

Научная статья

УДК 614.841.412; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-111-121

## II ЭТАП РАЗВИТИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ. Ч. I

✉ Алексеев Сергей Геннадьевич.

Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин»

Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Россия

✉ [3608113@mail.ru](mailto:3608113@mail.ru)

*Аннотация.* II этап развития экспериментальных методов определения температуры вспышки и воспламенения охватывает период от 20-х до 80-х гг. XX столетия. В начале прошлого столетия уже выбраны и легализованы наиболее совершенные аппараты и методики Абеля, Абель-Пенского, Пенски-Мартенса Гранье, Люшера, Тага, Кливленда, Бренкина, Маркуссона и Треуманна для определения температуры вспышки, но при этом старые нафтотометры неофициально использовались до 30-х гг. XX в. На II этапе появляются и совершенствуются национальные стандарты по методам определения температуры вспышки и воспламенения. Эволюционным путем все многообразие приборов для определения температуры вспышки и воспламенения (открытые, полузакрытые и закрытые тигли; открытые, полузакрытые и закрытые паровые аппараты; перегонные приборы) сводятся к двум типам: открытый и закрытый тигли, но при этом появляются новые методы (равновесный, сета-флэш и непрерывно-проточный) и различные конструкции ручных, полуавтоматических и автоматических приборов. Накопленный багаж экспериментальных данных по температуре вспышки веществ и материалам материализуется в справочной литературе, Ш используется при обеспечении пожарной безопасности. В 60–70-е гг. XX столетия проводится граница между температурой вспышкой и нижним температурным пределом воспламенения (распространения пламени). Рассмотрены приборы полузакрытого типа.

*Ключевые слова:* температура вспышки, температура воспламенения, прибор, аппарат, тестер, нафтотометр

**Для цитирования:** Алексеев С.Г. II этап развития экспериментальных методов определения температуры вспышки. Ч. 1 // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 3 (75). С. 111–121. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-111-121.

Scientific article

## THE SECOND PHASE DEVELOPMENT OF EXPERIMENTAL METHODS FOR DETERMINING FLASH POINT. PART 1

✉ Alexeev Sergey G.

Science and engineering centre «Reliability and safety of large systems and machines»  
of Ural branch of Russian academy of sciences, Yekaterinburg, Russia

✉ [3608113@mail.ru](mailto:3608113@mail.ru)

*Abstract.* The second stage of development of experimental methods for determination of flash and fire point covers the period from the 1920s to the 1980s. At the beginning of the last century, the most advanced devices and techniques for determining the flash point were already selected and legalized. There are the Abel, Abel-Pensky, Pensky-Martens Granier, Lushaire, Tag, Cleveland, Brenken, Marcusson and Treumann apparatuses. However, old naphtometers are used unofficially until the 30s of the 20th century. National standards on methods of determination

of flash and fire temperature are emerging and being improved in phase II. By evolution, all the variety of instruments for determining the rate of flash and ignition (open, semi-closed and closed, open, semi-closed and closed steam apparatus, distillation testers) are reduced to two types of open and closed cups. But new methods (equilibrium, set-flash and continuous flow) and various designs of manual, semi-automatic and automatic instruments are emerging. The accumulated stock of experimental data for flash and fire point of liquids is reflected in the handbooks, which are used for fire safety. In the 60s–70s of the 20th century, a boundary is established between the flash point and the lower temperature flammability limit (lower flash point). Semi-closed type devices are considered.

**Keywords:** flash point, fire point, device, apparatus, tester, naphtometer

**For citation:** Alexeev S.G. The second phase development of experimental methods for determining flash point. Part 1 // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 3 (75). P. 111–121. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-111-121.

## Введение

Температура вспышки один из важнейших показателей пожарной опасности. Она применяется для классификации легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и категорирования помещений и наружных установок по взрывопожароопасности. Она также используется как критерий качества нефтепродуктов, индикатор отгона легких фракций, параметр летучести и проницаемости жидких систем. При этом она рассматривается как физико-химическая константа, и в то же время считается, что она таковой не является [1–4].

Условно этапы развития экспериментальных методов можно разбить на 4 этапа.

0      Начальный этап (начало XIX столетия до 1862 г.).<sup>1</sup>

I.      Время поиска и разработки основных методов испытаний (с 1862 г. до начала XX столетия).

II.      Период стандартизации и унификации методов тестирования (начало XX столетия до конца 1980-х гг.).

III.      Современный этап автоматизации и модернизации существующих методов (с 1990-х гг. по настоящее время).

Нулевой или начальный этап характеризуется единичными работами в области определения температуры вспышки расплава сахара, рыбьего и китового жиров, а также их смесей. Следует отметить, что сам термин «температура вспышки» на начальном этапе не использовался, вместо него применялись различные словосочетания: «температура при которой выделяются горючие пары», «степень горючих газов (паров)», «воспламеняющий пар при ...» и др.

