

ПЕРВЫЕ НАФТОМЕТРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ ЖИДКОСТЕЙ. 4. ЗАКРЫТЫЕ И ДИСТИЛЛЯЦИОННЫЕ ТЕСТЕРЫ

С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, К. С. Алексеев, Н. М. Барбин

СЕРГЕЙ ГЕННАДЬЕВИЧ АЛЕКСЕЕВ – кандидат химических наук, доцент, научный консультант автономной некоммерческой организации «Уральский научно-исследовательский институт Всероссийского добровольного пожарного общества». E-mail: 3608113@mail.ru.

ВИТАЛИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ СМИРНОВ – старший преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве Уральского института государственной противопожарной службы МЧС России.

КИРИЛЛ СЕРГЕЕВИЧ АЛЕКСЕЕВ – кандидат технических наук, преподаватель Уральского государственного аграрного университета.

НИКОЛАЙ МИХАЙЛОВИЧ БАРБИН – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела Уральского института государственной противопожарной службы МЧС России, директор научно-исследовательского института физических и химических проблем и техносферной безопасности Уральского государственного аграрного университета.

620137, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Учителей 32. АНО «Уральский научно-исследовательский институт ВДПО».

620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22. Уральский институт ГПС МЧС России.

620075, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, д. 42. Уральский государственный аграрный университет.

Американская нефтяная революция 1859 года и изобретение керосиновой лампы способствовали наступлению керосиновой эры, когда свечное освещение было заменено керосиновым. Побочным эффектом этого явился рост пожаров и взрывов из-за применения небезопасного керосина. В связи с этим возникла потребность в разработке критериев безопасного керосина. Такими показателями выступили температура вспышки и воспламенения. Первый этап создания приборов для определения этих показателей начался в 1862 году и закончился в начале 20-го столетия. Он характеризуется разработкой аппаратов различных конструкций, одной из которых являются закрытые и перегонные тестеры. В статье рассматриваются, как известные закрытые аппараты Абея, Абея-Пенского, Пенски-Мартенса, Тага и их модификации, так и малоизвестные закрытые устройства Лезэби, Сент-Люсси, Энглера-Парриша, Ветте, Кли, Грзя, Лисов, Энглера, Думаноса, Хофманна, Писа, Скотта и Гаваловского. Проанализирован дистилляционный метод и прибор Розенблагда, которые не дожили до наших дней, однако идеи, заложенные в эти аппараты, с успехом используются в настоящее время.

Ключевые слова: керосин, нефтепродукт, температура вспышки, температура воспламенения, нафтометр, аппарат, прибор, тестер.

FIRST NAPHTOMETERS FOR DETERMINATION OF FLASH POINT OF LIQUIDS 4. CLOSED AND DISTILLATION TESTERS

S. G. Alexeev^{1,2,*}, V. V. Smirnov², K. S. Alexeev³, N. M. Barbin^{2,3}

¹Science and Engineering Centre “Reliability and Safety of Large Systems and Machines” of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.

²Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russia.

³Institute of Physical and Chemical Problems and Technosphere Safety of Ural State Agrarian University.

The American oil revolution of 1859 and the invention of a kerosene lamp contributed to the onset of the kerosene era when candle lighting was replaced by kerosene. The side effect of this was the growth of fires and explosions due to the use of unsafe kerosene. There was a need to develop criteria for safe kerosene. The fire (burning) and flash point of kerosene were chosen as such indicators. The first stage of creating instruments to determine these indicators began in 1862 and ended at the beginning of the 20th century. This stage is characterized by the development of apparatuses of various designs, one of which were closed and distillation testers. The article discusses both the world renowned closed apparatuses of Abel, Abel-Pensky, Pensky-Martens, Tag and their modifications, and a little known closed devices of Letheby, St. Lucia, Engler-Parrish, Vette, Klee, Gray, Leesee, Engler, Hofmann, Pease, Scott and Gawalowsky, which has not survived to the present day, but the ideas embodied in these devices are being successfully used at present.

Keywords: kerosene, oil product, flash point, fire point, naphthometer, apparatus, device, tester.

Ранее отмечалось, что американская нефтяная революция 1859 года способствовала появлению на рынке дешевого керосина и наступлению керосиновой эры, когда свечное было заменено на керосиновое освещение [1–5]. Повсеместное применение ламп, керогазов и других керосиновых приборов способствовало не только прогрессу, но привело также к росту пожаров и взрывов, обусловленных их несовершенством и применением небезопасного керосина. В связи с этим возникла нужда не только в создании безопасных приборов, но в установлении безопасного критерия для керосина и других осветительных масел, а также в разработке устройств для его экспериментального определения. В качестве таких параметров выступили температура вспышки и/или температура воспламенения. Во второй половине 19-столетия различными исследователями и инженерами предложено порядка 100 различных приборов, включая их модификаций. В предыдущих работах данной серии были рассмотрены следующие типы нефтометров: паровые аппараты, комбайн, открытый и полужакрытый тигли¹ [6–8]. Объектом исследования настоящей статьи является тестеры типа закрытый тигель и дистилляционного принципа действия.

¹ В 1860–1920-е гг. термины: нефтометр, прибор, аппарат, пирометр и тестер для определения температуры вспышки (воспламенения) рассматривались, как синонимы. Этот подход сохранен в настоящей работе.

Закрытый тигель

В настоящее время под аппаратами закрытый тигель понимают приборы, в которых тигель закрыт крышкой. Однако такой подход нельзя назвать удачным, так как многие образцы полужакрытых аппаратов и паровых приборов закрытого типа с источником зажигания также имеют крышку, поэтому авторы под нефтометрами типа закрытый тигель понимают закрытые аппараты, в которых кратковременное открытие крышки или отверстия происходит перед непосредственным воздействием источника зажигания. Тестеры типа закрытый тигель являются дальнейшим развитием открытых и полужакрытых приборов для определения температур вспышки и воспламенения, и по типу бани их можно разделить на 3 класса: нефтометры с жидкостной баней, аппараты с воздушной баней и закрытые паровые тестеры.

Приборы с жидкостной баней

В 1870 году на основе открытого прибора (рис. 1) по Нефтяному закону 1868 года (Petroleum Act 1868) Г. Лезэби (H. Letheby) сконструирован первый аппарат закрытого типа. Его конструкция состояла из стеклянного тигля, закрытого металлической крышкой и помещенного в водяную баню. Перед проверкой на вспышку крышка

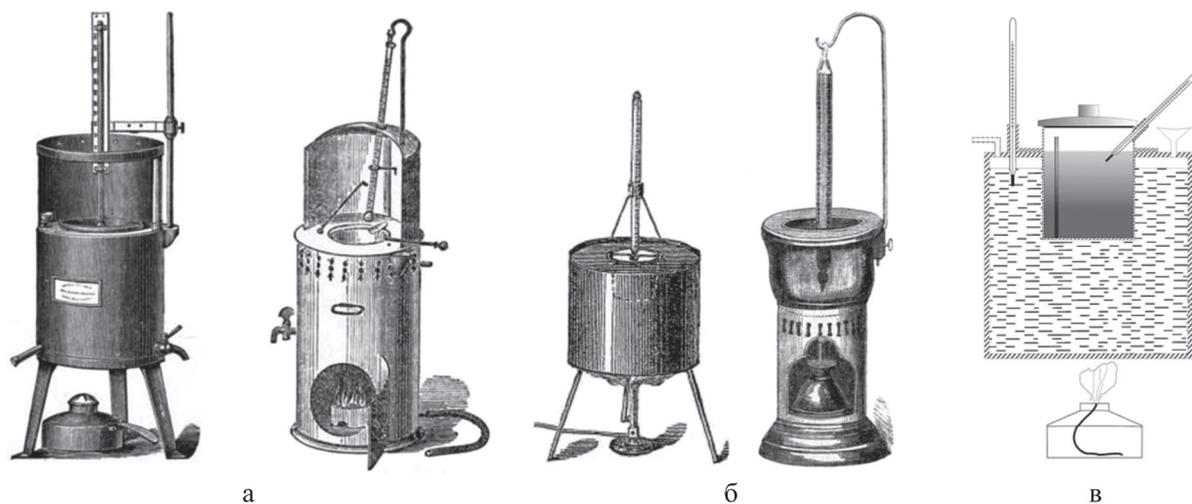


Рис. 1. Первые нефтометры для определения температуры вспышки

а – официальные аппараты по Нефтяному закону 1868 года [13-17]; б – неофициальные тестеры по Нефтяному закону 1868 года [18, 19]; легитимный прибор Сент-Люсси 1875 года

открывалась, после чего осуществлялось поджигание с помощью электрической искры [9–12]. Несмотря на то, что прибор Лезэби не был замечен Британским парламентом,² но его идея с открытием крышки была реализована в легитимном тестере Сент-Люсси (St. Lucia).

