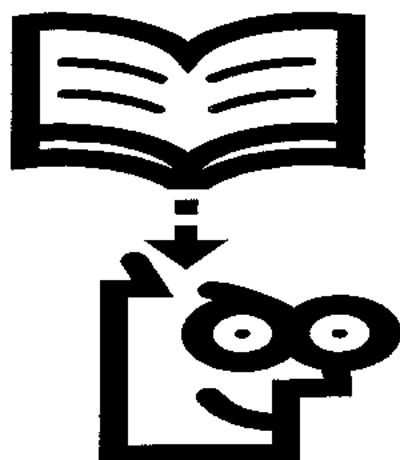


А.А. БЕГУНОВ

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДОКУМЕНТАЦИИ

Справочное пособие



**Санкт-Петербург
2008**

ББК 35.77я 2
Б - 376
УДК 676:681.3 (03)

Бегунов А.А. Метрологические требования к документации: справочное пособие / ГОУВПО СПбГТУРП. СПб., 2008.- 131 с.

Показано, что от соблюдения установленных метрологических правил и норм при разработке и оформлении всех видов документации в значительной мере зависит и качество исполнения регламентированных в ней работ. В связи с этим в справочном пособии уделено внимание анализу типичных метрологических ошибок. Отправным метрологическим фактором в документации является предельно допустимая погрешность, которая делится на требуемую и гарантируемую.

Справочное пособие предназначено для преподавателей, аспирантов и студентов всех специальностей университета, а также специалистов предприятий и организаций целлюлозно - бумажной промышленности.

В работе использованы рекомендации Ростехрегулирования (Госстандарта), метрологических институтов страны, терминологических комитетов РАН и международных организаций, членами которых является Россия.

Рецензенты: канд. техн. наук, зав. кафедрой автоматики и автоматизации технологических процессов Санкт-Петербургского государственного технологического университета холода и пищевых технологий В. Б. Данин;

канд. физ. - мат. наук, зав. отделом метрологии Государственного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт жиров» Россельхозакадемии – головная организация метрологической службы пищевой и перерабатывающей промышленности РФ Г.И. Шевцов.

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом университета в качестве справочного пособия.

© Бегунов А.А., 2008

© ГОУВПО Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, 2008

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

А.А. БЕГУНОВ

Метрологические требования к документации

Справочное пособие

**Санкт-Петербург
2008**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Типичные ошибки.....	6
1.1. Нормы точности	-
1.2. Величины и единицы.....	-
1.3. Нормированные значения показателей качества и технологических параметров.....	7
1.4. Аттестация методик выполнения измерений (МВИ).....	-
1.5. Термины.....	8
1.6. Правила отбора проб.....	9
1.7. Единство измерений.....	-
1.8. Метрологическая экспертиза.....	10
2. Метрологические требования к документации.....	-
2.1. Общие метрологические требования.....	-
2.2. Терминология.....	14
2.3. Правила написания размера физической величины.....	20
2.4. Правила написания и обозначения величин.....	21
2.5. Правила написания и обозначения единиц измерений.....	23
3. Рекомендуемые условные обозначения	25
3.1. Обозначения погрешностей.....	-
3.2. Индексация символов.....	26
3.3. Структура индексации.....	27
3.4. Обозначения видов погрешностей.....	28
3.5. Обозначения (символы) наиболее распространенных физических величин	-
3.6. Допускаемые сокращения, используемые в качестве индекса для метрологической практики	29
3.7. Аббревиатура для обозначений некоторых средств измерений.....	-
4. Стандартизованные термины.....	30
4.1. Метрология и ее разделы.....	-
4.2. Условия измерений.....	36
4.3. Обеспечение единства измерений.....	-
4.4. Испытания.....	39
4.5. Средства измерений.....	41
4.6. Виды средств измерений.....	42
4.7. Контроль качества продукции.....	46
5. Терминология математической обработки экспериментальных данных и представления результатов	48
5.1. Приближения и предостережения	49
5.2. Общие термины.....	-
5.3. Термины, относящиеся к параллельным измерениям.....	51