I этап связан с наступлением керосиновой эры и разработкой различных методов и способов определения температуры вспышки в первую очередь керосина и других нефтепродуктов. На этом этапе наблюдался бум в создании новых и усовершенствовании

<sup>1</sup> По мнению доктора Р. Шаха (R. Shah), первый огненный тест (fire test) был осуществлен французским химиком Дж. Хеллот (Jean Hellot) в XVIII столетии, однако в его работе [6] не указан первоисточник данной информации. Возможно, что температура вспышки или воспламенения горючих жидкостей первоначально была зафиксирована в XVIII столетии, поскольку все необходимого для этого уже было доступно, включая термометр Даниэля Габриэля Фаренгейта (Daniel Gabriel Fahrenheit). Однако необходимость в температуре вспышки как в показателе пожаровзрывоопасности появилась только после Американской нефтяной революции 1859 г., когда потребовалось проводить многочисленные тесты по проверке безопасности керосина. Следует также отметить, что работы [5] по определению температуры вспышки расплава сахара, рыбьего и китового жиров показывают ошибочность мнения о том, что впервые температура вспышки была определена в 1865 г. в аппарате Парриша (Parry) [7], который появился не в 1865, а в 1862 г. [8]

старых тестеров. Так, к началу XX столетия таких приборов насчитывалось более 100 конструкций. В 1862 г. появляется сам термин «температура вспышки» [9, 10], и через шесть лет происходит его первая легализация в Английском нефтяном законе (Petroleum Act 1868) [9, 10]. Эволюция методов и приборов для определения температуры вспышки на I этапе подробно описана в обзорах [8, 10–14].

В настоящей работе рассмотрены особенности развития методов и приборов для определения температуры вспышки на II этапе. Для удобства используется ранее предложенная классификация тестеров для измерения температуры вспышки [10].

## Особенности II этапа

Первой особенностью является размытая граница между концом I этапа и начальной стадии II этапа. Так, в начале XX столетия уже выбраны и легализованы наиболее совершенные аппараты<sup>2</sup> и методики для определения температуры вспышки [8, 10–12]. Это тестеры и методы:

- Абеля (Abel), применялся в Австрии, Британии, Генуе<sup>3</sup>, Голландии<sup>4</sup>, Копенгагене<sup>3</sup>, Люксембурге, Норвегии<sup>4</sup>, г. Осаке<sup>3</sup>, Риме<sup>3</sup>, Швеции<sup>4</sup>, Швейцарии, Эстонии и на о. Мальта;
- Абель-Пенского (Abel-Pensky)<sup>5</sup> был принят в Австрии, Германии, Дании, Люксембурге, СССР, Румынии. В горном бюро США применялась модификация данного тестера с мешалкой;
- Пенски-Мартинса (Pensky-Martens), использовался в Германии, Люксембурге, США, СССР, Чехословакии;
- Гранье (Granier), Люшера (Lushaire) эксплуатировались во Франции;
- Тага (Tag)<sup>6</sup> применялся в США;
- Кливленда (Cleveland) использовался в США, Франции, Германии, СССР, Чехословакии;
- Бренкина (Brenken) эксплуатировались в Германии, СССР, Чехословакии;
- Маркуссона (Marcusson) применялся в Германии, СССР, Чехословакии;
- Треуманна (Treumann) использовался в Германии, СССР и США<sup>7</sup>.

Однако старые приборы Хорейса Смита (Horace J. Smith) и Вудруфа Джонса (Woodruff Jones), Джузеппе Тальябу (Giuseppe Tagliabue), Джорджа Шоу (George E. Shaw), Генри Хатсхорна (Henry M. Hartshorn), Петуэля Милспаух (Pethuel Millspaugh), Джона Блэра (John Blair), Стефена Манна (Stephen S. Mann), Фергюса Сквайера (Feargus B. Squire), Джорджа Сайлбolta (George M. Saybolt), Томаса Пинкни (Thomas De Witt Pinckney), Френсиса Писа (Francis S. Pease), Алекса Бернштейна (Alex Bernstein), Джона Тальябу (John Tagliabue), Артура Эллиота (Arthur H. Elliott), Фостера (Foster), Дж. Грэя (J. Gray) и первые модификации Кливленда (Cleveland), разработанные еще в XIX столетии, были еще в ходу [8, 10–12, 15]. Не канули в лету и грубые (примитивные) огненные тесты проверки качества осветительных масел и других нефтепродуктов [10, 16].

