ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ
И МЕТРОЛОГИИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ
(ГССД)

Разрешаю на депонирование
И.о. генерального директора
ФГУП "СТАНДАРТИНФОРМ"
_____ В.Г. Галкин
"25" июня 2012 г.

УДК 536.411

ТАБЛИЦЫ СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

КРИТИЧЕСКИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И КРИТИЧЕСКИЕ ДАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

ГССД 268 - 2012

Москва – 2012

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ ФГУП “СТАНДАРТИНФОРМ” (ПНС-2011, тема 3.17.180-4.003.11) с участием специалистов Института теплофизики УрО РАН (д-р физ.-мат. наук Е. Д. Никитин, д-р физ.-мат. наук П. А. Павлов, канд. физ.-мат. наук А. П. Попов).

ОДОБРЕНЫ экспертной комиссией в составе:

д-ра физ.-мат. наук В.Г. Мартынеца,
д-ра хим. наук С.В. Левановой,
д-ра физ.-мат. наук И.Г. Коршунова,
канд. техн. наук П.В. Попова.

ПОДГОТОВЛЕНЫ к утверждению Российским научно-техническим центром информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия (ФГУП “СТАНДАРТИНФОРМ”)

УТВЕРЖДЕНЫ Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии **5 июля 2012 г. (протокол № 9)**

УДК 536.411

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА
СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ

Таблицы стандартных справочных данных

Критическая температура и критическое давление индивидуальных веществ

ГСССД
268 - 2012

Tables of Standard Reference Data

The Critical Temperatures and Pressures of Individual Substances

GSSSD
268 -2012

ДЕПОНИРОВАННАЯ РУКОПИСЬ

УДК 536.411

Таблицы стандартных справочных данных ГСССД 268 -2012.

Критическая температура и критическое давление индивидуальных веществ / Е.Д. Никитин, П.А. Павлов, А.П. Попов. Росс. научно-техн. центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия. М., 2012. – 27 с. Библиогр. 58 назв. Рус. 3 назв. Деп. в ФГУП "СТАНДАРТИНФОРМ" 05. 07. 2012 г., № 873 – 2012 кк

Приведены стандартные справочные данные о критической температуре и критическом давлении ряда веществ, главным образом термически нестабильных.

Авторы: _____ Е. Д. Никитин

_____ П. А. Павлов

_____ А. П. Попов

СОДЕРЖАНИЕ

Введение …… 6

Основная часть …… 7

Заключение …… 24

Литература …… 25

Приложение …….. 31

ВВЕДЕНИЕ

Критические параметры – критическая температура, критическое давление, критическая плотность – являются одними из важнейших физико-химических характеристик чистого вещества. Критическая точка определяет верхнюю границу существования двухфазной области. Критические константы используются во многих корреляциях в качестве параметров приведения. Информация о критических параметрах дает возможность построить уравнение состояния вещества, рассчитать с приемлемой точностью по теории термодинамического подобия его теплофизические свойства, надежно экстраполировать в область высоких температур результаты низкотемпературных измерений поверхностного натяжения, давления и плотности насыщенного пара. Изложенные соображения позволили Томасу Дауберту поставить критические свойства на первое место в предложенной им иерархии теплофизических свойств вещества [1].

Измерения критических параметров чистых веществ ведутся уже почти 200 лет с момента открытия в 1822 г. бароном де ла Туром критической точки жидкость-пар [2]. Однако число веществ, для которых критические константы определены экспериментально сравнительно невелико. Оценки различных экспертов разнятся, т.к. базы данных нередко содержат не только экспериментальные данные, но и результаты различных оценок и расчетов. В серии обзоров, подготовленных комиссией ИЮПАК по термодинамике и опубликованных в 1995-2009 г.г., в которые включены только результаты измерений, критическая температура приведена для 810 веществ, критическое давление – для 605 соединений, а критическая плотность – для 466 веществ [3-13]. Таким образом, получение надежных экспериментальных данных о критических свойствах индивидуальных веществ является актуальной задачей.

В последние годы критические параметры стали использоваться для характеристики как обычных, стабильных соединений, так и соединений термонестабильных, т. е. веществ, термическое разложение которых начинается при температурах, меньших критической. В упомянутых выше обзорах [3-13] и других многочисленных работах под критической точкой

термонестабильного соединения понимают гипотетическую критическую точку, которую данное вещество имело бы в отсутствие разложения. Именно это определение критической точки нестабильного соединения будет использоваться нами в настоящей работе.

Измерение критических свойств нестабильных соединений предполагает применение специальных методик. Главное требование к таким методикам – малое время нахождения образца исследуемого соединения при высоких температурах. Разработанная нами «Методика экспериментального определения критической температуры и критического давления индивидуальных веществ ГСССД МЭ 163-2010» [14] предназначена в первую очередь для измерения критических параметров термонестабильных соединений, хотя она подходит и для стабильных веществ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Методика измерения критической температуры и критического давления веществ, которая использовалась в настоящей работе, детально изложена в рукописи [14], поэтому приведем только предельно краткое описание этой методики. Исследуемая жидкость заполняет фторопластовый стаканчик с тонкими стенками, которые служат для передачи давления. Давление снаружи стаканчика создается прессом и измеряется манометром. Внутри стаканчика находится измерительный зонд – платиновая проволока диаметром 0.02 мм и длиной (1-3) см. Зонд служит одновременно нагревателем и термометром сопротивления. На зонд подаются одиночные прямоугольные импульсы напряжения от генератора; во время импульса происходит нагрев зонда протекающим током. Напряжение импульса подбирается таким образом, что к концу импульса зонд и слой жидкости вокруг него нагреваются до температуры достижимого перегрева; происходит вскипание жидкости. Время от начала импульса нагрева до момента вскипания составляет от 0.01 до 1 мс. В момент вскипания резко изменяются условия теплоотдачи от зонда в жидкость, что приводит к возникновению возмущения температуры зонда. Момент вскипания и амплитуда температурного возмущения

фиксируется электронной аппаратурой. Температура зонда в момент вскипания определяется по его сопротивлению. В результате измеряется температура, при которой начинается вскипание жидкости при заданном давлении (температура достижимого перегрева жидкости). В опытах измеряется зависимость температуры достижимого перегрева от давления – линия достижимого перегрева. При увеличении давления линия достижимого перегрева заканчивается в критической точке.

С ростом давления свойства жидкости и пара сближаются, и амплитуда температурного возмущения падает. Давление, при котором амплитуда отрицательного температурного возмущения снижается до уровня чувствительности установки (10^{-3} К), принимается равным измеренному значению критического давления p_c^m, а температура вскипания при этом давлении – измеренному значению критической температуры T_c^m. Опыты с хорошо исследованными жидкостями показали, что величины p_c^m и T_c^m всегда меньше истинных значений критического давления p_c и критической температуры T_c. Разработан метод введения поправок к измеренным значениям критических параметров.

Для низкомолекулярных неассоциированных соединений погрешность измерения критического давления составляет 3 %, а погрешность измерения критической температуры – 1 %. Для веществ с водородными связями и высоким ацентрическим фактором ($\omega \geq 1$) – 4 % и 1.5 %, соответственно.

Бóльшая часть образцов исследованных веществ была приобретена у фирм Aldrich, Sigma, Fluka, Alfa Aesar и других. Образцы некоторых соединений были синтезированы в Институте органического синтеза УрО РАН (ИОС) под руководством д.х.н. Ю.Г. Ятлука; образцы метилфенилсилоксанов были предоставлены М.А. Сипягиной, Е.Е. Степановой и П.В. Ивановым из Московской государственной академии тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова (МИТХТ); образцы диэтиловых эфиров дикарбоновых кислот были предоставлены Е.Л. Красных из Самарского государственного технического университета (СГТУ). Большое

внимание уделялось чистоте используемых образцов. До и после проведения опытов по измерению критических свойств чистота образцов определялась методами газовой хроматографии (ГХ), жидкостной хроматографии (ЖХ) и ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Использовались хроматографы Shimadzu GS-HA, Merck-Hitachi и ЯМР-спектрометр Bruker DRX 400. Соответствующие измерения проводились в Институте органического синтеза УрО РАН. Для подавляющего числа образцов содержание основного вещества было выше 99 % и мало менялось в процессе измерения критических свойств. Чистота образцов исследованных соединений приведена в Приложении (Табл. 2).