В Нефтяном постановлении (Petroleum Ordinance) Сент-Люсси 1875 года отмечается, что прибор для определения температуры вспышки состоит из жестяного или медного цилиндрического тигля высотой 2,5 дюйма и диаметром 2 дюйма и водяной бани 4,5×4,5 дюйма,³ оснащенного масляным термометром, индикаторным металлическим стержнем и стеклянной крышкой (рис. 1в). При достижении температуры 85 °F в водяной бане стеклянная крышка частично сдвигается в сторону, и запальное пламя подносится к индикаторному стержню. При отрицательном результате теста на вспышку, крышка закрывается и выше описанная процедура повторяется с интервалом через 1 градус до достижения вспышки паров керосина [20].

В 1876 году по заданию Британского правительства Ф. Абелем разработан революционный аппарат закрытого типа (рис. 2б) [11, 12, 22–27], который был создан на базе официальных приборов по Нефтяному закону 1868 года (рис. 1а) и полузакрытого тестера Т.У. Китеса (T.W. Keates, рис. 2а) [11, 21, 22].

² Юрисдикция Нефтяных законов 1862 и 1868 годов ограничивалась только территорией Англии, Уэльса, Шотландии и частично Ирландии, в других местах Британской империи действовали свои нормативно-правовые акты.

³ Для сравнения размеры масляного цилиндрического тигля по Нефтяному закону 1868 года составляли 2×2 дюйма, а водяной бани 4,5×4,5 дюйма [28].

Тестер Абеля (рис. 2б) состоит из латунного тигля диаметром 2 дюйма, глубиной 2,2 дюйма. Тигель имеет плотно закрывающуюся крышку оснащенной термометром, задвижкой с запальной горелкой и металлическим шаблоном-бусинкой для запального пламени. Крышка снабжена скользящей заслонкой, которая одновременно открывает три квадратных отверстия и вносит пламя запальной лампы в центральное отверстие (рис. 2в). Тигель с тестируемым керосином устанавливается в воздушную ванну диаметром 3 дюйма и 2,5 дюйма глубиной, которая, в свою очередь, помещена в водяную баню диаметром 5,5 дюймов и глубиной 5,75 дюйма, которая оборудована термометром, воронкой для заполнения и пароотводной трубкой (рис. 3б) [11, 12, 22–26].

При разработке методики испытаний в закрытом приборе Ф. Абелем учтена критика процедуры открытого теста по Нефтяному закону 1868 года [29–34], поэтому метод Абеля более детализирован по сравнению с методикой 1868 года. Перед испытанием проводятся подготовительные мероприятия, которые включают нагрев водяной бани до 130 °F (54,4 °C), установке размера запального пламени горелки по шаблону-бусинке (~0,15 дюйма в диаметре), заполнение масляного тигля по шаблону, смонтированному внутри тигля (см. рис. 3б), и установки крышки тигля с термометром. После помещения масляного тигля в воздушной бане аппарата начинают нагрев со скоростью не более 1 °F/мин. Для отсчета времени используется маятник с частотой 75–80 колебаний в минуту. При достижении температуры исследуемой жидкости 66 °F осуществляется первый тест на вспышку путем открытия заслонки. При отрицательном результате тест на вспышки

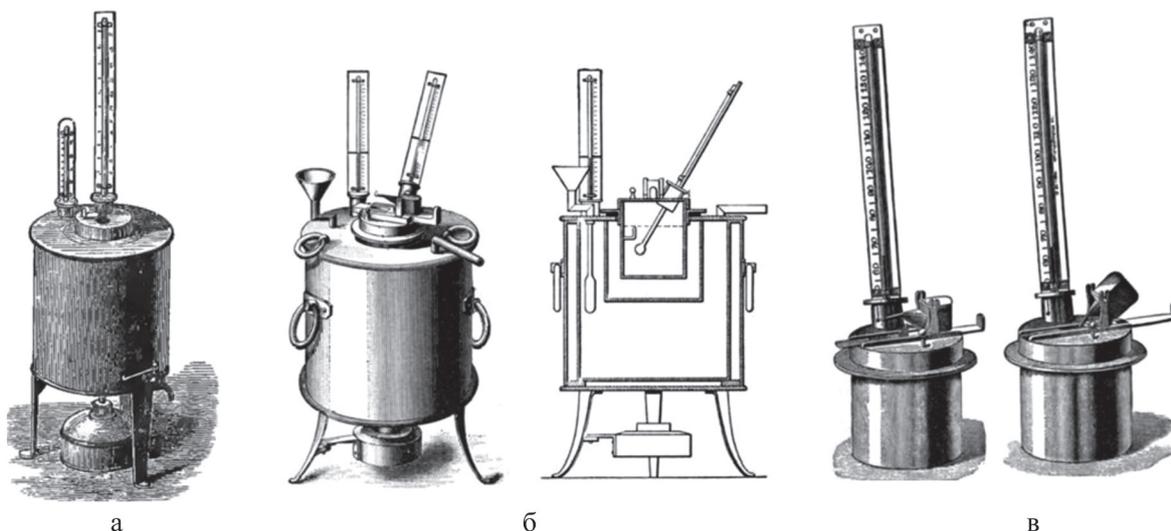


Рис. 2. Полузакрытый тестер Китеса (а) [11, 21, 22]; прибор Абеля образца 1876–79 годов (б); масляный тигель с закрытой и открытой заслонкой (в) [11, 12, 22–27]

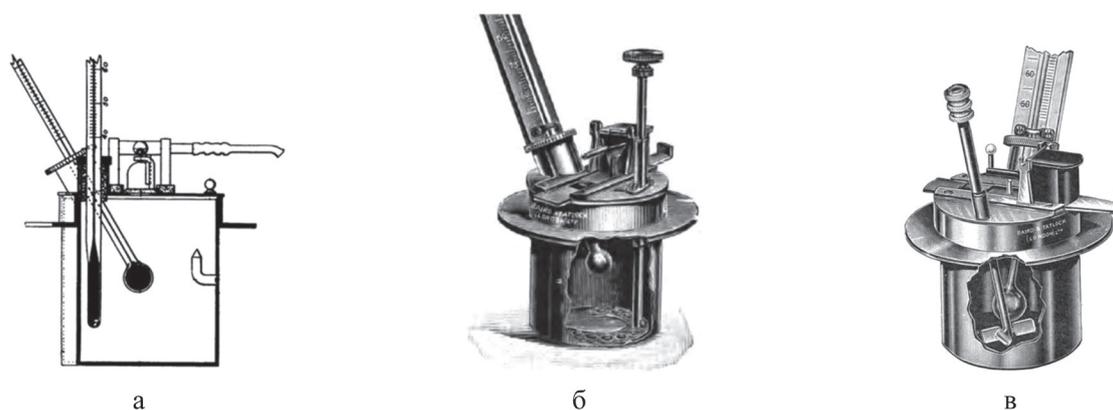


Рис. 3. Модифицированные тигли. Вариант с 2-мя термометрами (а) [38]; модель с аспиратором (б) [39]; тигель с мешалкой [41]

осуществляют через 1 градус до её достижения [12, 22, 25, 27, 35, 36].

Официальное принятие Британским парламентом метода и прибора Ф. Абеля в 1879 году привело к изменению значения лимита для безопасного керосина, который был уменьшен до 73 °F [35, 36]. В конце 1880-х годов прибор Абеля стал официальным нефтометром практически на всей территории Британской империи,⁴ а на рубеже 19 и 20-го столетий также имел хождение в Австрии, Дании, Норвегии, Швеции, Швейцарии⁵ и на Мальте [27, 37].

⁴В некоторых колониях и доминионах Великобритании также применялся колониальный вариант тестера Абель-Пенского.

⁵В Швейцарии официальное применение аппарата Абеля произошло позднее, а 80-е годы 19-го столетия активно применялись местные разработки (см. 3 часть нашей серии [8]).