<sup>2</sup> В настоящей статье термины: прибор, аппарат, тестер, нафтотометр, пирометр рассматриваются как синонимы, как это было принято на I этапе эволюции методов определения температуры вспышки [10]

<sup>3</sup> Некоторые города, штаты, провинции и т.п. ориентировались на собственные приборы, которые могли отличаться от федеральных тестеров

<sup>4</sup> Вместо прибора Абеля была в ходу его модификация (аппарат Абель-Пенского)

<sup>5</sup> Данный прибор также назывался немецким тестером Абеля

<sup>6</sup> Речь идет о приборах Чарльза Тальябу (Charles J. Tagliabue)

<sup>7</sup> Пенсильванской железной дорогой применялся американский аналог прибора Треуманна [10, 15]

В качестве второй особенности II этапа можно отметить переход от нормативно-правовых актов, в которых отражались инструкции по применению нафтотометров, к техническим стандартам по методам определения температуры вспышки. Первые стандарты по определению температуры вспышки (ASTM D28-18T, ASTM D56-19, ASTM D56-21, ASTM D92-21T, ASTM D93-22) появляются в США, в которых закрепляются закрытый аппарат Пенски-Мартенса, открытый тестер Кливленда и закрытый и открытый приборы Тага [10, 12]. Следует отметить, что стандарт ASTM D28-18T также допускал применение приборов Абеля, Абель-Пенского<sup>8</sup> и Эллиота при неофициальных тестах [17]. В дальнейшем национальные стандарты по определению температуры вспышки появляются во всех развитых странах мира.

Третьей особенностью является удивительная ситуация, которая сложилась в США в начальный период II этапа. С одной стороны, разработаны национальные стандарты по определению температуры вспышки (см. выше). С другой стороны, в штатах и некоторых городах США для определения температуры вспышки керосина и других легковоспламеняющихся жидкостей используются старые приборы Джона Тальябу (штаты: Айдахо, Алабама, Арканзас, Вашингтон, Вермонт, Висконсин, Делавер, Иллинойс, Индиана, Лос-Анджелес, Луизиана, Кентукки, Коннектикут, Массачусетс, Майн, Мичиган, Миннесота, Миссури, Мэриленд, Нью Йорк, Нью Мехико, Нью Хэмпшир, Оклахома, Орегон, Пенсильвания, Род-Айленд, Сакраменто, г. Сан-Франциско, Теннесси, Юта), Эллиота (штаты: Вайоминг<sup>9</sup>, Джорджия, Иова, Нью Джерси, Нью Йорк (город), Северная Каролина, Южная Дакота, Южная Каролина) и Фостера (штаты: Канзас, Колорадо, Монтана, Мичиган, Небраска, Огайо<sup>10</sup>, Северная Дакота<sup>5</sup>), легализованные на уровне законодательства американских штатов и городов.

В качестве четвертой особенности начального периода II этапа следует указать, что, несмотря на достигнутый успех в области обеспечения безопасного применения осветительных масел и других легковоспламеняющихся жидкостей (установление лимитов для безопасного керосина и официальных методов и приборов для определения температуры вспышки [2, 9, 14, 18–20]), в некоторых странах (Бельгия, Греция, Испания, Италия, Китай, Новая Зеландия<sup>11</sup>, Португалия, Турция, Япония) и штатах США (Аризона, Вирджиния, Западная Вирджиния, Колумбия, Миссисипи, Невада, Орегон, Техас, Флорида) не было легального тестера для определения температуры вспышки [18, 19].

Пятой особенностью II этапа является, что все многообразие приборов для определения температуры вспышки (открытые, полузащищенные и закрытые тигли; открытые, полузащищенные и закрытые паровые аппараты; перегонные приборы) сводятся к двум типам: открытый и закрытый тигли, но при этом появляются новые методы (равновесный, сета-флэш и непрерывно-проточный) и различные конструкции полуавтоматических и автоматических приборов [21].

Накопление данных по температуре вспышке веществ и материалов создало благоприятные условия для появления справочных пособий, в которых аккумулированы сведения по этому показателю пожарной опасности. Необходимо отметить, что первые такие справочники [22–23] появились уже в начале II этапа. Это можно считать шестой особенностью.

В качестве седьмой особенности II этапа можно указать отделение температурных пределов воспламенения от показателя температуры вспышки и появление стандартов ГОСТ 13922–68 «Продукты химические органические. Метод определения температурных пределов воспламенения паров в воздухе», ГОСТ 12.1.022–80 «Система стандартов безопасности труда. Конвейеры. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.1.044–84 (89) «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» [24].