Измерения критической температуры и критического давления с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010 проводились как для стабильных, так и для нестабильных веществ. Большинство исследованных соединений являлись термически нестабильными. Для стабильных соединений погрешность измерения критических параметров предложенным авторами методом больше, чем погрешность измерения традиционными методами, включающими длительное термостатирование [3]. Поэтому критические свойства стабильных веществ измерялись лишь с целью проверки применимости разработанного метода к конкретному гомологическому ряду и оценки реальной погрешности измерений. В Таблице 3 (см. Приложение) полученные значения критических свойств сравниваются с литературными данными для стабильных и нестабильных соединений. Для стабильных веществ литературные данные взяты, в основном, из обзоров [4, 5, 7, 9] и представляют собой результат усреднения наиболее надежных экспериментальных данных, полученных различными авторами с использованием различных методик. Для нестабильных соединений данных о критических свойствах гораздо меньше из-за высокой сложности соответствующих измерений. Таблица 3 показывает, что результаты, полученные с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010, в пределах погрешности измерений совпадают с данными других авторов. Это свидетельствует о высокой надежности разработанного нами метода измерений критических свойств веществ.

В Таблице 1 приведены стандартные справочные о критической температуре и критическом давлении только нестабильных соединений. Для подавляющего числа веществ эти данные получены единственным методом – с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010, т.к. другие известные методики измерения критических параметров термонестабильных соединений не позволяют провести необходимые измерения из-за сильного разложения этих веществ в процессе измерений. Для сравнительно небольшого числа соединений имеются экспериментальные данные, полученные другими методами. Результаты этих экспериментов учитывались при разработке Табл. 1.

Справочные данные в Табл. 1 сгруппированы по гомологическим рядам или соединениям с близкой структурой. Названия веществ приведены, в основном, в соответствии с номенклатурой ИЮПАК; используются также и тривиальные названия. Рассмотрим отдельные гомологические ряды.

Нормальные алканы. Алканы от метана до *н*-декана включительно стабильны в критической точке. Все более тяжелые *н*-алканы нестабильны [4]. Результаты измерений критических параметров *н*-алканов приведены в наших работах [16, 17]. Полученные в этих работах данные отличаются незначительно. В Таблице1 критические свойства алканов даны в соответствии с работой [17], т.к. она является более поздней, и в ней учитываются результаты предыдущей работы.

1-Алкены. Наличие двойной связи в молекулах 1-алкенов снижает их термическую стабильность. Только пять первых 1-алкенов стабильны в критической точке; 1-гептен и более тяжелые алкены являются нестабильными [8]. Результаты измерения критических свойств 1-алкенов с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010 были опубликованы в работе [18].

Одноосновные карбоновые кислоты. В гомологическом ряду одноосновных карбоновых кислот с нормальным строением алкильного радикала все соединения являются нестабильными в критической точке [19]. Критическая температура и критическое давление этих соединений, измеренные предложенным авторами методом, опубликованы в работе [20].

Для этановой, гексановой и октановой кислот имеются экспериментальные данные, собранные в обзоре [9]. Критические параметры этих кислот приведены в Табл. 1 с учетов всех имеющихся данных.

Двухосновные карбоновые кислоты. С большой вероятностью все двухосновные карбоновые кислоты с линейным строением алкильного радикала нестабильны в критической точке. По крайней мере, по данным Degussa AG [21] термическое разложение додекандиовой кислоты начинается при температурах порядка 500 K, тогда как критические температуры исследованных нами кислот лежат в диапазоне (851-862) K [22].

Фенилалкановые кислоты, исследованные нами, нестабильны при околокритических температурах. Результаты измерений критических констант фенилалкановых кислот опубликованы в нашей работе [23].

Сложные эфиры дикарбоновых кислот. Термическая стабильность эфиров дикарбоновых кислот сравнительно невысока. По данным Штерна и Кэя диметилоксалат начинает разлагаться уже при температуре 473 K [24]. Критическая температура исследованных нами диметиловых и диэтиловых эфиров дикарбоновых кислот изменяется от 639 K до 696 K [25, 26], поэтому с большой долей уверенности можно утверждать, что все эти соединения нестабильны в критической точке. Из исследованных нами диметиловых эфиров дикарбоновых кислот данные других авторов имеются только для диметилоксалата [9,24,27,28] и диметилмалоната [29]. Однако в опытах Регно [27] и Вегера [28] без сомнения происходило сильное разложение диметилоксалата. В опытах Штерна и Кэя [24] влияние разложения на полученные результаты было менее значительным, но полностью исключить фактор разложение им, по-видимому, не удалось. Поэтому в Табл. 1 приведены критические параметры диметилоксалата, полученные с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010. Данные работы [29] для диметилмалоната учтены при составлении Табл. 1. Приняты во внимание также результаты измерения критической температуры диэтилбутандиоата, полученные Рэдисом [9].

Бензоаты. Все исследованные нами эфиры бензойной кислоты (бензоаты) нестабильны в критической точке. Скорость разложения метилбензоата при критической температуре еще сравнительно невелика, что позволило Стилу и соавторам [30] измерить критическую температуру этого соединения при скорости нагрева 0.333 К/с. Однако уже для этилбензоата они не смогли провести необходимые измерения. Результаты измерений критической температуры и критического давления бензоатов с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010 были опубликованы в работе [31]. Данные Стила и соавторов [30] учтены при составлении Табл. 1.

Фталаты. Критическая температура исследованных фталатов (772 K–886 K) значительно превосходит температуру, при которой начинается их термическое разложение (525–575) К [32]. Экспериментальные данные о критических параметрах фталатов опубликованы в нашей работе [33].

1-Алканолы нестабильны в критической точке, начиная с 1-пентанола. Результаты измерений критической температуры и критического давления 1-алканолов с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010 были опубликованы в работе [34].

Фенилалканолы. Известно, что фенилметанол и 2-фенил-1-этанол нестабильны в критической точке [35, 36]. Можно ожидать, что более тяжелые фенилалканолы, имеющие более высокую критическую температуру, также разлагаются при околокритических температурах. Результаты измерений критических параметров фенилалканолов с использованием методики ГСССД МЭ 163-2010 опубликованы в нашей работе [37]. В статье [35] приведены критическая температура и критическое давление 2-фенил-1-этанола. Эти данные учтены при составлении Табл. 1.

Многоатомные спирты. Сильные водородные связи между молекулами многоатомных спиртов приводят к тому, что эти соединения имеют высокие критические температуры, которые значительно превышают предел стабильности указанных веществ. Предпринимались многочисленные попытки измерить критические свойства многоатомных спиртов [9], однако

они не всегда были успешными из-за сильного разложения этих соединений при околокритических температурах. Результаты измерений критической температуры и критического давления многоатомных спиртов с использованием методики ГСССД МЭ 163-2010 опубликованы в работах [38, 39]. При составлении Табл. 1 мы учитывали данные других авторов, собранные в обзоре [9].

***н*-Алкилбензолы.** В гомологическом ряду *н*-алкилбензолов $C_6H_5(CH_2)_nH$ стабильными в критической точке являются четыре первых соединения от бензола ($n = 0$) до пропилбензола ($n = 3$). Критические свойства этих веществ хорошо изучены [5]. Более тяжелые гомологи термически нестабильны [40]. Критические параметры бензола, толуола и этилбензола были измерены нами с целью проверки применимости методики ГСССД МЭ 163-2010 к гомологическому ряду *н*-алкилбензолов. Измеренные нами значения критических параметров хорошо согласуются с данными других авторов (см. Приложение, Табл. 3). Бутилбензол разлагается сравнительно медленно при околокритических температурах; его критические свойства измерялись разными исследователями [5]. Критические константы бутилбензола, приведенные в Табл. 1, основаны на данных из обзора [5] и результатах наших измерений. Критические параметры более тяжелых алкилбензолов [41] получены с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010.

***н*-Алкилциклогексаны.** Термическая стабильность циклогексанов в жидкой фазе мало исследована. В целом, циклоалканы менее устойчивы, чем их ациклические аналоги. Однако циклогексан является полностью ненапряженным соединением и, скорее всего, циклогексан и метилциклогексан стабильны в критической точке. Критические свойства этих двух соединений многократно измерялись разными авторами. Подборку результатов измерений можно найти в обзоре [7]. Позднее критическая температура нескольких *н*-алкилциклогексанов была измерена Мортоном и соавторами [42]. Нами с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010 измерены критическая температура и критическое давление н-алкилциклогексанов от циклогексана до бутилциклогексана [43]. Критические свойства этил-, пропил- и бутилциклогексанов, приведенные в Табл. 1, есть результат усреднения данных работ [42] и [43].