Появление аппарата Абеля также послужило стимулом для его модификации и создания новых приборов на его основе. Б. Редвудом (B. Redwood) предложены различные варианты тигля: с двумя термометрами для определения температуры вспышки легкоплавких продуктов (рис. 3а) [38] и с аспиратором для испытания вязких жидкостей и эмульсий (рис. 3б) [39]. Однако вместо этих модификаций тигля в 1907 году был легализован вариант тигля с ручной мешалкой (рис. 3в), которая при необходимости легко демонтируется [25–27, 40, 41].

Энглером (Engler) на основе конструкций закрытого аппарата Абеля (рис. 2б), полузакрытого нефтометра Парриша (Parrish) [7] создан новый закрытый тестер, получивший название прибор Энглера-Парриша (рис. 4а). Основным его отличиями

являются: отсутствие водяного термометра; стеклянный тигель; новая крышка с секторальным ползунком и запальной трубкой, ручкой для поворота ползунка. Процедура испытаний не отличается от метода Абеля. Для осуществления теста на вспышку с помощью ручки производится кратковременный поворот ползунка, при котором запальная трубка совмещается с отверстием в крышке тигля [27, 39, 42–45].

В 1880 году немецким механиком Бертольдом Пенским (Berthold Pensky) проведена модификация английского аппарата путем установки часового механизма для внесения пламени запальной горелки (рис. 4б). Модернизированный аппарат получил название аппарат Абеля-Пенского (Abel-Pensky) или немецкий прибор Абеля [25, 40, 47]. В процессе практического использования тестера Абеля-Пенского возникли сомнения, что на результаты определения температуры вспышки горючих жидкостей может оказывать влияние атмосферное давление. Для проверки этой гипотезы в барокамере еврейской больницы города Берлина проведена серия экспериментов и создана специальная таблица поправок для

корректировки температуры вспышки для аппарата Абеля-Пенского к нормальному давлению [22, 27, 43, 47, 48].

Для калибровки тестера Абеля-Пенского разработан специальный шаблон (рис. 5). С его помощью можно проверить правильность установки и регулировки ключевых элементов нефтометра (рис. 6) [43, 47, 48].

По указу кайзера Вильгельма I (Kaiser Wilhelm I) от 24 февраля 1882 года прибор и метод Абеля-Пенского стали официальными в Немецком Рейхе [43, 49–52]. Также аппарат Абеля-Пенского применялся в России, Дании, Румынии, США и других странах [27, 37].

Следует отметить, что в приборе американского горного бюро (Bureau of Mines) по аналогии с аппаратом Пенски-Мартенса (см. рис. 10а) дополнительно установлена мешалка для перемешивания жидкой и паровоздушных фаз (рис. 7а) [53, 54]. В 1899 году Холде (Holde) разработана методика определения температуры вспышки низкокипящих нефтепродуктов с температурой вспышки ниже 0 °С, которая включает предварительное охлаждение в теплоизолированной двойной

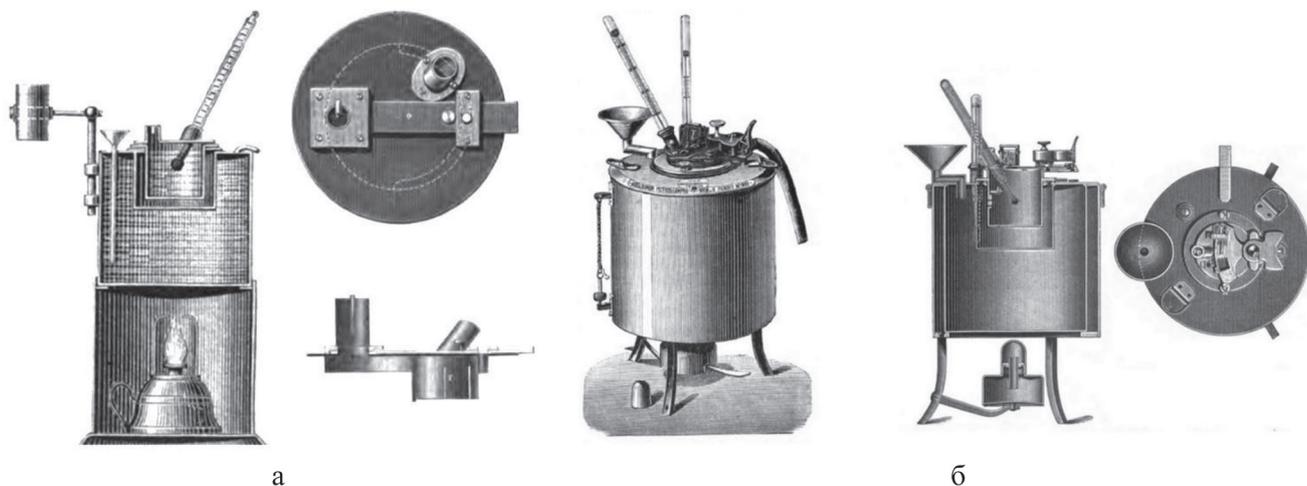
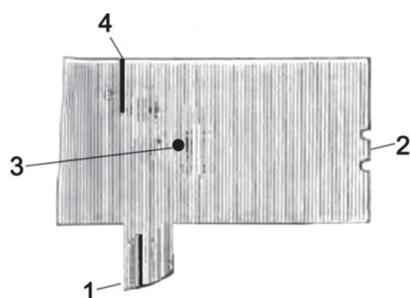


Рис. 4. Тестер Энглера-Париша (а) [39, 42-44]; аппарат Абеля-Пенского (б) [46, 47]



- 1 – выступ 17-19 мм с насечкой для контроля маркера уровня наполнения жидкости;
- 2 – шаблон для проверки правильности установки запальной горелки;
- 3 – штифт для контроля положения термометра;
- 4 – насечка для проверки длины фитиля

Рис. 5. Калибровочная пластина к прибору Абеля-Пенского [43, 47, 48]

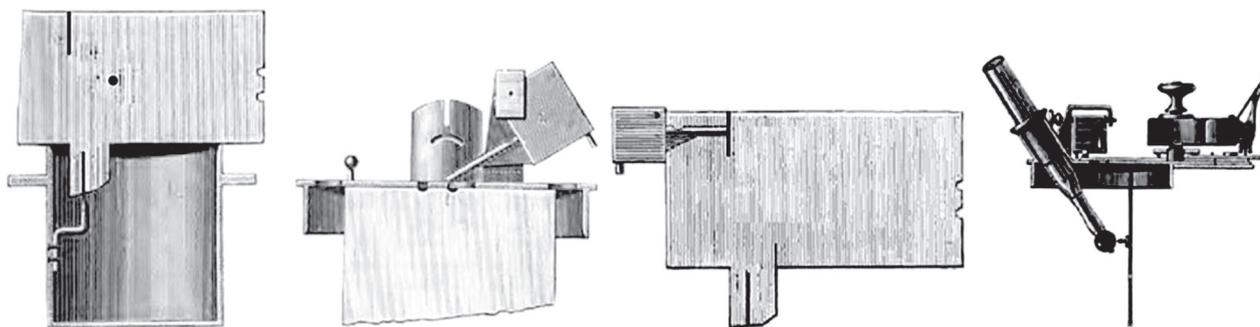


Рис. 6. Примеры калибровки прибора Абель-Пенского с помощью специального шаблона [47, 48]

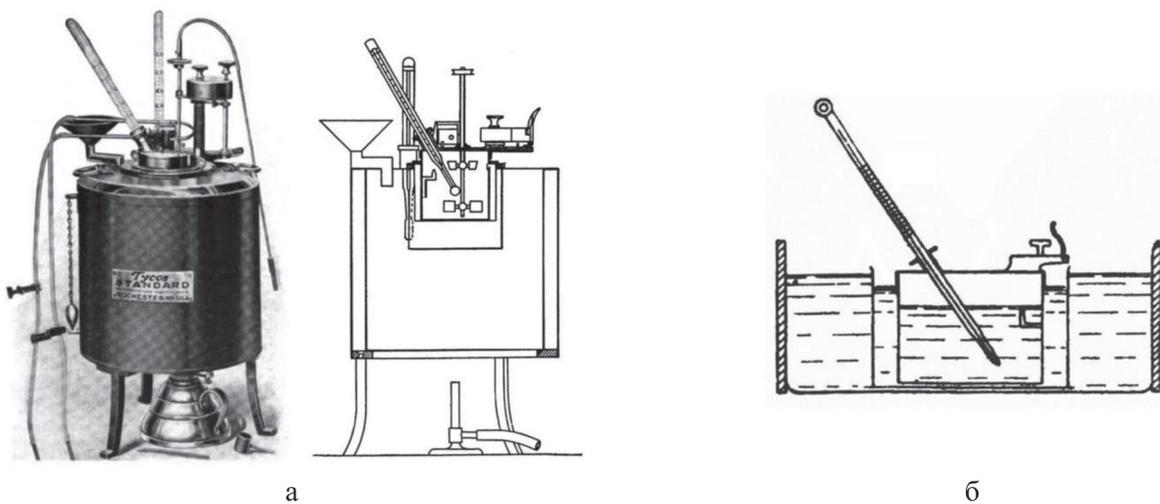


Рис. 7. Модели американского горного бюро (а) [53, 54, 59];
охлаждение тигля в двойной спиртовой бане (б) [56, 57]

