

ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ВСПЫШКИ И ВОСПЛАМЕНЕНИЯ В ОТКРЫТОМ ПРИБОРЕ КЛИВЛЕНДА

С.Г. Алексеев,¹ К.С. Алексеев,² Б.А. Лукичев,³ Н.М. Барбин⁴

¹Научно-исследовательский отдел, Уральский научно-исследовательский институт Всероссийского добровольного пожарного общества, ул. Учителей, 32, Екатеринбург, Российская Федерация, 620137

²Аналитический отдел, DV Consulting, ул. Большая Тульская, 25/38, Москва, Российская Федерация, 129085

³Урало-Сибирская коллегия адвокатов, ул. Тверитина, 34/9, Екатеринбург, Российская Федерация, 620026

⁴Учебно-научный комплекс пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России, ул. Мира, 22, Екатеринбург, Российская Федерация, 620062

E-mail: 3608113@mail.ru, brigalider@gmail.com, lukichev_b@mail.ru, NMBarbin@mail.ru

На сегодняшний день актуальность применения метода Кливленда неоспорима. Метод определения температур вспышки и воспламенения в открытом приборе Кливленда широко применяется для тестирования тяжелых нефтепродуктов в большинстве стран мира. При этом перспективы развития данного метода далеко не исчерпаны. Подтверждением этому являются разработка новых версий стандартов ASTM D92 и ISO 2592, а также предложения о дальнейшей модификации метода Кливленда и его прибора. В работе определено, что метод Кливленда возник за несколько десятилетий до появления стандарта ASTM D92-21T по определению температур вспышки и воспламенения в открытом приборе Кливленда. Рассмотрены первые модели тестера Кливленда, которые были разработаны на основе аппаратов Треуманна, Тальябу и Брауна. Показано, что фактическими прототипами оборудования по стандарту ASTM D92 являются не первые варианты аппаратов тестеры Кливленда, а приборы Ассоциации Американских железных дорог и военно-морских сил США. В 1924 г. стандарт ASTM D92 приобретает статус официального и полноценного стандарта. В дальнейшем эволюция стандарта ASTM D92 в основном связана с совершенствованием пробоподготовки, методики определения температур вспышки и воспламенения и обработки результатов тестирования. Рассмотрено появление и эволюция стандарта ISO 2592 по определению температур вспышки и воспламенения в открытом приборе Кливленда. Показаны отличия стандартов ASTM D92 и ISO 2592 их аналогов. Рассмотрены нестандартные модификации тестера Кливленда и примеры современных аппаратов. Дан прогноз дальнейшего развития исследовательского оборудования, основанного на методе Кливленда.

Ключевые слова: температура вспышки, температура воспламенения, Кливленд, тестер, пожар

EVOLUTION OF TEST METHOD FOR FLASH AND FIRE POINTS BY CLEVELAND OPEN CUP TESTER

S.G. Alexeev,¹ K.S. Alexeev,² B.A. Lukichev,³ N.M. Barbin⁴

¹Research Department, Ural Research Institute of the All-Russian Voluntary Fire Society, Teachers Str., 32, Yekaterinburg, 620137, Russian Federation

²Analytical department, DV Consulting, Bolshaya Tula Str., 25/38, Moscow, 129085, Russian Federation

³Ural-Siberian collegium of lawyers, Str.Tveritina, 34/9, Yekaterinburg, 620026, Russian Federation

⁴Educational and scientific complex of fire extinguishing and conducting emergency rescue works, Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of EMERCOM of Russia, Mira Str., 22, Yekaterinburg, 620062, Russian Federation

E-mail: 3608113@mail.ru, brigalider@gmail.com, lukichev_b@mail.ru, NMBarbin@mail.ru

Today, the relevance of the Cleveland method is undeniable. The method for determining flash and fire points by the Cleveland open cup is widely used to test heavy petroleum products in

many countries. However, the prospects of developing this method are far from exhausted. This is confirmed by the development of new versions of ASTM D92 and ISO 2592, as well as proposals for further modification of the Cleveland method and its tester. There is found that the Cleveland method occurred several decades before the appearance of the standard ASTM D92-21T for the determination of flash and fire temperatures in an open Cleveland instrument. The first models of the Cleveland tester were based on the devices of Treumann, Tagliabue and Brown, are considered. Shown that the real prototypes of equipment according to ASTM D92 were not the first versions of the Cleveland testers, but the instruments of the American Railroad Association and the United States Navy. In 1924, ASTM D92 became an official and complete standard. The further evolution of ASTM D92 is mainly related to improved sample preparation, methods for determination of flash and ignition temperatures and processing of test results. The emergence and evolution of the ISO 2592 standard for the determination of flash and ignition temperatures in open Cleveland instrument is considered. The differences between the ASTM D92 and ISO 2592 standards are shown. Non-standard modifications of the Cleveland tester and examples of modern machines have been considered. There is a forecast of further development of the Cleveland method and its tester.

Keywords: flash point, fire point, Cleveland, tester, fire

Для цитирования:

Алексеев С.Г., Алексеев К.С., Лукичев Б.А., Барбин Н.М. Эволюция метода определения температур вспышки и воспламенения в открытом приборе Кливленда. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2025. Т. LXIX. № 2. С. 129–155. DOI: 10.6060/rcj.2025692.15.

For citation:

Alexeev S.G., Alexeev K.S., Lukichev B.A., Barbin N.M. Evolution of test method for flash and fire points by Cleveland open cup tester. *Ros. Khim. Zh.* 2025. V. 69. N 2. P. 129–155. DOI: 10.6060/rcj.2025692.15.

ВВЕДЕНИЕ

Нефть и нефтепродукты до сих являются объектом для их изучения и анализа. Для этого используются различные методы и подходы [1-5]. В частности, метод Кливленда (Cleveland) применяется для определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле нефтепродуктов и других жидких, вязких и легкоплавких продуктов с температурой вспышки не менее 79 °C (175 °F). Данный метод является международным (наднациональным), поскольку легализован стандартами большинства стран мира (ASTM D92, IP 36, AASHTO T46, ISO 2592, DIN 51376, JIS K 2265-4, AFNOR T60-118, IS 1448 [P:69], INEN 808, INEN-ISO 2592, NBR 11341, SNI 2433, INV E 709, FDUS 2940, NTC 5009, ME-26, MTC E 303, MRD TM 403, NAVFAC MO-330, COVENIN 372, COVENIN 3361, DMMS ASTM D92-18, A0106, NC-ASTM D92, NMX-T-139-SCFI-2005, AS 2585, SS-EN ISO 2592, WHO/M/11.R1, ГОСТ 4333, ГОСТ 33141, СТБ 1651, СТБ ISO 2592 и др. [5-42]).

На сегодняшний день актуальность применения метода Кливленда неоспорима. При этом пер-

спективы развития данного метода далеко не исчерпаны. Подтверждением этому являются разработка новых версии стандартов ASTM D92 и ISO 2592, а также предложения о дальнейшей модификации метода Кливленда и его прибора.¹ Следует также отметить, что во всех действующих стандартах, в которых описывается метод Кливленда, допускается применение автоматических приборов, конструкция которых может выполняться изготовителями по своему усмотрению, но с обязательным требованием к новым аппаратам о том, что результаты испытаний не должны отличаться от ручного способа определения температур вспышки и воспламенения.

В статье рассмотрена эволюция метода Кливленда, начиная от аналогов аппаратов Треуманна, Тальябу и Брауна, заканчивая современными и нестандартными моделями тестера Кливленда, также сделан прогноз дальнейшего развития данного метода.

ПЕРВЫЕ ВАРИАНТЫ ПРИБОРА КЛИВЛЕНДА

Возникновение методов определения температур вспышки и воспламенения фактически-

¹ В настоящей работе термины «тестер, прибор, аппарат, нефтометр» используются как синонимы.

связано с двумя важными событиями XIX века, с изобретением львовским аптекарем Игнатием Лукасевичем (Ignacy Łukasiewicz) в 1853 г. керосиновой лампы и американской нефтяной революцией 1859 г. [13, 43-50].

Название метода Кливленда указывает, что его рождение связано с американским городом Кливленд в штате Огайо (Ohio), в котором с 1870 по 1911 г. располагалась штаб-квартира компании «Стандарт Ойл» (“Standard Oil”). Данная компания к 1879 г. контролировала порядка 90% всей нефтепереработки в США [51, 52]. Необходимо отметить, что тенденция использования наименований американских штатов и городов в названиях методов и приборов для определения температуры вспышки во второй половине 19-го столетия была обычной практикой в США. При этом названия методов и тестеров обычно характеризовали территорию их применения.

В литературе [13, 53] отмечается, что метод Кливленда появился в период с 1908 по 1920 г. XX в., однако первые упоминания о методе и аппарате Кливленда и/или об открытом приборе компании «Стандарт Ойл» для определения температуры вспышки относятся к 1877–1891 г. [54-57]. Однако в этих работах нет описания самого тестера, только отмечается, что он относится к открытому типу [55, 57].

В 1897 г. Томасом Стиллменом (Thomas B. Stillman) было отмечено, что тестер Кливленда аналогичен прибору, приведенному на рисунке 1а, за исключением того, что в нем используется медный тигель, а асбестовая пластина заменена на песчаную баню [58]. В последующем им также было указано, что аппарат Треуманна (Treumann, см. рис. 1б) фактически является близким аналогом аппарата Кливленда [59]. Внешний вид прибора Кливленда приведен на рисунке 3б [60, 61]. Высота тигля составляла 1 дюйм, а его диаметр - 2,5 дюйма [60]. Данный вариант прибора Кливленда практически совпадает с нафтометром (рис. 2б), который на рубеже XIX–XX веков использовался в лаборатории железной дороги долины Лихай (Lehigh Valley Railroad или LV) [62] и в компании железных дорог в Пенсильвании (Pennsylvania Railroad или PRR) [63-65]. Данное обстоятельство не является удивительным либо невероятным, поскольку компания «Стандарт Ойл» тесно сотрудничала со всеми американскими железнодорожными компаниями [66] и вполне могла способствовать адаптации метода Треуманна в США.

Следует также признать, что в лаборатории компании «Стандарт Ойл» использовался не только аппарат Треуманна, но и прибор, представленный на рис. 2а, но только с медным тиглем [58].

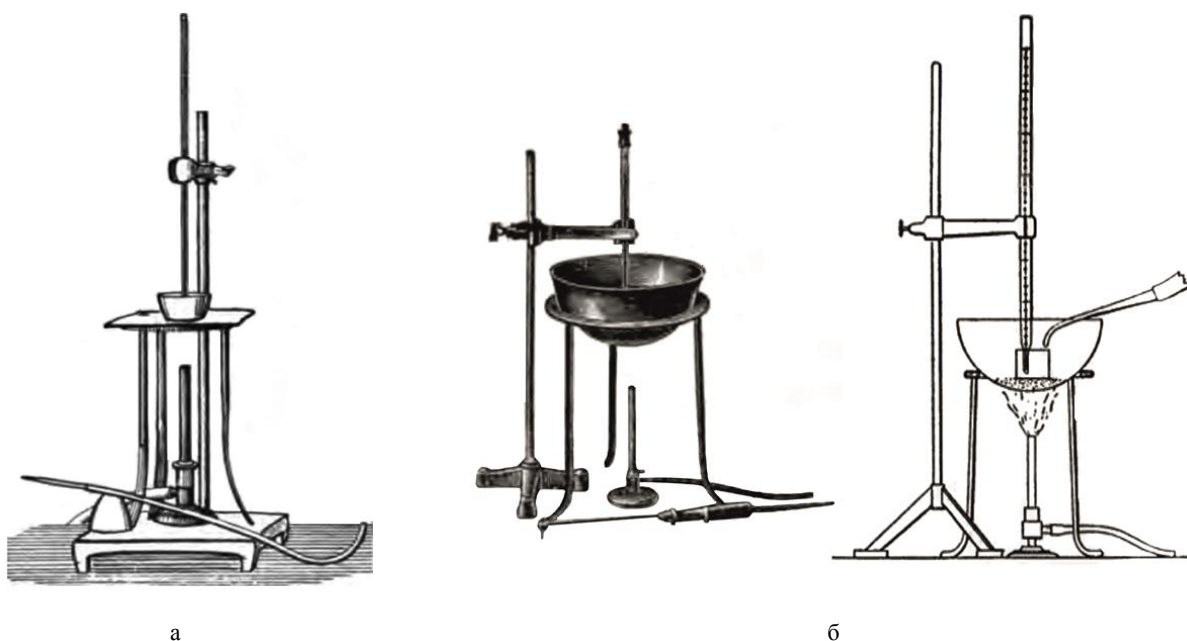


Рис. 1. Аналоги тестера Кливленда; а – открытый тигель [45], б – нафтометр Треуманна [45]
Fig. 1. Analogues of the Cleveland tester; а – open crucible [45], б – Treumann naphthometer [45]

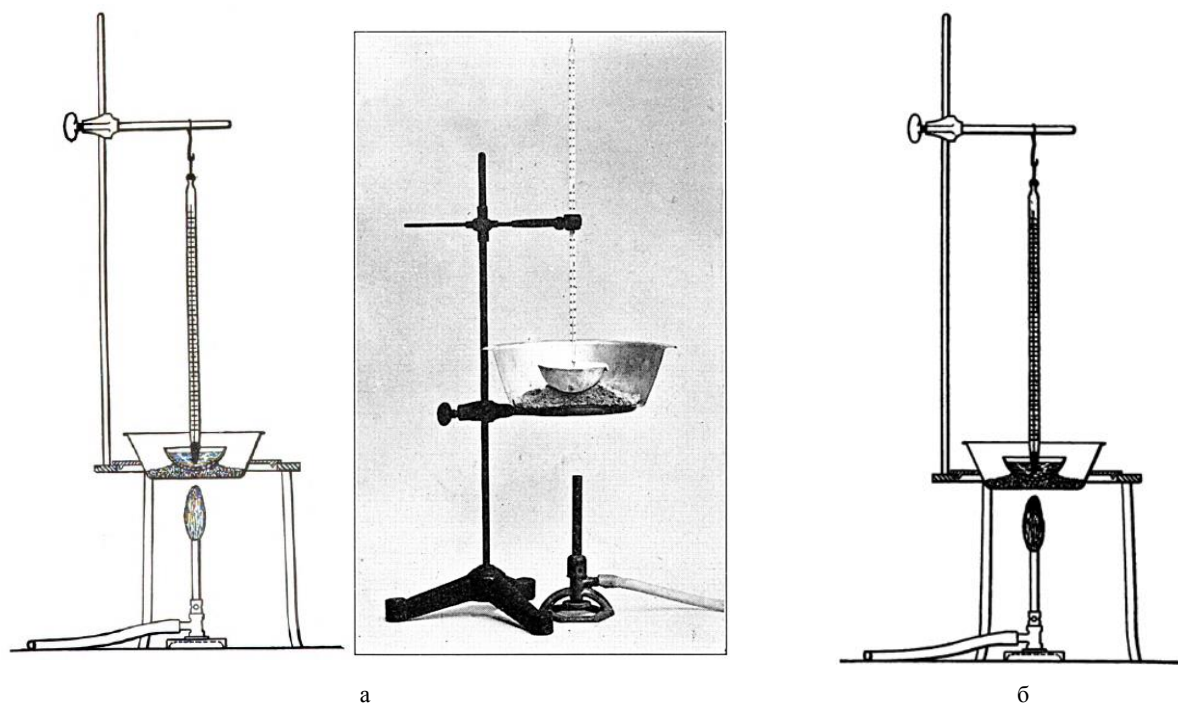


Рис. 2. Аналоги прибора Треуманна; а – тестер Кливленда [58, 60, 61]; б – аппарат Управления железных дорог в Пенсильвании [63, 64]

Fig. 2. Analogues of the Treumann device; а – Cleveland tester [58, 60, 61]; б – apparatus of the Pennsylvania Railroad Administration [63, 64]

В начале XX в. появляются указания, что для определения температур вспышки и воспламенения нефтепродуктов, включая смазочные материалы, можно применять один из вариантов открытого тигля Джона Тальябу (John Tagliabue, см. рис. 3а) [67, 68]. При этом допускается использование, как водяной, так и песчаной бани [68]. В это же время выходит целый цикл работ, в которых приводится открытый прибор Кливленда конструктивно близкий к нафтометру Джона Тальябу (рис. 3б) [69-80]. Отличие данного тестера от прототипа заключается только в использовании воздушной бани. Для испытательных лабораторий предложены коммерческие варианты открытого тестера с большим и маленьким тиглями (рис. 3в,г) [81-91]. Объем большого тигля составляет 90–100 мл, а маленького от 30 до 50 мл. В случае тестирования цилиндрических масел уровень зеркала жидкости должен быть на $\frac{1}{2}$ " ниже верхнего края тигля. Для других нефтепродуктов этот показатель заполнения тигля составляет $\frac{3}{8}$ " [76, 92-96]. При этом отмечено, что хорошие результаты достигаются при длине запального пламени не более 5 мм. При этом любые вариации с размерами и формой тигля и скоростью

нагрева² могут приводить к заметным ошибкам определения температур вспышки и воспламенения [76].

В начале 20-го столетия в практической деятельности компании «Юнайтед Рэйлвайз» (United Railways Co.) применялась модификация прибора Кливленда с песчано-воздушной баней (рис. 3д) [97]. Упрощенный вариант прибора Кливленда использовался американским горным бюро до появления стандарта ASTM D92 [98].

Прибор Кливленда на основе открытого нафтометра Джона Тальябу и Брауна локально применялся в США до начала четвертого десятилетия XX века [99]. Его также можно рассматривать в качестве прототипа открытого тестера Фернанда Куртуа (Fernand Courtois) [45].