***н*-Диаминоалканы.** В гомологическом ряду *н*-диаминоалканов 1,2-диаминоэтан и все последующие члены ряда являются термонестабильными [44]. Результаты измерений критических параметров *н*-диаминоалканов с использованием методики ГСССД МЭ 163-2010 опубликованы в работе [45]. Ранее критические свойства были измерены только для 1,2-диаминоэтана [11,44]. Таблица 1 составлена с учетом этих измерений.

Тетраалкоксисиланы. Алкоксисиланы, молекулы которых содержат группы $SiOCH_3$ или $SiOC_2H_5$, разлагаются при температурах выше 475 К, и термическая стабильность алкоксисиланов уменьшается с увеличением длины алкильной цепочки [46]. В соответствии с нашими измерениями критическая температура исследованных тетраалкоксисиланов лежит в диапазоне от 558 К до 849 К [47]. Поэтому можно предположить, что все исследованные нами тетраалкоксисиланы подвержены разложению при околокритических температурах. Ранее Ватерсон и Янг измерили критическую температуру и критическое давление тетраметокси-, тетраэтокси- и тетрапропоксисиланов [48]. Анализ всех имеющихся экспериментальных данных о критических свойствах тетраалкоксисиланов, проведенный в работах [13, 47], нашел отражение в соответствующей части Табл. 1.

Тетраалкоксититаны не обладают высокой термической стабильностью. Например, термическое разложение тетрабутилоксититана наблюдалось уже при температурах 523 К [49] и 553 К [50]. Критические температуры исследованных нами тетраалкоксититанов значительно выше – от 647 К до 882 К [51]. Разумно предположить, что все эти соединения нестабильны в критической точке. Критические свойства тетраалкоксититанов, насколько нам известно, ранее не измерялись.

Метилфенилсилоксаны. Из этой группы веществ, ранее исследовались критические свойства гексаметилдисилоксана [13], критические параметры остальных соединений получены только с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010 [52].

Разные соединения. Критические параметры сквалана измерялись нами с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010 [53] и Фоннидерхаузерном и соавторами методом потока [54]. В работе [53] нами показано, что результаты измерений, приведенные в статье [54], вероятно искажены разложением сквалана в процессе опытов. Поэтому в Табл. 1 приведены критические свойства сквалана в соответствии с работой [53]. Критические константы *м*-терфенила, полученные нами [17], близки к результатам Рейтера, но значительно отличаются от данных Манделя и Эвбанка [5]. Скорее всего, последние авторы использовали недостаточно чистые образцы, поэтому при составлении Табл. 1 данные Манделя и Эвбанка не учитывались. Критические свойства фенола измеряются с 1899 г., однако из-за его разложения при околокритических температурах полученные данные достаточно противоречивы. Подборка

результатов измерений приведена в обзоре [9]. Результаты измерений критических параметров фенола с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010 опубликованы в работе [37]. Критическая температура фенола, измеренная нами, хорошо согласуется с данными Рэдиса [55] и Амброуза [56]. Критическое давление фенола, сообщенное Херцем и Нойкирхом [57] и Делануа [58], в обоих случаях представляется завышенным из-за вероятного разложения фенола в процессе измерений. Поэтому в Табл. 1 критическая температура дана в соответствии с обзором [9], а критическое давление – в соответствии с нашими измерениями [37].

Таблица 1. Стандартные справочные данные о критической температуре и критическом давлении индивидуальных веществ

Вещество	Химическая формула	p_c /МПа	T_c /K
Нормальные алканы			
Нонадекан	$CH_3(CH_2)_{17}CH_3$	1.16 ± 0.02	755 ± 8
Эйкозан	$CH_3(CH_2)_{18}CH_3$	1.08 ± 0.02	768 ± 8
Генэйкозан	$CH_3(CH_2)_{19}CH_3$	1.03 ± 0.02	778 ± 8
Докозан	$CH_3(CH_2)_{20}CH_3$	0.991 ± 0.02	786 ± 8
Трикозан	$CH_3(CH_2)_{21}CH_3$	0.915 ± 0.02	790 ± 8
Тетракозан	$CH_3(CH_2)_{22}CH_3$	0.871 ± 0.02	800 ± 8
Гексакозан	$CH_3(CH_2)_{24}CH_3$	0.795 ± 0.03	816 ± 12
Октакозан	$CH_3(CH_2)_{26}CH_3$	0.744 ± 0.03	824 ± 12
Триаконтан	$CH_3(CH_2)_{28}CH_3$	0.636 ± 0.03	843 ± 12
Гексатриаконтан	$CH_3(CH_2)_{34}CH_3$	0.472 ± 0.02	872 ± 12
1-Алкены			
1-Тридецен	$CH_2=CH(CH_2)_{10}CH_3$	1.73 ± 0.03	673 ± 7
1-Тетрадецен	$CH_2=CH(CH_2)_{11}CH_3$	1.59 ± 0.03	691 ± 7
1-Пентадецен	$CH_2=CH(CH_2)_{12}CH_3$	1.54 ± 0.03	705 ± 7
1-Гексадецен	$CH_2=CH(CH_2)_{13}CH_3$	1.39 ± 0.03	718 ± 7
1-Гептадецен	$CH_2=CH(CH_2)_{14}CH_3$	1.34 ± 0.03	734 ± 7
1-Октадецен	$CH_2=CH(CH_2)_{15}CH_3$	1.30 ± 0.03	748 ± 7
1-Нонадецен	$CH_2=CH(CH_2)_{16}CH_3$	1.19 ± 0.02	755 ± 8
1-Эйкозен	$CH_2=CH(CH_2)_{17}CH_3$	1.14 ± 0.1	772 ± 10

Вещество	Химическая формула	p_c /МПа	T_c /K
Одноосновные карбоновые кислоты			
Этановая (уксусная)	CH_3COOH	5.80 ± 0.17	590 ± 6
Гексановая (капроновая)	$CH_3(CH_2)_4COOH$	3.38 ± 0.10	655 ± 2
Октановая (каприловая)	$CH_3(CH_2)_6COOH$	2.87 ± 0.1	693 ± 2
Ундекановая (ундециловая)	$CH_3(CH_2)_9COOH$	2.13 ± 0.06	728 ± 7
Додекановая (лауриновая)	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	1.93 ± 0.06	743 ± 7
Тетрадекановая (миристиновая)	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	1.64 ± 0.05	763 ± 8
Пентадекановая	$CH_3(CH_2)_{13}COOH$	1.57 ± 0.05	777 ± 8
Гексадекановая (пальмитиновая)	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	1.49 ± 0.05	785 ± 8
Гептадекановая (маргариновая)	$CH_3(CH_2)_{15}COOH$	1.37 ± 0.04	792 ± 8
Октадекановая (стеариновая)	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	1.33 ± 0.04	803 ± 8
Эйкозановая (арахиновая)	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	1.20 ± 0.04	820 ± 8
Докозановая (бегеновая)	$CH_3(CH_2)_{20}COOH$	1.11 ± 0.03	837 ± 8
Двухосновные карбоновые кислоты			
Бутандиовая (янтарная)	$HOOC(CH_2)_2COOH$	6.59 ± 0.30	851 ± 20
Пентандиовая (глутаровая)	$HOOC(CH_2)_3COOH$	4.27 ± 0.20	840 ± 13
Гександиовая (адипиновая)	$HOOC(CH_2)_4COOH$	3.85 ± 0.15	841 ± 13
Гептандиовая (пимелиновая)	$HOOC(CH_2)_5COOH$	3.28 ± 0.13	842 ± 13
Октандиовая (суберинова я)	$HOOC(CH_2)_6COOH$	2.97 ± 0.12	843 ± 13
Нонандиовая (азелаиновая)	$HOOC(CH_2)_7COOH$	2.72 ± 0.11	844 ± 13
Декандиовая (себациновая)	$HOOC(CH_2)_8COOH$	2.50 ± 0.10	845 ± 13
Додекандиовая	$HOOC(CH_2)_{10}COOH$	2.15 ± 0.09	859 ± 13
Тетрадекандиовая	$HOOC(CH_2)_{12}COOH$	1.90 ± 0.08	862 ± 13