5.4.	Термины, относящиеся к линейным градуировочным функциям.....	55
6.	Термины, определения и обозначения метрологических характеристик анализа вещества.....	59
6.1.	Количество вещества, масса и концентрация.....	60
6.2.	Степень чистоты вещества.....	68
7.	Рекомендации Комиссии по терминологии Научного совета РАН по аналитической химии.....	71
7.1.	Физические величины – общие рекомендации.....	-
7.2.	Единицы измерения – общие рекомендации.....	73
7.3.	Обозначения химических элементов, нуклидов и элементарных частиц.....	74
7.4.	Квантовые состояния.....	75
7.5.	Терминология.....	77
7.6.	Рекомендуемые обозначения физических величин.....	79
7.7.	Рекомендуемые математические обозначения.....	96
7.8.	Единицы, широко используемые для решения специальных проблем.....	100
7.9.	Производные единицы СИ, имеющие собственные наименования.....	-
7.10.	Основные величины, имеющие внесистемные единицы измерения.....	101
	Приложения.....	102
	Приложение 1. Фундаментальные физические постоянные	-
	Приложение 2. Общероссийский классификатор единиц измерений	103
	Приложение 3. Производные величины (не имеющие собственных названий).....	118
	Приложение 4. Соотношения между характеристиками влажности газов.....	122
	Приложение 5. Соотношение между единицами измерений	126
	Приложение 6. Единицы, применявшиеся в России перед их отменой.....	129
	Библиографический список.....	130

Введение

В период развития средств автоматизации создания нормативной, технологической и конструкторской документации все большее значение приобретает соблюдение установленных информативных символов (терминов, условных обозначений и т.д.). В особой мере это относится к метрологической стороне вопроса, поскольку, как известно, измерительная информация отображается разработчиком и воспринимается пользователем сугубо в символическом виде. В связи с этим они должны иметь совершенно идентичный набор таких символов: термины, их определения и обозначения. В ряде случаев такую функцию выполняют терминологические стандарты, которые, однако, носят рекомендательный характер, не всегда соответствуют друг другу и опубликованы в различных, многим пользователям неизвестных изданиях, включая те же многочисленные терминологические стандарты по видам измерений. Это же относится к международным рекомендациям и рекомендациям соответствующих комиссий Российской академии наук. Все это создает определенные трудности и недопонимание восприятия не только научных материалов, но и технической документации. Так, например, термин *погрешность* - это сугубо собирательное понятие и его можно использовать только в качественном смысле (высокая, низкая), но не в количественном, т.е. сопровождать числовыми значениями не следует. Для этого имеются иные термины.

Качество нормативной, технической, конструкторской, технологической и проектной документации в значительной степени определяет и качество выпускаемой продукции, производительность труда, эффективность производства и достоверность результатов учетных операций.

По мнению многих специалистов, ценность большинства публикуемых исследовательских работ (в том числе, в области химического анализа) снижается из-за того, что их авторы не придерживаются общепринятой терминологии, условных обозначений и системы описания численных результатов.

Цель настоящего справочного пособия - собрать указанные публикации воедино и дать в необходимых случаях полезные комментарии.

Анализ нормативной документации (прежде всего национальных - ранее государственных - стандартов) показывает, что при ее создании нарушаются два основных правила:

1. Принципиальной основой нормативного документа должно быть единство измерений.
2. Текстовой основой любого документа должны быть прежде всего нормы русского языка и те стандартизованные термины, которые не противоречат этим нормам.

Создание любой документации и прежде всего национальных стандартов - комплексная задача, в решении которой должны участвовать соответ-

вующие специалисты (технологи, стандартизаторы, метрологи, специалисты по экологии и технике безопасности, конструкторы и др.) как равноправные соавторы. К сожалению, практика сложилась таким образом, что основными разработчиками нормативной документации являются обычно стандартизаторы, которые почему-то принимают окончательные решения и в областях, где они не являются специалистами.

1. Типичные ошибки

Ниже рассмотрены типичные ошибки на примере национальных стандартов. Значимость их различна, но их наличие в любом случае снижает качество документации.