В 1911 г. было сообщено о редком варианте прибора Кливленда (рис. 4а) [100], который по принципу работы близок к ранее рассмотренным полужакрытым аппаратам Брауна (рис. 4б) [47]. Отмечено [100], что данный аппарат Кливленда широко применялся для определения температуры вспышки тяжелых нефтепродуктов в военно-морских силах США в начале 20-го столетия.

² Рекомендуемая скорость нагрева – 10 °F/мин [76].

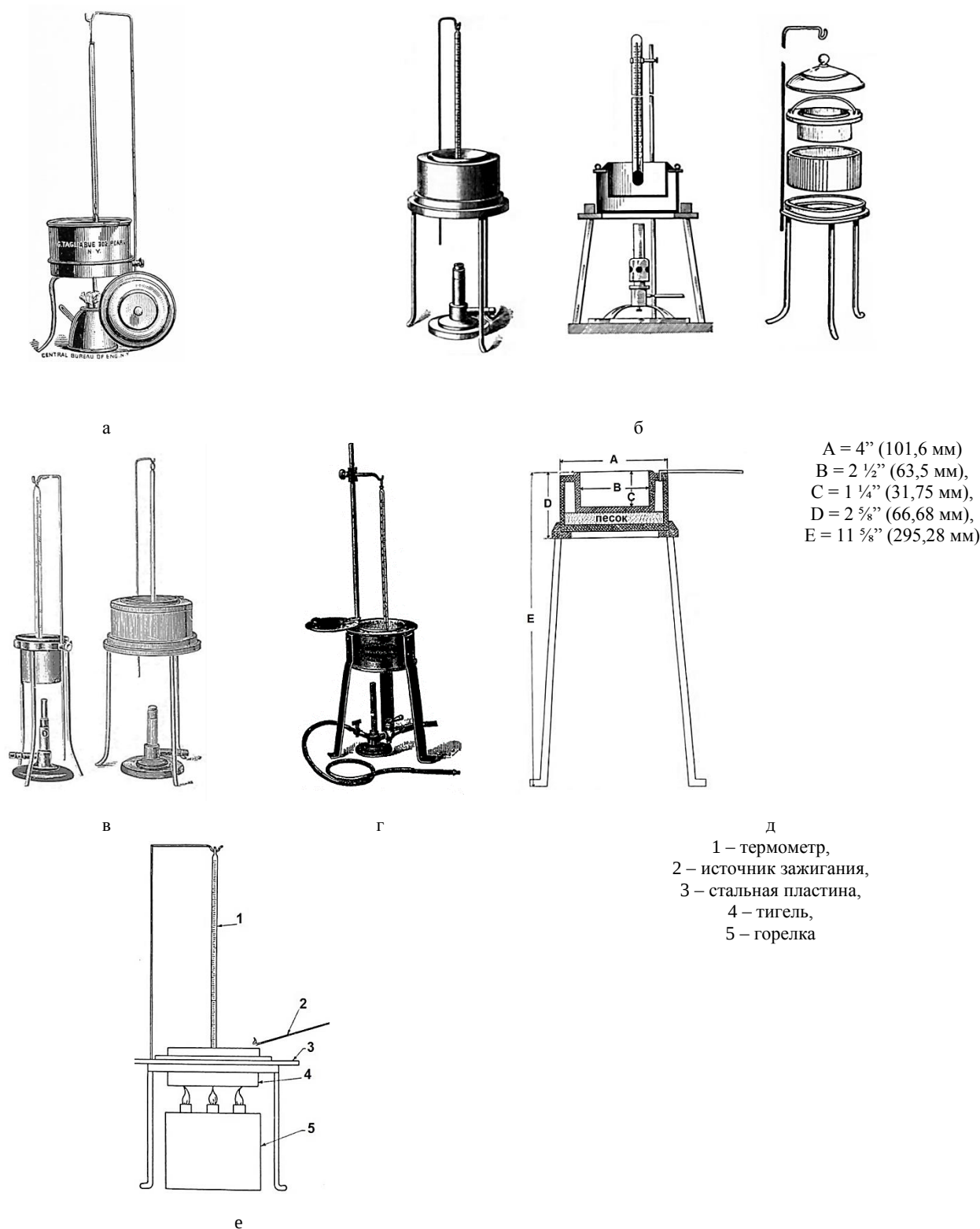


Рис. 3. Открытые аппараты; а – прибор Джона Тальябу компании Джузеппе Тальябу (Giuseppe Tagliabue) [67, 68], б – тестеры Кливленда [69–80]; в – коммерческие варианты нафтометра Кливленда [81–89]; г – модификация аппарата Кливленда с крышкой [90]; д – прибор компании «Юнайтед Рэйлвайз» [97]; е – прибор Горного бюро США (US Bureau of Mine) [98]

Fig. 3. Open apparatuses; а – John Tagliabue's device from Giuseppe Tagliabue's company [67, 68]; б – Cleveland testers [69–80]; в – commercial versions of the Cleveland naphthometer [81–89]; г – modification of the Cleveland apparatus with a lid [90]; д – United Railways device [97]; е – US Bureau of Mine device [98]

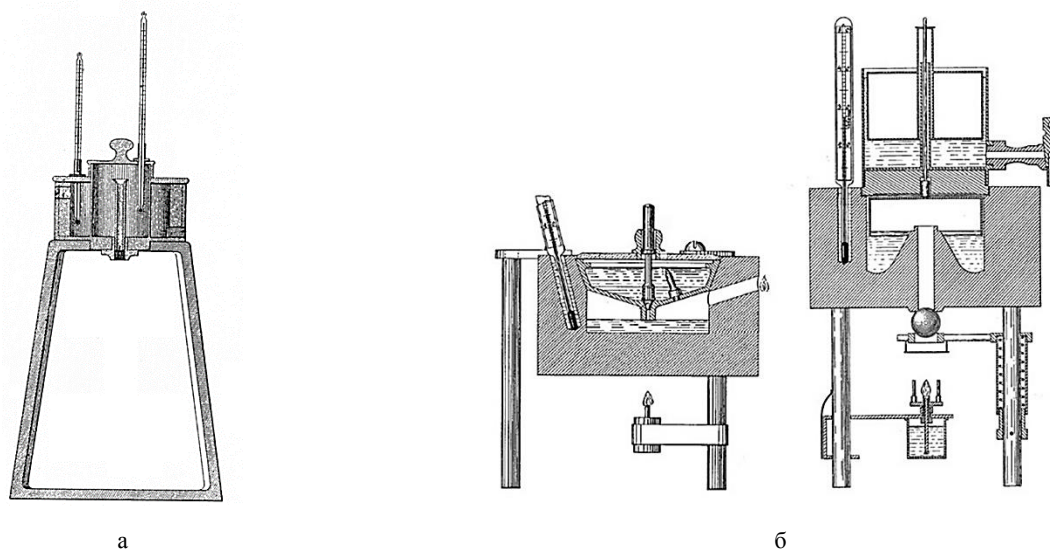


Рис. 4. Полузакрытые тестеры; а – Кливленда [100], б – Брауна [47]
Fig. 4. Semi-closed testers; a – Cleveland [100], б – Brown [47]



Рис. 5. Прибор ВМС США [102]
Fig. 5. US Navy device [102]

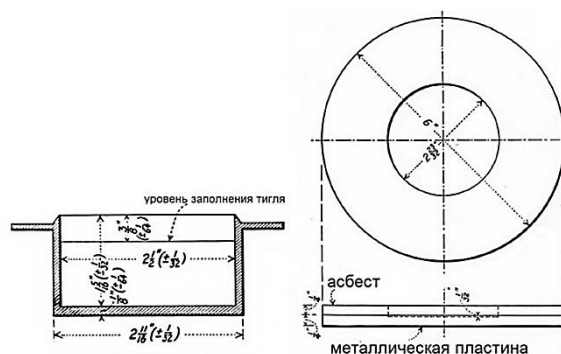


Рис. 6. Латунный тигель и нагревательная пластина по ASTM D92-21T [105]
Fig. 6. Brass crucible and heating plate according to ASTM D92-21T [105]

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ASTM D92

Одним из прототипов аппарата по стандарту ASTM D92 является тестер Ассоциации Американских железных дорог (American Railroad Association), который состоит из открытого тигля и латунного диска диаметром 5" (12,7 см) и толщиной $\frac{1}{4}$ " (0,635 см) смонтированного на треноге. Термометр устанавливается по центру тигля на расстоянии $\frac{1}{8}$ " (0,318 см) от дна. После заполнения тигля испытуемым образцом до отметки $\frac{1}{2}$ " (1,27 см) от его верха подводят газовую горелку и нагревают образец со скоростью 10 °F/мин (5,6 °C/мин) до температуры примерно на 25 °F (13,9 °C) ниже предполагаемой температуры вспышки. Далее осуществляют

тест на вспышку через каждые 5 °F (2,8 °C) с помощью тестовой горелки с диаметром пламени $\frac{1}{8}$ " (0,318 см) [101].

На рис. 5 приведен другой прототип прибора по стандарту ASTM D92 – аппарат ВМС США [102]. В тигле этого тестера имеется две метки на расстоянии $\frac{1}{4}$ " и $\frac{3}{8}$ " от его верха для заполнения жидкостей с температурой вспышки до и выше 425 °F (218,3 °C) соответственно [103]. Конструктивно данный прибор является модификацией грубого метода определения температуры вспышки [45, 104].

В 1921 г. метод и новый прибор Кливленда закрепляется в пробном стандарте ASTM D92-21T³ [105, 106]. В данном документе отсутствует детальное описание нового тестера Кливленда, но

³ Буква «Т» в индексе стандарта взята от английского слова Tentative (предварительный, пробный).

нормируются два основных его элемента – латунный тигель и нагревательная пластина (рис. 6). При этом отмечается, что металлический диск нагревательной пластины может быть выполнен из любого подходящего металла [105, 106]. В ASTM D92-21T [105, 106] указывается, что данный метод применяется для всех продуктов, за исключением топливных масел, с температурой вспышки выше 175 °F (79,4 °C). Процедура испытаний включает следующие этапы:

- 1) исключают влияние движения воздуха в слегка затемненном помещении лаборатории;
- 2) устанавливают тигель на нагревательной пластине и заполняют его тестируемым образцом до соответствующей метки в тигле. При этом на поверхности жидкости не должно быть пузырьков;
- 3) опускают термометр в жидкость на глубину $\frac{1}{4}$ " (0,635 см) от поверхности образца, устанавливают длину тестового пламени примерно $\frac{5}{32}$ " (0,397 см) и нагревают тигель со скоростью нагрева 9–11 °F/мин (3,3–6,0 °C/мин) с помощью газовой горелки;
- 4) тестирование на вспышку осуществляют через каждые 5 °F до определения температуры вспышки;
- 5) после определения температуры вспышки испытание продолжают до фиксации температуры воспламенения. При этом отмечается, что временной период между температурами вспышки и воспламенения должен составлять не менее 5 с.

В стандарте ASTM D92-21T [105, 106] также отмечается, что истинную температуру вспышки нельзя путать с голубоватым ореолом, который иногда окружает запальное пламя.

В 1923 г. появляется стандарт ASTM D92-23T [107, 108], в нем внесены следующие изменения и уточнения:

- 1) металлический диск нагревательной пластины изготавливается из латуни, или чугуна, или стали. В нем сделано отверстие диаметром $2\frac{3}{16}$ " (5,26 см);
- 2) до 100 °F (37,8 °C) скорость нагрева тигля составляет до 30 °F/мин (16,7 °C/мин), а затем 9–11 °F/мин (5–6 °C/мин).

Через 1 г. стандарт ASTM D92 фактически без каких-либо изменений⁴ становится полноценным официальным нормативным документом [110].

После появления первых версий стандарта ASTM D92 различными производителями аналитического оборудования сразу же были предложены разнообразные коммерческие варианты стандартного прибора Кливленда (рис. 7а-д) [111–116].

В Канаде в конце 1920-х г. на основе стандарта ASTM D92-21T был разработан метод № 110.31. В данном методе латунный тигель заменен на бронзовый тигель диаметром 64 мм ($2\frac{1}{2}$ ") и высотой 30 мм ($1\frac{1}{8}$ "). При определении температуры вспышки тигель с пробой устанавливается на металлическую пластину толщиной 6,35 мм ($\frac{1}{4}$ "), а не на двухслойную нагревательную пластину. Метод тестирования горючих жидкостей не отличается от стандарта ASTM D92-21T, однако в нем нет указаний о возникновении воспламенения не менее через 5 с после вспышки при скорости нагрева 5–6 °C/мин (9–11 °F/мин) [117]. Канадский вариант нефтометра Кливленда показан на рис. 7е. Данный прибор также использовался в США [118].

В версии стандарта ASTM D92 от 1933 г. для сокращения времени испытаний первоначальный нагрев до 100 °F (55,6 °C) или до температуры, по крайней мере, на 50 °F (27,8 °C) ниже температуры вспышки, проводится со скоростью 30 °F/мин (16,7 °C/мин), а затем снижается до 9–11 °F/мин (5–6,1 °C/мин). Из указания о температурной границе применения стандарта (не ниже 175 °F) убрано уточнение по методу Кливленда, а также температурные показатели приведены как в градусах Фаренгейта, так и в градусах Цельсия [119].

В стандарте ASTM D92-45 методика определения температур вспышки и воспламенения не претерпевает каких-либо изменений, но впервые устанавливается прецизионность метода Кливленда [120], а через 1 г. она была уточнена (табл. 1) [121].

При переходе от стандарта ASTM D92-46 к стандарту ASTM D92-52 изменения коснулись только возможности применения термометров нефтяного института (Petroleum Institute) вместо термометров ASTM [122].

В 1950-е годы на рынке появляются первые аппараты Кливленда с электрическим нагревом, в которых газовая горелка заменена на электрическую печь (рис. 8 и 9) [135–139]. При испытаниях галогенсодержащих и некоторых других продуктов органических продуктов нередко наблюдается потухание запальной горелки, поэтому в таких случаях было предложено использование дополнительной горелки (рис. 9) [138].

⁴ Исключение составили битумные материалы, для которых рекомендован одноступенчатый нагрев тигля со скоростью 9–11 °F/мин (5–6 °C/мин) [109].

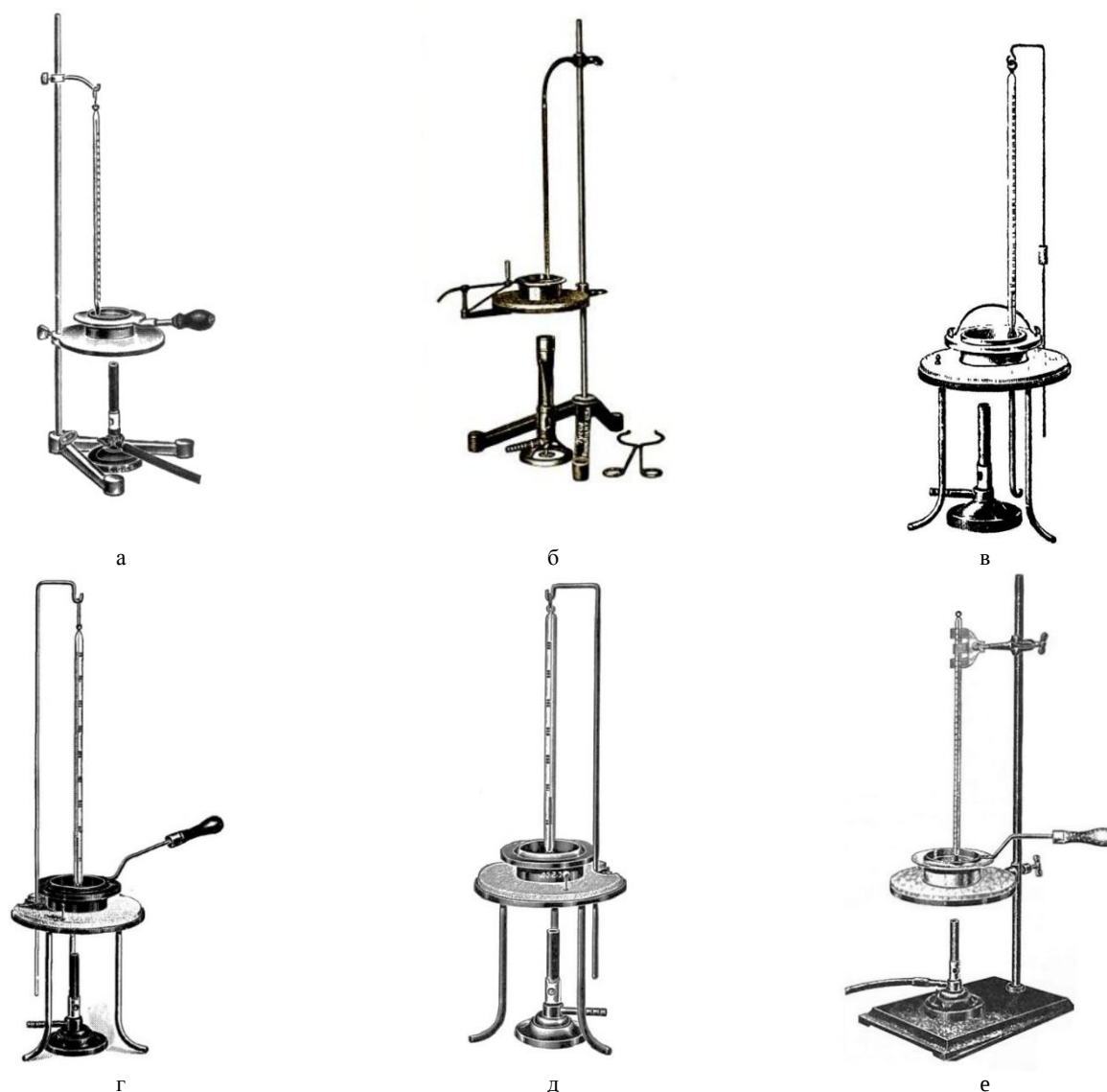


Рис. 7. Первые приборы по стандарту ASTM D92; а – тестер компании Эмил Грейнер (The Emil Greiner Co.) [111]; б – аппарат компании Тэйлор Инструмент (Taylor Instrument Co.) [112]; в – прибор компании Фишер Саентифик (Fisher Scientific Co.) [114]; г – тестер компании Ч.Дж. Тальябу (C.J. Tagliabue Mfg. Co.) [115]; д – прибор компании Централ Саентифик (Central Scientific Co.) [116]; е – канадский нафтометр Кливленда [117]