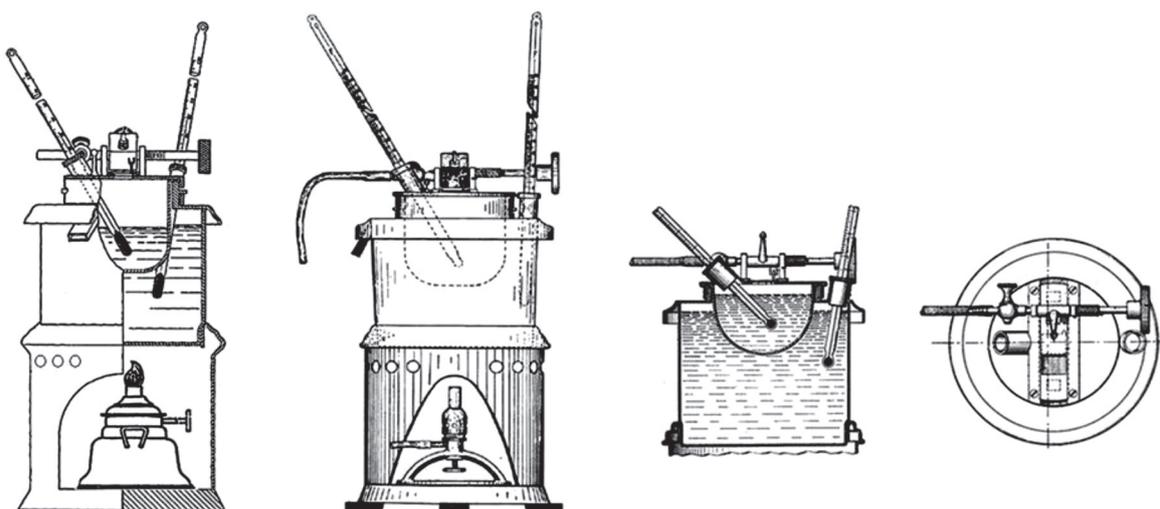


Рис. 8. Тестер Чарльза Тага [60, 63]

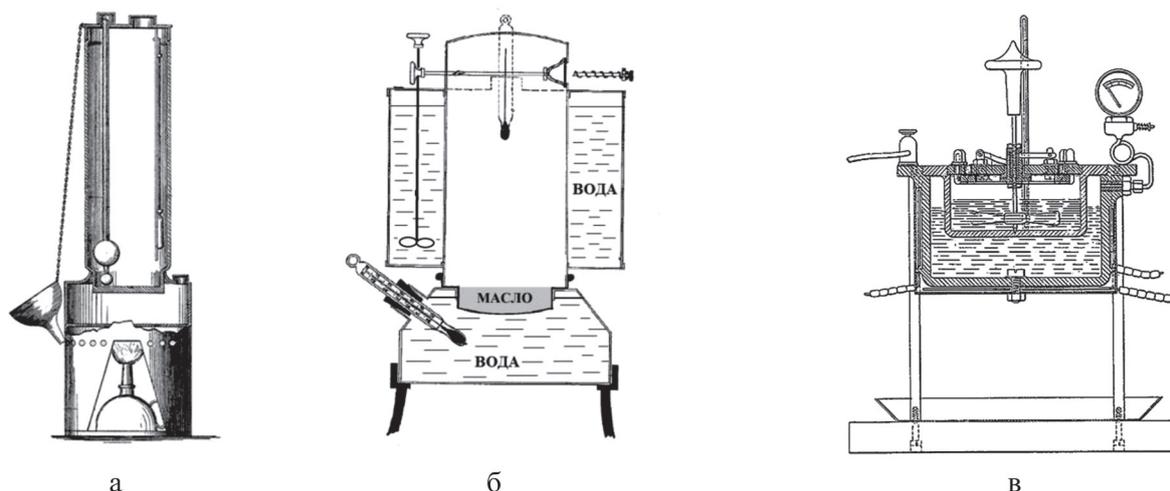


Рис. 9. Полузакрытый аппарат П. Милспу (а) [72], ламповый тестер Р. Ветте (б) [69], нафтометр Кли (в) [73]

спиртовой бани до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ с помощью сухого льда (рис. 76). Тестирование на вспышку производится после извлечения тигля из бани и утепления его с помощью асбестового полотенца при естественном росте температуры испытуемой жидкости [55–58].

В августе 1915 года появляется чисто американский прибор закрытого типа Чарльза Тальябу (Charles Tagliabue)⁶ [60], созданный на базе полузакрытого пирометра его отца Джузеппе Тальябу (Giuseppe Tagliabue) [6], а через три года аппарат Ч. Тальябу был закреплен в первых американских стандартах ASTM D28-18T, ASTM D56-19 и ASTM D56-22 для тестирования нефтепродуктов с температурой вспышки ниже $93\text{ }^{\circ}\text{C}$ [61–66]. Следует отметить, что в вышеназванных американских стандартах параметры масляного тигля регламентируются только по внутреннему диаметру (2,125 дюйма) и его массе (68 г), поэтому форма тигля в различных моделях тестера Тага (Tag)⁷ может отличаться от запатентованной формы тигля (рис. 8) [60]. В первых двух моделях прибора Тага, показанных на рисунке 8, установлена универсальная горелка К.М. Чапмэна (С.М. Charman), которая может работать как на газе, так и на масле [67].

В 1919 году предложена формула, описывающая линейную зависимость между температурами вспышки, полученных в приборах Абель-Пенского (А.-П.) и Тага [68].

$$T_{\text{всп}} (^{\circ}\text{F, А.-П.}) = 0.94 \times T_{\text{всп}} (^{\circ}\text{F, Таг}) - 1$$

Для испытаний горючих жидкостей с температурой вспышки более $150\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($65,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) в рассмотренных выше аппаратах Абеля, Абель-Пенского, Энглера-Парриша и Тага водяная баня заменяется на масляную.

Одним из направлений создания приборов для определения вспышки является разработка конструкций, в которых в той или иной степени моделировались бы процессы, протекающие в керосиновой лампе. Тестер Ричарда Ветте (Richard Vette) [69–71] является одним из представителей ламповых аппаратов.⁸ Основой для его создания выступила конструкция полузакрытого прибора П. Милспу (P. Millsaugh, рис. 9а) [72]. В аппарате Ветте в отличие от прототипа используется две водяных бани, дополнительно установлена мешалка в верхней водяной бани, 2 водяных термометра и пружинный затвор с ручкой для открытия отверстия в верхней части цилиндрического тигля (рис. 9б) [69].

Метод проверки безопасности керосина в ламповом тестере Ветте включает подогрев с помощью спиртовки тестируемого керосина на нижней водяной бани до $32\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$, затем с помощью этой же спиртовки при перемешивании нагревают верхнюю кольцевую водяную баню до $32\text{--}35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Примерно через 15 мин с помощи ручки открывают верхнее отверстие в тигле и подносят к нему запальное пламя. Если вспышки не происходит, то керосин (осветительное масло) относят к безопасной категории [69–71].

⁶Время указано по дате регистрации заявки (14.08.1915 г.), а патент на изобретение выдан позднее – 07.08.1917 г. [60].

⁷Таг (Tag) – сокращение от фамилии Тальябу (Tagliabue), которое с начала 20-го столетия по сей день используется для обозначения приборов и методов Ч. Тальябу.

