

## **ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУР СПАЛАХУ ТА ЗАЙМАННЯ ГОРЮЧИХ РІДИН**

Проведено порівняльний аналіз існуючих методів визначення температури спалаху та займання горючих рідин. Виявлено чинники, що можуть впливати на результати випробувань з визначення цих характеристик. Представлено зарубіжні та вітчизняні експериментальні та теоретичні підходи щодо визначення температур спалаху та займання горючих рідин. Проведено експериментальні дослідження з визначення температур спалаху та займання олії ріпаку, сої та соняшнику.

*Ключові слова:* температура спалаху, температура займання, тигель, метод визначення, експериментальні дослідження.

*V. V. Fedorovskyi, R. B. Veselivskyi*

## **APPROACHES TO DEFINITION OF FLASHPOINT AND IGNITION OF COMBUSTIBLE LIQUIDS**

The paper presents comparative analysis of existing methods for determining the flash point and ignition of flammable liquids. It is established the factors that could affect the results of tests to determine these characteristics. Presented by foreign and domestic experimental and theoretical approaches to determination of flashpoint and the ignition of combustible liquids. The conducted experimental studies to determine the flashpoint and ignition of oil rape, soy and sunflower.

*Key words:* the flash point, ignition of temperature, crucible, a method of determining, experimental study.

Рідини та речовини, що є горючим, характеризуються температурами спалаху та займання.

Температура спалаху – це найменша температура конденсованої речовини, при якій в умовах спеціальних випробувань над її поверхнею утворюються пари, що здатні спалахнути у повітрі від джерела запалювання; стійке горіння при цьому не виникає. Але підвищуючи температуру рідини далі до певного значення, пари спалахують і не гаснуть, що свідчить про досягнення температури займання цієї рідини.

Показники температури спалаху та займання для значної кількості горючих рідин висвітлені у ряді нормативних документів та довідкових літературних джерелах, що стосуються вибухопожежонебезпеки [1-5] тощо.

Відповідно до міжнародних стандартів [6-8] температури спалаху та займання, що є предметом досліджень цієї роботи, не є сталими показниками фізико-хімічних властивостей речовин та матеріалів, оскільки напряму залежить від апаратури та методів її визначення. Окрім того, на кінцевий результат може суттєво впливати значення атмосферного тиску.

У світі існують та застосовують різні методи та методики, що дозволяють визначати температури спалаху та займання рідин. Враховуючи фізику процесу виникнення спалаху та займання речовин, саме температура спалаху відображає здатність речовин і матеріалів до підтримування горіння. Так, в світі існує ряд нормативних документів та стандартів, що стосуються класифікації займистих, горючих та інших речовин [9-11]. Також існує європейська класифікація (Classification, Labelling and Packaging) де займисті рідини розділяють на категорії. Відповідно до цих документів саме поняття температури спалаху дещо відрізняється. Зокрема в [12,13] зазначено, що температура спалаху рідини - це температура рідини, при якій утворюються горючі пари, здатні спалахувати від джерела запалювання. У [6-8] зазначено, що це температура визначається у спеціальних умовах чи на спеціальному обладнанні, а у [19], вказано, що температура спалаху та температура займання є відмінними між собою. Слід

зазначити, що у діючому в Україні нормативному документі [19], поняття температури спалаху найбільш влучно відображає фізичну суть цього явища. Крім того, у світі існують методи та підходи, що дають змогу визначати даний параметр враховуючи зв'язок температури спалаху з теплотою згорання та нижньою температурною межею займання [15-17].

Основними підходами для визначення температури спалаху та займання рідин є випробування у закритому та відкритому тиглі. Підхід з відкритим тиглем реалізований у методах Тага, Клівленда, Бренкена, підхід з закритим тиглем – у методах Абеля, Пенски-Мартенса, Абеля-Пенского, Сетафлеш тощо. Також існує модифікація підходу закритого тигля, це є рівноважний метод, в якому використовується апаратура методів Абеля, Пенски-Мартенса і Тага.

Характеристики існуючих у світі методів визначення температури спалаху та займання рідин представлено у таблиці 1 [18].

