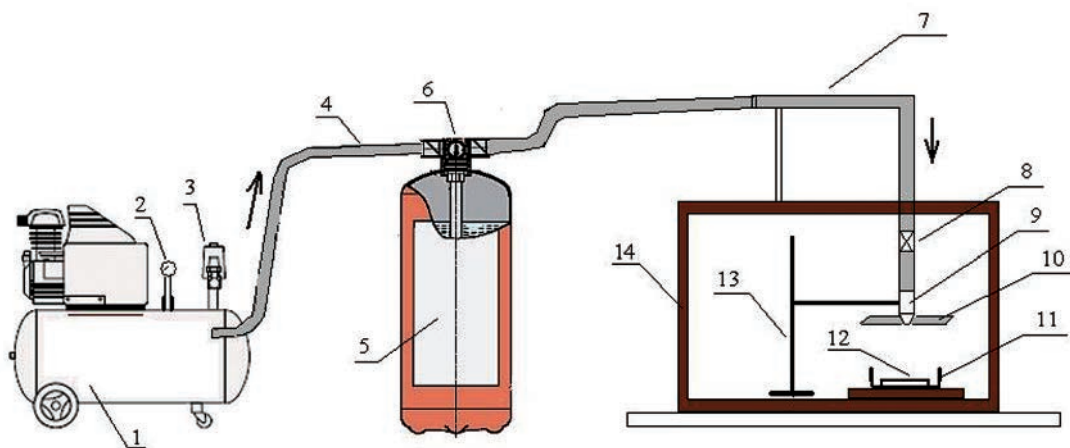


Рис. 1. Стенд для проведення експериментальних досліджень із визначення відносної вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин для гасіння вогнищ пожежі класу В тонкорозпиленими струменями:

1 – компресор; 2 – манометр; 3 – запобіжний клапан; 4 – трубопровід подавання робочого газу; 5 – емність для водних вогнегасних речовин на основі вогнегасника; 6 – наливна горловина із запірною арматурою; 7 – трубопровід подавання водних вогнегасних речовин до зрошувача (форсунки); 8 – запірний вентиль; 9 – перехідник із форсункою-розпилювачем; 10 – захисний екран; 11 – піддон; 12 – дека; 13 – штатив; 14 – витяжна шафа для проведення дослідження.

Після завершення гасіння модельного вогнища запірний кран закривають. Витрату вогнегасної речовини (води) R (см³/с) визначають за формулою (1):

$$R = \frac{m^1 - m^0}{\tau \cdot \rho}, \quad (1)$$

де m^0 – маса посуду для збирання розпиленої води, г;
 m^1 – маса посуду із зібраною водою, г;
 τ – час збирання води, с;
 ρ – густина води, г/см³.

Кінцевим результатом визначення показника витрат вогнегасної речовини (тонкорозпиленої води) вважають середнє арифметичне значення трьох результатів дослідів. Максимальне відхилення кожного із трьох результатів досліджень від середнього арифметичного значення не повинно перевищувати 5 %.

Значення критичної інтенсивності подавання вогнегасної речовини $I_{кр}$ (л·с⁻¹·м⁻²) визначають за формулою (2):

$$I_{кр} = \frac{R \cdot 10^{-3}}{S_{max}}, \quad (2)$$

де S_{max} – площа найбільшого дека, погашеного в умовах експерименту, м².

Значення параметрів, отриманих під час експериментального дослідження, представлені у табл. 1.

5. Вихідні параметри для проведення моделювання вищезазначеного експерименту за допомогою програмного забезпечення Fire Dynamic Simulator (FDS)

Для моделювання роботи стенду з експериментальних досліджень із визначення відносної вогнегасної ефективності водних вогнегасних речовин для гасіння вогнищ пожежі класу В тонкорозпиленими струменями за допомогою програмного забезпечення FDS створена модель із межами обчислювальної сітки за осями X, Y та Z розміром 1,0 м × 1,0 м × 0,5 м відповідно. Обчислювальна сітка має 40 чарунок вісі X, 40 чарунок вісі Y і 20 чарунок вісі Z. Розміри чарунок сітки становлять відповідно 0,025 м × 0,025 м × 0,025 м.