Вещество	Химическая формула	p_c /МПа	T_c /K
Фенилалкановые кислоты			
Фенилэтановая	$C_6H_5CH_2COOH$	3.95 ± 0.14	766 ± 8
3-Фенилпропановая	$C_6H_5(CH_2)_2COOH$	3.46 ± 0.12	776 ± 8
4-Фенилбутановая	$C_6H_5(CH_2)_3COOH$	3.21 ± 0.11	783 ± 8
5-Фенилпентановая	$C_6H_5(CH_2)_4COOH$	2.95 ± 0.10	790 ± 8
6-Фенилгексановая	$C_6H_5(CH_2)_5COOH$	2.60 ± 0.09	794 ± 8
7-Фенилгептановая	$C_6H_5(CH_2)_6COOH$	2.47 ± 0.09	798 ± 8
Сложные эфиры дикарбоновых кислот			
Диметилэтандиоат (диметилоксалат)	$CH_3OOCCOOCH_3$	4.06 ± 0.12	639 ± 6
Диметилпропандиоат (диметилмалонат)	$CH_3OOC(CH_2)COOCH_3$	3.6 ± 0.1	648 ± 3
Диметилбутандиоат	$CH_3OOC(CH_2)_2COOCH_3$	3.06 ± 0.09	662 ± 7
Диметилпентандиоат (диметилглутарат)	$CH_3OOC(CH_2)_3COOCH_3$	2.77 ± 0.08	682 ± 7
Диметилгександиоат(диметиладипат)	$CH_3OOC(CH_2)_4COOCH_3$	2.50 ± 0.08	692 ± 7
Диметилгептандиоат (диметилпимелат)	$CH_3OOC(CH_2)_5COOCH_3$	2.37 ± 0.07	711 ± 7
Диметилоктандиоат (диметилсуберат)	$CH_3OOC(CH_2)_6COOCH_3$	2.30 ± 0.07	723 ± 7
Диметилдекандиоат (диметилсебакат)	$CH_3OOC(CH_2)_8COOCH_3$	2.08 ± 0.06	742 ± 7
Диэтилпропандиоат (диэтилмалонат)	$C_2H_5OOC(CH_2)COOC_2H_5$	2.67 ± 0.08	652 ± 7
Диэтилбутандиоат	$C_2H_5OOC(CH_2)_2COOC_2H_5$	2.20 ± 0.04	665 ± 7
Диэтилпентандиоат (диэтилглутарат)	$C_2H_5OOC(CH_2)_3COOC_2H_5$	2.11 ± 0.04	683 ± 7
Диэтилгександиоат (диэтиладипат)	$C_2H_5OOC(CH_2)_4COOC_2H_5$	2.05 ± 0.04	696 ± 7

Вещество	Химическая формула	p_c /МПа	T_c /K
Эфиры бензойной кислоты			
Метилбензоат	$C_6H_5COOCH_3$	3.7 ± 0.3	699 ± 4
Этилбензоат	$C_6H_5COO(CH_2)CH_3$	3.05 ± 0.09	700 ± 7
Пропилбензоат	$C_6H_5COO(CH_2)_2CH_3$	2.60 ± 0.08	710 ± 7
Бутилбензоат	$C_6H_5COO(CH_2)_3CH_3$	2.40 ± 0.07	725 ± 7
Пентилбензоат	$C_6H_5COO(CH_2)_4CH_3$	2.19 ± 0.07	736 ± 7
Гексилбензоат	$C_6H_5COO(CH_2)_5CH_3$	1.98 ± 0.06	748 ± 7
Эфиры 1,2-бензолдикарбоновой (фталевой) кислоты			
Диметилфталат	$C_6H_4[COOCH_3]_2$	2.77 ± 0.1	772 ± 9
Диэтилфталат	$C_6H_4[COO(CH_2)CH_3]_2$	2.26 ± 0.08	776 ± 9
Дипропилфталат	$C_6H_4[COO(CH_2)_2CH_3]_2$	1.90 ± 0.07	784 ± 9
Дибутилфталат	$C_6H_4[COO(CH_2)_3CH_3]_2$	1.66 ± 0.06	797 ± 9
Дипентилфталат	$C_6H_4[COO(CH_2)_4CH_3]_2$	1.43 ± 0.05	811 ± 9
Дигексилфталат	$C_6H_4[COO(CH_2)_5CH_3]_2$	1.34 ± 0.05	817 ± 9
Дигептилфталат	$C_6H_4[COO(CH_2)_6CH_3]_2$	1.24 ± 0.04	830 ± 9
Диоктилфталат	$C_6H_4[COO(CH_2)_7CH_3]_2$	1.08 ± 0.04	840 ± 9
бис(2-Этилгексил)фталат	$C_6H_4[COO(C_2H_5)C_6H_{12}]_2$	1.07 ± 0.04	835 ± 9
Динонилфталат	$C_6H_4[COO(CH_2)_8CH_3]_2$	1.02 ± 0.04	858 ± 9
Дидецилфталат	$C_6H_4[COO(CH_2)_9CH_3]_2$	0.94 ± 0.03	870 ± 10
Диундецилфталат	$C_6H_4[COO(CH_2)_{10}CH_3]_2$	0.89 ± 0.03	886 ± 10

Вещество	Химическая формула	p_c /МПа	T_c /К
1-Алканолы			
1-Тридеканол	$CH_3(CH_2)_{11}CH_2OH$	1.79 ± 0.05	732 ± 7
1-Тетрадеканол	$CH_3(CH_2)_{12}CH_2OH$	1.67 ± 0.05	743 ± 7
1-Пентадеканол	$CH_3(CH_2)_{13}CH_2OH$	1.60 ± 0.05	757 ± 8
1-Гексадеканол	$CH_3(CH_2)_{14}CH_2OH$	1.46 ± 0.04	770 ± 8
1-Гептадеканол	$CH_3(CH_2)_{15}CH_2OH$	1.35 ± 0.04	780 ± 8
1-Октадеканол	$CH_3(CH_2)_{16}CH_2OH$	1.28 ± 0.04	790 ± 8
1-Эйкозанол	$CH_3(CH_2)_{18}CH_2OH$	1.15 ± 0.03	808 ± 8
1-Докозанол	$CH_3(CH_2)_{20}CH_2OH$	1.07 ± 0.03	827 ± 8
Фенилалканолы			
2-Фенил-1-этанол	$C_6H_5(CH_2)_2OH$	3.9 ± 0.1	723 ± 3
3-Фенил-1-пропанол	$C_6H_5(CH_2)_3OH$	3.46 ± 0.10	732 ± 7
4-Фенил-1-бутанол	$C_6H_5(CH_2)_4OH$	3.07 ± 0.09	746 ± 7
Многоатомные спирты			
1,2-Пропандиол (этиленгликоль)	$HOCH_2CH_2OH$	8.20 ± 0.3	720 ± 10
3-Окса-1,5-Пентандиол (диэтиленгликоль)	$H(OCH_2CH_2)_2OH$	4.77 ± 0.2	753 ± 10
3,6-Диокса-1,8-октандиол (триэтиленгликоль)	$H(OCH_2CH_2)_3OH$	3.30 ± 0.1	797 ± 12
3,6,9-Триокса-1,11-ундекандиол (тетраэтиленгликоль)	$H(OCH_2CH_2)_4OH$	3.20 ± 0.1	800 ± 12
1,2,3-Пропантриол (глицерин)	$CH_2OHCHOHCH_2OH$	7.5 ± 0.2	850 ± 13