<sup>8</sup> Американским горным бюро осуществлена модификация тестера Абель-Пенского путем установки мешалки по аналогии с тестером Пенски-Мартенса [12]

<sup>9</sup> По другой информации в данном штате использовался тестер Фостера [18]

<sup>10</sup> Отмечается, что вместо прибора Фостера применялся аппарат Эллиота [18]

<sup>11</sup> В литературе [19] сообщается, что в Новой Зеландии использовался прибор Джона Тальябу, разработанный еще в 1862 г. [10]

## Полузакрытые тестеры

В конце XX столетия М. Люшаром (M. Luchaire) был предложен аппарат собственной конструкции (рис. 1 а), однако он не смог составить конкуренцию тестеру Гранье (Granier), который применялся в качестве официального прибора для определения качества керосина во Франции [8, 18]. Нафтотометр Люшара долгое время модернизировался (рис. 1 а, в). В 1919 г. он допускается к официальному применению наряду с аппаратом Гранье. В модели 1919 г. закрепляется диаметр 8 мм для вентиляционных отверстий в крышке прибора Люшара [8, 18]. В вариантах 1925 и 1927 гг. появляются отдельные тигли для тестирования керосина и смазочных масел (рис. 1 г) [25]. Окончательная замена прибора Гранье на аппарат Люшара произошла 19 февраля 1927 г. после завершения официальной его поверки [26].