За аналогією з [25], основними компонентами моделі є такі: засоби розрахунку турбулентної течії багатокомпонентної газової реагуючої суміші; модель перенесення теплового випромінювання; модель горіння; модель витоку, атомізації, руху, нагрівання і випаровування тонкорозпиленої води; модель газифікації турбінного масла марки ТП-22; модель локального погашення фрагментів турбулентного полум'я; модель для врахування впливу зрошення на швидкість газифікації пожежного навантаження. Для розрахунку трьохвимірних турбулентних течій, які виникають під час горіння і поширення диму, у FDS

чисельно вирішується система рівнянь Нав'є-Стокса, записана у дозвуковому наближенні. Для моделювання турбулентності застосовують метод великих вихрів (LES) із використанням статичної моделі Смагоринського або моделі Дідорфа.

За моделювання горіння розглядають глобальну незворотну одностадійну реакцію окиснення горючого (турбінного масла), в якій окрім кінцевих продуктів окиснення (CO₂ і H₂O) утворюється монооксид вуглецю (CO) і сажа (C).

Згідно з [26] було задано реакцію горіння для турбінного масла марки ТП-22, яке має такий атомарний склад:

атоми вуглецю – 6,9;
 атоми водню – 14,6;
 атоми кисню – 12,9;
 атоми азоту – 0,0.

Підтверджене експериментально-розрахунковим методом значення нижчої теплоти згорання, згідно з [27], становить 4,4751 · 10⁴ кДж/кг.

Згідно з [26] виділення чадного газу CO (Y_{CO}) становить 0,122 кг/кг, виділення сажі (Y_s) – 0,028 кг/кг. Значення коефіцієнту димоутворення турбінного масла марки ТП-22, уточнене експериментально-розрахунковим методом [28], становить $D_m = 674$ м²/кг.

Згідно з [28] коефіцієнт димоутворення D_m визначається за формулою (3):

$$D_m = Y_s \cdot K_m, \quad (3)$$

де $K_m = 7600$ м²/кг – масовий коефіцієнт екстинкції (поглинання світла).

Виходячи із вищезазначеного, уточнене значення виділення сажі (Y_s) становить 0,089 кг/кг.

Експериментально підтверджене нами значення температури автозаймання становить 360°C [27].

Вогнище горіння має розміри 0,2 м × 0,2 м × 0,025 м і задані поверхні типу Inert за осями мінімум X, максимум X, мінімум Y, максимум Y, мінімум Z. Для максимуму Z задана поверхня типу «турбінне масло».

Матеріал вогнища горіння вибрано подібним до сталі згідно із [26].

На висоті 0,2 м від поверхні вогнища горіння задана форсунка (Nozzle) з такими параметрами:

витрата – 0,0717 л/хв [24];
 діаметр сопла – 2,1 · 10⁻⁴ м [29];

кути розпилення задаються: SPRAY_ANGLE=0.00, 22.5/.

Згідно з [25] для моделювання турбулентного газокрапельного струменя, що випаровується, використовують дискретно-траекторний підхід і застосовують класичну модель нагрівання і випаровування сферичних крапель.

Як відомо, для математичного описання дисперсного складу часток рідини використовують закони теорії імовірностей і рівняння статистичних кривих у вигляді так званих диференціальних та інтегральних функцій розподілу числа, поверхні або об'єму (маси) крапель за діаметром [30]. Математичний опис дисперсного складу часток рідини є аналогічним законам аналітичного описання гранулометричного складу сипучих речовин. Для моделювання процесу атомізації рідини у програмному забезпеченні FDS передбачено чотири можливих типи розподілу крапель, а саме: постійне (встановлюється за замовчуванням), Розіна-Раммлера, логнормальне та комбіноване (Розіна-Раммлера – логнормальне).