Fig. 7. The first devices according to the ASTM D92 standard; а – the tester of the Emil Greiner Co. [111]; б – the device of the Taylor Instrument Co. [112]; в – the device of the Fisher Scientific Co. [114]; г – the tester of the C.J. Tagliabue Mfg. Co. [115]; д – the device of the Central Scientific Co. [116]; е – the Canadian Cleveland naphthometer [117]

Таблица 1

Прецизионность метода Кливленда по ASTM D92 [6, 15, 21, 27, 29, 120–134]

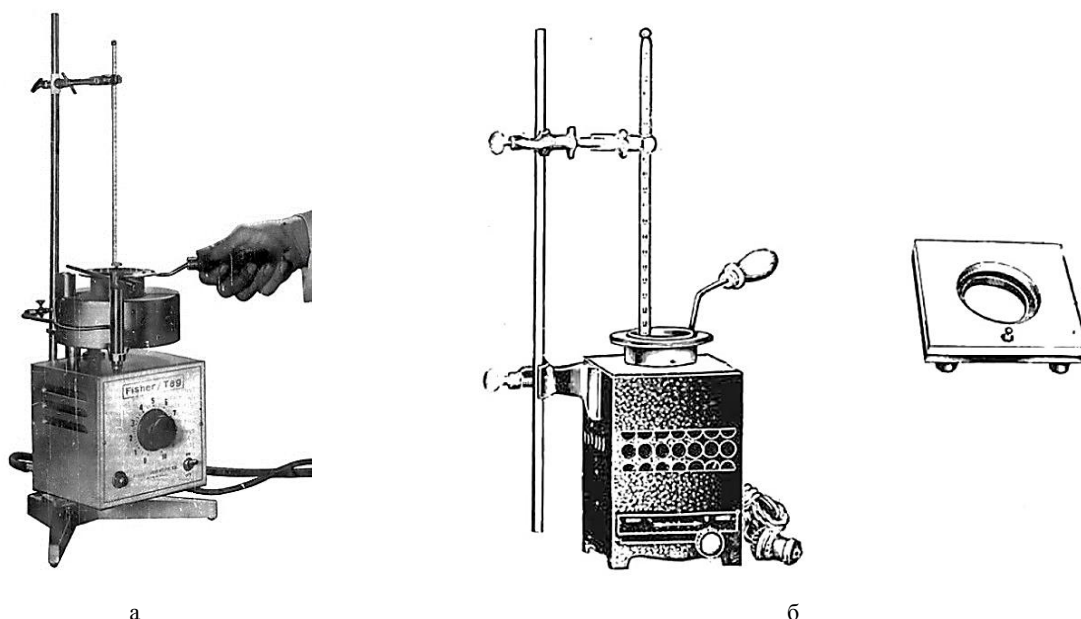
Table 1. Precision of the Cleveland method according to ASTM D92 [6, 15, 21, 27, 29, 120–134]

Версия ASTM D92	Параметр	Температура, °F (°C)*		
		интервал	сходимость	воспроизводимость
1	2	3	4	5
45	вспышка или воспламенение	–	5 (2,8)	10 (5,6)
46; 52	вспышка	175-550 (79,4-287,8)	5 (2,8)	10 (5,6)
	воспламенение	> 550 (287,8)	10 (5,6)	15 (8,4)
56; 57; 66	вспышка	–	15 (8,3)	30 (16,7)
	воспламенение	–	10 (5,5)	20 (11,1)

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
78	вспышка или воспламенение	—	15 (8)	30 (17)
				25 (14)
84; 90; 96	вспышка	—	15 (8)	30 (17)
	воспламенение	—		25 (14)
98a; 01; 02b; 05;05a; 11; 12; 16a; 16b; 18	вспышка	—	15 (8)	32 (18)
	воспламенение	—		25 (14)
динамический тест	вспышка	—	14 (8)	30 (17)
	воспламенение	—		26 (14)

Примечание. * Различия в переводе температуры из шкалы Фаренгейта в шкалу Цельсия связаны с разными подходами к округлению полученных значений в различных версиях ASTM D92



а

б

Рис. 8. Тестер Кливленда с электрическим нагревом; а – аппарат компании Фишер Саентифик (Fisher Scientific Co.) [135]; б – аппарат компании Гумбольдта (Humboldt Mfg Co.) с сэндвич пластиной [139]
Fig. 8. Cleveland tester with electrical heating; а – apparatus of Fisher Scientific Co. [135]; б – apparatus of Humboldt Mfg Co. with sandwich plate [139]

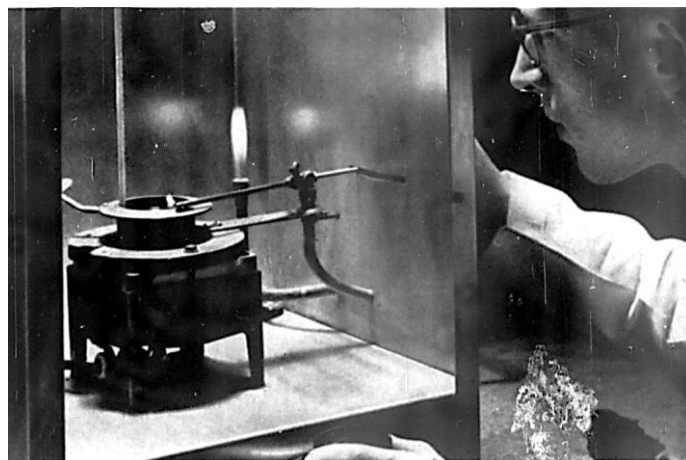


Рис. 9. Пример тестирования 1,1,1-трихлорэтана (chloroethene) методом Кливленда [138]
Fig. 9. Example of testing 1,1,1-trichloroethane (chloroethene) using the Cleveland method [138]

В стандарте ASTM D92-56 [123] впервые приводится современный вид тестера для определения температуры вспышки, а также внесены следующие изменения и добавления:

1) метод ASTM D92-56 для температур вспышки и воспламенения распространен на все нефтепродукты, за исключением топлив с температурой вспышки в открытом тигле ниже 175 °F (79 °C), а также образцов с содержанием компонентов с низкой температурой вспышки. В этих случаях рекомендуется применять методы ASTM D93 (закрытый тигель Пенски-Мартенса);

2) дано понятие температуры воспламенения, как температуры при которой происходит воспламенение и горение тестируемого образца не менее 5 с;

3) дана необязательная рекомендация по применению защитного экрана площадью 18 дюйм² (46 см²) и высотой 24 дюйма (61 см);

4) при испытании образцов, продукты пиролиза которых представляют опасность для окружающих, прибор допускается размещать под колпаком с установкой защитного экрана при нагреве тестируемой жидкости до температуры ниже 100 °F (56 °C) предполагаемой температуры вспышки;

5) вязкие образцы наливаются в тигель подогретыми до температуры ниже 100 °F (56 °C) предполагаемой температуры вспышки;

6) введены допуск для первоначальной скорости нагрева в 25–30 °F/мин (13,9–16,7 °C/мин) вместо 30 °F/мин (16,7 °C/мин), а также коррекция результатов испытаний к атмосферному давлению (табл. 2);

7) допущена любая дополнительная защита нагрева нагревательной пластины.

При переходе к стандартам ASTM D92-57 и ASTM D92-66 принципиальных изменений в метод Кливленда не было сделано, за исключением того, что температуру вспышки жидкостей, содержащих легколетучие компоненты рекомендуется определять не только в закрытом тигле прибора Пенски-Мартенса, но в открытом тигле Тага по методике ASTM D92 [129, 130].

Несмотря на появление стандартов ASTM D92-56(66) приборы старого образца по ASTM D92-24(33) применялись до конца 1970-х г. для определения температур вспышки и воспламенения асфальтов [141].

В связи с потенциальной канцерогенной опасностью асбеста в стандарте ASTM D92-78(84) асбестовое покрытие (верхний слой) нагревательной пластины заменен на любой теплоизоляционный материал. Также в данной версии стандарта изменены поправки на атмосферное давление и допуски по сходимости и воспроизводимости результатов тестирования (табл. 2 и 3) [15, 126]. В стандарте ASTM D92-90 появляются новые разделы «Список используемых стандартов» («Referenced Documents»), «Терминология» («Terminology»), «Область применения» («Significance and Use»), «Техника безопасности» («Safety Precautions») и «Пробоподготовка» («Sampling»). Также введена верхняя граница определения температуры вспышки – 400 °C (752 °F). Отмечено, что время прохождения тестового пламени над зеркалом образца от одного края тигля до другого должно быть порядка 1 с [128].

Таблица 2

Коррекция относительно атмосферного давления
[6, 15, 21, 27, 29, 123–134, 140]

Table 2. Correction relative to atmospheric pressure
[6, 15, 21, 27, 29, 123–134, 140]

Версии ASTM D92	Барометрическое давление	Коррекция*
56; 57; 66	635 – 715 мм. рт. ст.	+ 5 °F (2,8 °C)
	550 – 634 мм. рт. ст.	+ 10 °F (5,5 °C)
78; 84	665 – 715 мм. рт. ст.	+ 5 °F (2 °C)
	610 – 664 мм. рт. ст.	+ 7 °F (4 °C)
	550 – 609 мм. рт. ст.	+ 10 °F (6 °C)
85, 90; 96; 98a; 01; 02b; 05; 05a; 11; 12; 16a; 16b; 18		+ 0,25(101,3 – p)** + 0,06(760 – P) + 0,033(760 – P)

Примечания.

* Различия в переводе температуры из шкалы Фаренгейта в шкалу Цельсия связаны с разными подходами к округлению полученных значений в различных версиях ASTM D92.

** p, P – атмосферное давление в кПа и мм. рт. ст. соответственно

В версии стандарта от 1998 г. [142], не считая редакционных правок, внесены следующие дополнения:

1) введен новый раздел «Поверка и стандартизация»⁵ («Calibration and Standardization») с приведением в приложении методики поверки прибора Кливленда с использованием стандартных образцов (тетрадекана и гексадекана). В разделе «Порядок проведения испытаний» («Procedure») введен подраздел «Автоматические тестеры» («Automated Apparatus»), в котором рекомендовано придерживаться инструкции производителя аппарата, в которой должны выполняться все требования процедуры испытаний, описанной для ручного (неавтоматического) тестера;

2) уточнено, что объем пробы составляет примерно 70 мл;

3) детализирован раздел «Пробоподготовка». В частности, указано, что для вязких материалов и образцов, содержащих легколетучие компоненты, заполнение тигля осуществляется при температуре не менее чем на 56 °C (100 °F) ниже ожидаемой температуры вспышки. Запрещено хранение образцов в газопроницаемых контейнерах из-за возможности диффузии летучих материалов через его стенку. Отмечено, что легкие газообразные углеводороды (типа пропана или бутана) в тестируемом образце обычно теряются при наполнении тигля из контейнера. Допущена возможность удаления воды из тестируемого образца с помощью химической сушки хлоридом кальция или фильтрацией через бумажный фильтр или через слой сухого хлопка;

4) давление газа в газовой линии для нагревательной горелки не должно превышать 3 кПа (12 дюймов водяного столба);

5) при образовании слоя пены до края тигля тест на вспышку (воспламенение) отбраковывается;

6) отдельно выделено, что при испытаниях очень важно выдерживать установленные параметры размеров запального пламени (3,2–4,8 мм), скорости нагрева (5–6 °C/мин⁶), времени прохождения тестового пламени над зеркалом пробы (1,0 ± 0,1 с).

В 2001 г. добавлено примечание о необходимости удаления пленки при испытаниях для пленкообразующих жидкостей [129].

В ASTM D92-02b появляется новое приложение с описанием процедуры по предотвращению образования поверхностной пленки при определении

температуры вспышки асфальтов, которое заключается в следующем: в верхнюю часть тигля помещается диск фильтровальной бумаги № 417 диаметром 7,5 см и отверстием по центру диаметром 6 мм. Данный диск крепится с помощью кольца из проволоки диаметром 62–63 мм (рис. 10). Тигель заполняется на 4–5 мм ниже риски его обычного заполнения. Далее проводится стандартное тестирование по методике ASTM D92 [130].

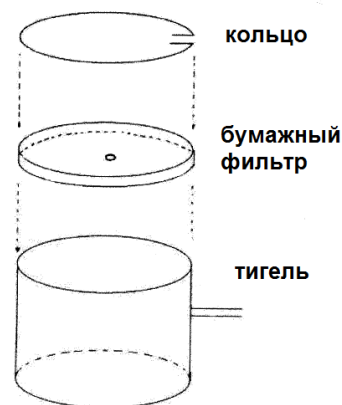


Рис. 10. Установка бумажного фильтра для испытаний битумов и асфальтов [130]

Fig. 10. Installation of a paper filter for testing bitumen and asphalt [130]

Переход от ASTM D92-02 к ASTM D92-05 ограничился редакционными правками и обновлением ссылок на нормативные источники, а также убрано ограничение на применение асбестового покрытия нагревательной пластины [131].

В стандарте ASTM D92-11 удалены пункты 3.1.3.1 и 3.1.3.2, связанные с уточнениями термина «температура вспышки» (при вспышке пламя должно распространяться по всему зеркалу тестируемого образца, а появление синего ореола или увеличение размеров запального пламени не является признаком вспышки тестируемого образца). Однако смысл удаленных пунктов учтен при редактировании пункта 11.1.10.1 стандарта ASTM D92-05a [132].

Новшеством стандарта ASTM D92-12 явилось уточнение о негативном загрязняющем воздействии силиконов (silicones) на ионизационные детекторы автоматических приборов Кливленда. В связи с этим обстоятельством предложено использовать ручной (неавтоматический) тестер при испытании образцов с содержанием более 1% силиконов [133].

⁵ В данном случае английский термин «calibration» в большей степени соответствует русскому понятию «поверка».

⁶ Скорость нагрева образца указана примерно за 56 °C (100 °F) до ожидаемой температуры вспышки.

Изменения в новых версиях стандарта от 2016 и 2018 г. ограничились незначительными редакционными правками и добавками в текст предыдущей версии (ASTM D92-12), среди которых можно отметить следующие:

1) увеличение погрешности измерения температуры вспышки стандартных жидкостей (тетрадекана и гексадекана) с 8 до 12,5 °С;

2) для учета термического расширения жидкости разрешается заполнить тигель чуть ниже контрольной риски [134];

3) увеличение допусков положения термометра с 0,1 мм до 0,5 мм [6, 21, 134].

Сущность метода ASTM D92-18 заключается в следующем:

1) перед испытаниями удаляют воду из нефтепродукта путем декантации и химической сушки;

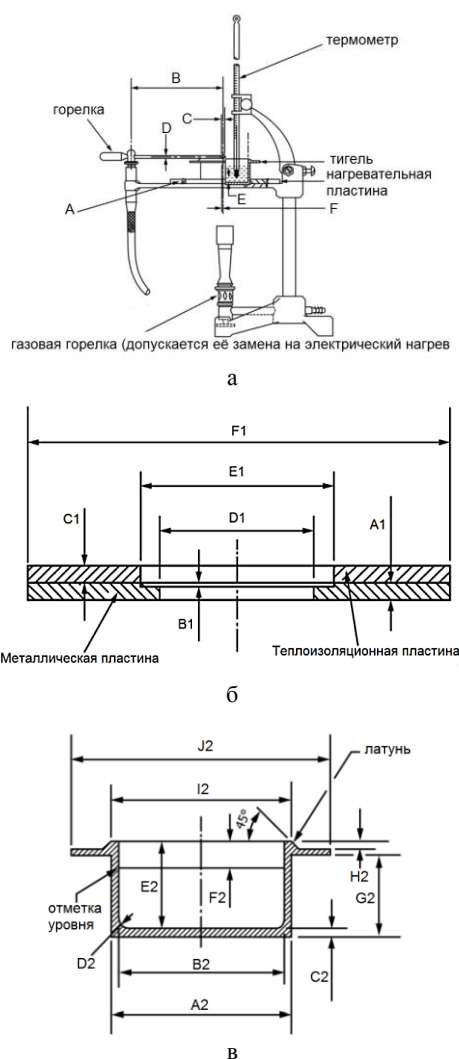
2) образцы для испытаний отбирают при $t \leq t_{\text{всп,ож}}$ (ожидаемая температура вспышки);

3) примерно 70 мл тестируемой пробы помещают в металлический тигель и нагревают его со скоростью 5–17 °С/мин примерно до температуры, которая примерно на 28 °С ниже ожидаемой температуры вспышки;

4) далее нагрев осуществляют со скоростью 5–6 °С/мин с тестированием на вспышку и воспламенение с помощью запального пламени через каждые 2 °С;

5) после определения температур вспышки и воспламенения тестирование повторяют с пробой испытуемого образца. В результате нового испытания фиксируемая температура вспышки должна быть выше не менее чем на 28 °С, чем в первом испытании.

Общий вид стандартного ручного прибора по ASTM D92-18 и отдельных его элементов представлен на рис. 11, а его размеры приведены в табл. 3.