Таблиця 1 - Характеристики існуючих методів визначення температури спалаху та займання рідин

| Метод випробування      | Тигель    | Швидкість нагрівання, °C/хв  | Крок перевірки         | Робочий діапазон, $t_{спал}$ , °C     | Стандарт   |
|-------------------------|-----------|--|------------------------|---------------------------------------|--|
| Пенски-Мартенса (А)     | Закритий  | 5...6  | 1...2                  | < 370                                 | ASTM D 93;<br>BS EN ISO 2719;<br>BS 2000-34                    |
| Пенски-Мартенса (Б)     | Закритий  | 1...1,5  | 2                      | < 93                                  |  |
| Тага                    | Закритий  | 1...3  | 0,5...1                | 0...110;<br>кімнатна<br>т-ра...300    | ASTM D 56;<br>ГОСТ Р 53717                                     |
| Сетафлеш                | Закритий  | -  | 0,5                    | -30...70                              | ASTM D 3278;<br>ASTM D 3828                                    |
| Абеля                   | Закритий  | 1  | 0,5                    | -15...360                             | BS EN ISO 13736;<br>ISO 13736                                  |
| Закритий тигель         | Закритий  | 5...6; 0,3 (для лаків). Різниця температур зразка і бані $\leq 2$ °C | 1...2; 0,5 (для лаків) | -15...360                             | ГОСТ 12.1.044-89*  |
| Рівноважний             | Закритий  | Різниця температур зразка і бані $\leq 2$ °C<br>0,3<br>-0,1          | 0,5                    | 0...110<br><br>-18...165<br>-30...110 | ASTM D 3924;<br>ASTM D 3941<br><br>BS EN ISO 1523;<br>ISO 1516 |
| Прискорений рівноважний | Закритий  | Різниця температур зразка і бані $\leq 2$ °C                         | 0,5...1                | -30...300                             | BS EN ISO 3679;<br>BS 2000-523;<br>ISO 3679                    |
| Клівленда               | Відкритий | 5-6  | 2                      | >79                                   | ASTM D 95;<br>ISO 2592;<br>ГОСТ 4333-87                        |
| Бренкена                | Відкритий | 4  | 2                      | -                                     | ГОСТ 4333-87   |
| Тага                    | Відкритий | 1  | 1                      | -18...165                             | ASTM D 1310  |
| Відкритий тигель        | Відкритий | 5...6; 0,3 (для лаків і в'язких рідин)                               | 1-2                    | -15...360                             | ГОСТ 12.1.044-89*  |

Аналізуючи методи, які представлені у таблиці 1, слід зазначити, що у всіх представлених методах визначення температур спалаху та займання рідин проводиться в закритому та відкритому тиглі, шляхом піднесення джерела запалювання до поверхні досліджуваної рідини. Відмінними є робочі діапазони температур методів, що коливається від мінус 30 °С до 370 °С, але при цьому не спостерігається якась закономірність діапазонів температур в залежності від того як метод реалізований, у відкритому чи закритому тиглі. Також, враховуючи, що температура спалаху деяких речовин визначається при температурі нижче кімнатної, важливим є факт застосування охолоджувальних приладів, для досягнення необхідної швидкості нагрівання рідини. Також загальним недоліком представлених методів є те, що у більшості з них не враховується значення атмосферного тиску на момент дослідження, а в деяких це відбувається опосередковано.

Поряд з експериментальними методами існують і методи розрахунку температур спалаху горючих рідин. Одним із таких методів є визначення температури спалаху через тиск насиченого пару рідини [20]. Суть цього методу полягає у припущенні авторами, що спалах виникає за температури, при якій тиск насичених парів рідини відповідає тиску насичених парів при нижній концентраційній межі займання. Даний підхід припускає, що температура спалаху і нижня концентраційна межа займання приблизно однакові.

Також у роботі [21] представлено один з методів прогнозування температури спалаху. Суть прогнозування базується на основі фізико-хімічних і пожежонебезпечних властивостях горючих рідин, індикаторних змінних та топологічних індексах.

У працях [22, 23] наведено порівняльні методи визначення температури спалаху та займання горючих рідин.

Враховуючи вищезазначене очевидним є факт, що при застосуванні різних підходів щодо визначення температур спалаху та займання рідин можуть бути отримані суттєво різні результати для однакових речовин. Чинниками, що впливатимуть на результат є швидкість нагрівання випробуваної речовини, конструктивні особливості приладів, що забезпечують умови охолодження, а також врахування поправки на атмосферний тиск.

Важливим завданням на сьогодні є уніфікація методів визначення пожежонебезпечних характеристик рідин як у національних так і міжнародних стандартах.

З метою порівняння даних довідкових джерел та даних отриманих експериментальним шляхом, авторами проведено ряд експериментальних досліджень з визначення температур спалаху та займання деяких видів рослинних олій із застосуванням стандартизованого в Україні обладнання. А саме, проведено дослідження температур спалаху та займання зразків олії ріпаку, сої та соняшника згідно з [19], на установці ТВ-2, загальний вигляд якої представлений на рисунку 1.