Згідно з [31,32] сукупний об'єм розподілу для розпилення рідини є поєднанням розподілів логарифмічно нормального і Розіна-Раммлера та виражається формулою (4):

$$F_V(D) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^D \frac{1}{\sigma D} \exp\left(-\frac{[\ln(D'/Dv_{0,5})]^2}{2\sigma^2}\right) dD' & (D \leq Dv_{0,5}) \\ 1 - \exp\left(-0,693 \left(\frac{D}{Dv_{0,5}}\right)^\gamma\right) & (Dv_{0,5} < D) \end{cases}, \quad (4)$$

де $Dv_{0,5}$ (dv_{50}) – початковий об'ємний медіанний діаметр крапель, який є точкою на кривій розподілу крапель води, ліворуч і праворуч від якої знаходиться по 50% їх розподілу;

γ та σ – емпіричні постійні величини. Параметр γ , який позначається також $D(\sigma)$, є середньоквадратичним відхиленням від масиву відповідних діаметрів крапель. Параметр γ , який позначається також $D(\sigma)$, згідно з [32] пов'язаний із параметром σ співвідношенням (5):

$$\sigma = 2 / (\sqrt{2\pi} (\ln 2)^\gamma) = 1,15 / \gamma, \quad (5)$$

Згідно із результатами аналізу дисперсності розпилення водних вогнегасних речовин, проведених нами раніше за допомогою програми Matlab версії 2.1, для обраного комбінованого роз-

поділу крапель води (логарифмічно нормального та Розіна-Раммлера) задаються такі параметри, як початковий об'ємний медіанний діаметр крапель dv_{50} , що дорівнює 97,1 мкм; мінімальний діаметр крапель, що дорівнює 1,704 мкм; максимальний діаметр крапель, що дорівнює 182,48 мкм. Окрім того, задаються параметри $D(\sigma) = 30,8$ і $D(\gamma) = 0,037$, розраховані у програмі Exel 2016.

Слід відмітити, що подібні дослідження описані у зарубіжній публікації [33], на відміну від яких у наших дослідженнях буде змодельовано не тільки розпилення струменів тонкорозпиленої води зрошувачем у приміщенні, але і процес припинення горіння вогнища турбінного масла марки ТП-22.

Порівняння результатів експериментального дослідження із результатами моделювання дозволить провести валідацію, тобто оцінити придатність цієї моделі, що дає змогу у майбутньому здійснити моделювання горіння турбінного масла марки ТП-22 у межах реальних геометричних розмірів машинних залів АЕС і ТЕС.

6. Висновки

1. Представлено методику проведення і результати експериментального дослідження із визначення у лабораторних умовах критичної інтенсивності подавання тонкорозпиленої води під час гасіння турбінного масла марки ТП-22 на об'ємах зменшеного розміру.

2. Визначено вихідні параметри для проведення моделювання вищезазначеного експерименту за допомогою програмного забезпечення Fire Dynamic Simulator (FDS).

3. Обґрунтовано необхідність проведення у майбутньому експериментальної валідації моделі горіння турбінного масла марки ТП-22 у програмному забезпеченні FDS шляхом порівняння результатів експерименту і результатів його моделювання.

