

УДК 614.841

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ГОРІННЯ ТУРБІННОЇ ОЛИВИ МАРКИ ТП-22

С.В.Семичаєвський, С.Ю.Огурцов, канд.техн.наук, ст.наук. співр.

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

*Надійшла до редакції: 28.10.2017
Пройшла рецензування: 07.12.2017*

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

Експериментальні дослідження, моделювання горіння, турбінна олива ТП-22

АНОТАЦІЯ

Наведено результати експериментального визначення питомої теплоти згорання, димоутворювальної здатності, температури спалаху та самозаймання турбінної оливи марки ТП-22 з метою обґрунтування вихідних даних для моделювання її горіння.

Турбінна олива є основним елементом пожежної навантаги машинних залів атомних та теплових електростанцій (далі – АЕС та ТЕС). Пожежі турбінної оливи внаслідок розгерметизації систем змазування та ущільнення турбогенераторів приводять до катастрофічних наслідків, руйнування огорожувальних конструкцій машинних залів та знищенню складного та вартісного технологічного обладнання. Прикладом цього є резонансна пожежа з горінням турбінної оливи, яка сталася 29 березня 2013 року в машинному залі котлотурбінного цеху №1 Вуглегірської ТЕС, в результаті якої було знищено дах машзалу на площі 10880 м², а також технологічне обладнання цеху. Пожежа призвела до загибелі та травмування людей [1].

Дослідження пожежної небезпеки машинних залів АЕС і ТЕС вимагає застосування сучасних методів моделювання процесів пожежі, зокрема засобів обчислювальної гідродинаміки (CFD - аналіз). Проведення моделювання горіння турбінної оливи марки ТП-22, роботи систем виявлення пожежі та пожежогасіння в машинних залах АЕС і ТЕС в умовах різних варіантів аварій дозволить виявити неефективні елементи цих систем та сформулювати пропозиції щодо підвищення їх ефективності.

Разом з тим, застосування таких методів вимагає чітких вихідних даних щодо параметрів горіння турбінної оливи, її пожежонебезпечних властивостей тощо. В роботі [1] авторами було визначено деякі невідповідності у існуючих літературних джерелах щодо властивостей турбінної оливи ТП-22, тому в рамках цієї статті наводяться результати експериментального уточнення таких даних, а саме було експериментально визначено такі параметри пожежонебезпеки турбінної оливи, як нижча теплота згорання та димоутворювальна здатність. Крім того, з

метою обґрунтування можливих сценаріїв пожеж, часу та місць виникнення загорянь уточнено такі показники пожежонебезпеки турбінної оливи, як температура спалаху, температура її займання та самозаймання.

Визначення вищої теплоти згорання турбінної оливи марки ТП-22 проводилось відповідно до D4809 [2] з використанням калориметра марки ІКА С6000.

Сутність методу визначення вищої теплоти згорання при постійному об'ємі полягає у повному згоранні палива в атмосфері стисненого кисню в герметично закритому металевому посуді – калориметричній бомбі, яку занурюють у певний об'єм води, що знаходиться в калориметричному посуді. По збільшенню температури води в калориметричному посуді встановлюють кількість теплоти, яка виділяється при згоранні палива та допоміжних речовин.

Кількість зразків для проведення експерименту згідно з D4809 [2] не нормується. Для проведення експерименту було використано шість зразків проб турбінної оливи. Точність вимірювання вищої теплоти згорання згідно з D4809 [2] складає 0,002 МДж/кг=2,0 Дж/г. Вага зразків в грамах визначалась на аналітичних вагах з точністю вимірювання ±0,01 мг. Результати наведено в таблиці 1:

Розрахунок нижчої теплоти згорання турбінної оливи марки ТП-22 проводився згідно з [3] за формулою (1):

$$Q_H = Q_B - 24,42(8,94H + W) \quad (1)$$

де 24,42 - теплота пароутворення води при температурі вимірювання 25°C, Дж/г;

8,94 – коефіцієнт перерахунку масової доли водню на воду;

H- масова частка водню в турбінній оливі, %;

W- масова частка води в турбінній оливі, % (для турбінної оливи марки ТП-22 дорівнює 0);

Таблиця 1 – Результати визначення вищої теплоти згоряння турбінної оливи марки ТП-22

Номер досліду	Значення вищої теплоти згоряння турбінної оливи, Q_{Vi} , Дж/г	Маса зразків, г
1	45852	0,5053
2	45839	0,5090
3	45620	0,5090
4	45727	0,5233
5	45749	0,5106
6	45789	0,5053

Примітка.