Основні складові елементи установки: нагрівна ванна, металевий чи фарфоровий тигель, тримач та штатив, газовий пальник, термометр, азбестова прокладка

Рисунок 1 – Загальний вигляд установки ТВ-2

Крім того, під час проведення досліджень використовували термометр типу ТН-2 (клас точн. 1) з відповідним діапазоном вимірювання та секундомір (клас точн. 2).

Суть методу визначення температур спалаху та займання полягає в проведенні випробувань, в умовах коли над поверхнею речовини утворюються пари, що здатні спалахувати або горіти в повітрі від джерела запалювання. Швидкість нагріву речовини складає 5-6 °С/хв. В процесі нагрівання рідини полум'я газового пальника рівномірно проводять від одного боку тигля до іншого в горизонтальній площині, не вище ніж на 2 мм від верхнього краю тигля і тільки в одному напрямку, та фіксують наявність або відсутність чи то спалаху, чи то займання рідини.

За температуру спалаху чи температуру займання ( $T_{\text{спал.}}$ ,  $T_{\text{займ.}}$ ) приймають середнє арифметичне значення температур, що отримані на трьох зразках однієї рідини з поправкою на атмосферний тиск ( $\Delta t$ ), що визначається за формулою:

$$\Delta t = 0,27 \times (101,3 - p_a), \quad (1)$$

де,  $p_a$  – атмосферний тиск, кПа.

Результати експериментальних досліджень температури спалаху та займання олії ріпаку, сої та соняшнику представлено у таблицях 2 та 3.

Таблиця 2- Результати експериментальних досліджень температури спалаху

| Назва рідини   | $T_{\text{спал.}}$ , °С | Результат випробування                          |
|----------------|-------------------------|---|
| Олія ріпаку    | 328                     | спалах при температурах: 327 °С, 328 °С, 327 °С |
| Олія сої       | 332                     | спалах при температурах: 331 °С, 331 °С, 332 °С |
| Олія соняшнику | 331                     | спалах при температурах: 331 °С, 332 °С, 330 °С |

Таблиця 3- Результати експериментальних досліджень температури займання

| Назва рідини   | $T_{\text{займ.}}$ , °С | Результат випробування                            |
|----------------|-------------------------|---|
| Олія ріпаку    | 358                     | займання при температурах: 356 °С, 357 °С, 358 °С |
| Олія сої       | 360                     | займання при температурах: 359 °С, 359 °С, 359 °С |
| Олія соняшнику | 365                     | займання при температурах: 364 °С, 365 °С, 365 °С |

Слід зауважити, що у довіднику [30], наведені температури спалаху олії соняшнику та сої суттєво відрізняються від отриманих експериментально. Зокрема, для олії соняшнику в довіднику вона складає 204-229 °С, а експериментально визначена – 331 °С; для олії сої в довіднику – 120-240 °С, а експериментально визначена – 331 °С. Такі результати вказують або на невідповідність підходів щодо визначення температур спалаху та займання або на суттєво відмінний хімічний склад речовин які порівнювались.

Висновки:

1. Встановлено, що у світі для експериментального визначення температур спалаху та займання рідин переважно застосовується закритий та відкритий тигель.

2. Наголошено на чинниках, що можуть суттєво впливати на результат випробувань,

зокрема це швидкість нагрівання рідини, особливості конструктивного виконання випробувальних приладів, атмосферний тиск тощо), та необхідності уніфікація методів визначення пожежонебезпечних характеристик рідин як у національних так і міжнародних стандартах.

3. Експериментально визначено температури спалаху та займання трьох видів рослинних олій та підтверджено їх суттєву відмінність від довідкових джерел.