Список літератури:

1. С.Ю. Огурцов С.В. Семичаєвський К вопросу необходимости обоснования исходных данных для моделирования процессов горения турбинного масла. *Науковий вісник «Цивільний захист та пожежна безпека»*. 2016. № 2(2). Р. 44–47.
2. Семерак М.М., Субота А.В., Новак В.М., Байтала В.М. Математичне моделювання вогнестійкості несучих металевих конструкцій машинних залів електростанцій. *Пожежна безпека: Збірник наукових праць*. Львів: ЛДУБЖД, 2012. № 21. С. 7-11.
3. Keski-Rahkonen O., Eloranta E., Huhtanen R. Use of numerical simulation computer codes to fire problems in nuclear power plants in Finland. *Nuclear Engineering and Design*. 2012. Vol.125. P. 377-382.
4. Niolette V.F., Nowlen S.P. Fire models for assessment of nuclear power plant fires. *Nuclear Engineering and Design*. 2011. Vol. 125. P. 389-394.
5. Kazarians M., Apostolakis G. On the fire hazard in nuclear power plants. Sandia National Laboratories. *Nuclear Engineering and Design*. 2012. Vol. 47. P. 157-168.

6. Hockenbury R.W., Gallucci R.H.V., Parker D.J., Yeater M.L. Occurrence rates of fires in nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Design*. 2013. Vol. 66. P. 233-240.
7. Vesely W.E. Nuclear Power Plants: A Unique Challenge to Fire Safety, Department of Nuclear Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy. *Fire Safety Journal* . 2011. Vol. 19. P.3-18.
8. Nowlen S.P. Development of probabilistic models to estimate fire-induced cable damage at nuclear power plants. *Nuclear Engineering and Design*. 2013. Vol. 239. P. 1113–1127.
9. Valbuena G., Modarres M. Performance-based fire fighting strategies for confined fire zones in nuclear power plants. *Progress in Nuclear Energy*. 2013. Vol. 62.
10. 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*. 2014. Vol. 41. P. 486–490.
11. Vidmar P., Petelin S. 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* 2011. Vol.46. P. 388–396.
12. Raymond H.V. Gallucci N. I. 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*. 2012. Vol. 43. P. 276 – 281.
13. 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, Beijing100082, China. *Procedia Engineering* . 2012. Vol.43. P. 318 – 323.
14. Van Hees P. Validation and verification of fire models for fire safety engineering. *Procedia Eng*. 2013. Vol.62. P.154–68.
15. McGrattan K, Peacock R, Overholt K. Validation of Fire Models Applied to Nuclear Power Plant Safety. *Fire Technol* [Internet]. 2016. Vol. 52(1). P. 5–24. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-014-0436-z>.
16. Magnusson S. E. and s. Thelandersson. A Discussion of Compartment Fires. *Fire Technology*. 2011. Vol. 10, No 3. P. 228- 246.
17. Alger R. S., Wiersma J. Ship Fire Characteristics Part I-Sealed Compartments. Naval Surface Weapons Center Report. NSWC/WOL TR 76-125, Dahlgren, VA, November 2014.
18. V. Babrauskas V., Williamson R.B. Post-Flashover Compartment Fires, University of California-Berkeley Report UCB FRG 75-1. Berkeley, CA. December 2011.
19. Robertson A.F.,Gross D. Fire Load, Fire Severity, and Fire Endurance. Fire Test Performance. ASTM STP 464, American Society for Testing and Materials . 2015. P. 3-29.
20. R. Baldwin R., Thomas P.H. Passive and Active Fire Protection- The Optimum Combination. *Fire Technology*. Vol.10, No 2. P. 140-146.
21. Lie T.T. Characteristic Temperature Curves for Various Fire Severities. *Fire Technology*. 2013. Vol. 10, No 4. P.315- 326.
22. Harmathy T. Z. Designers Option-Fire Resistance or Ventilation. 6th c. I. B. Congress, Budapest. 2011.
23. Waterman T.E. Scaling of Fire Conditions Supporting Room Flashover, Illinois Institute of Technology Research Institute Report M 6170. Chicago IL. December 2013.
24. Форсунки Danfoss. Тип LE: Техническое описание. [Electronic resource] // [http://www.danfoss-msk.ru/instruction/LE\(rus\).pdf](http://www.danfoss-msk.ru/instruction/LE(rus).pdf). с. 2.
25. Цой А. Режимы и механизмы подавления пламени распыленной водой: Автореф.дис...канд.техн. наук: 01.04.14. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016. 21 с.
26. Карькин И.Н. Работа в программном комплексе FireCat. Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim. Редакция 3. 2014. 27 с.
27. Семичаєвський С.В., Огурцов С.Ю. Експериментальне обґрунтування вихідних даних для моделювання горіння турбінної оливи марки ТП-22. Науковий вісник «Цивільний захист та пожежна безпека». 2017. № 2(4).
28. Карькин И.Н. Методика расчета ОФП полевым методом. Исходные данные для расчета гражданских зданий. Данные для расчета видимости № 6011-1-РЗ. Екатеринбург : ООО “СИТИС,” 2007. 33 с.
29. Виноградов А.Г., Огурцов С.Ю., Дуношкин В.А., Бенедюк В.С. Экспериментальное исследование экранирования теплового излучения распыленной водой. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. 2014. № 2(30). С. 10.
30. Братута Э., Переселков А. Сопоставление одно- и двухпараметрических уравнений функции распределения объема капель по диаметру. С. 42–47.
- 31.Chan T.S. Measurements of Water Density and Droplet Size Distributions of Selected ESFR Sprinklers. *J. Fire Prot. Eng*. 1994. № 6(2). P. 79–87.