А – шаблонный металлический шарик для установки размеров запального пламени,
В – радиус поворота горелки,
С – диаметр сопла горелки,
D – диаметр основной горелки,
Е – расстояние от шарика термометра до дна тигля,
F – диаметр дополнительной горелки для поджигания потухшей основной горелки

A1 – толщина металлической пластины,
B1 – глубина выемки в металлической пластине,
C1 – толщина теплостойкой пластины,
D1 – диаметр отверстия в металлической пластине,
E1 – диаметр отверстия в теплостойкой пластине,
F1 – внешний диаметр пластин

A2, B2, I2, J2 – диаметры тигля,
C2, D2 – толщины тигля,
E2, G2, H2, – высоты тигля,
F2 – высота свободного пространства тигля

Рис. 11. Тестер Кливленда по ASTM D92 [6]; а – общий вид, б – нагревательная пластина, в – тигель [6, 21]

Fig. 11. Cleveland tester according to ASTM D92 [6]; а – general view, б – heating plate, в – crucible [6, 21]

Таблица 3

Сравнение основных параметров американской, европейской и российских моделей прибора Кливленда
Table 3. Comparison of the American, European and Russian Cleveland device models main parameters

Параметр	Размеры, мм (дюймы)				ГОСТ 12.1.044
	ASTM D92	ISO 2592	ГОСТ 4333	ГОСТ 33141	
A	3,2-4,8 (0,126-0,189)				3,5-4,5 (0,138-0,177)
B	152 (6)	150 мин			не нормируется
C	1,6 (0,063)		не нормируется	1,6 (0,063)	
D	2 (0,078) max		2 (0,078)	2 (0,078) max	
E	6-7 (0,236-0,276)	6 (0,236)	5,9 - 6,9 (0,232-0,272)	5,5-6,5 (0,217-0,256)	
F	0,8 (0,031)		не нормируется	не нормируется	
A1	6-7 (0,236-0,276)				
B1	0,5-1,0 (0,020-0,039)			0,6-1,0 (0,024-0,039)	
C1	6-7 (0,236-0,276)				
D1	55-56 (2,165-2,205)				
E1	69,5-70,5 (2,736-2,776)				
F1	146-159 (5,748-6,260)			145-159 (5,709-6,260)	
A2	67,5-69 (2,658-2,717)			67,4-69 (2,654-2,717)	67-69,1 (2,638-2,720)
B2	63-64 (2,480-2,520)				63-63,7 (2,480-2,508)
C2	2,8-3,5 (0,110-0,138)			2,8-3,6 (0,110-0,142)	2,4-3,6 (0,094-0,142)
D2	4 (0,157)	~4 (0,157)			3,3-3,7 (0,130-0,146)
E2	32,5-34 (1,280-1,339)			32,4-34,0 (1,276-1,339)	32,5-34 (1,280-1,339)
F2	9-10 (0,354-0,394)				9,7-10,3
G2	31-32,5 (1,221-1,280)			31,0-32,6 (1,221-1,283)	31,5-32,5 (1,240-1,280)
H2	2,8-3,5 (0,110-0,138)			2,8-3,6 (0,110-0,142)	2,8-3,2 (0,110-0,126)
I2	67-70 (2,638-2,756)				68-70 (2,677-2,756)
J2	97-100 (3,819-3,937)				100-102 (3,937-4,016)

АНАЛОГИ СТАНДАРТА ASTM D92

Все стандарты, в которых представлен метод Кливленда, условно можно разбить на три группы.

К 1-ой группе относятся практически идентичные или очень близкие нормативные документы. В 1933 году в стандарте ASTM D92 впервые было отмечено, что данный документ также отражен в таких американских стандартах, как ASA Z11.6-1933 и API 511-33 [119]. В дальнейшем этот подход стал традиционным приемом, так в последних версиях ASTM D92 указывается, что они идентичны стандартам AASHTO T 48 и DIN 51376⁷ [6, 21, 134]. Однако круг 1-ой группы нормативных документов не ограничивается только

указанными стандартами. В разных странах на основе ASTM D92 разработаны и введены в действие национальные стандарты: СТБ 1651 (Беларусь) [40], NBR 11341 и ME-26 (Бразилия) [18, 23], A0106 (Боливия) [30], COVENIN 372 и COVENIN 3361 (Венесуэла) [27, 28], DMMS ASTM D92-18 (Мьянма) [29], SNI 2433 (Индонезия) [19], NTC 5009 и INV E 709 (Колумбия) [20, 22], NC-ASTM D92 (Куба) [31], NMX-T-139-SCFI-2005 (Мексика) [32], МТС Е 303 (Перу) [24], ГОСТ 33141 (Россия) [39], MRD ТМ 403 (Саудовская Аравия) [25], FDUS 2940 (Уганда) [21], INEN 808 (Эквадор) [16] и др.

В стандарте AASHTO T 48 [2] предложен дополнительный шаблон для контроля уровня заполнения тигля тестируемым образцом с помощью

⁷ Последнее указание об идентичности стандарту IP 36/84(89) Американского нефтяного института (API) было приведено в стандарте ASTM D92-12 [133].

специальных зубов, а также определения центральной точки над тиглем через которую должна проходить запальная горелка (рис. 12). Данное новшество также нашло свое отражение в других стандартах-аналогах ASTM D92 [24, 30, 143].

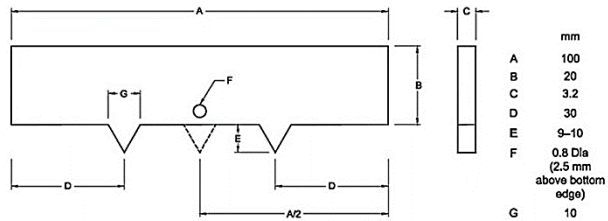


Рис. 12. Шаблон для прибора Кливленда [7, 126]
Fig. 12. Template for the Cleveland device [7, 126]

Таблица 4

Прецизионность и коррекция на атмосферное давление метода Кливленда по ISO [35, 144, 145]
Table 4. Precision and atmospheric pressure correction of the Cleveland method according to ISO [35, 144, 145]

Коррекция на атмосферное давление			
Версия ISO 2592	Барометрическое давление, мбар	Коррекция, °C	
1973	733–812 мбар	6	
	813–886 мбар	4	
	887–953 мбар	2	
2000	98,0–104,7 кПа	+ 0,25(101,3 – p)*	
2017	82,0–104,7 кПа	+ 0,25(101,3 – p)*	
	81,3–81,9 кПа	+4	
	81,2–73,3 кПа	+6	
Прецизионность			
Версия ISO 2592	Параметр	Температура, °C	
		сходи- мость	воспро- изводи- мость
1973	вспышка	8	16
	воспламенение		14
2000	вспышка	8	17
	воспламенение		14
2017	вспышка	8	18
	воспламенение		14

Примечание.
* p – атмосферное давление в кПа.

К 2-ой группе относится европейский стандарт ISO 2592 [35], который также создан на базе ASTM D92, однако имеет целое семейство своих аналогов, как в членах Евросоюза, так и в других странах (AS 2585 (Австралия, Новая Зеландия) [33], СТБ ISO 2592 (Беларусь) [41], BS EN ISO 2592

(Великобритания) [8], IS 1448 (Индия) [14], ГОСТ 4333 (Россия) [42], SS-EN ISO 2592 (Швеция) [34], INEN-ISO 2592 (Эквадор) [17], JIS K 2265-4 (Япония) [9] и др.).

История развития стандарта ISO 2592 включает только три его версии от 1973, 2000 и 2017 годов, в отличие от множества версий стандарта ASTM D92. Текст ISO 2592-1973 [144] с небольшими редакционными правками повторяет содержание ASTM D92-57 [124] за исключением следующего:

- 1) американские единицы измерения температуры и длины переведены на международную систему СИ;
- 2) ссылки на стандарты ASTM заменены на стандарты ISO;
- 3) внесены изменения и дополнения в поправки на атмосферное давление и прецизионность метода (см. табл. 4, 1 и 2).

Текст стандарта ISO 2592-2000 [145] в отличие от предыдущей версии [144] является оригинальным и не дублирует содержание стандарта ASTM D92-98a [142]. Сравнение этих стандартов показывает следующие принципиальные отличия европейского стандарта:

- 1) нет указаний о верхней температурной границе применения метода Кливленда;
- 2) отсутствует раздел «5. Значение и использование» (5. Significance and Use);
- 3) введено примечание о том, что температуры вспышки и воспламенения – это только два показателя из комплекса показателей, которые характеризуют пожаровзрывоопасность веществ и материалов;
- 4) в определение температуры вспышки добавлено уточнение о распространении пламени по всей поверхности;⁸
- 5) предложено использование смеси (толуол–ацетон–метанол) для очистки тигля от твердых отложений;
- 6) для удаления нерастворенной воды из тестируемой жидкости вместо химической сушки предложено использовать отбор аликвоты из деканта;
- 7) добавлено примечание о том что, если объем пробы меньше 50% от нормативного значения, то это может оказать влияние на результат определения температуры вспышки;
- 8) расширен температурный интервал для начала уменьшения скорости нагрева об-

⁸ Данное уточнение позволяет разделить понятия температуры вспышки от температуры всполохов (flicker (flickering) point [146, 147], pre-flash point [148]).

разца до (5–6) °C/мин и начала его тестирования на вспышку;

9) отсутствие примечания о прекращении теста на вспышку при образовании пены на зеркале испытуемой жидкости;

10) повторный тест на вспышку начинается с новой пробой не менее чем за 18 °C от результата первого определения температуры вспышки, а не от 28 °C как в ASTM D92-98a;

11) установлена область корректного действия поправки к наблюдаемой температуре вспышки на атмосферное давление;

12) на 1 °C уменьшена нормативная воспроизводимость метода для температуры вспышки (см. табл. 4 и 2);

13) введен новый раздел «Отчет» (Test report);

14) разработан пламегаситель (flame extinguisher) (рис. 13).

15)

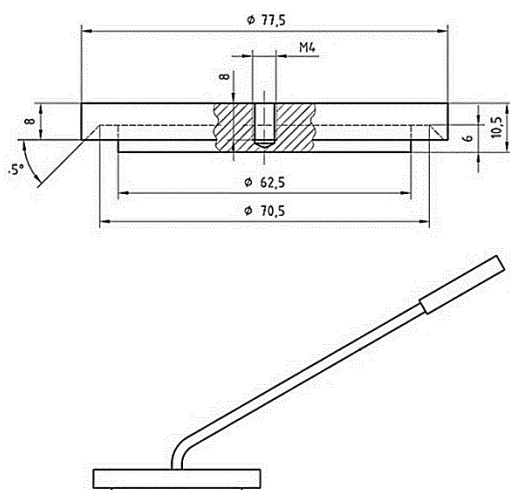


Рис. 13. Пламегаситель по ISO 2592:2000 [145]
Fig. 13. Flame arrester according to ISO 2592:2000 [145]

В издании ISO 2592:2017 [8, 35, 42] внесены изменения, которые в основном касаются устранению расхождений со стандартом ASTM D92-2016 [134] (введены: верхняя граница (400 °C) применения метода Кливленда, способ подготовки тигля для предотвращения образования пленки на поверхности образца; уточнены: определение температуры вспышки,⁹ расстояние измерителя температуры от дна тигля, параметры защитного экрана от движения воздуха, температурный критерий, при

котором уменьшают скорость нагрева пробы и начинают тест на вспышку). Дополнительно внесены изменения на поправку результатов определения температур вспышки и воспламенения на атмосферное давление (см. табл. 5), а также добавлено, что за результат определения температуры вспышки (воспламенения) принимают среднеарифметическое значение результатов двух последовательных определений, округленное до целого числа, выраженное в градусах Цельсия.

К 3-ей группе относятся стандарты: WHO/M/11.R1 [36], NAVFAC MO-330 (test 3-15a) [11], FM 5-472/NAVFAC MO 330/AFJMAN 32-1221(I) (открытый тигель Кливленда) [26], метод 4294 [149], ГОСТ 12.1.044 [38, 150] и др., в которых в упрощенном виде применяются методика ASTM D92 (ISO 2592) или регламентируются только параметры тигля тестера Кливленда.

Необходимо отметить, что в стандартах 2-ой и 3-ей групп допускаются небольшие отклонения размеров прибора от американского прототипа. В табл. 4 этот момент продемонстрирован на примере ASTM D92, ISO 2592, ГОСТ 4333, ГОСТ 33141 и ГОСТ 12.1.044 [38, 150].

В 2019 г. методы определения температур вспышки и воспламенения асфальтов были выделены в отдельный стандарт ASTM D8254-19 “Standard Test Method for Flash and Fire Points of Asphalt by Cleveland Open Cup Tester” [151].

НЕСТАНДАРТНЫЕ МОДИФИКАЦИИ ПРИБОРА И МЕТОДА ASTM D92

В заводских лабораториях сокращение времени испытаний является злободневной проблемой. В 1932 г. испытательной лабораторией Порт Артур Вокс компании Техас (Testing Laboratory, Port Arthur Works, The Texas Co.) был предложен один из вариантов решения этой задачи, который достигнут путем создания комбайна из 4-х аппаратов Кливленда по ASTM D92. Особенностью данного прибора является наличие регулировки подачи газа на газовые горелки с помощью специальных клапанов (рис. 14) [152].

В 1933 г. комитетом по анализу жиров на основе нефтометра Кливленда по ASTM D92 разработан прибор для определения температуры дымообразования (smoke point). Для этого прибор Кливленда был помещен в специальный бокс с электрической лампой (рис. 15) [153].

⁹ Из определения убрано уточнение о распространении пламени по поверхности образца. Однако оно сохранилось в разделе «Сущность метода» (Principle) ISO 2592:2017 [35].

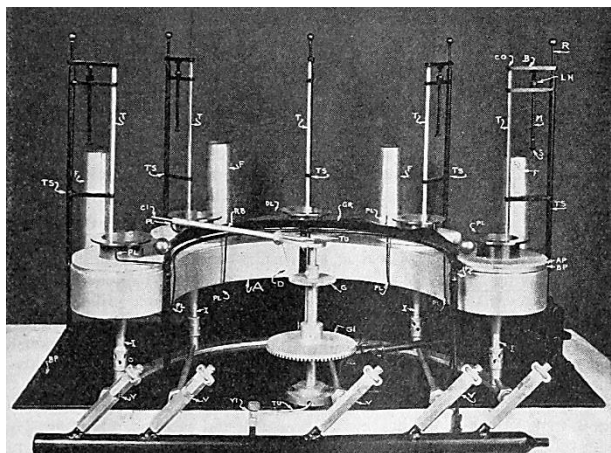
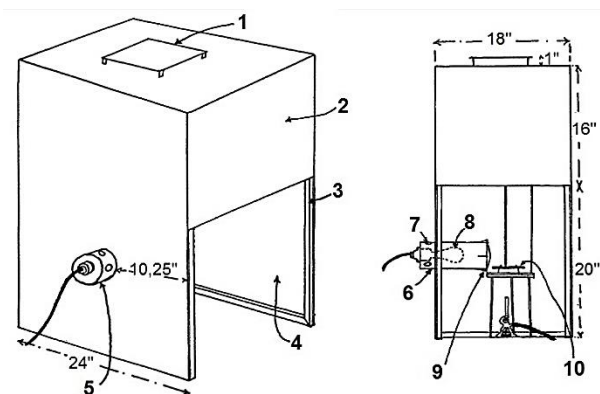


Рис. 14. Автоматический аппарат испытательной лаборатории Порт Артур Вокс компании Техас [152]
Fig. 14. Automatic apparatus of the Port Arthur Vaux testing laboratory of the Texas Company [152]



1 – стальная крышка 8×8", которая прикрывает отверстие с $\varnothing = 6"$, 2 – рамка, закрытая асбестовым листом толщиной 0,25", 3 – рамка, 4 – асбокартон, покрашенный в черный цвет, 5 – расстояние зависит от высоты ног треноги прибора Кливленда, 6 – оловянный цилиндр 9×3,5", 7 – 1" отверстия для вентиляции, 8 – 100 Вт лампа, 9 – стеклянная линза, 10 – тестер Кливленда

Рис. 15. Прибор для определения температуры дымообразования [153]
Fig. 15. Device for determining the temperature of smoke formation [153]

Процедура определения температуры дымообразования [153] включает следующие этапы:

- 1) включают электрическую лампу, заполняют тигель испытуемым образцом и быстро его нагревают до температуры примерно на 75 °F ниже предполагаемой температуры дымообразования,
- 2) снижают скорость нагрева до 9–11 °F/мин и осуществляют визуальный контроль. За температуру дымообразования принимается температура, при которой образец непрерывно начинает выделять тонкий голубоватый дым.

В 1940 г. данный метод поддержан комитетом Американского химического общества и комитетом по анализу коммерческих жиров и масел [154, 155], а в настоящее время он закреплен в официальной методике Сс 9а-48 общества американских химиков масложировой промышленности (American Oil Chemists' Society) [156] и широко применяется в США по настоящее время.