⁸ К этой группе приборов также относится полузакрытый нафтометр С.С. Манна (S.S. Mann) [7, 74] и формально закрытый аппарат А. Гаваловского (A. Gawalowski) [27, 75].

В 1922 году Фредерик Г. М. Кли (Frederick H.M. Klee) запатентовал закрытый нефтометр с водяным автоклавом в качестве бани и автоматическим электроподжигом при открывании задвижки на крышке тигля (рис. 9в). В качестве достоинства данной конструкции отмечается легкая замена съемной крышки тигля, что например, позволяет его использовать в качестве перегонного куба при установке соответствующей крышки [73]. Также можно отметить, что использование автоклава вместо обычной водяной бани увеличивает верхний рабочий диапазон работы тестера. О практическом применении лампового прибора Ветте и нефтометра Кли ничего не известно.

Приборы с воздушной баней

В 1878 году появляется аппарат Пенски-Мартенса (Pensky-Martens, рис. 10а), который является дальнейшим развитием полузакрытого тестера Пенского (рис. 10б) для испытаний смазочных материалов с высокой температурой вспышки [27, 43, 46, 76]. Новый прибор имеет мешалку, предназначенную для перемешивания, как испытуемой жидкости, так и паровоздушной фазы. На крышке также располагаются масляный термометр и подвижная заслонка с запальной горелкой. Процедура испытаний предусматривает нагрев тестируемого образца со скоростью 5–6 °С/мин. При повышении температуры испытуемой жидкости на 20 °С ниже ожидаемой температуры вспышки перемешивание останавливается, и нажатием на рукоятку на крышке тигля открываются отверстия в тигле, и пламя запальной горелки вводится в его паровоздушное пространство. Тест на вспышку повторяют при каждом повышении температуры на 1 °С до его достижения [27, 46, 76].

В последующем появились различные модификации нефтометра Пенски-Мартенса с электрическим нагревом масляного тигля, с механическим приводом для мешалки и без неё (рис. 11а–г) [53, 58, 78–80, 83, 84]. Для равномерного нагрева воздушной бани тестера Пенски-Мартенса также предлагалось использовать ленточную горелку (рис. 11д) [81], а для уменьшения объема тестируемой пробы применять дополнительный конический тигель (рис. 11е) [82].

В качестве альтернативы прибору Пенски-Мартенса в 1891 году Дж. Грэм (J. Gray) разработал аппарат для испытания тяжелых смазочных материалов (рис. 12).

Конструкция тигля заимствована от тестера Абея и состоит из латунного тигля, соединенного с латунной воздушной баней. Тестер имеет универсальную мешалку для перемешивания жидкости и паровоздушной смеси по аналогии с нефтометром Пенски-Мартенса. В крышке тигля предусмотрены отверстия для установки термометра, внесения тестового пламени и выхода продуктов горения. Эти отверстия открываются с помощью специальной задвижки с использованием конической зубчатой передачи. Для нагрева тестируемого образца используется газовая горелка. Начальная скорость нагрева составляет 10 °F/мин, а за 10–15 градусов до ожидаемой температуры вспышки её снижают до 1 °F/мин. В остальном процедура испытаний мало отличается от метода Пенски-Мартенса [27, 38, 39, 85–88].

Аппарат Грэя наряду с прибором Пенски-Мартенса до начала 20-го столетия применялся в США Великобритании и других странах [27, 38, 39, 85–87, 89, 90], хотя не был официальным тестером.

В 1907 году Вальтером, Томасом, Вильямом и Арчибалдом Лисами (Walter, Thomas, William



Рис. 10. Прибор Пенски-Мартенса (а) [27, 46, 76], полузакрытый аппарат Пенского (б) [27, 43, 46, 76, 77]

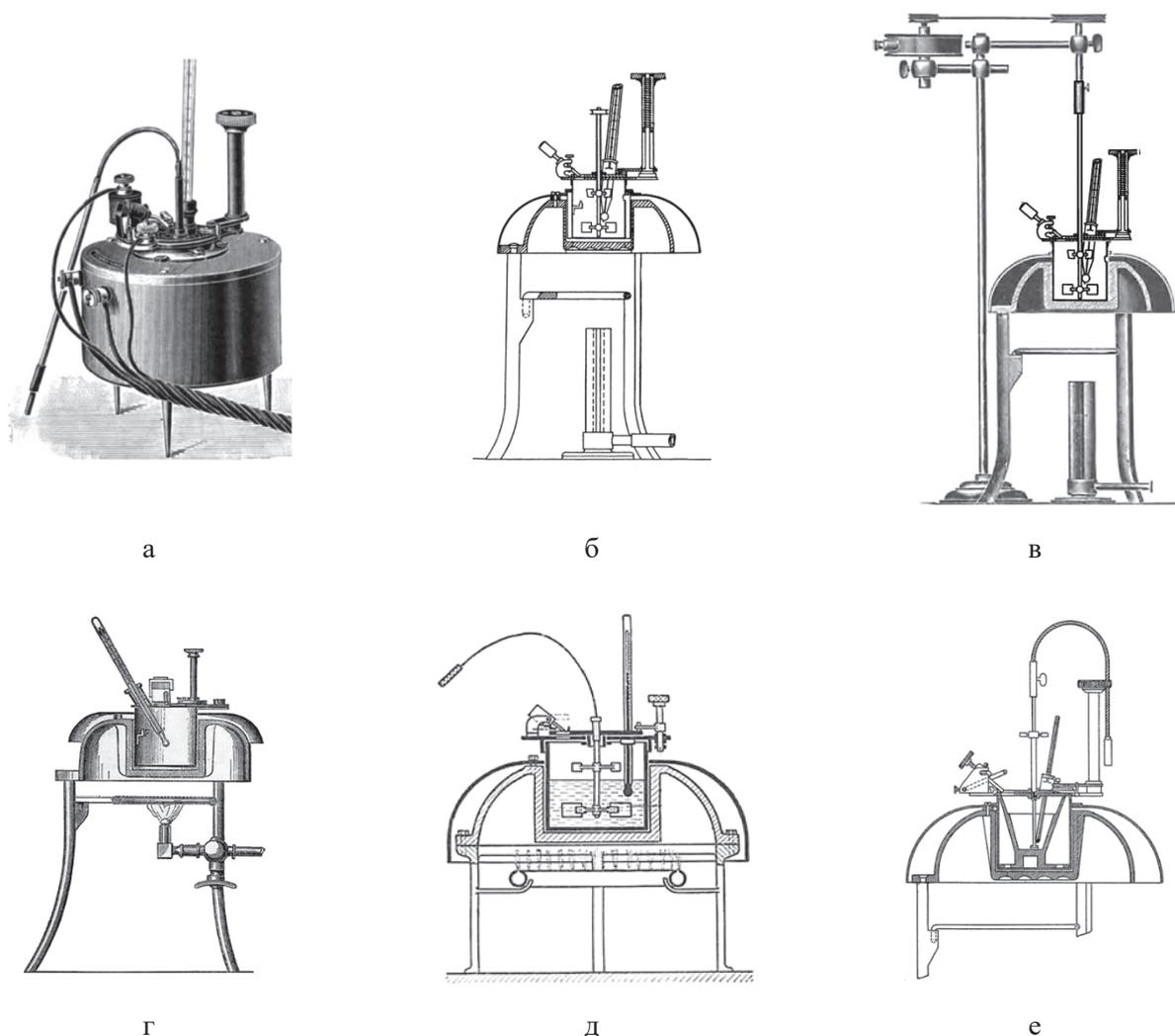


Рис. 11. Модификации нефтометра Пенски-Мартенса. Аппарат компании Артур Г. Томас (Arthur H. Thomas Co.) с электрическим нагревом (а) [58, 78, 79], прибор Американского горного бюро (б) [53], аппарат фирмы доктора Р. Хасе (R. Hase) с электромотором,⁹ комбинация тестеров Абеля-Пенского и Пенски-Мартенса (в) [77, 80], прибор с ленточной горелкой (д) [81], аппарат с дополнительным коническим тиглем (е) [82]

and Archibald Lees) запатентован аппарат для испытания высококипящих нефтепродуктов (рис. 13) [91], который конструктивно близок к тестеру Грэя. Данных о практическом применении прибора Лисов нет.