Сірим кольором позначене значення, що відрізняється від інших значень теплоти згоряння більш ніж на 0,2 % , вважається викидом та не береться до уваги згідно вимог [3]

Згідно з [4] брутто формула турбінної оливи марки ТП-22 має вигляд $C_{6,9}H_{14,6}O_{12,9}$ [4].

Визначаємо молярну масу турбінної оливи: $MC_{6,9}H_{14,6}O_{12,9} = 302,51$ г/моль.

Масова частка водню у турбінній оливі: $H = (1 \cdot 14,6 : 302,51) \cdot 100 = 4,83\%$.

Нижча теплота згоряння турбінної оливи за формулою (1):

$$Q_H = 44,736 \text{ МДж/кг.}$$

Згідно з [2] нижча теплота згоряння, Q_H МДж/кг визначається за формулою (2):

$$Q_H = Q_B - 0.2122H \quad (2)$$

За формулою (2) значення нижчої теплоти згоряння турбінної оливи:

$$Q_H = 44,766074 \text{ МДж/кг.}$$

Таким чином, за допомогою експериментально-розрахункового методу визначено значення нижчої теплоти згоряння, що згідно з [2] та [3] складає 44,736 МДж/кг та 44,766 МДж/кг відповідно.

Згідно з [5] нижча теплота згоряння турбінної оливи дорівнює 43,000 МДж/кг, а згідно з [6,7] дорівнює 41,900 МДж/кг. У першому випадку отримане значення нижчої

теплоти згоряння визначене за [2] більше ніж довідникові дані на 4%, у другому випадку на 6,8%.

Сутність методу визначення коефіцієнту димоутворення полягає у визначенні оптичної густоти диму, який утворюється при горінні певної кількості відомої речовини чи матеріалу, що розподілені у заданому об'ємі.

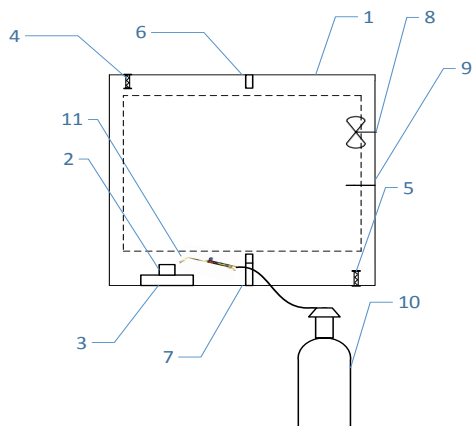
Експериментальні дослідження з визначення коефіцієнту димоутворення, тобто димоутворювальної здатності зразку турбінної оливи марки ТП-22, проводились на обладнанні, яке відповідає вимогам ГОСТ 12.1.044 [8], але враховуючи, що методика з визначення коефіцієнту димоутворення не дозволяє досліджувати рідкі горючі речовини, було проведено доопрацювання існуючої експериментальної установки.

В димовій камері розмірами 800 мм × 800 мм × 800 мм було розміщено циліндричне металеве вогнище діаметром 33,5 мм, в яке у ході експерименту заливалися зразки турбінної оливи з масами, наведеними в таблиці 2. Це модельне вогнище розміщувалось на висоті 120±0,1 мм від нижньої частини димової камери, як показано на рисунку 1. Олива у вогнищі підігрівалась газовим пальником до її займання, після чого пальник видалявся з камери, а сама камера зачинялась та розпочиналась реєстрація даних.