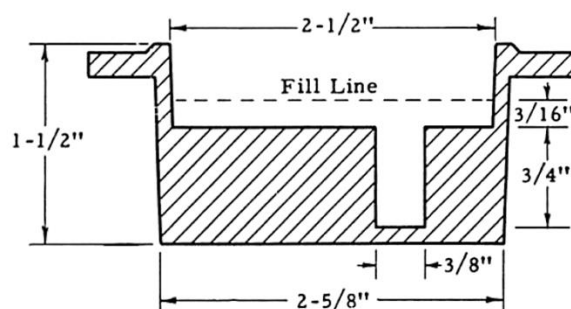


Рис. 16. Тигель Ватсона для тестера Кливленда [157]
Fig. 16. Watson's crucible for the Cleveland tester [157]

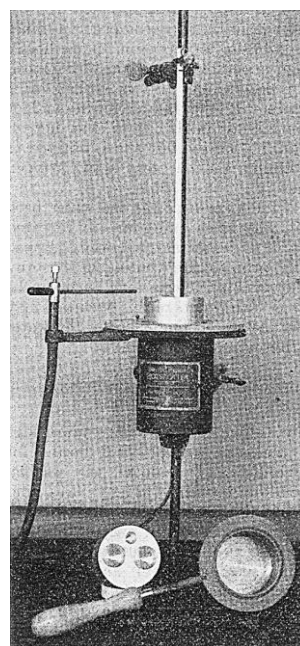


Рис. 17. Микротестер Ноллера (Noller) и Болтона (Bolton) [158]
Fig. 17. Noller and Bolton Microtester [158]

В 1955 г. сотрудником компании Шелл Девелопмент (Shell Development Co.) Ф.Дж. Ватсоном (F.J. Watson) предложен новый вариант открытого тигля Кливленда (рис. 16), который позволяет уменьшить объем пробы с 75 до 10 мл. Результаты сравнительных тестов испытаний в тигле Ватсона с данными, полученными при использовании стандартного прибора Кливленда по ASTM D92, приведены в табл. 4 [157], из которой следует, что разли-

чие в значениях температур вспышки и воспламенения не превышает стандартных допусков (см. табл. 5).

В 1963 г. для тестирования взрывоопасных органических перекисных соединений был использован прибор Кливленда по ASTM D92-24(46), в котором стандартный латунный тигель заменен на алюминиевый цилиндр с двумя воронками для пробы жидкости и углублением для термометра (рис. 17). Отмечено, что в данном случае объем пробы составляет только 5 мл. Также указано, что результаты испытаний неперекисных органических соединений с температурой вспышки от 100 до 200 °F (37,8–93,3 °C) хорошо согласуются с литератур-

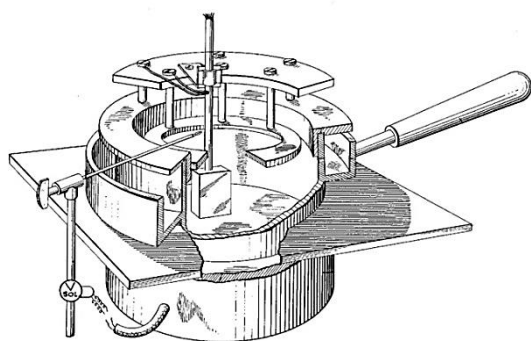
ными данными, которые получены с использованием стандартного тигля Кливленда. Для веществ с температурой вспышки менее 100 °F (37,8 °C) различие в результатах тестирования становятся заметными [158], однако это не удивительно поскольку метод Кливленда рекомендован, как выше отмечалось, для соединений с температурой вспышки не менее 175 °F (79 °C). Необходимо отметить, что при определении температуры вспышки взрывоопасных жидкостей уменьшение объема тестируемого образца является обычным делом для обеспечения безопасности работ. Например, данный прием был применен при исследовании дицианофуроксана в лаборатории ракетного движения BBC США (Air Force Rocket Propulsion Laboratory) [159].

Таблица 5

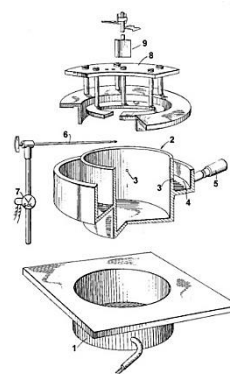
Сравнительные результаты определения температур вспышки и воспламенения в тигле Ватсона и стандартном приборе по ASTM D92 [157]

Table 5. Comparative results of flash and fire point determination in Watson crucible and standard device according to ASTM D92 [157]

Вещество	Температура, °F (°C)			
	Тигель Ватсона		ASTM D92	
	вспышки	воспламенения	вспышки	воспламенения
Триалкилфосфат А	340 (171,1)	365 (185,0)	340 (171,1)	370 (187,8)
Триалкилфосфат	385 (196,1)	465 (240,6)	395 (201,7)	465 (240,6)
Триалкилфосфат В	410 (210,0)	460 (237,8)	415 (212,8)	465 (240,6)
Смесь арилалкилфосфатов	415 (212,8)	430 (221,1)	410 (210,0)	440 (226,7)
Триарилфосфат	450 (232,2)	–	455 (235,0)	–
Диалкилсобацинат	380 (193,3)	415 (212,8)	375 (190,6)	415 (212,8)
Турбинное масло MIL-0-6081A	290 (143,3)	320 (160,0)	295 (146,1)	315 (157,2)
Гидравлическая жидкость MIL-0-5606	230 (110,0)	235 (112,8)	220 (104,4)	225 (107,2)
Негорючая гидравлическая жидкость по AMS-3150A	445 (229,4)	470 (243,3)	435 (223,9)	465 (240,6)



а



б

Рис. 18. Прибор МакГлинна; а – аппарат в собранном состоянии; б – основные части тестера [160]

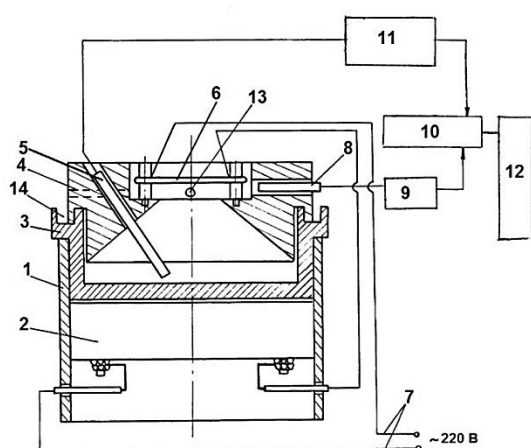
Fig. 18. McGlynn's device; а – the device in assembled condition; б – the main parts of the tester [160]

Деймсом МакГлинном (James F. McGlynn) из Сокони Мобил Ойл компании (Socony Mobil Oil Company) предложена глубокая модификация тигля

электрического тестера Кливленда (Рис. 18). К стандартному латунному или медному тиглю Кливленда 2 с ручкой 5 добавлена металлическая рубашка 4 для

сбора расширяющейся жидкости при испытании. В тигле 2 предусмотрены специальные отверстия 3 для перелива тестируемой жидкости. На тигель 2 одевается специальная насадка (концентратор паров) 8 с термодатчиком 9. Собранный тигель помещается в электрическую нагревательную баню 1. Проверка на вспышку осуществляется с помощью газовой горелки 6, оснащенной соленоидным клапаном 7. Электрическая схема прибора (она не показана на рис. 18) позволяет фиксировать факт вспышки и автоматически отключать горелку [160].

В качестве аналога прибора МакГлинна можно считать аппарат, разработанный в Центральном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте морского флота РФ, в котором также присутствует концентратор паров 4, отверстия 13 для перелива жидкой пробы с канавкой 14 для её сбора, системами нагрева 2, поджога 6, приборами измерения температуры вспышки 11 и фиксации результатов испытаний 10, системой автоматического отключения нагрева тигля 12 (рис. 19) [161].



1 – корпус прибора; 2 – нагреватель; 3 – тигель Кливленда; 4 – концентратор паров; 5 – датчик температуры; 6 – блок поджога; 7 – электропитание; 8 – датчик фиксации вспышки; 9 – усилитель; 10 – блок фиксации результатов испытаний; 11 – блок измерения температуры; 12 – блок отключения электропитания в момент фиксации вспышки; 13 – отверстия для перелива жидкости; 14 – канавка для сбора пробы

Рис. 19. Прибор Центрального научно-исследовательского и проектно-конструкторского института морского флота РФ [161]

Fig. 19. Device of the Central Research and Design Institute of the Russian Maritime Fleet [161]

В 1980-е г. разработан динамический тест с использованием тестера Кливленда, который заключается в следующем: 30 мл пробы нагревают в открытом тигле без перемешивания со скоростью 5 °C/мин. Через каждые 2 °C проводят тест на

вспышку до тех пор, пока не будет достигнута вспышка паров тестируемой жидкости. При необходимости затем определяют температуру воспламенения [127].

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИБОРЫ КЛИВЛЕНДА

Во многих странах производятся аппараты Кливленда, которые можно разбить на три группы: автоматические, полуавтоматические и ручные.

Автоматические приборы (рис. 20) позволяют полностью исключить влияние человеческого фактора на результат определения температур вспышки и воспламенения, а также формировать отчет об испытаниях. Для автоматического тестирования нескольких проб применяются приборы Кливленда револьверного типа. В связи с этим можно отметить интересное инженерное решение французской компании Instrumentation Scientifique de Laboratoire: специальная приставка для превращения прибора Кливленда с одним тиглем в автоматический тестер револьверного типа для тестирования 6 проб (рис. 21) [164]. В качестве недостатка автоматических аппаратов можно отметить что, высокая стоимость делает их доступными только для крупных организаций и компаний. В нестандартных ситуациях они не могут заменить опытного испытателя.

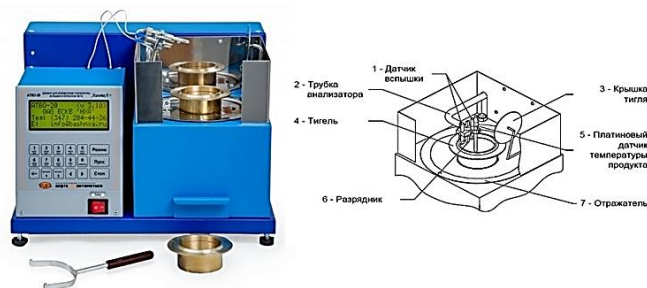


Рис. 20. Автоматический прибор Линтел АТВО-20 (АО БСКБ «Нефтехимавтоматика», Россия) [162, 163]
Fig. 20. Automatic device Lintel ATVO-20 (JSC BSKB Neftekhimavtomatika, Russia) [162, 163]



Рис. 21. Автоматический прибор FP92 5G2 без приставки и с приставкой (Instrumentation Scientifique de Laboratoire, Франция) [164]

Fig. 21. Automatic device FP92 5G2 without and with an attachment (Instrumentation Scientifique de Laboratoire, France) [164]

Ручные приборы (рис. 22) доступны для широкого круга пользователей, включая как практических работников, так и студентов учебных заведений, но при этом влияние человеческого фактора на процесс и результаты испытаний не исключается.

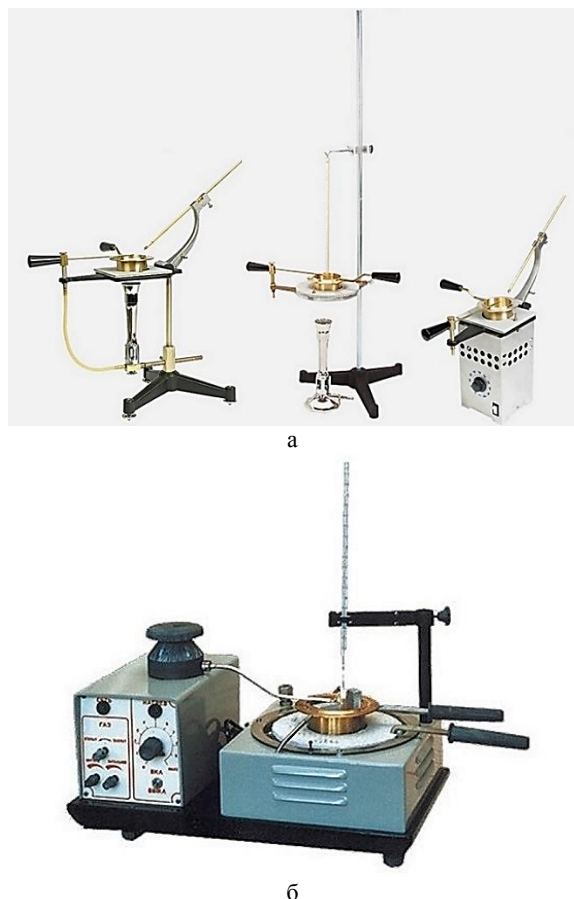


Рис. 22. Ручные приборы Кливленда; а – тестеры Н-2095, Н-2100 и Н-2085 (Humboldt Mfg. Co., США) [165]; б – аппарат ТВО (НПО «Нефтехимавтоматика», Россия) [166]
Fig. 22. Cleveland hand-held devices; а – testers H-2095, H-2100 and H-2085 (Humboldt Mfg. Co., USA) [165]; б – TVO device (NPO Neftekhimavtomatika, Russia) [166]

Полуавтоматические тестеры Кливленда оснащаются ПИ или ПИД регулятором скорости нагрева с возможностью составления необходимой программы нагрева тигля (рис. 23а). В наиболее совершенных моделях разработчиками приборов заложены программы стандартных испытаний, также обеспечивается автоматическое тестирование и фиксирование результата вспышки испытуемого образца, что максимально приближает данные приборы к автоматическим аппаратам Кливленда (рис. 23б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе рассмотрены основные этапы эволюции метода и прибора Кливленда,

начиная со второй половины 19-го столетия по настоящее время. Несмотря на «Европейский зеленый курс» (“European Green Deal”) полный отказ от применения нефтепродуктов даже в долгосрочной перспективе вряд ли возможен. Таким образом, метод Кливленда будет также востребован. Его развитие, очевидно, пойдет по пути сближения возможностей полуавтоматических и автоматических аппаратов, также не исключается обновление методики испытаний за счет применения специальной насадки для концентрирования паров и вкладыша для тестирования маленьких проб.

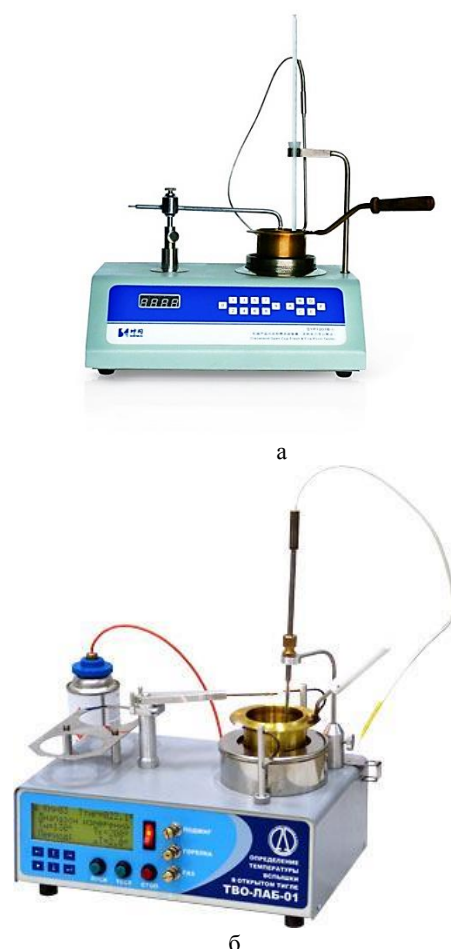


Рис. 23. Примеры полуавтоматических тестеров Кливленда, а – аппарат SYP1001B-V (Shenkai Co., Китай) [167], б – прибор ТВО-ЛАБ-01 (компания ЛОИП, Россия) [168]
Fig. 23. Examples of Cleveland semi-automatic testers: а – SYP1001B-V device (Shenkai Co., China) [167], б – TVO-LAB-01 device (LOiP company, Russia) [168]

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence of a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пешнев Б.В., Николаев А.И., Никишин Д.В., Алхамеди М.Х.И. Перспективы использования явления кавитации при переработке нефти. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 4. С. 110-116. DOI: 10.6060/ivkkt.20236604.6760.
2. Пешнев Б.В., Бурляева Е.В., Никишин Д.В., Николаев А.И., Кузнецов А.С. Оценка эффективности кавитационной обработки темных нефтепродуктов. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2024. Т. 67. Вып. 7. С. 103-110. DOI: 10.6060/ivkkt.20246707.7006.
3. Колчина Г.Ю., Полетаева О.Ю., Леонтьев А.Ю., Мовсумзаде Э.М., Логинова М.Е., Колчин А.В. Анализ состава и структуры тяжелых нефтей по данным ЯМР-спектроскопии. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2023. Т. 66. Вып. 6. С. 94-101. DOI: 10.6060/ivkkt.20236606.6783.
4. Куленцан А.Л., Марчук Н.А. Анализ добычи нефти из пластов в Российской Федерации. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2022. Т. LXVI. N 1. С. 71-75. DOI: 10.6060/rcj.2022661.10.
5. Дмитриева Е.Д., Гриневич В.И., Герцен М.М. Дегградация нефти и нефтепродуктов биоконпозициями на основе гуминовых кислот торфов и микроорганизмов-нефтедеструкторов. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2022. Т. LXVI. N 1. С. 42-56. DOI: 10.6060/rcj.2022661.7.
6. ASTM D92-18. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2018. 11 p.
7. AASHTO T 48-06 (2015) (ASTM D92-5a). Standard Method of Test for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. Washington: AASHTO. 2015. 5 p.
8. BS EN ISO 2592:2017. Petroleum and Related Products. Determination of Flash and Fire Points. Cleveland Open Cup Method. London: BSI. 2017. 26 p.
9. JIS K 2265-4:2007. Determination of flash point. Part 4: Cleveland Open Cup Method. [Электронный ресурс]. URL: <https://jis.eomec.com/jisk226542007>. (дата обращения 10.03.2023).
10. Nadkarni R.A.K. Guide to ASTM Test Methods for the Analysis of Petroleum Products, Liquid Fuels, and Lubricants (3rd ed.). West Conshohocken: ASTM International. 2020. 405 p.
11. Materials Testing. Washington: Departments of the Army, the Navy, and the Air Force. 1971. P. 3-15.
12. Manual on Flash Point Standards and Their Use: Methods and Regulations (by ed. H.A. Wray). Philadelphia: ASTM. 1992. 168 p.
13. White E.W. The Practice of Flash Point Determination: A Laboratory Resource (by ed. R.G. Montemayor). West Conshohocken: ASTM International. 2013. 93 p.
14. IS 1448 [P:69]:2013 (ISO 2592:2000). Methods of Test for Petroleum and Its Products [P:69] Determination of Flash and Fire Points – Cleveland Open Cup Method. New Delhi: BIS. 2013. 18 p.
15. INEN 808:1986. Productos de Petroleo. Determinación de Los Puntos de Inflamación Y Combustion en Vaso Abierto Cleveland. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización. 1986. 12 p.
16. INEN 808:2013. Productos de Petroleo. Determinación de Los Puntos de Inflamación Y Combustion en Vaso Abierto Cleveland. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2013. 15 p.