Вещество	Химическая формула	p_c /МПа	T_c /К
н-Алкилбензолы			
Бутилбензол	$C_6H_5(CH_2)_3CH_3$	2.89 ± 0.04	660.5±0.5
Пентилбензол	$C_6H_5(CH_2)_4CH_3$	2.58 ± 0.08	675 ± 7
Гексилбензол	$C_6H_5(CH_2)_5CH_3$	2.35 ± 0.07	695 ± 7
Гептилбензол	$C_6H_5(CH_2)_6CH_3$	2.14 ± 0.06	708 ± 7
Октилбензол	$C_6H_5(CH_2)_7CH_3$	1.98 ± 0.06	725 ± 7
Децилбензол	$C_6H_5(CH_2)_9CH_3$	1.72 ± 0.05	752 ± 8
Ундецилбензол	$C_6H_5(CH_2)_{10}CH_3$	1.64 ± 0.05	763 ± 8
Тридецилбензол	$C_6H_5(CH_2)_{12}CH_3$	1.54 ± 0.05	790 ± 8
н-Алкилциклогексаны			
Этилциклогексан	$C_6H_{11}(CH_2)CH_3$	3.25 ± 0.1	607 ± 0.5
Пропилциклогексан	$C_6H_{11}(CH_2)_2CH_3$	2.86 ± 0.09	631 ± 0.5
Бутилциклогексан	$C_6H_{11}(CH_2)_3CH_3$	2.56 ± 0.08	653 ± 0.5
н-Диаминоалканы			
1,2-Диаминоэтан	$NH_2(CH_2)_2NH_2$	6.71 ± 0.01	613.1 ± 0.3
1,3-Диаминопропан	$NH_2(CH_2)_3NH_2$	5.59 ± 0.17	632 ± 6
1,4-Диаминобутан	$NH_2(CH_2)_4NH_2$	4.54 ± 0.14	651 ± 7
1,6-Диаминогексан	$NH_2(CH_2)_6NH_2$	3.59 ± 0.11	685 ± 7
1,8-Диаминооктан	$NH_2(CH_2)_8NH_2$	2.80 ± 0.08	712 ± 7
1,9-Диаминононан	$NH_2(CH_2)_9NH_2$	2.63 ± 0.08	726 ± 7
1,10-Диаминодекан	$NH_2(CH_2)_{10}NH_2$	2.43 ± 0.07	736 ± 7
1,12-Диаминододекан	$NH_2(CH_2)_{12}NH_2$	2.01 ± 0.06	767 ± 8

Вещество	Химическая формула	p_c /МПа	T_c /К
Тетраалкоксисиланы			
Тетраметоксисилан	$Si[OCH_3]_4$	2.88 ± 0.05	563.0 ± 0.5
Тетраэтоксисилан	$Si[O(CH_2)CH_3]_4$	2.05 ± 0.05	592.2 ± 0.5
Тетрапропоксисилан	$Si[O(CH_2)_2CH_3]_4$	1.4 ± 0.1	648 ± 1
Тетрабутоксисилан	$Si[O(CH_2)_3CH_3]_4$	1.10 ± 0.03	682 ± 7
Тетрапентоксисилан	$Si[O(CH_2)_4CH_3]_4$	0.89 ± 0.03	714 ± 7
Тетрагексоксисилан	$Si[O(CH_2)_5CH_3]_4$	0.79 ± 0.02	757 ± 8
Тетрагептоксисилан	$Si[O(CH_2)_6CH_3]_4$	0.74 ± 0.02	778 ± 8
Тетраоктоксисилан	$Si[O(CH_2)_7CH_3]_4$	0.66 ± 0.02	812 ± 8
Тетрананоксисилан	$Si[O(CH_2)_8CH_3]_4$	0.61 ± 0.02	830 ± 8
Тетрадецоксисилан	$Si[O(CH_2)_8CH_3]_4$	0.60 ± 0.02	849 ± 8
Тетраалкоксититаны			
Тетраэтоксититан	$Ti[O(CH_2)CH_3]_4$	1.40 ± 0.04	647 ± 6
Тетрапропоксититан	$Ti[O(CH_2)_2CH_3]_4$	1.15 ± 0.04	685 ± 7
Тетрабутоксититан	$Ti[O(CH_2)_3CH_3]_4$	1.02 ± 0.03	719 ± 7
Тетрапентоксититан	$Ti[O(CH_2)_4CH_3]_4$	0.91 ± 0.03	751 ± 8
Тетрагексоксититан	$Ti[O(CH_2)_5CH_3]_4$	0.78 ± 0.02	780 ± 8
Тетрагептоксититан	$Ti[O(CH_2)_6CH_3]_4$	0.73 ± 0.02	808 ± 8
Тетраоктоксититан	$Ti[O(CH_2)_7CH_3]_4$	0.66 ± 0.02	831 ± 8
Метилфенилсилоксаны			
Гексаметилдисилоксан	$[(CH_3)_3Si]_2O$	1.92 ± 0.01	518 ± 1
1,1,3,3-Тетраметил-1,3-дифенилдисилоксан	$[(CH_3)_2(C_6H_5)Si]_2O$	1.73 ± 0.04	750 ± 8

Вещество	Химическая формула	p_c /МПа	T_c /K
1,3-Диметил-1,1,3,3-тетрафенилдисилоксан	$[(CH_3)(C_6H_5)_2Si]_2O$	1.38 ± 0.04	893 ± 9
цис-2,4,6-Триметил-2,4,6-трифенилциклотрисилоксан	*цис*-$[(CH_3)(C_6H_5)SiO]_3$	1.34 ± 0.03	824 ± 8
транс-2,4,6-Триметил-2,4,6-трифенилциклотрисилоксан	*транс*-$[(CH_3)(C_6H_5)SiO]_3$	1.29 ± 0.03	839 ± 8
Разные соединения			
2,6,10,15,19,23-Гексаметилтетракозан (сквалан)	$C_{30}H_{62}$	0.70 ± 0.03	822 ± 12
1,3-Дифенилбензол (*м*-терфенил)	$C_6H_5C_6H_4C_6H_5$	2.2 ± 0.1	882 ± 9
Фенол	C_6H_5OH	5.67 ± 0.17	694.2 ± 0.2
Бис (η-циклопентадиенил)железо (ферроцен)	$C_5H_5FeC_5H_5$	3.63 ± 0.1	785 ± 8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью методики ГСССД МЭ 163-2010 измерены критическая температура и критическое давление 144 веществ, принадлежащих к различным классам химических соединений. Измерения выполнены на высокочистых образцах. Чистота образцов контролировалась методами газовой, жидкостной хроматографии и ядерного магнитного резонанса. Большинство исследованных соединений являются термически нестабильными, т.е. их разложение начинается при температурах ниже критической температуры. Для подавляющего числа веществ измерения критических свойств выполнены впервые и остаются единственными, т.к. критические константы этих соединений не могут быть измерены другими методами, развитыми к настоящему времени.

Приведены стандартные справочные данные о критической температуре и критическом давлении 136 индивидуальных веществ. При разработке стандартных справочных данных учитывались все имеющиеся в литературе результаты измерений критических свойств этих веществ.

Разработанные стандартные справочные данные о критической температуре и критическом давлении органических и элементорганических соединений найдут широкое применение в различных областях науки и техники, в первую очередь, в химической и нефтехимической промышленности, фармацевтике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Daubert T. E. Strengths and Weakness of Predictive Methods for Estimating Thermophysical Properties. *J Chem. Eng. Data*, 1996, *41*, 942-946.
2. de la Tour. *Ann. Chim. Phys*. 1882, *21*, 127-132.
3. Ambrose D., Young C. L. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 1. An Introductory Survey. *J. Chem. Eng. Data*, 1995, *40,* 345-357.
4. Ambrose D., Tsonopoulos C. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 2. Normal Alkanes. *J. Chem. Eng. Data*, 1995, *40,* 531-546.
5. Tsonopoulos C., Ambrose D. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 3. Aromatic Hydrocarbons. *J. Chem. Eng. Data*, 1995, *40,* 547-558.
6. Gude M., Teja A. S. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 4. Aliphatic Alkanols. *J. Chem. Eng. Data*, 1995, *40,* 1025-1036.
7. Daubert T. E. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 5. Branches Alkanes and Cycloalkanes. *J. Chem. Eng. Data*, 1996, *41,* 365-372.
8. Tsonopoulos C., Ambrose D. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 6. Unsaturated Aliphatic Hydrocarbons. *J. Chem. Eng. Data*, 1996, *41,* 645-656.
9. Kudchadker A. P., Ambrose D., Tsonopoulos C. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 7. Oxygen Compounds Other Than Alkanols and Cycloalkanols. *J. Chem. Eng. Data*, 2001, *46,* 457-479.
10. Tsonopoulos C., Ambrose D. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 8. Organic Sulfur, Silicon, and Tin Compounds (C + H + S, Si, and Sn). *J. Chem. Eng. Data*, 2001, *46,* 480-485.
11. Marsh K. N., Young C. L., Morton D. W., Ambrose D., Tsonopoulos C. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 9. Organic Compounds Containing Nitrogen. *J. Chem. Eng. Data*, 2006, *51,* 305-314.

12. Marsh K. N., Abramson A., Ambrose D., Morton D. W., Nikitin E., Tsonopoulos C., Young C. L. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 10. Organic Compounds Containing Halogens. *J. Chem. Eng. Data,* 2007, *52*, 1509-1538.