1. 1. Нормы точности

В документации, устанавливающей нормативные требования к показателям продукции, должны быть указаны нормы *требуемой* погрешности. Под этим понимается *предельно допустимая* погрешность, с которой допускается измерять тот или иной параметр. Это, прежде всего, экономическая категория, которая существенно влияет на себестоимость продукции. Без нее невозможно принимать ряд принципиальных решений метрологического и технического характера: становится бессмысленной аттестация методик выполнения измерений (МВИ), которая позволяет находить *гарантированную* норму погрешности (она должна быть не более требуемой); оказывается невозможным принять обоснованные решения по отбраковке продукции в случае, когда измеренное значение параметра находится в границах поля допуска, выбрать средства измерений, проводить сертификацию продукции и многое другое.

1. 2. Величины и единицы

Федеральным Законом «Об обеспечении единства измерений» в РФ допускаются к применению только единицы величин SI. Их написание, применение, наименование и образование регламентированы в ГОСТ 8.417-2002 [1]. В ЦБП, как и во многих других отраслях, неправильно применяемые величины и единицы можно разделить на две группы. К первой относятся величины и единицы, считающиеся отраслевыми ошибочно, что исправляется простым соблюдением правил, изложенных в [1]. Их надо просто исполнять. В принципе, это, чаще всего, концентрационные характеристики состава, для которых установлены названия величин: массовая, молярная, объемная доли и отношения, массовая и молярная концентрации и соответственно единицы: млн^{-1} (ppm), тыс^{-1} (pt), %, но не мг/кг или $\text{см}^3/\text{м}^3$. Вторую группу составляют величины и единицы, к которым формальный подход не применим. Например, кислотное или перекисное числа. Здесь требуются особые решения, с соответствующим документальным оформлением. Этот вопрос рассмотрен подробно в [2] на примере пищевой аналитики.

1.3. Нормированные значения показателей качества и технологических параметров

Часто допускаются ошибки в записи нормированных значений параметров. Имеется в виду количество значащих цифр. Метрологическими правилами установлено, что значение величины должно соответствовать ее погрешности. Если таковая отсутствует, то можно считать ее равной половине единицы последней значащей цифры. Так, если в нормативном документе записано значение массовой доли клетчатки 55,0 %, это значит, что доверительный интервал его абсолютной погрешности $\pm 0,05$ %. Но с такой погрешностью нет возможности измерять данный параметр. Кроме того, при установлении нормативов необходимо принимать во внимание и технологическую неоднородность продукта. Это важная задача, методология решения которой разработана в [2].

При записи числового значения необходимо отдавать отчет в уровне его достоверности. Так при записи экономического эффекта от выполненной работы, например, 1245952,45 руб. это значение бессмысленно, поскольку степень приближения его расчета существенно выше, чем не только копейки, но и рубли. Это относится и к количественным нормативам компонентов приготавливаемых смесей, например, если записано значение массы дозируемого компонента 12547,52 кг, то такое предписание просто невозможно выполнить из-за отсутствия дозаторов требуемой точности.

1.4. Аттестация методик выполнения измерений (МВИ)

В соответствии с ГОСТ 8.563-2002 [3] МВИ, применяемые в целях, подпадающих под государственный метрологический контроль и надзор, подлежат аттестации. К сожалению, таковая во многих случаях не проводится. Целью аттестации является определение и установление гарантированной точности, диапазона и условий измерения контролируемых показателей. Методология аттестации изложена в [4] и [5].

Формально рассуждая, МВИ, применяемые для иных целей, кроме указанных выше, не должны подвергаться аттестации. Однако в таком случае оказывается неизвестной погрешность результатов измерений, полученных с ее помощью. Поэтому целесообразно аттестовывать МВИ в любом варианте ее применения.