REFERENCES

1. Peshnev B.V., Nikolaev A.I., Nikishin D.V., Alkhamedi M.Kh.I. Prospects of using the cavitation phenomenon in oil refining. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 4. P. 110-116. DOI: 10.6060/ivkkt.20236604.6760.
2. Peshnev B.V., Burlyaeva E.V., Nikishin D.V., Nikolaev A.I., Kuznetsov A.S. Assessment of the effectiveness of cavitation processing of dark oil products. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2024. V. 67. N 7. P. 103-110. DOI: 10.6060/ivkkt.20246707.7006.
3. Kolchina G.Yu., Poletaeva O.Yu., Leontev A.Yu., Movsumzade E.M., Loginova M.E., Kolchin A.V. Analysis of the composition and structure of heavy oils according to NMR spectroscopy. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 6. P. 94-101. DOI: 10.6060/ivkkt.20236606.6783.
4. Kuletsan A.L., Marchuk N.A. Analysis of oil production from reservoirs in the Russian Federation. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. LXVI. N1. P. 71-75. DOI: 10.6060/rcj.2022661.10.
5. Dmitrieva E.D., Grinevich V.I., Gertsen M.M. Degradation of oil and petroleum products by biocompositions based on humic acids of peats and oil degrading microorganisms. *Ros. Khim. Zh.* 2022. V. LXVI. N 1. P. 42-56. DOI: 10.6060/rcj.2022661.7.
6. ASTM D92-18. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2018. 11 p.
7. AASHTO T 48-06 (2015) (ASTM D92-5a). Standard Method of Test for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. Washington: AASHTO. 2015. 5 p.
8. BS EN ISO 2592:2017. Petroleum and Related Products. Determination of Flash and Fire Points. Cleveland Open Cup Method. London: BSI. 2017. 26 p.
9. JIS K 2265-4:2007. Determination of flash point. Part 4: Cleveland Open Cup Method. [electronic resource]. URL: <https://jis.eomec.com/jisk226542007>. (accessed: 10.03.2023, in Japanese).
10. Nadkarni R.A.K. Guide to ASTM Test Methods for the Analysis of Petroleum Products, Liquid Fuels, and Lubricants (3rd ed.). West Conshohocken: ASTM International. 2020. 405 p.
11. Materials Testing. Washington: Departments of the Army, the Navy, and the Air Force. 1971. P. 3-15.
12. Manual on Flash Point Standards and Their Use: Methods and Regulations (by ed. H.A. Wray). Philadelphia: ASTM. 1992. 168 p.
13. White E.W. The Practice of Flash Point Determination: A Laboratory Resource (by ed. R.G. Montemayor). West Conshohocken: ASTM International. 2013. 93 p.
14. IS 1448 [P:69]:2013 (ISO 2592:2000). Methods of Test for Petroleum and Its Products [P:69] Determination of Flash and Fire Points – Cleveland Open Cup Method. New Delhi: BIS. 2013. 18 p.
15. INEN 808:1986. Petroleum Products. Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización. 1986. 12 p. (In Spanish).
16. INEN 808:2013. Petroleum Products. Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización. 2013. 15 p. (In Spanish).
17. INEN-ISO 2592:2014. Determination of Flash and Fire Points. Cleveland Open Cup Method. [electronic resource]. URL: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_2592.pdf (accessed: 11.03.2023, in Spanish).

17. **INEN-ISO 2592:2014**. Determinación de los Puntos de Inflamación y de Combustión. Método Cleveland en Vaso Abierto. [Электронный ресурс]. URL: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_2592.pdf (дата обращения: 11.03.2023).
18. **NBR 11341:2008**. Derivados de petróleo – Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland. Rio de Janeiro: ABNT. 2009. 22 p.
19. **SNI 2433:2011**. Cara uji titik nyala dan titik bakar aspal dengan alat Cleveland open cup. Jakarta: BSN. 2011. 20 p.
20. **INV E 709-13**. Puntos de Ignición y de Combustión la Copa Abierta Cleveland. Bogotá: Instituto Nacional de Vías. 2013. 20 p.
21. **FDUS 2940:2018 (ASTM D92-18)**. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. Kampala: UNBS. 2018. 20 p.
22. **NTC 5009 (2001)**. Pavimentos. Método de Ensayo para Punto de Chispa y Punto de Llama por Copa Abierta Cleveland. Bogotá: ICONTEC. 2001. 20 p.
23. **ME-26 (2003)**. Métodos de Ensaio Ponto de Fulgor – Vaso Aberto Cleveland. [Электронный ресурс]. URL: http://www.recife.pe.gov.br/pr/servicospublicos/em-lurb/cadernoencargos/pavimentacao_PontodefulgorvasoabertoCleveland.pdf (дата обращения: 10.03.2023).
24. **MTC E 303-2000**. Puntos de Inflamación y de Llama (Copa Abierta Cleveland). Arequipa: ICG. 2000. 9 p.
25. Highway Materials Manual. Riyadh: Ministry of Communications. 1999. V. 2, part 4 (Bituminous Materials). 18 p.
26. **FM 5-472, NAVFAC MO 330, AFJMAN 32-1221(I)**. Materials Testing. Washington: Headquarters Department of the Army. 2001. 366 p.
27. **COVENIN 372:97**. Productos Derivados del Petróleo. Determinación de los Puntos de Inflamación y Fuego. Método Cleveland de Copa Abierta. Caracas: COVENIN. 1997. 11 p.
28. **COVENIN 3361:98**. Líquidos Dieléctricos. Determinación del Punto de Inflamación y de Fuego por el Método de Copa Abierta Cleveland. Caracas: COVENIN. 1998. 12 p.
29. **DMMS ASTM D92-18**. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. [Электронный ресурс]. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/100770/183c752409e34851a1a85189a8372c48/ASTM-D92-18.pdf> (дата обращения: 10.03.2023).
30. Manual Técnicos para el Diseño de Carreteras en Bolivia. Sucre: Administradora Boliviana de Carreteras. 2018. V. 4. P. A0106.
31. **NC-ASTM D 92:2007**. Industria del Petróleo – Método de Ensayo Estándar para Deteminar Punto de Inflamación y Punto de Fuego por Equipo Cleveland Copa Abierta. Habana: NC. 2007. 25 p.
32. **NMX-T-139-SCFI-2005**. Industria Hulera – Materias Primas – Extendedores y Plastificantes para Compuestos de Hule – Punto de Inflamación y de Ignición por Copa Cleveland Abierta – Método de Prueba. [Электронный ресурс]. URL: https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_C222_NMX-T-139-SCFI-2005_R0_23JUN2005.pdf. (дата обращения 10.03.2023).
33. **AS 2585-2006**. Determination of Flash and Fire Points – Cleveland Open Cup Method. Sydney: Standards Australia. 2006. 14 p.
34. **SS-EN ISO 2592:2017**. Petroleum and Related Products – Determination of Flash and Fire Points. Cleveland Open Cup Method (ISO 2592:2017). Stockholm: SIS. 2017. 32 p.
35. **ISO 2592:2017**. Petroleum and Related Products – Determination of Flash and Fire Points. Cleveland Open Cup Method. Geneva: ISO. 2017. 24 p.
36. Specifications for Pesticides Used in Public Health. Geneva: WHO. 1997. p. 448.
37. **GOST 4333-2014 (ISO 2592:2000)**. Petroleum and Related Products. Determination of Flash and Fire Points by Open Cup Method. Moscow: Standardinform. 2019. 20 p. (In Russian).
38. **GOST 12.1.044-2018**. Fire and Explosion Hazard of Substances and Materials. Nomenclature of Indices and Methods
18. **NBR 11341:2008**. Petroleum products – Determination of the flash and fire points by Cleveland Open Cup. Rio de Janeiro: ABNT. 2009. 22 p. (In Portuguese).
19. **SNI 2433:2011**. Asphalt products. Method for determination of Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. Jakarta: BSN. 2011. 20 p. (In Indonesian).
20. **INV E 709-13**. Flash and fire points by Cleveland Open Cup. Bogotá: Instituto Nacional de Vías. 2013. 20 p. (In Spanish)
21. **FDUS 2940:2018 (ASTM D92-18)**. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. Kampala: UNBS. 2018. 20 p.
22. **NTC 5009 (2001)**. Pavimentos. Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. Bogotá: ICONTEC. 2001. 20 p. (In Spanish).
23. **ME-26 (2003)**. Test Methods for Flash Point – Cleveland Open Cup. [electronic resource]. URL: http://www.recife.pe.gov.br/pr/servicospublicos/emlurb/cadernoencargos/pavimentacao_PontodefulgorvasoabertoCleveland.pdf (accessed: 10.03.2023, in Portuguese).
24. **MTC E 303-2000**. Flash and fire points (Cleveland Open Cup). Arequipa: ICG. 2000. 9 p. (In Spanish).
25. Highway Materials Manual. Riyadh: Ministry of Communications. 1999. V. 2, part 4 (Bituminous Materials). 18 p.
26. **FM 5-472, NAVFAC MO 330, AFJMAN 32-1221(I)**. Materials Testing. Washington: Headquarters Department of the Army. 2001. 366 p.
27. **COVENIN 372:97**. Productos Derivados del Petróleo. Determinación de los Puntos de Inflamación y Fuego. Método Cleveland de Copa Abierta. Caracas: COVENIN. 1997. 11 p.
28. **COVENIN 3361:98**. Dielectric liquids. Determination of Flash and Fire Points. Cleveland Open Cup Method. Caracas: COVENIN. 1998. 12 p. (In Spanish).
29. **DMMS ASTM D92-18**. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. [electronic resource]. URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/100770/183c752409e34851a1a85189a8372c48/ASTM-D92-18.pdf>. (accessed: 10.03.2023, in Burmese).
30. Manual for Road Design in Bolivia. Sucre: Bolivian Highway Administrator. 2018. V. 4. P. A0106. (In Spanish).
31. **NC-ASTM D 92:2007**. Oil industry – Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Cup Tester. Havana: NC. 2007. 25 p. (In Spanish).
32. **NMX-T-139-SCFI-2005**. Rubber Industry – Raw Materials – Rubber Compounds Extenders and Plasticizers – Flash and Fire Points by the Cleveland Open Cup – Test Method. [electronic resource]. URL: https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_C222_NMX-T-139-SCFI-2005_R0_23JUN2005.pdf. (accessed: 10.03.2023, in Spanish).
33. **AS 2585-2006**. Determination of Flash and Fire Points – Cleveland Open Cup Method. Sydney: Standards Australia. 2006. 14 p.
34. **SS-EN ISO 2592:2017**. Petroleum and Related Products – Determination of Flash and Fire Points. Cleveland Open Cup Method (ISO 2592:2017). Stockholm: SIS. 2017. 32 p.
35. **ISO 2592:2017**. Petroleum Products – Determination of Flash and Fire Points. Cleveland Open Cup Method. Geneva: ISO. 2017. 24 p.

36. Specifications for Pesticides Used in Public Health. Geneva: WHO. 1997. p. 448.
37. **ГОСТ 4333-2014 (ISO 2592:2000)**. Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле. М.: Стандартинформ. 2019. 20 с.
38. **ГОСТ 12.1.044-2018**. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Стандартинформ. 2018. 206 с.
39. **ГОСТ 33141-2014**. Дороги автомобильные общего пользования. Битумы нефтяные дорожные вязкие. Метод определения температуры вспышки. Метод с применением открытого тигля Кливленда. М.: Стандартинформ. 2015. 11 с.
40. **СТБ 1651-2006**. Нефтепродукты. Определение температур вспышки и воспламенения в приборе с открытым тиглем по методу Кливленда. Минск: Госстандарт. 2006. 21 с.
41. **СТБ ISO 2592-2010**. Нефтепродукты. Определение температур вспышки и воспламенения в приборе с открытым тиглем по методу Кливленда. Минск: Госстандарт. 2010. 18 с.
42. **ГОСТ 4333-2021 (ISO 2592:2017)**. Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле. М.: Стандартинформ. 2021. 24 с.
43. **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.
44. **Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М.** История классификации легковоспламеняющихся жидкостей в США. *Вопросы истории естествознания и техники*. 2018. Т. 39. № 3. С. 508-519. DOI: 10.31857/S020596060001121-5.
45. **Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М.** Первые нафтометры для определения температуры вспышки жидкостей. 1. Открытый тигель. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2018. Т. 62. № 3. С. 71-87.
46. **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.
47. **Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М.** Первые нафтометры для определения температуры вспышки жидкостей. 2. Полузакрытый тигель. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2019. Т. 63. № 1. С. 55-70. DOI: 10.6060/rcj.2019631.4.
48. **Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Зарипова К.А., Барбин Н.М.** Первые нафтометры для определения температуры вспышки жидкостей. 3. Паровые тестеры. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2019. Т. 63. № 1. С. 71-85. DOI: 10.6060/rcj.2019631.5.
49. **Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Алексеев К.С., Барбин Н.М.** Первые нафтометры для определения температуры вспышки жидкостей. 4. Закрытые и дистилляционные тестеры. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2019. Т. 63. № 2. С. 85-97. DOI: 10.6060/rcj.2019632.12.
50. **Alexeev S., Smirnov V., Barbin N., Alexeeva D.** Evolution of the classification of flammable and combustible liquids in Russia. *Process Safety Progress*. 2018. V. 37. N 2. P. 230-236. DOI: 10.1002/prs.11949.
51. **Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Барбин Н.М.** Экспертиза высказывания Д.И. Менделеева о британском лимите для безопасного керосина. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2020. Т. 64. № 1. С. 113-121. DOI: 10.6060/rcj.2020641.11.
52. **Yergin D.** The Prize. The Epic Quest for Oil, Money, and Power. New York: Simon & Schuster. 1991. 35 p.
- for their Determination. Moscow: Standardinform. 2018. 206 p. (In Russian).
39. **GOST 33141-2014**. Car Roads. Roads Viscous Bitumen. The Method for Determining the Flash Point. The Cleveland Open Cup Method. Moscow: Standardinform. 2015. 11 p. (In Russian).
40. **STB 1651-2006**. Petroleum Products. Determination of Flash and Fire Points. Cleveland Open Cup Method. Minsk: Gosstandart. 2006. 21 p. (In Russian).
41. **STB ISO 2592-2010**. Petroleum Products. Determination of Flash and Fire Points. Cleveland Open Cup Method. Minsk: Gosstandart. 2010. 18 p. (In Russian).
42. **GOST 4333-2021 (ISO 2592:2017)**. Petroleum Products. Determination of Flash and Fire Points by Open Cup Method. Moscow: Standardinform. 2021. 24 p. (In Russian).
43. **Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M.** History of the classification of flammable and combustible liquids in the UK. *History of Sciences and Engineering*. 2017. N 12. P. 60-66. (In Russian).
44. **Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M.** History of Flammable Liquid Classification in the United States. *Studies in the History of Science and Technology*. 2018. V. 39. N 3. P. 508-519. DOI: 10.31857/S020596060001121-5. (In Russian).
45. **Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M.** First Naphthometers to Determine the Flash Point of Liquids: I. Open Cup Devices. *Ros. Khim. Zh.* 2018. V. 62. N 3. P. 71-87.
46. **Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M.** The Birth of the German Classification of Flammable Liquids and First Testers of Flash Point in Germany. *History and Pedagogy of Natural Science*. 2019. N 1. P. 45-51. DOI: 10.24411/2226-2296-2019-10109. (In Russian).
47. **Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M.** First Naphthometers to Determine the Flash Point of Liquids: II. Semiclosed Testers. *Ros. Khim. Zh.* 2021. V. 91. N 3. P. 508-519. DOI: 10.1134/S1070363221030191.
48. **Alexeev S.G., Smirnov V.V., Zaripova K.A., Barbin N.M.** First Naphthometers to Determine the Flash Point of Liquids: III.1 Vapor Testers. *Ros. Khim. Zh.* 2021. V. 91. N 6. P. 1157-1170. DOI: 10.1134/S1070363221060281.
49. **Alexeev S.G., Smirnov V.V., Alexeev K.S., Barbin N.M.** First Naphthometers to Determine the Flash Point of Liquids: IV.1 Closed and Distillation Testers. *Ros. Khim. Zh.* 2021. V. 91. N 6. P. 1178-1189. DOI: 10.1134/S107036322106030X.
50. **Alexeev S., Smirnov V., Barbin N., Alexeeva D.** Evolution of the classification of flammable and combustible liquids in Russia. *Process Safety Progress*. 2018. V. 37. N 2. P. 230-236. DOI: 10.1002/prs.11949.
51. **Alexeev S.G., Smirnov V.V., Barbin N.M.** Examination of the D.I. Mendeleev's expression about the British limit for safe kerosene. *Ros. Khim. Zh.* 2020. V. 64. N 1. P. 113-121. DOI: 10.6060/rcj.2020641.11. (In Russian).
52. **Yergin D.** The Prize. The Epic Quest for Oil, Money, and Power. New York: Simon & Schuster. 1991. 35 p.
53. **Teknisk Rapport SIS-CEN/TR 17309:2019**. Test Methods for Environmental Characterization of Solid Matrices – Guide to Flash Point Testing. Stockholm: Swedish Institute for Standards. 2019. 20 p.
54. Report upon the Inspection of Kerosene in the City of Providence. Providence: Angell, Burlingame & Co., Printers to the City. 1877. 34 p.
55. **Stillman B.** The Stevens Indicator. 1890. V. 7. N 1. P. 211.
56. **Beckwith D.H.** The Sanitarian. 1887. V. 18. N 208. P. 247.
57. The Railroad Gazette. 1891. (June 22). P. 405.