13. Ambrose D., Tsonopoulos C., Nikitin E. D. Vapor-Liquid Critical Properties of Elements and Compounds. 11. Organic Compounds Containing B + O; Halogens + N, + O, + O + S, + S, + Si; N + O; and O + S, + Si. *J. Chem. Eng. Data,* 2009, *54*, 669-689.

14. Методика ГСССД МЭ 163-2010. Методика экспериментального определения критической температуры и критического давления индивидуальных веществ // Никитин Е. Д., Павлов П. А. Росс. научно-техн. центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия. М., 2010 – 31 с. Илл. 8. Библиогр. 29 назв. Рус. 12 назв. Деп. в ФГУП «Стандартинформ» 16.06.2010 г., № 865а-2010кк.

15. Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1972.

16. Nikitin E. D., Pavlov P. A., Bessonova N. V. Critical Constants of n-Alkanes with from 17 to 24 Carbon Atoms. *J. Chem. Thermodyn.*, 1994, *26*, 177-182.

17. Nikitin E. D., Pavlov P. A., Popov A. P. Vapour-Liquid Critical Temperatures and Pressures of Normal Alkanes with from 19 to 36 Carbon Atoms, Naphthalene and m-Terphenyl Determined by the Pulse-Heating Technique. *Fluid Phase Equilib.*, 1997, *141*, 155-164.

18. Nikitin E. D., Popov A. P. Critical Temperatures and Pressures of Linear Alk-1-enes with 13 to 20 Carbon Atoms Using the Pulse-Heating Technique. *Fluid Phase Equilib.*, 1999, *166*, 237-243.

19. Ambrose D., Ghiassee N. B. Vapour Pressures and Critical Temperatures and Critical Pressures of Some Alkanoic Acids: C_1 to C_{10}. *J. Chem. Thermodyn.*, 1987, *19*, 505-519.

20. Nikitin E. D., Pavlov P. A, Popov A. P. Critical Temperatures and Pressures of Some Alkanoic Acids (C2 to C22) Using the Pulse-Heating Method. *Fluid Phase Equilib.*, 2001, *189*, 151-161.

21. Degussa AG (http://gost.e-ecolog.ru

22. Nikitin E. D., Popov A. P., Bogatishcheva N. S., Yatluk Y. G. Critical Temperatures and Pressures of Straight-Chain Saturated Dicarboxylic Acids (C_4 to C_{14}). *J. Chem. Eng. Data*, 2004, *49*, 1515-1520.

23. Nikitin E. D., Popov A. P., Yatluk Y. G. Critical-Point Measurements for Phenylethanoic to 7-Phenylheptanoic Acids. *J. Chem. Eng. Data*, 2006, *51*, 1335-1338.

24. Stern S. A., Kay W. B. The Critical Pressure and Temperature of Dimethyl Oxalate. *J. Phys. Chem.*, 1957, *61*, 374.

25. Verevkin S. P., Kozlova S. A., Emel'yanenko V. N., Nikitin E. D., Popov A. P., Krasnykh E. L. Vapor Pressures, Enthalpies of Vaporization, and Critical Parameters of a Series of Linear Aliphatic Dimethyl Esters of Dicarboxylic Acids. *J. Chem. Eng. Data*, 2006, *51*, 1896-1905.

26. Nikitin E. D., Popov A. P., Bogatishcheva N. S., Krasnykh E. Critical Temperatures and Pressures of Some Dicarboxylic Acids, Their Dimethyl and Diethyl Esters. The 18th IUPAC International Conference on Chemical Thermodynamics and the 12th National Conference on Chemical Thermodynamics and Thermal Analysis. Book of Abstracts. Beijing, China, August 17-21, 2004, 177.

27. Regnault H. V. *Mem. Acad. Sci. Paris*, 1862, *26*, 335.

28. Weger, F. *Justus Liebigs Ann. Chem.*, 1883, *221*, 61-107.

29. Steele W. V., Chirico R. D., Cowell A. B., Knipmeyer S. E., Nguyen A. Thermodynamic Properties and Ideal-Gas Enthalpies of Formation for 1,4-Diisopropylbenzene, 1,2,4,5-Tetraisopropylbenzene, Cyclohexanone Oxime, Dimethyl Malonate, Glutaric Acid, and Pimelic Acid. *J. Chem. Eng. Data*, 2002, *47*, 725-739.

30. Steele W. V., Chirico R. D., Cowell A. B., Knipmeyer S. E., Nguyen A. Thermodynamic Properties and Ideal-Gas Enthalpies of Formation for Methyl Benzoate, Ethyl Benzoate, (*R*)-(+)-Limonene, *tert*-Amyl Methyl Ether, *trans*-Crotonaldehyde, and Diethylene Glycol. *J. Chem. Eng. Data*, 2002, *47*, 667-688.

31. Nikitin E. D., Popov A. P., Yatluk Y. G. Critical Point Measurements for n-Alkyl Benzoates (C_8 to C_{13}). *J. Chem. Eng. Data*, 2007, *52*, 1336-1339.

32. Saido K., Kuroki T., Ikemura T., Kirisawa M. Thermal Stability of Phthalic Esters. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1984, *61*, 945-949.

33. Nikitin E. D., Popov A. P., Yatluk Y. G. Critical Temperatures and Pressures of 12 Phthalates Using the Pulse-Heating Method. *J. Chem. Eng. Data*, 2006, *51*, 1326-1330.

34. Nikitin E. D., Pavlov P. A., Popov A. P. Critical Temperatures and Pressures of 1-Alkanols with 13 to 22 Carbon Atoms. *Fluid Phase Equilib.*, 1998, *149*, 223-232.

35. VonNiederhausern D. M., Wilson G. M., Giles N. F. Critical Point and Vapor Pressure Measurements for Seven Compounds by a Low Residence Time Flow Method. *J. Chem. Eng. Data*, 2006, *51*, 1982-1985.

36. Ambrose D., Ghiassee N. B. Vapour Pressures, Critical Temperatures, and Critical Pressures of Benzyl Alcohol, Octan-2-ol, and 2-Ethylhexan-1-ol. *J. Chem. Thermodyn.*, 1990, *22*, 307-311.

37. Nikitin E. D., Popov A. P., Yatluk Y. G. Vapor-Liquid Critical Properties of Phenol and (C_8 to C_{10}) Phenylalkanols. *J. Chem. Eng. Data*, 2007, *52*, 315-317.

38. Nikitin E. D., Pavlov P. A., Skripov P. V. Measurement of the Critical Properties of Thermally Unstable Substances and Mixtures by the Pulse-Heating Method. *J. Chem. Thermodyn.*, 1993, *25*, 869-880.

39. Nikitin E. D., Pavlov P. A., Popov A. P. (Gas + Liquid) Critical Temperatures and Pressures of Polyethene Glycols from $HOCH_2CH_2OH$ to $H(OCH_2CH_2)_{v\approx13.2}OH$. *J. Chem. Thermodyn.*, 1995, *27*, 43-51.

40. Ambrose D., Cox J. D., Townsend R. The Critical Temperatures of Forty Organic Compounds. *Trans. Faraday Soc.*, 1960, *56*, 1452-1459.

41. Nikitin E. D., Popov A. P., Bogatishcheva N. S., Yatluk Y. G. Vapor-Liquid Critical Properties of n-Alkylbenzenes from Toluene to 1-Phenyltridecane. *J. Chem. Eng. Data*, 2002, *47*, 1012-1016.

42. Morton D. W., Lui M. P. W., Tran C. A., Young C. L. Gas-Liquid Critical Temperatures of Some Alkenes, Amines, and Cyclic Hydrocarbons. *J. Chem. Eng. Data,* 2004, *49,* 283-285.

43. Nikitin E. D., Popov A. P., Bogatishcheva N. S. Critical Point Measurements for Five *n*-Alkylcyclohexanes (C_6 to C_{10}) by the Pulse-Heating Method. *J. Chem. Eng. Data*, 2003, *48*, 1137-1140.

44. Wilson L. C., Wilson H. L., Wilding W. V., Wilson G. M. Critical Point Measurements for Fourteen Compounds by a Static Method and a Flow Method. *J. Chem. Eng. Data,* 1996, *41*, 1252-1254.

45. Nikitin E. D., Popov A. P., Yatluk Y. G. Critical Pressures and Temperatures of n-Diaminoalkanes (C_2 to C_{12}). *J. Chem. Eng. Data*, 2006, *51*, 609-611.

46. Химическая энциклопедия. Т. 1. М.: Советская энциклопедия, 1988.