Визначалися відповідні значення початкового та кінцевого світлопропускання T_o, T_{min} . Результати наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати визначення початкового та кінцевого світлопропускання T_o, T_{min}

№ з/п	Значення початкового світлопропускання T_o , мВ	Значення кінцевого світлопропускання, T_{min} , мВ	Маса зразку турбінної оливи m , г
1	374,63±0,3	186,26±0,3	1,01±0,005
2	371,28±0,3	168,67±0,3	1,01±0,005
3	368,85±0,3	186,77±0,3	1,00±0,005
4	371,66±0,3	102,50±0,3	1,51±0,005
5	375,87±0,3	99,81±0,3	1,52±0,005
6	353,63±0,3	104,95±0,3	1,51±0,005
7	357,58±0,3	87,89±0,3	1,51±0,005
8	355,75±0,3	92,74±0,3	1,51±0,005
9	358,40±0,3	153,68±0,3	1,04±0,005



1 – димова камера; 2 – пальник; 3 – підкладка під пальник; 4, 5 – клапани продувки; 6 – джерело світла; 7 – приймач світла; 8 – вентилятор; 9 – направляючий козирок; 10 – газовий балон з редуктором; 11 – газовий пальник

Рисунок 1 – Схема доопрацьованої експериментальної установки для визначення коефіцієнту димоутворення турбінної оливи марки ТП-22

Коефіцієнт димоутворення (D_m) в $\text{м}^2/\text{кг}$ визначався згідно з формулою (3):

$$D_m = \frac{V}{L \cdot m} \cdot \ln \frac{T_o}{T_{\min}}, \quad \text{м}^2/\text{кг} \quad (3)$$

де V – місткість камери вимірювання, м^3 ;
 L – довжина шляху проміню світла в задимленому середовищі, м;
 m – маса зразку, кг;
 T_o, T_{\min} – відповідні значення початкового та кінцевого світлопропускання, мВ.

Результат визначення коефіцієнту димоутворення турбінної оливи марки ТП-22 експериментально – розрахунковим методом з урахуванням похибки вимірювань складає:

$$D_m = (674 \pm 54,63) \text{ м}^2/\text{кг}.$$

Отримане значення димоутворювальної здатності турбінної оливи марки ТП-22 більше довідникового значення [6,7] на 36%.

Для оцінки пожежонебезпечних показників турбінної оливи марки ТП-22 згідно з ГОСТ 12.1.044-89 [8] було експериментально визначено його температуру спалаху, температуру займання та температуру самозаймання.

Сутність методу визначення температури спалаху згідно з ГОСТ 12.1.044-89 [8] полягає у нагріванні певної кількості речовини із заданою швидкістю, періодичному запалюванні парів,

що виділяються та встановленні факту наявності чи відсутності спалаху за фіксованої температури.

Експериментальні дослідження проводились на установках для визначення температури спалаху рідини у закритому та відкритому тиглях відповідно.

За температуру спалаху беруть середнє арифметичне значення температур, отриманих на трьох зразках, з поправкою на атмосферний тиск, що розраховується за формулою (4).

$$T_{cn} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} + 0,27 \times (101,3 - p_a), \quad (4)$$

де: T_{cn} – температура спалаху, $^{\circ}\text{C}$;

T_1, T_2, T_3 – виміряні значення температур спалаху, $^{\circ}\text{C}$;

p_a – атмосферний тиск, кПа.

Згідно з ГОСТ 12.1.044-89 [8] температура спалаху турбінної оливи, що досліджується у закритому тиглі з урахуванням поправки на атмосферний тиск за формулою (6) дорівнює:

$$T_{cn.ЗТ} = 221,4^{\circ}\text{C}$$

Значення температури спалаху турбінної оливи у закритому тиглі (округлене до цілого числа) становить 221°C .

Температура спалаху турбінної оливи, що досліджується у відкритому тиглі з урахуванням поправки на атмосферний тиск за формулою (6) дорівнює:

$$T_{cn.ВТ} = 219,4^{\circ}\text{C}$$

Значення температури спалаху турбінної оливи, яка досліджувалась у відкритому тиглі (округлене до цілого числа) становить 219°C .

Сутність експериментального методу визначення температури займання полягає в нагріванні певної маси речовини із заданою швидкістю, періодичному запалюванні парів, що виділяються та встановленні факту наявності чи відсутності займання за умови фіксованої температури. Експериментальні дослідження проводились на установці для визначення температури спалаху рідини у відкритому тиглі.

Згідно з ГОСТ 12.1.044-89 [8] температура займання турбінної оливи, що досліджується у відкритому тиглі з урахуванням поправки на атмосферний тиск за формулою (4) дорівнює:

$$T_{займ} = 241,7^{\circ}\text{C}$$

Значення температури займання турбінної оливи, що досліджується у відкритому тиглі (округлене до цілого числа) становить 242°C.