53. **Teknisk Rapport SIS-CEN/TR 17309:2019.** Test Methods for Environmental Characterization of Solid Matrices – Guide to Flash Point Testing. Stockholm: Swedish Institute for Standards. 2019. 20 p.
54. Report upon the Inspection of Kerosene in the City of Providence. Providence: Angell, Burlingame & Co., Printers to the City. 1877. 34 p.
55. **Stillman B.** *The Stevens Indicator*. 1890. V. 7. N 1. P. 211.
56. **Beckwith D.H.** *The Sanitarian*. 1887. V. 18. N 208. P. 247.
57. *The Railroad Gazette*. 1891. (June 22). P. 405.
58. **Stillman T.B.** *Engineering Chemistry: A Manual of Quantitative Chemical Analysis for the Use of Students, Chemists and Engineers*. Easton: Chemical Publ. Co. 1897. 404 p.
59. **Stillman T.B.** *Engineering Chemistry: A Manual of Quantitative Chemical Analysis for the Use of Students, Chemists and Engineers*. Easton: Chemical Publ. Co. 1900. 376 p.
60. *The Chemical Engineer*. 1905. V. 3. N 2. P. 87.
61. **Stillman T.B.** *Engineering Chemistry: A Manual of Quantitative Chemical Analysis for the Use of Students, Chemists and Engineers*. Easton: Chemical Publ. Co. 1916. p. 382.
62. **Coleman C.P.** *The Railroad Gazette*. 1891. (April 17). P. 263.
63. **Lockhart L.B.** *American Lubricants from the Standpoint of the Consumer*. Easton: Chemical Publ. Co. 1918. 111 p.
64. **Dudley C.B., Pease F.N.** Method of determining flashing and burning points of combustible liquids. *American Engineer and Railroad Journal*. 1895. V. 69. N 5. P. 201.
65. **Wellington A.M., Penniman W.B.D., Baker C.W.** *The Comparative Merits of Various Systems of Car Lighting*. New York: Engineering News Publ. Co. 1892. 341 p.
66. **Tarbell I.** *The History of the Standard Oil Company*. Cleveland: Belt Publishing. 1904. V. 1. 38 p.
67. **Davis W.M.** *Friction and Lubrication a Hand-Book for Engineers, Mechanics, Superintendents and Managers*. Pittsburgh: The Lubrication Publishing Co. 1904. 57 p.
68. **Carpenter R.C.** *Experimental Engineering and Manual for Testing for Engineers and Students in Engineering Laboratories*. New York: J. Wiley & Sons. 1906. 211 p.
69. *A Textbook on Applied Chemistry. Manufacture of Cement, Manufacture of Paper, Manufacture of Sugar, Petroleum and Products, Manufacture of Gas*. Scranton: International Textbook Co. 1900. P. §53-20.
70. *International Library of Technology. Manufacture of Cement, Manufacture of Paper, Manufacture of Sugar, Petroleum and Products, Manufacture of Gas*. Scranton: International Textbook Co. 1902. P. §53-20.
71. **Kauffman J.L.** *Lubricating Oils. The Examination, Laboratory and Practical Methods of Testing*. *Journal of the American Society of Naval Engineers*. 1916. V. 28. N 3. P. 692. DOI: 10.1111/j.1559-3584.1916.tb00073.x.
72. **Battle J.R.** *Lubricating Engineer's Handbook*. Philadelphia: J. B. Lippincott Co. 1916. 59 p.
73. **Cunningham R.W.** *Journal of the Society of Automotive Engineering*. 1919. V. 5. N 1. P. 78.
74. **Leech T.B.** *Colorado School of Mines Magazine*. 1919. V. 9. N 5. P. 105.
75. **Cross R.** *A Handbook of Petroleum, Asphalt and Natural Gas. Methods of Analysis, Specifications, Properties, Refining Processes, Statistics, Tables and Bibliography*. Kansas: Kansas City Testing Laboratory. 1919. 313 p.
76. **Schlueter W.A.C.** *General Testing Methods and Tables for Mineral Oils*. Wichita: Western Lithograph & Office Supply Co. 1920. 11 p.
77. *Lubrication*. 1920. V. 6. N 11. P. 9.
58. **Stillman T.B.** *Engineering Chemistry: A Manual of Quantitative Chemical Analysis for the Use of Students, Chemists and Engineers*. Easton: Chemical Publ. Co. 1897. 404 p.
59. **Stillman T.B.** *Engineering Chemistry: A Manual of Quantitative Chemical Analysis for the Use of Students, Chemists and Engineers*. Easton: Chemical Publ. Co. 1900. 376 p.
60. *The Chemical Engineer*. 1905. V. 3. N 2. P. 87.
61. **Stillman T.B.** *Engineering Chemistry: A Manual of Quantitative Chemical Analysis for the Use of Students, Chemists and Engineers*. Easton: Chemical Publ. Co. 1916. 382 p.
62. **Coleman C.P.** *The Railroad Gazette*. 1891. (April 17). P. 263.
63. **Lockhart L.B.** *American Lubricants from the Standpoint of the Consumer*. Easton: Chemical Publ. Co. 1918. 111 p.
64. **Dudley C.B., Pease F.N.** Method of determining flashing and burning points of combustible liquids. *American Engineer and Railroad Journal*. 1895. V. 69. N 5. P. 201.
65. **Wellington A.M., Penniman W.B.D., Baker C.W.** *The Comparative Merits of Various Systems of Car Lighting*. New York: Engineering News Publ. Co. 1892. 341 p.
66. **Tarbell I.** *The History of the Standard Oil Company*. Cleveland: Belt Publishing. 1904. V. 1. 38 p.
67. **Davis W.M.** *Friction and Lubrication a Hand-Book for Engineers, Mechanics, Superintendents and Managers*. Pittsburgh: The Lubrication Publishing Co. 1904. 57 p.
68. **Carpenter R.C.** *Experimental Engineering and Manual for Testing for Engineers and Students in Engineering Laboratories*. New York: J. Wiley & Sons. 1906. 211 p.
69. *A Textbook on Applied Chemistry. Manufacture of Cement, Manufacture of Paper, Manufacture of Sugar, Petroleum and Products, Manufacture of Gas*. Scranton: International Textbook Co. 1900. P. §53-20.
70. *International Library of Technology. Manufacture of Cement, Manufacture of Paper, Manufacture of Sugar, Petroleum and Products, Manufacture of Gas*. Scranton: International Textbook Co. 1902. P. §53-20.
71. **Kauffman J.L.** *Lubricating Oils. The Examination, Laboratory and Practical Methods of Testing*. *Journal of the American Society of Naval Engineers*. 1916. V. 28. N 3. P. 692. DOI: 10.1111/j.1559-3584.1916.tb00073.x.
72. **Battle J.R.** *Lubricating Engineer's Handbook*. Philadelphia: J. B. Lippincott Co. 1916. 59 p.
73. **Cunningham R.W.** *Journal of the Society of Automotive Engineering*. 1919. V. 5. N 1. P. 78.
74. **Leech T.B.** *Colorado School of Mines Magazine*. 1919. V. 9. N 5. P. 105.
75. **Cross R.** *A Handbook of Petroleum, Asphalt and Natural Gas. Methods of Analysis, Specifications, Properties, Refining Processes, Statistics, Tables and Bibliography*. Kansas: Kansas City Testing Laboratory. 1919. 313 p.
76. **Schlueter W.A.C.** *General Testing Methods and Tables for Mineral Oils*. Wichita: Western Lithograph & Office Supply Co. 1920. 11 p.
77. *Lubrication*. 1920. V. 6. N 11. P. 9.
78. **Rowland. G.R.** *Lubrication and Lubricants*. *Journal of the American Society for Naval Engineers*. 1919. V. 31. N 1. P. 97-138. DOI: 10.1111/j.1559-3584.1919.tb04845.x.
79. **Osborne W.F.** *Petroleum Magazine*. 1920. V. 8. N 5. P. 39.
80. **Osborne W.F.** *Power*. 1920. V. 51. N 2. P. 66.
81. *Laboratory Apparatus for Chemical, Industrial, Bacteriological, Biological, Board of Health and Soil Testing Laboratories*. Catalog C N 218. Chicago: Central Scientific Co. 1918. 375 p.
82. *Apparatus and Supplies for Chemical and Biological Laboratories*. Catalog F. Rochester: Bausch & Lomb Co. 1904. 308 p.

78. **Rowland, G.R.** Lubrication and Lubricants. *Journal of the American Society for Naval Engineers*. 1919. V. 31. N 1. P. 97-138. DOI: 10.1111/j.1559-3584.1919.tb04845.x.
79. **Osborne W.F.** *Petroleum Magazine*. 1920. V. 8. N 5. P. 39.
80. **Osborne W.F.** *Power*. 1920. V. 51. N 2. P. 66.
81. Laboratory Apparatus for Chemical, Industrial, Bacteriological, Biological, Board of Health and Soil Testing Laboratories. Catalog C N 218. Chicago: Central Scientific Co. 1918. 375 p.
82. Apparatus and Supplies for Chemical and Biological Laboratories. Catalog F. Rochester: Bausch & Lomb Co. 1904. 308 p.
83. Chemical Engineering Catalog. New York: The Chemical Catalog Co., Inc. 1916. 261 p.
84. Laboratory Apparatus and Reagents. Philadelphia: Arthur H. Thomas Co. 1914. 368 p.
85. Laboratory Supplies and Chemicals for Chemists and Bacteriologists. Chicago: A. Daigger & Co. 1919. 221 p.
86. Price List N 20 of Scientific Laboratory Apparatus. Chicago: E.H. Sargent & Co. 1914. 224 p.
87. Illustrated Catalogue of Chemical Apparatus Assay Goods and Laboratory Supplies. New York: Eimer & Amed. 1910. 272 p.
88. Catalog AA. Chemical and Metallurgical Laboratory Supplies and Assayers' Materials. New York: Eimer & Amed. 1920. 384 p.
89. Laboratory Apparatus and Reagents. Philadelphia: Arthur H. Thomas Co. 1921. 451 p.
90. **Wood F.** Modern Road Construction. London: Charles Griffin and Co. 1920. 204 p.
91. *Railway Age*. 1920. N 11a. P. 822.
92. **Hubbard P.** Methods for the Examination of Bituminous Road Materials. US Department of Agriculture Bulletin N 314. Washington: Government Printing Office. 1915. 17 p.
93. **Roman F.L.** The Testing of Road Oils. Bulletin N 13. Springfield: State Highway Department of State of Illinois. 1916. 21 p.
94. **Parr S.W.** The Analysis of Fuel, Gas, Water and Lubricants. New York: McGraw-Hill Book Co. 1922. 223 p.
95. **Hamor W.A., Padgett F.W.** The Technical Examination of Crude Petroleum, Petroleum Products and Natural Gas. New York: McGraw-Hill Book Co. 1920. 103 p.
96. **Battle J.R.** The Handbook of Industrial Oil Engineering. Philadelphia: J.B. Lippincott Co. 1920. 286 p.
97. **Hobein C.A.** Proceeding of the American Electric Railway Engineering Association. New York: American Electric Association. 1912. 408 p.
98. *Air Service Information Circular*. 1920. V. 2. N 118. P. 2.
99. **Engelder C.J.** A Laboratory Manual of Gas, Oil and Fuel Analysis. New York: J. Wiley & Sons. Inc. 1931. 150 p.
100. **Holmes U.T.** Experimental Engineering. Annapolis: U.S. Naval Institute. 1911. 220 p.
101. American Railroad Association. Signal Division. Proceedings 1920. Bethlehem: Times Publishing. 1921. V. 17. P. A244.
102. United States Navy Aviation Mechanics' Training System for Engine Maintenance Force. Course Manual for Machinist's Mates' (A). (Advanced) Course. Aviation Mechanics' Schools. 1920. 74 p.¹⁰
103. **Tucker A.** Airplanes, Airships, Aircraft Engines. Annapolis: US Naval Institute. 1921. 422 p.
104. **Алексеев С.Г., Смирнов В.В., Гурьев Е.С., Полуян Л.В.** Эволюция идей огненных тестов качества керосина. 83. Chemical Engineering Catalog. New York: The Chemical Catalog Co., Inc. 1916. 261 p.
84. Laboratory Apparatus and Reagents. Philadelphia: Arthur H. Thomas Co. 1914. 368 p.
85. Laboratory Supplies and Chemicals for Chemists and Bacteriologists. Chicago: A. Daigger & Co. 1919. 221 p.
86. Price List N 20 of Scientific Laboratory Apparatus. Chicago: E.H. Sargent & Co. 1914. 224 p.
87. Illustrated Catalogue of Chemical Apparatus Assay Goods and Laboratory Supplies. New York: Eimer & Amed. 1910. 272 p.
88. Catalog AA. Chemical and Metallurgical Laboratory Supplies and Assayers' Materials. New York: Eimer & Amed. 1920. 384 p.
89. Laboratory Apparatus and Reagents. Philadelphia: Arthur H. Thomas Co. 1921. 451 p.
90. **Wood F.** Modern Road Construction. London: Charles Griffin and Co. 1920. 204 p.
91. *Railway Age*. 1920. N 11a. P. 822.
92. **Hubbard P.** Methods for the Examination of Bituminous Road Materials. US Department of Agriculture Bulletin N 314. Washington: Government Printing Office. 1915. 17 p.
93. **Roman F.L.** The Testing of Road Oils. Bulletin N 13. Springfield: State Highway Department of State of Illinois. 1916. 21 p.
94. **Parr S.W.** The Analysis of Fuel, Gas, Water and Lubricants. New York: McGraw-Hill Book Co. 1922. 223 p.
95. **Hamor W.A., Padgett F.W.** The Technical Examination of Crude Petroleum, Petroleum Products and Natural Gas. New York: McGraw-Hill Book Co. 1920. 103 p.
96. **Battle J.R.** The Handbook of Industrial Oil Engineering. Philadelphia: J.B. Lippincott Co. 1920. 286 p.
97. **Hobein C.A.** Proceeding of the American Electric Railway Engineering Association. New York: American Electric Association. 1912. 408 p.
98. *Air Service Information Circular*. 1920. V. 2. N 118. P. 2.
99. **Engelder C.J.** A Laboratory Manual of Gas, Oil and Fuel Analysis. New York: J. Wiley & Sons. Inc. 1931. 150 p.
100. **Holmes U.T.** Experimental Engineering. Annapolis: U.S. Naval Institute. 1911. 220 p.
101. American Railroad Association. Signal Division. Proceedings 1920. Bethlehem: Times Publishing. 1921. V. 17. P. A244.
102. United States Navy Aviation Mechanics' Training System for Engine Maintenance Force. Course Manual for Machinist's Mates' (A). (Advanced) Course. Aviation Mechanics' Schools. 1920. 74 p.¹²
103. **Tucker A.** Airplanes, Airships, Aircraft Engines. Annapolis: US Naval Institute. 1921. 422 p.
104. **Alexeev S.G., Smirnov V.V., Gurev E.S., Poluyan L.V.** The Evolution of Fire Test Ideas for Kerosene Quality Testing. *Occupation Safety in Industrial*. 2020. N 9. P. 30. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-9-30-35.
105. Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Meeting (Held at Asbury Park, New Jersey, June 21-24. 1921). Philadelphia: ASTM. 1921. V. 21. 651 p.
106. Methods for Testing Petroleum Products. A Handbook for Inspecting Laboratories. Washington: Government Printing Office. 1922. 28 p.
107. United States Government Specification for Lubricants and Liquid Fuels and Methods for Testing. Technical Paper 323A. Washington: Government Printing Office. 1924. 61 p.

¹⁰ Место издания в оригинале не указано.

¹² Место издания в оригинале не указано.