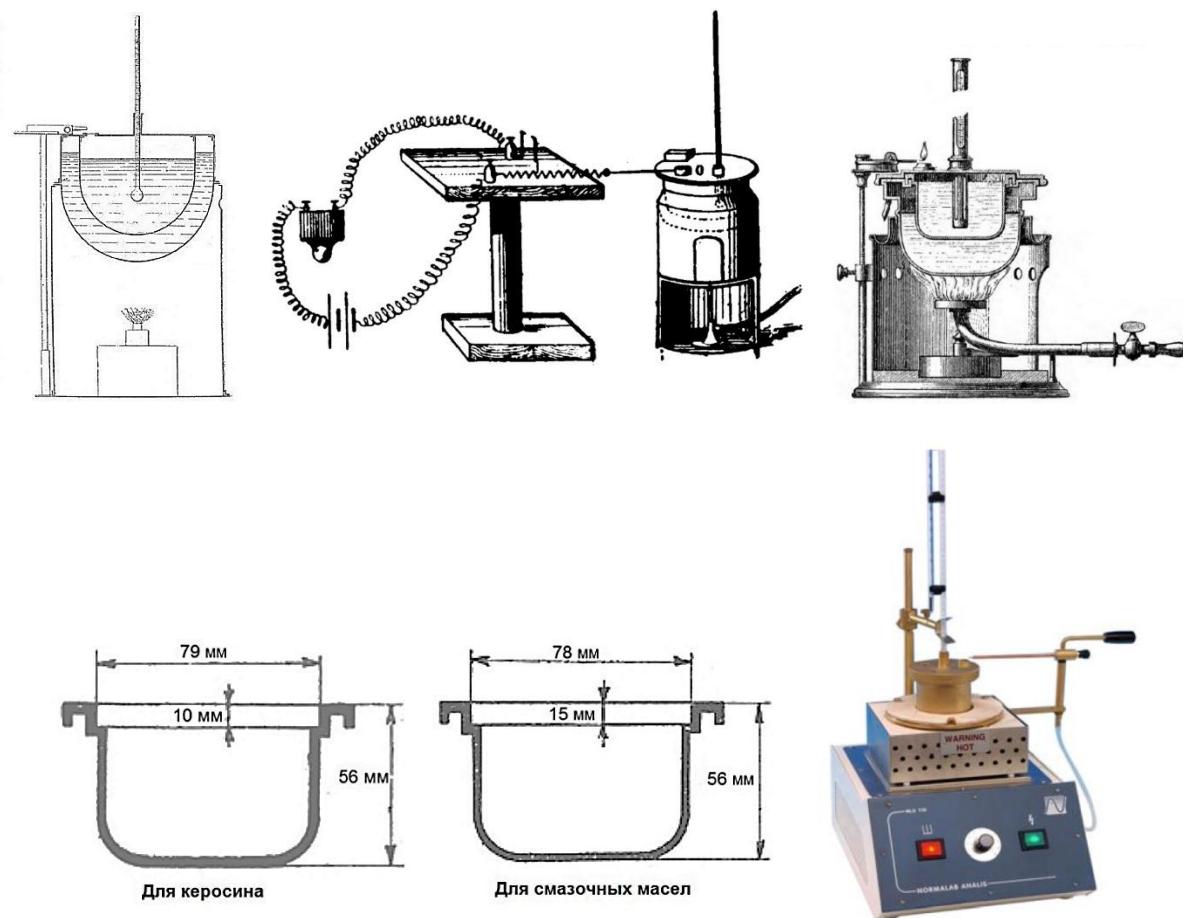


Рис. 1. Эволюция нафтотометров Люшара; а – образец 1890-х гг. [8, 18];  
б – модификация М. Канавиета (M. Canaviet) 1897 г. [8, 18];  
в – модель начала XX столетия [25]; г – тигли для приборов образца 1925–27 гг. [25];  
д – современный аппарат компании Normlab Analis [27]

Особенностью нафтотометра Люшара является его универсальность, которая обеспечивает возможность тестирования как низкокипящих, так и высококипящих горючих жидкостей. В последнем случае вода в бане заменяется на рапсовое масло. Этот прием позволяет поднять верхнюю рабочую границу применения прибора до 350 °C. На крышки тигля имеются дополнительные два восьмимиллиметровых отверстия для вентиляции. Прибор и метод Люшара оказались удачными и дошли до наших дней (современный вариант этого аппарата приведен

на рис. 1 д) с легализацией в стандартах NF T 60-103 и ГОСТ ISO/TR 11018 [21]<sup>12</sup>. Также метод Люшара наряду с методом Гранье используется в восьми африканских странах: Буркина-Фасо (Burkina Faso), Малави (Malawi), Мозамбик (Mozambique), Сан-Томе и Принсипи (Sao Tome and Principe), Кения (Kenya), Танзания (Tanzania) и Уганда (Uganda) [28]. В Люксембурге прибор Люшара допущен до официальных испытаний наряду с тестерами Абеля, Абель-Пенского и Пенски-Мартенса [29].

Для измерения температуры вспышки горючих жидкостей в среде оксидов азота исследователями Института ядерной энергетики Академии наук Белорусской ССР был выбран полузакрытый тип тестера (рис. 2). Перед испытаниями на нагревательный отсек, в котором располагается тигель с тестируемой жидкостью, устанавливают рабочий блок с оснасткой. Далее через патрубки рабочего блока пропускают пары оксидов азота или газовоздушную смесь с заданной концентрацией оксидов азота. Затем включают нагрев. Контактное реле 12 подключает к источнику переменного напряжения низковольтную обмотку трансформатора 11, которая подает высокое напряжение на электроды источника зажигания 5. Одновременно с этим импульсное реле 14 подает импульс напряжения на электромагнит 13, в результате чего происходит сближение магнитных пластин 7, которое заканчивается искровым разрядом. После этого импульсное реле 14 отключает электромагнит 13 и пружина 8 возражает подвижный электрод 5 в первоначальное положение. С заданной периодичностью и через определенные промежутки времени данная цепочка событий повторяется. Момент и температура вспышки регистрируются измерителем 15 [30].

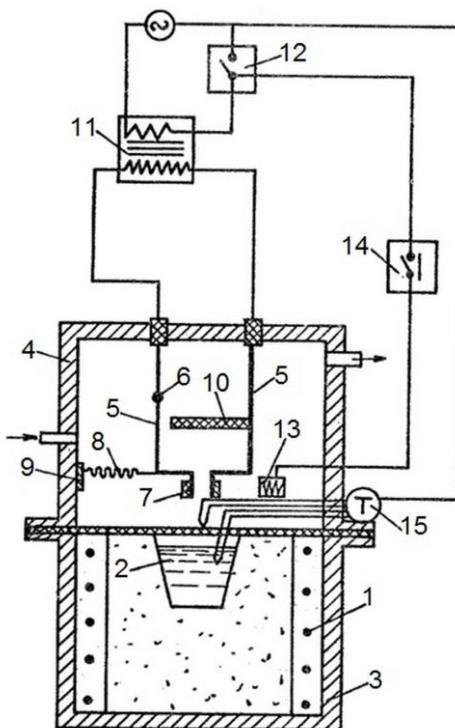


Рис. 2. Полузакрытый тестер для испытаний в среде оксидов азота [30]:

- 1 – нагревательный элемент;
- 2 – тигель;
- 3 – нагревательный отсек;
- 4 – рабочий блок;
- 5 – электроды источника зажигания;
- 6 – подвижное соединение;
- 7 – магнитная пластина;
- 8 – пружина;
- 9 – изолятор;
- 10 – ограничитель хода для подвижного электрода;
- 11 – повышающий трансформатор;
- 12 – контактное реле;
- 13 – электромагнит;
- 14 – импульсное реле;
- 15 – измеритель температуры с термопарами

<sup>12</sup> ГОСТ ISO/TR 11018–2015. Масла эфирные. Общее руководство по определению температуры воспламенения. М.: Стандартинформ, 2015. 14 с.