47. Nikitin E. D., Popov A. P., Simakina V. A. Vapor-Liquid Critical Properties of Some Tetraalkoxysilanes. *J. Chem. Eng. Data*, 2008, *53*, 1371-1374.

48. Waterson S. D., Young C. L. Gas-Liquid Critical Temperatures of Mixtures Containing an Organosilicon Compound. *Aust. J. Chem.* 1978, *31*, 957–962.

49. Feld R., Cowe P. L. The Organic Chemistry of Titanium. Butterworths: London, 1965.

50. Pfeifer G., Terz F. Adatok az alkoxidvegyuletek kemiajahoz. III. Alumiumes and titanalkoxidok derivatografias vizsgalata. *Magy. Kem. Foly.,* 1964, *70*, 52–55.

51. Nikitin E. D., Popov A. P., Yatluk Y. G., Simakina V. A. Critical Temperatures and Pressures of Tetraalkoxytitaniums. *J. Chem. Eng. Data*, 2010, *55*, 178-183.

52. Nikitin E. D., Pavlov P. A., Popov A. P. (Vapour - Liquid) Critical Properties and Acentric Factors of Five Low-Molar-Mass Methylphenylsiloxanes. *J. Chem. Thermodyn.,* 1994, 26, 1047-1050.

53. Nikitin E. D., Popov A. P. Vapor–liquid critical properties of squalane measured by the pulse-heating technique. *Fluid Phase Equilib.*, 2005, *237*, 16–20.

54. VonNiederhausern D. M., Wilson G. M., Giles N. F. Critical Point and Vapor Pressure Measurements at High Temperatures by Means of a New Apparatus with Ultralow Residence Times. *J. Chem. Eng. Data,* 2000, *45,* 157-160.

55. Radice G. Thesis, University of Geneva, 1899. Цитируется в соответствии с работой [9].

56. Ambrose D. Critical temperatures of some phenols and other organic compounds. *Trans. Faraday Soc.* 1963, *59*, 1988-1993.

57. Herz W., Neukirch E. Zur kenntnis kritischer grössen. *Z. Phys. Chem.*, 1923, *104*, 433-450.

58. Delaunois C. Influence du taux de remplissage des réacteurs sur la tension de vapeur et la température de début de craquage des phénols aux hautes pressions. *Ann. Mines Belg.*, 1968, *1*, 9-16.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 2. Содержание основного вещества в образцах при измерениях критических свойств

Вещество	Производитель	Метод анализа	Чистота/%	
			До измерения критическ. свойств	После измерения критическ. свойств
н-Пентан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.9
н-Гексан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.9
н-Гептан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.9
н-Нонадекан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.8
н-Эйкозан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.9
н-Генэйкозан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.9
н-Докозан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.9
н-Трикозан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.9
н-Тетракозан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.9
н-Гексакозан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.9
н-Октакозан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.8	99.8
н-Триаконтан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.8
н-Гексатриаконтан	Sigma-Aldrich	ГХ	99.9	99.8
1-Тридецен	Sigma-Aldrich	ГХ	99[1]	
1-Тетрадецен	Sigma-Aldrich	ГХ	>99[1]	
1-Пентадецен	Sigma-Aldrich	ГХ	98[1]	
1-Гексадецен	Sigma-Aldrich	ГХ	99[1]	
1-Гептадецен	Sigma-Aldrich	ГХ	99[1]	

Продолжение Таблицы 2

Вещество	Производитель	Метод анализа	Чистота/%	
			До измерения критическ. свойств	После измерения критическ. свойств
1-Октадецен	Sigma-Aldrich	ГХ	97[1]	
1-Нонадецен	Sigma-Aldrich	ГХ	97[1]	
1-Эйкозен	Sigma-Aldrich	ГХ	90[1]	
Этановая кислота	Aldrich	ГХ	99.95	
Гексановая кислота	ИОС[2]	ГХ	99.5	
Октановая кислота	ИОС[2]	ГХ	99.7	
Ундекановая кислота	Aldrich	ГХ	99.92	
Додекановая кислота	Aldrich	ГХ	>99.99	
Тетрадекановая кислота	Aldrich	ГХ	>99.99	
Пентадекановая кислота	Fluka	ГХ	>99.99	
Гексадекановая кислота	Aldrich	ГХ	>99.99	
Гептадекановая кислота	Fluka	ГХ	>99.99	
Октадекановая кислота	Aldrich	ГХ	>99.99	
Эйкозановая кислота	Aldrich	ГХ	>99.99	
Докозановая кислота	Aldrich	ГХ	>99.99	
Бутандиовая кислота	Fluka	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.3	95.7
Пентандиовая кислота	Aldrich	ГХ	99.9	99.8
		ЯМР	99.7	99.0

Продолжение Таблицы 2

Вещество	Производитель	Метод анализа	Чистота/%	
			До измерения критическ. свойств	После измерения критическ. свойств
Гександиовая кислота	Riedel	ГХ	99.9	99.3
		ЯМР	99.9	99.5
Гептандиовая кислота	Aldrich	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Октандиовая кислота	Sigma	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Нонандиовая кислота	Fluka	ГХ	99.8	99.8
		ЯМР	99.4	98.5
Декандиовая кислота	Aldrich	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Додекандиовая кислота	Aldrich	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.2
Тетрадекандиовая кислота	Aldrich	ГХ	99.4	99.4
		ЯМР	99.4	99.4
Фенилэтановая кислота	Aldrich	ГХ	99.58	98.90
3-Фенилпропановая кислота	Aldrich	ГХ	99.71	97.68
4-Фенилбутановая кислота	Aldrich	ГХ	99.63	98.45
5-Фенилпентановая кислота	Aldrich	ГХ	99.85	98.52
6-Фенилгексановая кислота	ИОС[2]	ГХ	99.40	99.35

Продолжение Таблицы 2

Вещество	Производитель	Метод анализа	Чистота/%	
			До измерения критическ. свойств	После измерения критическ. свойств
7-Фенилгептановая кислота	ИОС[2]	ГХ	99.95	99.95
Диметилэтандиоат	Fluka	ГХ	99.99[1]	
Диметилпропандиоат	Aldrich	ГХ	99.6[1]	
Диметилбутандиоат	Fluka	ГХ	98.7[1]	
Диметилпентандиоат	Fluka	ГХ	99.4[1]	
Диметилгександиоат	Aldrich	ГХ	99.98[1]	
Диметилгептандиоат	Aldrich	ГХ	99.9[1]	
Диметилоктандиоат	Aldrich	ГХ	99[1]	
Диметилдекандиоат	Aldrich	ГХ	99.40[1]	
Диэтилпропандиоат	СГТУ[3]	ЯМР	99.3	99.3
Диэтилбутандиоат	СГТУ[3]	ЯМР	99.5	99.5
Диэтилпентандиоат	СГТУ[3]	ЯМР	99.8	99.7
Диэтилгександиоат	СГТУ[3]	ЯМР	99.8	99.8
Метилбензоат	Aldrich	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Этилбензоат	Aldrich	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Пропилбензоат	Aldrich	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9

Продолжение Таблицы 2

Вещество	Производитель	Метод анализа	Чистота/%	
			До измерения критическ. свойств	После измерения критическ. свойств
Бутилбензоат	Aldrich	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Пентилбензоат	Alfa Aesar	ГХ	99.0	99.0
		ЯМР	99.2	99.1
Гексилбензоат	Alfa Aesar	ГХ	99.8	99.8
		ЯМР	99.6	99.5
Диметилфталат	Eastman	ГХ	99.97[1]	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Диэтилфталат	Eastman	ГХ	99.95[1]	99.9
		ЯМР	99.9	99.8
Дипропилфталат	ИОС	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.8
Дибутилфталат	Eastman	ГХ	99+[1]	99.8
		ЯМР		99.9
Дипентилфталат	ИОС	ГХ	99.9	99.7
		ЯМР	99.8	99.9
Дигексилфталат	ИОС[2]	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9