В литературе [27, 75] ламповый прибор А. Гаваловского (A. Gawalowski, рис. 9а) трактуется, как аппарат закрытого типа, хотя в полной мере он таковым не является. Особенностью этого нефтометра является то, что к крышке тигля присоединена горелка Бунзена с предохранительным кла-

паном, который поддерживается в открытом положении с помощью нити, пропитанной аммиачной селитрой. При вспышке керосиновоздушной смеси нить перегорает, что приводит к закрыванию предохранительного клапана (рис. 14). С помощью масляного термометра фиксируется значение температуры вспышки [27, 75].

Закрытые паровые нефтометры

Закрытые паровые приборы для определения вспышки являются прародителями современных тестеров для определения температурных пределов воспламенения органических жидкостей. Основные представители данного класса рассмотрены в третьей части нашей серии [8].

⁹ В первоисточниках [83, 84] на рисунке прибора Пенски-Мартенса фирмы доктора Р. Хасе не указана его полная оснастка (запальная горелка, термометр и поворотная задвижка). На рисунке 10в эти упущения исправлены авторами.

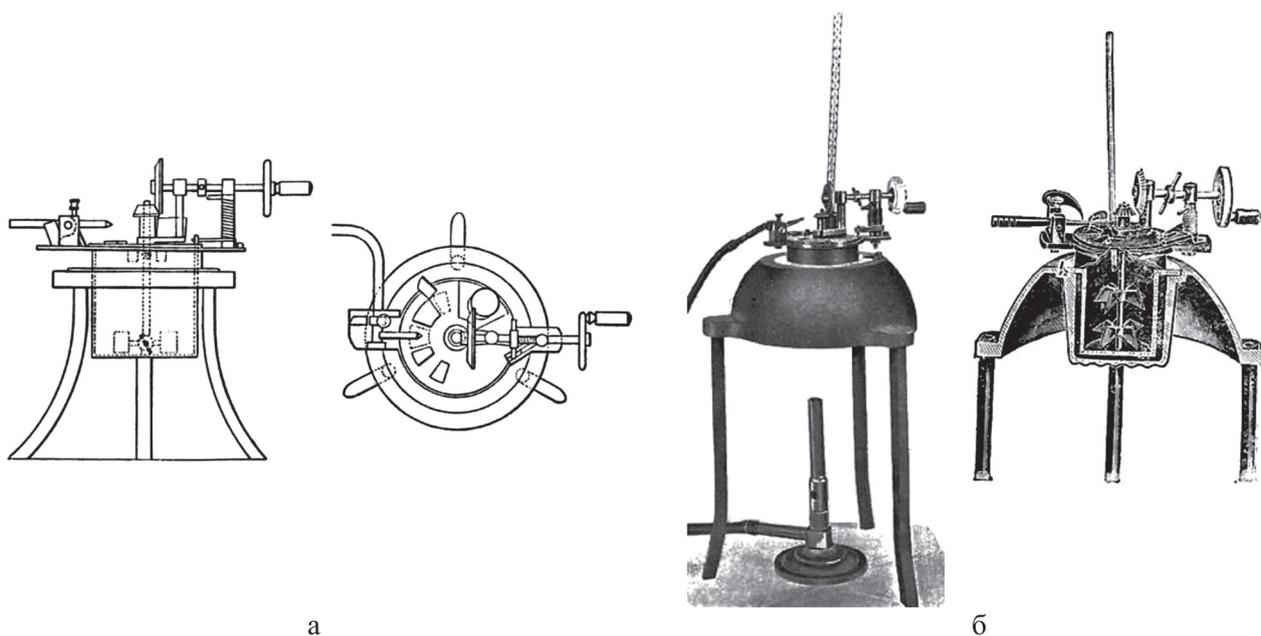


Рис. 12. Тестер Грэя. Лабораторный вариант (а) [87, 27], фабричная модель (б) [85]

Аппараты дистилляционного типа

При изучении пожарной опасности нефтепродуктов и керосина в первую очередь многими исследователями было установлено, что для повышения их температуры вспышки необходимо удалить легколетучие компоненты (фракции), так называемую нефту (*naphtha*, *naphtha*), что можно достичь только с помощью перегонки [92–101]. При этом ряд

исследователей отмечали, что фракционная перегонка может использоваться для оценки безопасности керосина [98, 99, 102]. В частности Ф.Ф. Бейльштейн (F.F. Beilstein) на вопрос Российской железнодорожной компании о безопасном керосине отвечал, что такой продукт должен содержать менее 5 % нефти и не более 15 % тяжелых фракций [102].

В 1886 году Т. Розенблатом (Т. Rosenblatt) предложен дистилляционный метод определения

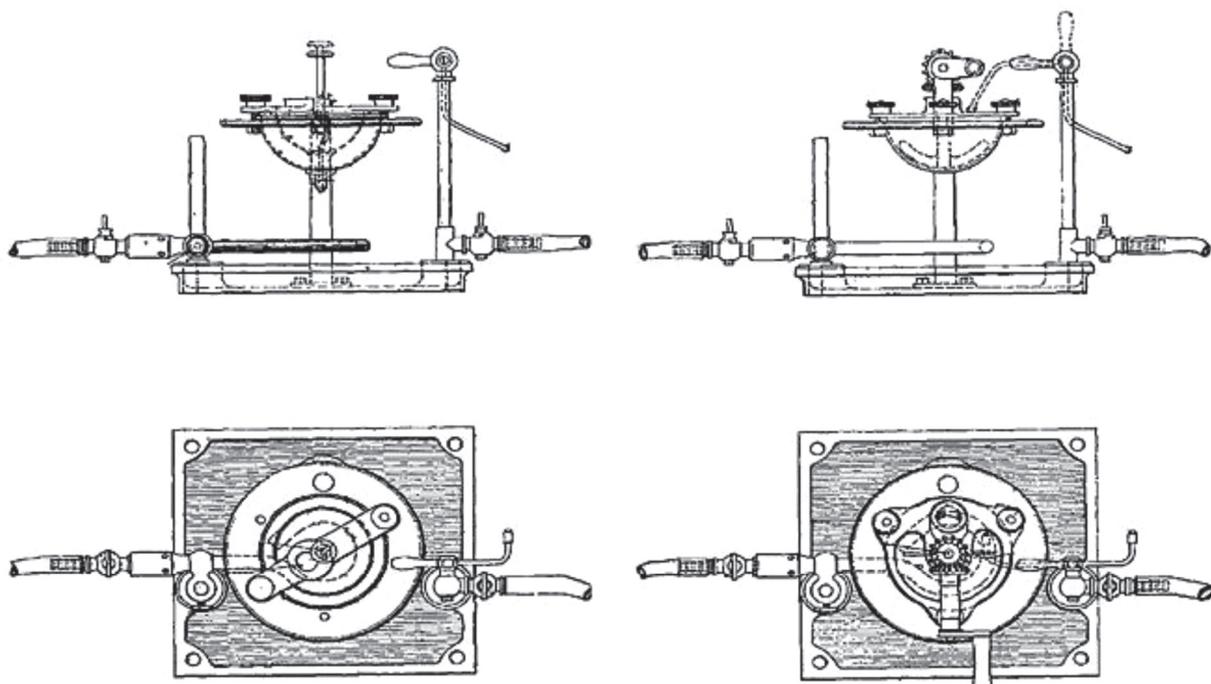


Рис. 13. Два варианта прибора Лисов [91]

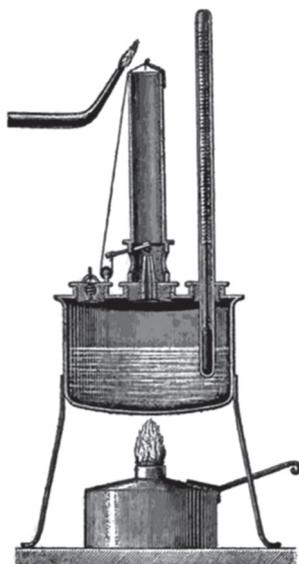


Рис. 14. Ламповый тестер Гаваловского [27, 75]

температуры вспышки для случаев, когда объем исследуемой жидкости слишком мал для проведения классических испытаний [27, 100, 101]. В качестве аппарата им использована мини-установка для перегонки с водяным паром (рис. 15), которая состоит из пробирки-парообразователя, закрытой пробкой с ртутным затвором Велтера (Welter) и изогнутой стеклянной трубки, склянки Вульфа (Wolff) емкостью 100–150 мл, обратного холодильника Либиха (Liebig), мерной пробирки и спиртовки.