## Заключение

В первой части работы отмечены отличительные черты II этапа эволюции методов определения температуры вспышки, к которым относятся: размытая граница между концом I этапа и начальной стадии II этапа, выбор и легализация наиболее совершенных аппаратов, поздний переход некоторых стран и отдельных штатов США во II этап, отсутствие официального тестера в ряде государств и штатах США, появление новых методов (равновесный, сета-флэш и непрерывно-проточный) и различных конструкций полуавтоматических и автоматических аппаратов, появление справочной литературы по температуре вспышке и отделение ее от нижнего температурного предела распространения пламени. Отмечено, что прибор Люшара на сегодняшний день – единственный официальный тестер полузакрытого типа.

Во второй части будут рассмотрены новые приборы и модификации старых тестеров, которые относятся к открытому типу.

### **Список источников**

1. Bal N. Forty years of material flammability: An appraisal of its role, its experimental determination and its modelling // Fire Safety Journal. 2018. Vol. 96. P. 46–58. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.11.012.
2. Evolution of the classification of flammable and combustible liquids in Russia / S. Alexeev [et al] // Process Safety Progress. 2018. Vol. 37. № 2. P. 230–236. DOI: 10.1002/prs.11949.
3. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Эволюция понятия «температура вспышки» // Техносферная безопасность. 2016. № 4 (13). С. 35–53. EDN: XROIXJ.
4. Алексеев С.Г., Алексеев К.С., Барбин Н.М. О температуре вспышке органических соединений // Безопасность труда в промышленности. 2018. № 11. С. 41–44. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-11-41-44.
5. On the volatility and inflammability which fish and other fixed oils acquire by continued exposure to certain high temperatures / H. Wilson [et al] // The London Journal of Arts and Sciences. 1820. Vol. 1. № 3. P. 188–198.
6. Shah R., Streiber W. Determination of flash point instrumentation based on application // PIN. 2023. P. 8–10.
7. Yiin K.-C. Development of small scale liquid ignition test: dis. ... doctor of philosophy. University of Oklahoma, 1979. 181 p.
8. Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. First naphthometers to determine the flash point of liquids: II. Semiclosed testers // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. № 3. P. 508–519. DOI: 10.1134/S1070363221030191.
9. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. История классификации легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в США // Вопросы истории естествознания и техники. 2018. Т. 39. № 3. С. 508–519. DOI: 10.31857/S020596060001121-5.
10. Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. First naphthometers to determine the flash point of liquids: I. Open cup devices // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. № 3. P. 495–507. DOI: 10.1134/S107036322103018X.
11. First naphthometers to determine the flash point of liquids: III. Vapor testers / S.G. Alexeev [et al] // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. № 6. P. 1157–1170. DOI: 10.1134/S1070363221060281.
12. First naphthometers to determine the flash point of liquids: IV. Closed and distillation testers / S.G. Alexeev [et al] // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. № 6. P. 1178–1189. DOI: 10.1134/S107036322106030X.
13. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Экспертиза высказывания Д.И. Менделеева о британском лимите для безопасного керосина // Российский химический журнал. 2020. Т. 64. № 1. С. 113–121. DOI: 10.6060/rcj.2020641.11.

14. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Рождение немецкой классификации горючих жидкостей и первые тестеры температуры вспышки в Германии // История и педагогика естествознания. 2019. № 1. С. 45–51. DOI: 10.24411/2226-2296-2019-10109.
15. Эволюция метода определения температур вспышки и воспламенения в открытом приборе Кливленда / С.Г. Алексеев [и др.] // Российский химический журнал. 2025. Т. 69. № 2. С. 129–155. DOI: 10.6060/rchj.2025692.15.
16. Эволюция идей огненных тестов качества керосина / С.Г. Алексеев [и др.] // Безопасность труда в промышленности. 2020. № 9. С. 30–35. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-9-30-35.
17. ASTM D 28-T. Tentative Test for Flash Point of Paint Thinners Other Than Turpentine // Proc. Twenty-First Annual Meeting. Atlantic City: ASTM, 1918. P. 685–688.
18. Redwood B. Petroleum. London: Charles Griffin & Co., Ltd, 1922. Vol. 3. 634 p.
19. Chamberlain C.D. Uniform oil inspection from a legal point of view. Eighth International Congress of Applied Chemistry. Section Vc «Fuels and Asphalt». Concord: The Rumford Press, 1912. Vol. 10. P. 91–101.
20. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. История возникновения классификации легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в Великобритании // История науки и техники. 2017. № 12. С. 60–66. EDN: ZXLUQT.
21. White W. The Practice of Flash Point Determination: A Laboratory Resource / by ed. R.G. Montemayor. West Conshohocken: ASTM, 2013. 91 p.
22. Vlachos W., Vlachos C.A. The Fire and Explosion Hazards of Commercial Oils. Vlachos & Co., 1921. 292 p.
23. Battle J.R. The Handbook of Industrial Oil Engineering. Philadelphia, London: J.B. Lippincott Co., 1920. 1296 p.
24. Non-Standard devices for determination of temperature flammability limits / S.G. Alexeev [et al] // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. Suppl. 1. P. S1–S12. DOI: 10.1134/S1070363221130326.
25. Ferraud J. Principes et Pratique des Essais Physiques et Chimiques Effectués sur les Produits Pétrolière. Paris & Liège: Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1937. P. 127–142.
26. Bourgon L. Cours de Chimie Industrielle. Montréal: Imp. De l’École Technique de Montréal, 1930. № 3. P. 161.
27. Petroleum Testing Instruments. Linlot: Normalab Analis, 2007. 118 p.
28. Compendium of Environmental Laws of African Countries. Volume VIII: Sectoral Environmental Laws and Regulations. Nairobi: UNEP, 1998. P. ix, 87.
29. Appendice A 3. Epreuves relatives aux matières liquides inflammables des classes III a et IV a Memorial // Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg. 1970. A–N 30. P. 697.
30. Устройство для определения температуры вспышки горючих жидкостей в среде оксидов азота: А.С. 1402897 СССР; МПК 4G01N25/52; заявл. 24.04.1986; опубл. 15.06.1988 / Королев В.М., Щурин В.Н., Михалычева Э.А. 1988. № 22.

## References

1. Bal N. Forty years of material flammability: An appraisal of its role, its experimental determination and its modelling // Fire Safety Journal. 2018. Vol. 96. P. 46–58. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.11.012.
2. Evolution of the classification of flammable and combustible liquids in Russia / S. Alexeev [et al] // Process Safety Progress. 2018. Vol. 37. № 2. P. 230–236. DOI: 10.1002/prs.11949.
3. Alekseev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. Evolyuciya ponyatiya «temperatura vspyshki» // Tekhnosfernaya bezopasnost'. 2016. № 4 (13). S. 35–53. EDN: XROIXJ.
4. Alekseev S.G., Alekseev K.S., Barbin N.M. O temperaturre vspyshke organicheskikh soedinenij // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2018. № 11. S. 41–44. DOI: 10.24000/0409-2961-2018-11-41-44.