32. Fire dynamics simulator (FDS). Версия 6. Техническое руководство к программе моделирования динамики пожара. Математическая модель (перевод на русский язык). ООО "СИТИС," 2013. 104 с.
33. Iqbal Mahmud H.M., Khalid A.M., Moinuddin G.R.T. Experimental and numerical study of high-pressure water-mist nozzle sprays. *Fire Saf. J.* 2016. № 81. P. 109-117.

Semichaevsky S.V., Yakimenko M.L., Osadchuk M.V. ON THE NECESSITY OF EXPERIMENTAL VALIDATION OF THE TP-22 TURBINE OIL COMBUSTION MODEL

The article analyzes domestic and foreign publications related to the combustion of TP-22 turbine oil in the engine rooms of energy companies, as well as the modeling of this process.

The method of conducting experimental studies to determine in the laboratory the critical intensity of the supply of finely sprayed water during the extinguishing of turbine oil brand TP-22 on volumes of reduced size.

A laboratory installation is presented, which is a stand for conducting experimental studies to determine the relative fire-extinguishing efficiency of aqueous fire-extinguishing substances for extinguishing class B fires with fine-spray jets. The results of the above experimental studies are presented.

The initial data for modeling the experiment using Fire Dynamic Simulator (FDS) software are specified.

It is emphasized that in order to calculate the three-dimensional turbulent flows that occur during the combustion and propagation of smoke, the FDS numerically solves the system of Navier-Stokes equations, which is written in the subsonic approximation. The large vortices (LES) method using the static Smagorinsky model or the Didorf model is used to model turbulence. Combustion simulations consider a global irreversible one-stage oxidation reaction of fuel (turbine oil), in which, in addition to the final oxidation products (CO_2 and H_2O), carbon monoxide (CO) and soot (C) are formed. To mathematically describe the dispersed composition of liquid particles, the laws of probability theory and the equations of statistical curves in the form of so-called differential and integral distribution functions of the number, surface or volume (mass) of droplets by diameter are used.

It is also stated that the mathematical description of the dispersed composition of liquid particles is similar to the laws for the analytical description of the particle size distribution of bulk substances. To model the process of liquid atomization, the FDS software provides four possible types of droplet distribution, namely: constant (set by default), Rosin-Rammler; lognormal, and combined Rosin-Rammler - lognormal.

The need for experimental validation of the combustion model of TP-22 turbine oil by comparing the results of the experiment and the simulation results of the above experiment is indicated.

Key words: *critical intensity, engine rooms, modeling, TP-22 turbine oil, validation.*