При испытании склянку Вульфа заполняют 25 мл смеси керосин-вода (1:1) и теплоизолируют асбестовым одеялом и через слой этой смеси барботируют водяной пар, генерируемый в пробирке-парообразователе. После отбора первых 5 мл конденсата пробирка-сборник, заменяется на новую и собирается 5 мл новой партии конденсата. После он охлаждается до 15 °С и измеряется процентное соотношение воды и масляного слоя. С помощью специальной таблицы определяется температура вспышки тестируемого керосина.

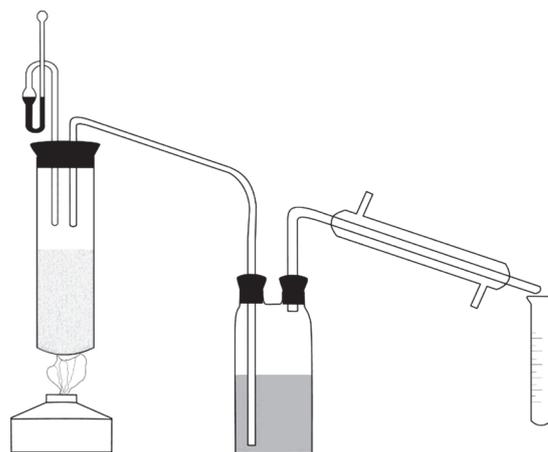


Рис. 15. Перегонный тестер Т. Розенбладта [27, 100, 101]

Заключение

Установки типа закрытый тигель появились позднее открытых и полуоткрытых тестов, но при их создании учитывались недостатки разработанных ранее приборов и методик для определения температуры вспышки, поэтому влияние человеческого фактора на результаты испытания в закрытых аппаратах незначительно по сравнению с другими типами нафтометров. В настоящее время методы Абея, Абея-Пенского и Пенски-Мартенса широко применяются в мире и закреплены в международных и национальных стандартах многих стран [4, 5, 62, 61].

Рассмотренные закрытые паровые нафтометры заложили основу для рождения новых показателей пожаровзрывоопасности – нижний и верхний температурные пределы воспламенения (распространения пламени), которые впервые появились в Советском союзе в 50-х годах прошлого столетия [8].

Идея использования перегонки в качестве метода оценки безопасности керосина трансформировалась в применение температуры кипения

Таблица

Зависимость температуры вспышки от доли масла в конденсате [27, 100, 101]

Температура вспышки, °С	Соотношение воды и масла в конденсате	Температура вспышки, °С	Соотношение воды и масла в конденсате
20	1 : 0,697	26	1 : 0,549
21	1 : 0,673	27	1 : 0,526
22	1 : 0,650	28	1 : 0,504
23	1 : 0,626	29	1 : 0,483
24	1 : 0,598	30	1 : 0,464
25	1 : 0,572	45	1 : 0,328

в качестве дескриптора, который с начала 20-го столетия по настоящее время часто в различных комбинациях предлагается для расчета температуры вспышки органических жидкостей [103].

Литература

1. Alexeev S., Smirnov V., Barbin N., Alexeeva D. Process Safety Progress. 2018. V. 37. № 2. P. 230. Doi: 10.1002/prs.11949.
2. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Вопросы истории естествознания и техники. 2018. Т. 39. №3. С. 508. Doi: 10.31857/S020596060001121-5.
3. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. История науки и техники. 2017. №12. С. 60.
4. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 5. С. 35.
5. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Техноферная безопасность. 2016. №4(13). С. 35.
6. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Российский химический журнал. 2018. Т. 62. № 3. С. 71.
7. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М. Российский химический журнал. 2019. Т. 63. № 00. С. 000.
8. Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Заринова К.А., Барбин Н.М. Российский химический журнал. 2019. Т. 63. № 00. С. 000.
9. Redwood B. Journal of the Society of Arts. 1886. V. 34. №1756. P. 883.
10. Redwood B. Petroleum and its Production and Use. New York: D. Van Nostrand, Publ. 1887. 210 p.
11. Thorpe E. A Dictionary of Applied Chemistry. New York: Longmans, Green, and Co. 1893. V. 3. P. 148.
12. Abel F.A. Journal of Society of Chemical Industry. 1882. V. 1. №12. P. 471. Doi: 10.1002/jctb.5000011203.
13. Encyclopædia of Chemistry. Theoretical, Practical, and Analytical as Applied to the Arts and Manufactures. Philadelphia: J.B. Lippincott & Co. 1879. V. 2. P. 551.
14. Die Industrie der Mineralöle / herausgegeben von H. Perutz. Wien: Druck und Verlag von Carl Gerold's Sohn. 1880. S. 30.
15. First Annual Report of the Board of Health of the Health Department of the City of New York. April 11, 1870, to April 10, 1871. New York: The New York Printing Co. 1871. P. 512.
16. Chandler C.F. The American Chemist. 1872. V. 3. №2. P. 41–43.
17. Otto A. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern. 1874. Heft 833. s. 16. Doi: 10.5169/seals-318885.
18. Leighton J.T. English Mechanic and World of Science. 1873. V. 18. №453. P. 271.
19. Jahrbuch der Erfindungen und Fortschritte auf den Gebieten der Physik und Chemie, der Technologie und Mechanik, der Astronomie und Meteorologie. 1870. bd. 6. S. 247.
20. The Laws of St. Lucia. Oxford: The Clarendon Press. 1889. p. 119.
21. Thomson J.H., Redwood B. Handbook on Petroleum. London: Charles Griffin & Co. 1901. 386 p.
22. Thomson J.H., Redwood B. Handbook on Petroleum. London: Charles Griffin & Co. 1913. 428 p.
23. A Textbook on Applied Chemistry. Scranton: International Textbook Co. 1902. P. 11.
24. Stillman T.B. Engineering Chemistry: a Manual of Quantitative Chemical Analysis for the Use of Students, Chemists and Engineers. Easton: Chemical Publ. Co. 1897. P. 405.
25. Redwood B. Petroleum. London: Charles Griffin & Co. 1913. V. 2. 428 p.
26. Elliott A.H. Methods and apparatus for testing inflammable oils: Report of State Board of Health of New York №45. Albany: Weed, Parsons and Co. 1882. 44 p.
27. Redwood B. Petroleum. London: Charles Griffin & Co. 1922. V. 3. 630 p.
28. The Public General Acts of the United Kingdom of Great Britain and Ireland anno Regni Victoriae, Britanniarum Regiae, Tricesimo Primo. London: Printed by George Edward Eyre and William Spottiswoode. 1868. P. 222.
29. Calvert F.C. The Journals of the Society of Arts and the Institutions in Union. 1870. V. 18. P. 290.
30. Paul B.H. The Chemical News and Journal of Physical Science. 1870. V. 21. №1. P. 2.
31. Jahres-Bericht über die Leistungen der chemischen Technologie. 1870. bd. 16. S. 697–713.
32. Chandler C.F. Report on the Quality of the Kerosene Oil Sold in the Metropolitan District. New York, D. Appleton & Co., 1870. 23 p.
33. Hutton W.R. Chemical News and Journal of Physical Sciences. 1869. V. 4. №3. P. 123.
34. Pharmaceutical Journal and Transactions. Second Series. 1869–70. V. 11. №9. P. 507.
35. The Metropolis Local Management Acts / by ed. E. H. Woolrych. London: Shaw and Sons, Fetter Lane and Crane Court. 1880. P. 715.
36. The Law of Fire Insurance / by ed. C. J. Bunyon. London: Charles and Edwin Layton. 1893. P. 360.
37. Duce J. Official Report of the State Inspector of Oils for the Year Ending December 31, 1913. Denver: The Smith-Books Printing Co. 1914. 15 p.
38. Campbell A. Petroleum Refining. London: Charles Griffin & Co. 1918. 340 p.
39. Hicks J.A. The Laboratory of Mineral Oil Testing. London: Charles Griffin & Co. 1906. 88 p.
40. Thorpe E. A Dictionary of Applied Chemistry. New York: Longmans, Green, and Co. 1913. V. 4. P. 139.
41. Tinkler C.K., Challenger F. The Chemistry of Petroleum and its Substitutes. A Practical Handbook. New York: D. Appleton and Co. 1915. P. 150.
42. Technische Analyse / herausgegeben von J. Post. Braunschweig: Druck und Verlag von Rriedrich Vieweg und Sohn. 1888–1889. bd. 1. 896 s.
43. Veith A. Das Erdöl (Petroleum) und seine Verarbeitung. Braunschweig: Druck und Verlag von Friedrich Bieweg und Sohn. 1892. 634 s.
44. Engler C. Chemiker-Zeitung. 1880. bd. 4. №47. S. 767.
45. Pharmaceutische Centralhalle für Deutschland. 1881. bd. 22. №50. S. 550.
46. Bibliothek für Nahrungsmittel-Chemiker / herausgegeben von J. Ephraim. Leipzig: Johann Ambrosius Barth (Arthur Meiner). 1894. bd. 3. S. 289.
47. Rakusin M.A. Die Untersuchung Das Erdöles und Seiner Produkte. Braunschweig: Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn. 1906. 295 s.
48. Долгинин В.К. Горный журналъ. 1887. Т. 1 (Март). С. 442.
49. Central-Blatt für das Deutsche Reich. 1882. bd. 10. №16. S. 196–205.
50. Pharmaceutische Centralhalle für Deutschland. 1882. bd. 23. №18. S. 197.