5. On the volatility and inflammability which fish and other fixed oils acquire by continued exposure to certain high temperatures / H. Wilson [et al] // The London Journal of Arts and Sciences. 1820. Vol. 1. № 3. P. 188–198.
6. Shah R., Streiber W. Determination of flash point instrumentation based on application // PIN. 2023. P. 8–10.
7. Yiin K.-C. Development of small scale liquid ignition test: dis. ... doctor of philosophy. University of Oklahoma, 1979. 181 p.
8. Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. First naphthometers to determine the flash point of liquids: II. Semislosed testers // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. № 3. P. 508–519. DOI: 10.1134/S1070363221030191.
9. Alekseev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. Istorya klassifikacii legkovosplamenyayushchihsya i goryuchih zhidkostej v SSHA // Voprosy istorii estestvoznaniya i tekhniki. 2018. T. 39. № 3. S. 508–519. DOI: 10.31857/S020596060001121-5.
10. Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. First naphthometers to determine the flash point of liquids: I. Open cup devices // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. № 3. P. 495–507. DOI: 10.1134/S107036322103018X.
11. First naphthometers to determine the flash point of liquids: III. Vapor testers / S.G. Alexeev [et al] // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. № 6. P. 1157–1170. DOI: 10.1134/S1070363221060281.
12. First naphthometers to determine the flash point of liquids: IV. Closed and distillation testers / S.G. Alexeev [et al] // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. № 6. P. 1178–1189. DOI: 10.1134/S107036322106030X.
13. Alekseev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. Ekspertiza vyskazyvaniya D.I. Mendeleeva o britanskom limite dlya bezopasnogo kerosina // Rossijskij himicheskij zhurnal. 2020. T. 64. № 1. S. 113–121. DOI: 10.6060/rccj.2020641.11.
14. Alekseev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. Rozhdenie nemeckoj klassifikacii goryuchih zhidkostej i pervye testery temperatury vspышki v Germanii // Istorya i pedagogika estestvoznaniya. 2019. № 1. S. 45–51. DOI: 10.24411/2226-2296-2019-10109.
15. Evolyuciya metoda opredeleniya temperatur vspышki i vosplameneniya v otkrytom pribore Klivilenda / S.G. Alekseev [i dr.] // Rossijskij himicheskij zhurnal. 2025. T. 69. № 2. S. 129–155. DOI: 10.6060/rccj.2025692.15.
16. Evolyuciya idej ognennyh testov kachestva kerosina / S.G. Alekseev [i dr.] // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2020. № 9. S. 30–35. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-9-30-35.
17. ASTM D 28-T. Tentative Test for Flash Point of Paint Thinners Other Than Turpentine // Proc. Twenty-First Annual Meeting. Atlantic City: ASTM, 1918. P. 685–688.
18. Redwood B. Petroleum. London: Charles Griffin & Co., Ltd, 1922. Vol. 3. 634 p.
19. Chamberlain C.D. Uniform oil inspection from a legal point of view. Eighth International Congress of Applied Chemistry. Section Vc «Fuels and Asphalt». Concord: The Rumford Press, 1912. Vol. 10. P. 91–101.
20. Alekseev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M. Istorya vozniknoveniya klassifikacii legkovosplamenyayushchihsya i goryuchih zhidkostej v Velikobritanii // Istorya nauki i tekhniki. 2017. № 12. S. 60–66. EDN: ZXLUQT.
21. White W. The Practice of Flash Point Determination: A Laboratory Resource / by ed. R.G. Montemayor. West Conshohocken: ASTM, 2013. 91 p.
22. Vlachos W., Vlachos C.A. The Fire and Explosion Hazards of Commercial Oils. Vlachos & Co., 1921. 292 p.
23. Battle J.R. The Handbook of Industrial Oil Engineering. Philadelphia, London: J.B. Lippincott Co., 1920. 1296 p.
24. Non-Standard devices for determination of temperature flammability limits / S.G. Alexeev [et al] // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. Suppl. 1. P. S1–S12. DOI: 10.1134/S1070363221130326.

25. Ferraud J. Principes et Pratique des Essais Physiques et Chimiques Effectués sur les Produits Pétrolifère. Paris & Liège: Librairie Polytechnique Ch. Béranger, 1937. P. 127–142.
26. Bourgon L. Cours de Chimie Industrielle. Montréal: Imp. De l'École Technique de Montréal, 1930. № 3. P. 161.
27. Petroleum Testing Instruments. Linlot: Normalab Analis, 2007. 118 p.
28. Compendium of Environmental Laws of African Countries. Volume VIII: Sectoral Environmental Laws and Regulations. Nairobi: UNEP, 1998. P. ix, 87.
29. Appendice A 3. Epreuves relatives aux matières liquides inflammables des classes III a et IV a Memorial // Journal Officiel du Grand-Duché de Luxembourg. 1970. A–N 30. P. 697.
30. Ustrojstvo dlya opredeleniya temperatury vspyshki goryuchih zhidkostej v srede oksidov azota: A.S. 1402897 SSSR; MPK 4G01N25/52; zayavl. 24.04.1986; opubl. 15.06.1988 / Korolev V.M., Shchurin V.N., Mihalycheva E.A. 1988. № 22.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 05.06.2025; одобрена после рецензирования: 17.07.2025; принята к публикации: 02.09.2025

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 05.06.2025; approved after review: 17.07.2025; accepted for publication: 02.09.2025

*Информация об авторе*

**Алексеев Сергей Геннадьевич**, старший научный сотрудник Научно-инженерного центра «Надежность и ресурс больших систем и машин» Уральского отделения Российской академии наук (620049, г. Екатеринбург, ул. Студенческая, 54-а), кандидат химических наук, доцент, e-mail: 3608113@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2951-5078>, SPIN-код: 4563-2451

*Information about the author:*

**Alexeev Sergey G.**, senior researcher of Scientific and engineering center «Reliability and safety of large systems and machines» of Ural branch of Russian academy of sciences (620049, Yekaterinburg, Studencheskaia str., 54-a), candidate of chemical sciences, associate professor, e-mail: 3608113@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2951-5078>, SPIN-код: 4563-2451