Вещество	Производитель	Метод анализа	Чистота/%	
			До измерения критическ. свойств	После измерения критическ. свойств
Дигептилфталат	ИОС[2]	ЖХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Диоктилфталат	ИОС[2]	ЖХ	99.7	99.5
		ЯМР	99.9	99.8
бис(2-Этилгексил)фталат	ИОС[2]	ЖХ	99.1	98.9
		ЯМР	99.9	99.9
Динонилфталат	ИОС[2]	ЖХ	99.9	99.8
		ЯМР	99.9	99.9
Дидецилфталат	ИОС[2]	ЖХ	99.7	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Диундецилфталат	ИОС[2]	ЖХ	99.8	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
1-Тридеканол	Aldrich	ГХ	97[1]	
1-Тетрадеканол	Aldrich	ГХ	97[1]	
1-Пентадеканол	Aldrich	ГХ	99+[1]	
1-Гексадеканол	Aldrich	ГХ	99[1]	
1-Гептадеканол	Aldrich	ГХ	98[1]	
1-Октадеканол	Aldrich	ГХ	99[1]	
1-Эйкозанол	Aldrich	ГХ	98[1]	
1-Докозанол	Aldrich	ГХ	98[1]	

Продолжение Таблицы 2

Вещество	Производитель	Метод анализа	Чистота/%	
			До измерения критическ. свойств	После измерения критическ. свойств
2-Фенил-1-этанол	Fluka	ГХ	99.9	99.8
		ЯМР	99.9	99.9
3-Фенил-1-пропанол	Aldrich	ГХ	99.7	99.4[4]
		ЯМР	99.6	99.5
4-Фенил-1-бутанол	Aldrich	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Этиленгликоль	ИОС[2]	ГХ	99.86	
Диэтиленгликоль	ИОС[2]	ГХ	99.2	
Триэтиленгликоль	ИОС	ГХ	99.1	
Тетраэтиленгликоль	ИОС[2]	ГХ	98.1	
Глицерин	ИОС[2]	ГХ	99.89	
Бензол	Aldrich	ГХ	99.8[1]	
Метилбензол (толуол)	Merk	ГХ	99.9	
Этилбензол	Merk	ГХ	99.9	99.9
Бутилбензол	Aldrich	ГХ	99.6	99.6
Пентилбензол	Aldrich	ГХ	99.2	
Гексилбензол	Fluka	ГХ	99.9	
Гептилбензол	Fluka	ГХ	99.3	99.3
Октилбензол	Aldrich	ГХ	99.0	

Продолжение Таблицы 2

Вещество	Производитель	Метод анализа	Чистота/%	
			До измерения критическ. свойств	После измерения критическ. свойств
Децилбензол	Fluka	ГХ	98.2	
Ундецилбензол	Aldrich	ГХ	99.5	99.5
Тридецилбензол	Aldrich	ГХ	99.0	99.0
Циклогексан	Fluka	ГХ	99.3	99.2
Метилциклогексан	Aldrich	ГХ	99.7	99.5
Этилциклогексан	Fluka	ГХ	99.7	99.3
Пропилциклогексан	Aldrich	ГХ	99.8	99.6
Бутилциклогексан	Aldrich	ГХ	99.6	99.6
1,2-Диаминоэтан	Fluka	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
1,3-Диаминопропан	Aldrich	ГХ	99.5	100
		ЯМР	100	100
1,4-Диаминобутан	Aldrich	ГХ	99.7	99.7
		ЯМР	99.9	99.9
1,6-Диаминогексан	Sigma	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.8	99.9
1,8-Диаминооктан	Fluka	ГХ	100	99.8
		ЯМР	99.9	99.8
1,9-Диаминононан	Aldrich	ГХ	100	100
		ЯМР	99.9	99.9

Продолжение Таблицы 2

Вещество	Производитель	Метод анализа	Чистота/%	
			До измерения критическ. свойств	После измерения критическ. свойств
1,10-Диаминодекан	Aldrich	ГХ	99.8	99.8
		ЯМР	100	100
1,12-Диаминододекан	Aldrich	ГХ	100	99.8
		ЯМР	99.8	100
Тетраметоксисилан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетраэтоксисилан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетрапропоксисилан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.8
Тетрабутоксисилан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетрапентоксисилан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетрагексоксисилан	ИОС[2]	ЯМР	99.8	99.7
Тетрагептоксисилан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетраоктоксисилан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетранооксисилан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.8
Тетрадецоксисилан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетраэтоксититан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетрапропоксититан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.8
Тетрабутоксититан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетрапентоксититан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетрагексоксититан	ИОС[2]	ЯМР	99.8	99.8
Тетрагептоксититан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.7

Продолжение Таблицы 2

Вещество	Производитель	Метод анализа	Чистота/%	
			До измерения критическ. свойств	После измерения критическ. свойств
Тетраоктоксититан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетраноноксититан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Тетрадецоксититан	ИОС[2]	ЯМР	99.9	99.9
Гексаметилдисилоксан	МИТХТ[5]	ГХ	99.4	
1,1,3,3-Тетраметил-1,3-дифенилдисилоксан	МИТХТ[5]	ГХ	99.2	
1,3-Диметил-1,1,3,3-тетрафенилдисилоксан	МИТХТ[5]	ГХ	99.2	
цис-2,4,6-Триметил-2,4,6-трифенилциклотрисилоксан	МИТХТ[5]	ГХ	99	
транс-2,4,6-Триметил-2,4,6-трифенилциклотрисилоксан	МИТХТ[5]	ГХ	99	
Сквалан	Aldrich	ГХ	99.9	99.9
		ЯМР	99.9	99.9
Нафталин	Aldrich	ГХ	99[1]	
м-Терфенил	Aldrich	ГХ	99[1]	
Фенол	Fluka	ГХ	99.9	99.1[6]
		ЯМР	99.9	99.9
Ферроцен	Fluka	ЯМР	99.9	99.9

[1] Данные фирмы-производителя. [2] Институт органического синтеза УрО РАН. [3] Самарский государственный технический университет. [4] Содержание 1-Тетралона < 0.6%. [5] Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова.

[6] Содержание воды < 0.9%.

Таблица 3. Сравнение результатов измерений критических свойств веществ с помощью методики ГСССД МЭ 163-2010 и литературных данных

Вещество	p_c/МПа		T_c/K	
	Методика ГСССД МЭ 163-2010	Литературные данные	Методика ГСССД МЭ 163-2010	Литературные данные
Стабильные вещества				
н-Пентан	3.36 ± 0.10	3.37 ± 0.02 [4]	467 ± 5	469.7 ± 0.2 [4]
н-Гексан	3.02 ± 0.09	3.025 ± 0.02 [4]	505 ± 5	507.6 ± 0.2 [4]
н-Гептан	2.73 ± 0.08	2.74 ± 0.03 [4]	537 ± 5	540.2 ± 0.3 [4]
н-Декан	2.08 ± 0.03	2.11 ± 0.05	616 ± 6	617.7 ± 0.6 [4]
Вода	22.36 ± 0.67	22.12 [15]	644 ± 6	647.3 [15]
Нафталин	3.96 ± 0.12	4.05 ± 0.05 [5]	747 ± 7	748.4 ± 0.5 [5]
Бензол	4.85 ± 0.07	4.859 ± 0.006 [5]	562 ± 6	562.05 ± 0.07 [5]
Метилбензол	4.09 ± 0.12	4.108 ± 0.010 [5]	588 ± 6	591.75 ± 0.15 [5]
Этилбензол	3.60 ± 0.11	3.609 ± 0.010 [5]	614 ± 6	617.15 ± 0.1 [5]
Циклогексан	4.06 ± 0.12	4.08 ± 0.03 [7]	551 ± 6	553.8 ± 0.2 [7]
Метилциклогексан	3.47 ± 0.10	3.48 ± 0.02 [7]	569 ± 6	572.1 ± 0.2 [7]
Уксусная кислота	5.80 ± 0.17	5.78 ± 0.02 [9]	590 ± 6	590.7 ± 1 [9]
Термонестабильные вещества				
н-Гептадекан	1.33 ± 0.04	1.34 ± 0.2 [4]	732 ± 7	736 ± 2 [4]
Бутилбензол	2.90 ± 0.09	2.89 ± 0.04 [5]	660 ± 7	660.5 ± 0.5[5]
Этиленгликоль	8.2 ± 0.3	8.2 ± 0.4 [9]	720 ± 10	719 ± 6 [9]
Гексановая кислота	3.36 ± 0.10	3.38 ± 0.1 [9]	652 ± 7	655 ± 2 [9]
Октановая кислота	2.85 ± 0.09	2.87 ± 0.1 [9]	690 ± 7	693 ± 2 [9]
Диметилмалонат	3.53 ± 0.11	3.6 ± 0.3 [45]	649 ± 6	647 ± 3 [45]
2-Фенил-1-этанол	3.85 ± 0.12	3.99 ± 0.08 [35]	720 ± 7	723.5 ± 2 [35]

gost.e-ecolog.ru