Сутність експериментального методу визначення температури самозаймання полягає у введенні визначеного об'єму речовини у нагрітий до певної температури об'єм і встановленні факту наявності чи відсутності самозаймання за фіксованої температури.

Експеримент повторюють з різними температурами й об'ємами проб до досягнення мінімальної температури самозаймання.

Відповідно до ГОСТ 12.1.044-89 [8] основну серію експериментів проводять з найлегше самозаймистою кількістю речовини через інтервали температур 2 °C до того часу, доки не буде визначена найменша температура, за якої спостерігається самозаймання зразка, а при температурі на 2 °C нижче при п'ятикратному повторюванні випробування самозаймання не відбувається.

За температуру самозаймання досліджуваної речовини беруть найменшу температуру експерименту, за якої спостерігалось самозаймання зразка в умовах, передбачених у ГОСТ 12.1.044-89 [8].

Таким чином, під час проведення експериментальних досліджень за об'єму проби турбінної оливи 0,4 мл і температури 358°C протягом періоду часу 300 с самозаймання рідини не відбувалося. Згідно з

ГОСТ 12.1.044-89 [8] температура самозаймання турбінної оливи марки ТП-22 становить 360°C.

Висновки.

1. В рамках проведеної роботи для зразка турбінної оливи марки ТП-22 експериментально визначені наступні показники:

- нижча теплота згоряння, що дорівнює 44,751 МДж/кг. Отримане значення більше загально відомих довідникових даних на 6,8 %;

- коефіцієнт димоутворення, що дорівнює 674 м²/кг. Отримане значення більше довідникових даних на 36%;

- температура спалаху у відкритому та закритому тиглі, температура самозаймання. Дані відповідають паспортним значенням турбінної оливи марки ТП-22 та дозволяють ідентифікувати зразок турбінної оливи, що використовувався під час експериментальних досліджень.

2. Використання отриманих уточнених даних щодо пожежонебезпечних властивостей турбінної оливи марки ТП-22 дозволить забезпечити адекватність моделювання її пожеж в машинних залах АЕС та ТЕС за допомогою програмного забезпечення Fire Dynamic Simulator 6.6.0 при різних сценаріях аварій, що є предметом подальших досліджень авторів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. С.Ю. Огурцов, С.В.Семичаевский К вопросу необходимости обоснования исходных данных для моделирования процессов горения турбинного масла // Науковий вісник Цивільний захист та пожежна безпека № 2(2) 2016. 2016. С. 44–47.
2. D4809 Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method).
3. ГОСТ 21261-91 Нефтепродукты. Метод определения высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания. 1991. С. 24.
4. И.Н.Карькин. Работа в программном комплексе FireCat. Библиотека реакций и поверхностей горения в PyroSim. Редакция 3. 2014. 27 с.
5. Разработка предложения по защите несущих конструкций машзалов АЭС от воздействия опасных факторов пожара (отчет)/ВНИИПО. М., 1993. 184 с.
6. Ю.А.Кошмаров. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: Учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
7. А.А.Абашкин, А.В.Карпов, Д.В.Ушаков, М.В.Фомин А.Н.Гилетич Пособие по применению "Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности." М.: ВНИИПО, 2012. 83 с.
8. ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. 1991. 100 с.

EXPERIMENTAL JUSTIFICATION OF THE INITIAL DATA FOR TURBINE OIL MARK TP- 22 COMBUSTION MODELING

S.Semichaevsky, S.Ohurtsov, Cand. of Sc. (Eng), Senior Fellow

The Ukrainian Civil Protection Institute, Ukraine

KEYWORDS

experimental research, modeling of the fire, turbine oil of TP-22 mark

ANNOTATION

The results of the experimental determination of heat of combustion, smoke ability, flash-point and self-ignition with the purpose of substantiation of the initial data for simulation of combustion of turbine oil of the mark TP-22 are presented.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРЕНИЯ ТУРБИННОГО МАСЛА МАРКИ ТП-22

С.В.Семичаевский, С.Ю.Огурцов, канд.техн.наук, ст.научн.сотр.

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

экспериментальные исследования, моделирование горения, турбинное масло марки ТП-22.

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты экспериментального определения удельной теплоты сгорания, дымообразующей способности, температуры вспышки и самовоспламенения турбинного масла марки ТП-22 с целью обоснования исходных данных для моделирования его горения