- Безопасность труда в промышленности*. 2020. № 9. С. 30. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-9-30-35.
105. Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Meeting (Held at Asbury Park, New Jersey, June 21-24. 1921). Philadelphia: ASTM. 1921. V. 21. 651 p.
 106. Methods for Testing Petroleum Products. A Handbook for Inspecting Laboratories. Washington: Government Printing Office. 1922. 28 p.
 107. United States Government Specification for Lubricants and Liquid Fuels and Methods for Testing. Technical Paper 323A. Washington: Government Printing Office. 1924. 61 p.
 108. Proceedings of the Twenty-Sixth Annual Meeting (Held at Atlantic City, New Jersey, June 26-29. 1923). Philadelphia: ASTM. 1923. V. 23. 690 p.
 109. **Barton W.H., Doane L.H.** Sampling and Testing of Highway Materials. London: McGraw-Hill Book Co., Inc. 1925. 244 p.
 110. Standards and Specifications for Nonmetallic Minerals and their Products. Washington: Government Printing Office. 1930. 90 p.
 111. *National Petroleum News*. 1924. V. 16. N 38. P. 94.
 112. *The Oil and Gas Journal*. 1924. V. 23. N 9. P. 179.
 113. Illustrated Catalog N 10. Assayers' and Chemists' Supplies Scientific Apparatus Chemicals and Refractories. Denver: The Denver Fire Clay Co. 1923. 358 p.
 114. **Stillman T.B., Stillman A.L.** Engineering Chemistry; a Manual of Physical Testing and Quantitative Chemical Analysis for the Use of Students, Chemists and Engineers. Easton: The Chemical Publishing Co. 1928. 152 p.
 115. Tag Manual for Inspectors of Petroleum / by ed. R.M. Wilhelm. New York: C.J. Tagliabue Mfg. Co. 1923. 68 p.
 116. Laboratory Apparatus for Chemical, Industrial, Metallurgical, Bacteriological, Biological, Board of Health, Hospital and Soil-Testing Laboratories. Catalog C N 222. Chicago: Central Scientific Co. 1922. 369 p.
 117. Cours de Chimie Industrielle. Montréal: Louis Bourgoïn, I.C. 1930. N 3. P. 81, 122.
 118. **Snook W.A.** *Lubrication*. 1968. V. 54. N 9. P. 97.
 119. Book of A.S.T.M. Standards Including Tentative Standards (A Triennial Publication). Part II (Nonmetallic Materials – Constructional). Philadelphia: ASTM. 1944. 981 p.
 120. 1945 Supplement A.S.T.M. Standards Including Tentatives. Part III (Nonmetallic Materials – General). Philadelphia: ASTM. 1945. 17 p.
 121. Book of A.S.T.M. Standards Including Tentative Standards (A Triennial Publication). Part II (Nonmetallic Materials – Constructional). Philadelphia: ASTM. 1946. 702 p.
 122. Book of A.S.T.M. Standards Including Tentatives (A Triennial Publication). Part 5 (Fuels, Petroleum, Aromatic Hydrocarbons, Engine Antifreezes). Philadelphia: ASTM. 1946. 33 p.
 123. Methods of Analysis for Petrochemicals / by ed. E.R. Littmann. New York: Chemical Publishing Co., Inc. 1958. 47 p.
 124. ASTM Standards on Bituminous Materials for Highway Construction, Waterproofing, and Roofing. Philadelphia: ASTM. 1958. 980 p.
 125. Engineering Design Handbook. Hydraulic Fluids. Washington: Headquarters U.S. Army Materiel Command. 1971. P. 3-22.
 126. AASHTO T48-81 (ASTM D92-78). Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. Washington: AASHTO. 1981. 7 p.
 127. A Review of Analytical Methods for Bitumens and Heavy Oils / by ed. D. Wallace. Edmonton: Alberta Oil Sands Technology and Research Authority. 1988. 176 p.
 108. Proceedings of the Twenty-Sixth Annual Meeting (Held at Atlantic City, New Jersey, June 26-29. 1923). Philadelphia: ASTM. 1923. V. 23. 690 p.
 109. **Barton W.H., Doane L.H.** Sampling and Testing of Highway Materials. London: McGraw-Hill Book Co., Inc. 1925. 244 p.
 110. Standards and Specifications for Nonmetallic Minerals and their Products. Washington: Government Printing Office. 1930. 90 p.
 111. *National Petroleum News*. 1924. V. 16. N 38. P. 94.
 112. *The Oil and Gas Journal*. 1924. V. 23. N 9. P. 179.
 113. Illustrated Catalog N 10. Assayers' and Chemists' Supplies Scientific Apparatus Chemicals and Refractories. Denver: The Denver Fire Clay Co. 1923. 358 p.
 114. **Stillman T.B., Stillman A.L.** Engineering Chemistry; a Manual of Physical Testing and Quantitative Chemical Analysis for the Use of Students, Chemists and Engineers. Easton: The Chemical Publishing Co. 1928. 152 p.
 115. Tag Manual for Inspectors of Petroleum / by ed. R.M. Wilhelm. New York: C.J. Tagliabue Mfg. Co. 1923. 68 p.
 116. Laboratory Apparatus for Chemical, Industrial, Metallurgical, Bacteriological, Biological, Board of Health, Hospital and Soil-Testing Laboratories. Catalog C N 222. Chicago: Central Scientific Co. 1922. 369 p.
 117. Cours de Chimie Industrielle. Montréal: Louis Bourgoïn, I.C. 1930. N 3. P. 81, 122.
 118. **Snook W.A.** *Lubrication*. 1968. V. 54. N 9. P. 97.
 119. Book of A.S.T.M. Standards Including Tentative Standards (A Triennial Publication). Part II (Nonmetallic Materials – Constructional). Philadelphia: ASTM. 1944. 981 p.
 120. 1945 Supplement A.S.T.M. Standards Including Tentatives. Part III (Nonmetallic Materials – General). Philadelphia: ASTM. 1945. 17 p.
 121. Book of A.S.T.M. Standards Including Tentative Standards (A Triennial Publication). Part II (Nonmetallic Materials – Constructional). Philadelphia: ASTM. 1946. 702 p.
 122. Book of A.S.T.M. Standards Including Tentatives (A Triennial Publication). Part 5 (Fuels, Petroleum, Aromatic Hydrocarbons, Engine Antifreezes). Philadelphia: ASTM. 1946. 33 p.
 123. Methods of Analysis for Petrochemicals / by ed. E.R. Littmann. New York: Chemical Publishing Co., Inc. 1958. 47 p.
 124. ASTM Standards on Bituminous Materials for Highway Construction, Waterproofing, and Roofing. Philadelphia: ASTM. 1958. 980 p.
 125. Engineering Design Handbook. Hydraulic Fluids. Washington: Headquarters U.S. Army Materiel Command. 1971. P. 3-22.
 126. AASHTO T48-81 (ASTM D92-78). Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. Washington: AASHTO. 1981. 7 p.
 127. A Review of Analytical Methods for Bitumens and Heavy Oils / by ed. D. Wallace. Edmonton: Alberta Oil Sands Technology and Research Authority. 1988. 176 p.
 128. **ASTM D92-90**. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. West Conshohocken: ASTM International. 1990. 5 p.
 129. **ASTM D92-01**. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2001. 9 p.
 130. **ASTM D92-02b**. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2002. 10 p.
 131. **ASTM D92-05a**. Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2005. 10 p.

128. **ASTM D92-90.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. West Conshohocken: ASTM International. 1990. 5 p.
129. **ASTM D92-01.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2001. 9 p.
130. **ASTM D92-02b.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2002. 10 p.
131. **ASTM D92-05a.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2005. 10 p.
132. **ASTM D92-11.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2011. 10 p.
133. **ASTM D92-12.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2012. 10 p.
134. **ASTM D92-16b.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2016. 11 p.
135. *ASTM Bulletin.* 1952. N 12 (186). P. 92.
136. *ASTM Bulletin.* 1958. N 1 (227). P. 91.
137. *Journal of Chemical Education.* 1958. V. 35. N 4. P. A166.
138. *Railway Locomotives and Cars.* 1956. V. 130. N 12. P. 71.
139. Testing Equipment for Asphalt, Tar, Petroleum Products, Cement, Concrete. Catalog 15. Chicago: Humboldt Mfg. Co. 13 p.¹¹
140. CE 354. Transportation Engineering Sessional – I (Lab Manual). Dhaka: Department of Civil Engineering of Ahsanullah University of Science and Technology. 2018. 92 p.
141. **Herubin C.A., Marota T.W.** Basic construction materials. Reston: A Prentice-Hall Co. 1977. 97 p.
142. **ASTM D92-98a.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. West Conshohocken: ASTM International. 1998. 8 p.
143. **INV E 709-07.** Puntos de Ignición y de Combustión la Copa Abierta Cleveland. Bogotá: Instituto Nacional de Vías. 2007. 13 p.
144. **ISO 2592-1973.** Petroleum and Related Products – Determination of Flash and Fire Points – Cleveland Open Cup Method. Geneva: ISO. 1973. 8 p.
145. **ISO 2592:2000.** Determination of Flash and Fire Points – Cleveland Open Cup Method. Geneva: ISO. 2000. 19 p.
146. **Gibbons W.S.** Kerosene oil: What it is; with causes and prevention of accidents in its use, together with upwards of fifty analyses and experiments with samples sold in Melbourne. Melbourne: F. Bailliere, Publisher & Importer. 1862. 33 p.
147. **Macadam J.** *Transactions and Procctding of the Royal Society of Victoria.* 1865. V. 6. P. 61.
148. **Ishida H., Iwama A.** Some Critical Discussions On Flash and Fire Points of Liquid Fuels. *Fire Safety Science.* 1986. V. 1. P. 217. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.1-217.
149. **Fedoroff B.T., Sheffield O.E.** Encyclopedia of Explosives and Related Items. TACOM-ARDEC, WECAC, Picatinny Arsenal. 1974. V. 6. P. F80.
150. **ГОСТ 12.1.044-89.** Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Стандартинформ. 2006. 100 с.
132. **ASTM D92-11.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2011. 10 p.
133. **ASTM D92-12.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2012. 10 p.
134. **ASTM D92-16b.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2016. 11 p.
135. *ASTM Bulletin.* 1952. N 12 (186). P. 92.
136. *ASTM Bulletin.* 1958. N 1 (227). P. 91.
137. *Journal of Chemical Education.* 1958. V. 35. N 4. P. A166.
138. *Railway Locomotives and Cars.* 1956. V. 130. N 12. P. 71.
139. Testing Equipment for Asphalt, Tar, Petroleum Products, Cement, Concrete. Catalog 15. Chicago: Humboldt Mfg. Co. 13 p.¹³
140. CE 354. Transportation Engineering Sessional – I (Lab Manual). Dhaka: Department of Civil Engineering of Ahsanullah University of Science and Technology. 2018. 92 p.
141. **Herubin C.A., Marota T.W.** Basic construction materials. Reston: A Prentice-Hall Co. 1977. 97 p.
142. **ASTM D92-98a.** Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup. West Conshohocken: ASTM International. 1998. 8 p.
143. **INV E 709-07.** Puntos de Ignición y de Combustión la Copa Abierta Cleveland. Bogotá: Instituto Nacional de Vías. 2007. 13 p.
144. **ISO 2592-1973.** Petroleum and Related Products – Determination of Flash and Fire Points – Cleveland Open Cup Method. Geneva: ISO. 1973. 8 p.
145. **ISO 2592:2000.** Determination of Flash and Fire Points – Cleveland Open Cup Method. Geneva: ISO. 2000. 19 p.
146. **Gibbons W.S.** Kerosene oil: What it is; with causes and prevention of accidents in its use, together with upwards of fifty analyses and experiments with samples sold in Melbourne. Melbourne: F. Bailliere, Publisher & Importer. 1862. 33 p.
147. **Macadam J.** *Transactions and Procctding of the Royal Society of Victoria.* 1865. V. 6. P. 61.
148. **Ishida H., Iwama A.** Some Critical Discussions On Flash and Fire Points of Liquid Fuels. *Fire Safety Science.* 1986. V. 1. P. 217. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.1-217.
149. **Fedoroff B.T., Sheffield O.E.** Encyclopedia of Explosives and Related Items. TACOM-ARDEC, WECAC, Picatinny Arsenal. 1974. V. 6. P. F80.
150. **GOST 12.1.044-89.** Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their determination. M.: Standartinform. 2006. 100 p. (in Russian).
151. **ASTM D8254-19.** Standard Test Method for Flash and Fire Points of Asphalt by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2019. 8 p.
152. Automatic Open Cleveland Flash and Fire Equipment. *Industrial & Engineering Chemistry.* 1932. V. 4. N 2. P. 209. DOI: 10.1021/ac50078a019.
153. **Irwin W.H., Law T.C., Sheely M.L., Long C.P., Wesson D., Bailey R.W., Vollertsen J.J., Trevithick H.P., Morrison H.J., Tolman L.M.** Fat analysis committee progress report. *Oil & Soap.* 1933. V. 10. N 12. P. 231. DOI: 10.1007/bf02639123.

¹¹ В Оригине год издания не указан.

¹³ В Оригине год издания не указан.

151. **ASTM D8254-19**. Standard Test Method for Flash and Fire Points of Asphalt by Cleveland Open Cup Tester. West Conshohocken: ASTM International. 2019. 8 p.
152. Automatic Open Cleveland Flash and Fire Equipment. *Industrial & Engineering Chemistry*. 1932. V. 4. N 2. P. 209. DOI: 10.1021/ac50078a019.
153. **Irwin W.H., Law T.C., Sheely M.L., Long C.P., Wesson D., Bailey R.W., Vollertsen J.J., Trevithick H.P., Morrison H.J., Tolman L.M.** Fat analysis committee progress report. *Oil & Soap*. 1933. V. 10. N 12. P. 231. DOI: 10.1007/bf02639123.
154. **Howe H.E.** Analysis of Commercial Fats and Oils. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*. 1940. V. 12. N 7. P. 379. DOI: 10.1021/ac50147a001.
155. Report of committee on analysis of commercial fats and oils-1939-40. *Oil & Soap*. 1940. V. 17. N 6. P. 127-132. DOI: 10.1007/bf02542880.
156. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. Urbana: AOCS. 2017. 3000 p.
157. **Watson F.J.** *Lubrication Engineering*. 1955. V. 11. N 2. P. 86.
158. **Noller D.C., Bolton D.J.** Safe Handling and Storage of Organic Peroxides in the Laboratory. *Analytical Chemistry*. 1963. V. 35. N 7. P. 887. DOI: 10.1021/ac60200a036.
159. **Selph C.C., Powell M.F.** Report AFRPL-TR-73-114. Edwards: Air Force Rocket Propulsion Laboratory. 1974. 162 p.
160. **McGlynn J.F.** Pat. US 3011337. 1961.
161. **Розенберг Г.И., Голуб Е.С., Мадорский Е.З., Поросенков Ю.В., Донской А.В., Иванов О.В., Юшин В.А.** Пат. РФ 1909. 1996.
162. Аппарат автоматический для определения температуры вспышки в открытом тигле ЛинтеЛ® АТВО-20. Руководство по эксплуатации. АИФ 2.821.021-04 РЭ. Уфа: АО БСКБ «Нефтехимавтоматика». 2021. 40 с.
163. Сайт АО БСКБ «Нефтехимавтоматика». [Электронный ресурс]. URL: https://bashnxa.ru/catalog/fuel-laboratory/fuel-laboratory_12.html (дата обращения: 15.03.2023).
164. Cleveland Automated Flash Point Analyzer FP92 5G2. User and Maintenance Manual. Capriquet Cedex: France Instrumentation Scientifique de Laboratoire. 2006. 140 p.
165. Сайт Humboldt Mfg. Co. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.humboldtmfg.com/cleveland-flash-and-fire-point-tester-natural-gas.html> (дата обращения: 15.03.2023).
166. Аппарат для определения температуры вспышки в открытом тигле ТВО. Техническое описание. Белгород: НПО «Нефтехимавтоматика». 2007. 35 с.
167. Сайт Shenkai Co. [Электронный ресурс]. URL: <http://shenkai-lab.ru/oborudovanie/temperatura-vspyshki-i-vosplamneniya-nefteproduktov/8-syp1001b-v.html> (дата обращения: 24.03.2023).
168. Сайт компании ЛОИП. [Электронный ресурс]. URL: <https://loip.nt-rt.ru/images/manuals/2-2.pdf> (дата обращения: 24.03.2023).
154. **Howe H.E.** Analysis of Commercial Fats and Oils. *Industrial & Engineering Chemistry Analytical Edition*. 1940. V. 12. N 7. P. 379. DOI: 10.1021/ac50147a001.
155. Report of committee on analysis of commercial fats and oils-1939-40. *Oil & Soap*. 1940. V. 17. N 6. P. 127-132. DOI: 10.1007/bf02542880.
156. Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. Urbana: AOCS. 2017. 3000 p.
157. **Watson F.J.** *Lubrication Engineering*. 1955. V. 11. N 2. P. 86.
158. **Noller D.C., Bolton D.J.** Safe Handling and Storage of Organic Peroxides in the Laboratory. *Analytical Chemistry*. 1963. V. 35. N 7. P. 887. DOI: 10.1021/ac60200a036.
159. **Selph C.C., Powell M.F.** Report AFRPL-TR-73-114. Edwards: Air Force Rocket Propulsion Laboratory. 1974. 162 p.
160. **McGlynn J.F.** Pat. US 3011337. 1961.
161. **Rozenberg G.Sh., Golub E.S., Madorskii E.Z., Porosenkov Yu.V., Donskoi A.V., Ivanov O.V., Yushin V.A.** Pat RF 1909. 1996. (In Russian).
162. The Automatic Device for Determining the Flash Point in an Open Cup Lintel® ATVO-20. Manual AIF. 2.821.021-04 RE. Ufa: AO BSKB «Неftekhimavtomatika». 2021. 40 p. (In Russian).
163. AO BSKB «Неftekhimavtomatika» Site. [electronic resource]. [Электронный ресурс]. URL: https://bashnxa.ru/catalog/fuel-laboratory/fuel-laboratory_12.html (accessed: 15.03.2023, in Russian).
164. Cleveland Automated Flash Point Analyzer FP92 5G2. User and Maintenance Manual. Capriquet Cedex: France Instrumentation Scientifique de Laboratoire. 2006. 140 p.
165. Humboldt Mfg. Co. Site. [electronic resource]. URL: <https://www.humboldtmfg.com/cleveland-flash-and-fire-point-tester-natural-gas.html> (accessed: 15.03.2023).
166. The Device TVO for Determining the Flash Point in an Open Cup. Technical Description. Belgorod: NPO «Неftekhimavtomatika». 2007. 35 p. (In Russian).
167. Shenkai Co. Site. [electronic resource]. URL: <http://shenkai-lab.ru/oborudovanie/temperatura-vspyshki-i-vosplamneniya-nefteproduktov/8-syp1001b-v.html> (accessed: 24.03.2023, in Russian).
168. LOIP Co. Site. [electronic resource]. URL: <https://loip.nt-rt.ru/images/manuals/2-2.pdf> (accessed: 24.03.2023, in Russian).

Поступила в редакцию 03.03.2024

Принята к опубликованию 13.04.2025

Received 03.03.2024

Accepted 13.04.2025