4. Актуальним є питання проведення подальших експериментальних досліджень з визначення температур спалаху та займання еталонної рідини із застосуванням різних підходів та методів, наведених у таблиці 1.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. НАПБ В.01.057-2006/200. Правила пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України, затверджені наказом Міністерства аграрної політики України та МНС України від 04.12.2006 № 730/770, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 05.04.2007 за № 313/13580.
2. НПАОП 15.4-1.06-97 Правила безпеки для олійно-жирового виробництва. – Київ : УкрНДІхарчпром, 1997. – 313 с.
3. НАПБ 07.026-2010 Рекомендації щодо забезпечення пожежної безпеки при транспортуванні та зберіганні насіння олійних культур. – Київ : УкрНДІПБ МНС України, 2010. – 63 с.
4. ДСТУ 3855-99. Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій. Терміни та визначення.
5. НАПБ В.07.013-86/810 (НАОП 8.1.00-2.05-86 (ОСТ 8.12.06-86)) Процессы производственные на предприятиях с хранением и переработкой зерна. Взрывоопасность. Номенклатура показателей пожаровзрывоопасности производственной пыли и пылевоздушной смеси.
6. ISO 3679:2004 (E). Determination of Flash Point-Rapid Equilibrium Closed Cup Method.- Geneva : ISO Copyright Office, 2004.— 18 p.
7. ISO 13736:2008 (E). Determination of Flash Point – Abel Closed Cup Method. – Geneva : ISO Copyright Office, 2008. – 22 p.
8. British Standard. BS EN ISO 13736:2008. Determination of Flash Point–Abel Closed Cup Method (ISO 13736:2008). – London : BSI, 2009. – 22 p.
9. 2006 International Fire Code.
10. 2009 International Fire Code.
11. 2012 International Fire Code.
12. Safe Working with Industrial Solvents. Flammability: A Safety Guide for Users Best Practice Guidelines - 4. - Brussels : ESIG, 2003. - 21 p.
13. JKKP: GP (I) 4 97. Guidelines for the Classification of Hazardous Chemicals. - Putrajaya : Department of Occupational Safety and Health, 1997. - 39 p.
14. Davletshina T. A. Industrial Fire Safety Guidebook. - Westwood : Noyes Publication, 1998. - 531 p.
15. Баратов А. Н., Иванов Е. Н., Корольченко А.Я. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность. – М. : Химия, 1987. – 272 с.
16. Монахов В. Т. Показатели пожарной опасности веществ и материалов. Анализ и предсказание. Газы и Жидкости. – М. : ВНИИПО, 2007. – 248 с.
17. Тарасов А. В., Степанова И. В. Процессы горения и показатели пожарной опасности 6 учебное пособие. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2009. – С. 15-16.
18. Алексеев С. Г. Температура вспышки. Часть 1. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов : научн. техн. журнал – Москва, 2012. – №5. – С. 35-41.

19. ГОСТ 12.1.044-89 “Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения”.
20. Алексеев С. Г. Температура вспышки. Часть 2. Расчет через давление насыщенного пара / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов : научн. техн. журнал – Москва, 2012. – №10. – С. 21-35.
21. Температура вспышки. Часть 4. Deskрипторный метод расчета / С. Г. Алексеев, К. С. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов : научн. техн. журнал – Москва, 2014. – №5. – С. 18-37.
22. Korol'chenko Ya. A., Bobkov A. S., Zhuravlev V. S., Lantukhova L. V. Calculating the flash point of inflammable liquids Chemistry and Technology of Fuels and Oils. — 1969. — Vol. 5, No. 8. — P. 556–558.
23. Шебеко Ю. Н., Иванов А. В., Корольченко А. Я., Алехина Э. Н., Бармакова А. А., Терешина Н. А. Инструкция по расчету температуры вспышки и воспламенения горючих жидкостей «4р-82. – М. : ВНИИПО, 1983. – 36 с.
24. ГОСТ Р 53717-2009. Нефтепродукты. Определение температуры вспышки в закрытом тигле. – Тага.- Введ. 01.01.2011 г. – М. : Стандартинформ, 2010. – 20с.
25. British Standard. BS EN ISO 1523:2002, BS 2000-492:2002. Method of Test for Petroleum and its Products-BS 2000-492: Determination of Flash Point–Closed Cup Equilibrium Method. – London : BSI, 2002. – 13 p.
26. British Standard. BS EN ISO 2719:2002, BS 2000–34:2002. Determination of Flash Point–Pensky–Martens Closed Cup Method. – London : BSI, 2004.– 23 p.
27. British Standard. BS EN ISO 3679:2004, BS 2000-523:2004. Methods of Test for Petroleum and its Products – BS 2000-523: Determination of Flash Point – Rapid Equilibrium Closed Cup Method-London : BSI, 2004. – 19 p.
28. ISO 1516:2002 (E). Determination of Flash no Flash – Closed Cup Equilibrium Method. – Geneva : ISO Copyright Office, 2002. – 10 p.
29. ISO2592:2000 (E). Determination of Flash and Fire Points – Cleveland Open Cup Method. – Geneva : ISO Copyright Office, 2000. – 13 p.
30. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. изд. в 2 книгах / [Баратов А.Н., Корольченко А.Я., Кравчук Г.Н. и др.]. – М.: Химия, 1990. – 496 с.