51. Chemisches Central-Blatt. Repertorium. Dritte Folge. 1882. bd. 13. №44. S. 693.
52. Chemiker-Zeitung. 1882. bd. 6. №23. S. 445.
53. *Allen I.C., Crossfield A.S.* The flash point of oils. Methods and apparatus for its determination: Technical Paper №49. Petroleum Technology №10. Department of Interior. Bureau of Mines. Washington: Government printing office. 1913. 31 p.
54. *Allen I.C., Crossfield A.S.* Loco. A Technical Magazine. 1914–1916. V. 5–6. P. 13.
55. *Holde D.* Chemische Revue Über Die Fett- Und Harz-Industrie. 1899. bd. 6. №8. S. 151. Doi:10.1002/lipi.18990060804.
56. *Holde D.* Untersuchung der Mineralöle und Fette. Berlin, Verlag von Julius Springer, 1905. S. 28.
57. Chemisch-Technische Untersuchungsmethoden / herausgegeben von G. Lunge. Berlin: Verlag von Julius Springer. 1900. bd. 3. S. 14.
58. Das Erdöl, seine Physik, Chemie, Geologie, Technologie und sein Wirtschaftsbetrieb / herausgegeben von C. Engler, H. von Höfer. Leipzig: Verlag von s. Hirzel, 1916. bd. 4. 800 s.
59. Laboratory Apparatus for Chemical, Industrial, Bacteriological, Biological, Board of Health and Soil Testing Laboratories. Catalog C. №218. Chicago: Central Scientific Co. 1918. P. 376.
60. *Tagiabue C.J.* Pat. 1236123 USA. 1917.
61. *White W.* The Practice of Flash Point Determination: A Laboratory Resource / by ed. R. G. Montemayor. West Conshohocken: ASTM. 2013. 91 p.
62. Manual on Flash Point Standards and Their Use: Methods and Regulations / by ed. H. A. Wray. Philadelphia: ASTM. 1992. 168 p.
63. Technical Paper No 298. Department of Interior. Bureau of Mines. Washington: Government printing office. 1922. 64 p.
64. A.S.T.M. Standards issued Triennially 1921. Philadelphia: ASTM. 1921. 903 p.
65. Report of Committee on Standardization of Petroleum Specifications. Bulletin №5. (Effective December 29, 1920). Washington: Bureau of Mines. 1921. P. 669.
66. Proceedings of the Twenty-First Annual Meeting (Held at Atlantic City, New Jersey, June 25–28, 1918). Philadelphia: ASTM. 1918. P. 685.
67. *Chapman C.M.* Pat. 1275223 USA. 1918.
68. *Mackenzie K.G., Edgerly D.W., Walker R.O.* Oil, Paint and Drug Reporter. 1919. V. 96. №15. P. 21.
69. *Vette R.* Pat. 15492 Deutschen Reiche. 1881.
70. Dingler's Polytechnisches Journal. 1882. bd. 243. S. 476.
71. *Vette R.* Chemisches Central-Blatt. Repertorium. Dritte Folge. 1881. bd. 12. s. 812.
72. *Millsbaugh P.* Pat. 127259 USA. 1872.
73. *Klee F.H.M.* Pat. 185814 Great Britain. 1922.
74. *Mann S.S.* Pat. 204235 USA. 1878.
75. *Brannt W.T.* Petroleum: its History, Origin, Occurrence, Production, Physical and Chemical Constitution, Technology, Examination and Uses. Together with the Occurrence and Uses of Natural Gas / by ed. H. Hofer, A. Veith. Philadelphia: Henry Carey Baird & Co. 1895. P. 445.
76. *Aisinman S.* Taschenbuch für die Mineralöl-Industrie. Berlin: Verlag von Julius Springer. 1896. S. 66.
77. *Schaedler C.* Die Technologie der Fette und Oele der Fossilien (Mineralöle). Leipzig: Baumgärther's Buchhandlung. 1887. S. 440.
78. Laboratory Apparatus and Reagents. Philadelphia: Arthur H. Thomas Co. 1914. P. 368.
79. *Holde D.* Untersuchung der Kohlenwasserstofföle und Fette. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH. 1913. S. 173.
80. *Wright C.R.A.* Animal and Vegetable Fixed Oils, Fats, Butters, and Waxes. London: Charles Griffin & Co. 1894. P. 126.
81. *Gerhards M.W.* Ölmaschinen ihre theoretischen Grundlagen und deren Anwendung auf den Betrieb unter besonderer Berücksichtigung von Schiffsbetrieben. Berlin: Verlag von Julius Springer. 1921. S. 46.
82. *Kaisha N.S.K.* Pat. 364328 Great Britain. 1932.
83. *Schmitz L.* Die Flüssigen Brennstoffe ihre Gewinnung, Eigenschaften und Untersuchung. Berlin: Verlag von Julius Springer. 1912. S. 111.
84. *Schmitz L.* Chemiker-Zeitung. 1909. bd. 33. №124. S. 1107.
85. *Fraye P.J., Weston F.E.* Technical Handbook of Oils, Fats and Waxes. Cambridge: Cambridge University Press. 1920. V. 2. P. 209.
86. Technical Methods of Chemical Analysis / by ed. G. Lunge. London: Gurney and Jackson. 1914. V. 3. Part 1. P. 79.
87. *Dyson S.S.* Practical Testing of Raw Materials. London: Lewis Jameson & Co. 1901. P. 70.
88. *Gray J.* Journal of the Society of Chemical Industry. 1891. V. 10. №4. P. 348. Doi: 10.1002/jctb.5000100402.
89. *Wright A.C.* The Analysis of Oils and Allied Substances. New York: D. Van Nostrand Co. 1903. P. 54.
90. *Kewley J.* The Petroleum and Allied Industries. New York: D. Van Nostrand Co. 1922. P. 291.
91. *Lees W., Lees T.W., Lees A.* Pat. 27036 Great Britain. 1906.
92. *Biel J.* Dingler's Polytechnisches Journal. 1879. bd. 232. S. 354.
93. *Barrau d'A.* Comptes Rendus. 1871. T. 73. P. 490.
94. *Jacobi R.* Dingler's Polytechnisches Journal. 1870. bd. 195. S. 379.
95. *Beilstein F., Kurbatow A.* Berichte Der Deutschen Chemischen Gesellschaft. 1880. bd. 13. №2. S. 1818. Doi: 10.1002/cber.188001302143.
96. *Beilstein F.* Chemisches Central-Blatt. Dritte Folge. 1885. bd. 16. №15. S. 286.
97. *Kissling R.* Chemisches Central-Blatt. Dritte Folge. 1885. bd. 16. №15. S. 288.
98. Journal of the Society of Chemical Industry. 1905. V. 24. №15. P. 838. Doi: 10.1002/jctb.5000241502.
99. *Харичков К.В.* Записки Императорскаго русскаго технического общества. 1901. №5. С. 385.
100. *Rosenbladt Th.* Chemiker-Zeitung. 1886. bd. 10. №102. S. 1587.
101. *Rosenbladt Th.* Journal of the Society of Chemical Industry. 1887. V. 6. №4. P. 304. Doi: 10.1002/jctb.5000060401.
102. *Beilstein F.* Zeitschrift für Analytische Chemie. 1883. bd. 22. №1. S. 309. Doi: 10.1007/BF01338143.
103. *Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Алексеев К.С., Барбин Н.М.* Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. №3. С. 30.