Следует иметь в виду, что факт стандартизации МВИ еще не означает, что она аттестована. Это связано с тем, что в национальных (государственных) стандартах часто регламентированы МВИ старые, разработанные и оформленные указанным образом еще до введения обязательной их аттестации. Признаком фактической аттестации стандартизированной МВИ является наличие в ней трех взаимосвязанных характеристик: диапазон и погрешность измерения и условия выполнения измерительной процедуры. Их отсутствие – верный признак, что данная МВИ не аттестована. При этом расхождение между параллельными наблюдениями не является показателем точности.

1.5. Термины

Весьма часто ошибочны названия стандартов и технических условий, прежде всего регламентирующих процедуры испытаний. В большинстве случаев эти документы называют «Метод определения...», что неправильно по следующим причинам. В соответствии с РМГ 29-99 [6]: «Метод измерения – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Методика выполнения измерений – установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечит получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом».

Представляется совершенно очевидным, что в документах, например, [7,8] и др., регламентируют не метод измерения, а методику выполнения измерений, что должно быть отражено и в названии документа.

Не следует использовать и термин «определение». В нормативной документации обычно этот термин применяют как синоним термина «измерение», каковым он на самом деле не является. В [9] «определение – формулировка, раскрывающая содержание, сущность, основные черты чего-либо», а по [10] «определение – установление смысла незнакомого термина...», или «установление предмета рассмотрения, однозначная его характеристика», либо «введение в рассмотрение нового предмета (понятия) посредством указания на то, как иной предмет построить из предметов данных и уже известных». Таким образом, это вообще не метрологический термин. Его в РМГ 29-99 нет. Вместо него следует использовать термин «измерение» (это краткая форма полного термина «измерение физической величины»), под которым понимается «совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины».

Во многих случаях вместо «Методики выполнения измерений» следует документ называть «Методика испытаний», поскольку испытание – техническая операция, заключающаяся в определении одной или нескольких характеристик данной продукции или услуги в соответствии с установленной процедурой. Это имеет принципиальное значение для оформления и формализации документа по ГОСТ 51672-2000 [11].

Таким образом, часто названия стандартов не соответствуют их содержанию по существу. Правильное название документа рассматриваемого вида должно строиться по следующей схеме:

наименование процедуры	+	наименование измеряемой величины	+	название определяемого компонента	+	область распространения (объекты измерений или испытаний)	+	название метода измерения
---------------------------	---	--	---	---	---	---	---	---------------------------

Например: «Методика (методики) выполнения измерений массовой

доли влаги в бумаге термогравиметрическим методом», если документ регламентирует способы измерения конкретного параметра определенным методом или «Методики испытаний такой-то продукции», если документ регламентирует способы испытаний конкретной группы продуктов.

Часто вместо *наименования измеряемой физической величины* употребляют название анализируемого компонента: влага, белок, лигнин и др. (например, влага 5 %) вместо массовая доля влаги, белка или лигнина. В качестве наименования измеряемой величины используют измеряемое свойство: кислотность вместо массовая доля кислоты (кислот), масличность вместо массовая доля липидов, влажность вместо массовая доля воды.

Отсутствуют, как правило, корректные с метрологической точки зрения *определения анализируемого компонента*. В аналитике, как известно, обычно имеют дело с многокомпонентными системами, в которых таковыми являются не только матрица, но и измеряемый компонент. При этом количественное и качественное содержание измеряемого компонента неоднозначно и зависит, во-первых, от решаемой измерительной задачи, а, во-вторых, от способа его отделения от матрицы. В связи с этим должно быть дано однозначное определение, что следует понимать под «клетчаткой», «лигнином», «водой», «белком» и т.д. в каждом конкретном случае.

Имеют место многочисленные ошибки в применении *метрологических терминов*. Например, употребляют термины «величина», «уровень» и др. вместо терминов «значение» или «размер». При этом ссылаются на другие документы, из которых заимствуют эти ошибки. Так вместо «величина массы 5 кг» следует писать «значение массы 5 кг», поскольку термин «масса» и есть по определению «величина». «Уровень» - это не числовое значение, а горизонтальная плоскость, являющаяся границей высоты жидкости или сыпучего материала.

Термин «погрешность» - это не метрологическая характеристика, а некоторое собирательное понятие, а потому его нельзя употреблять с количественной оценкой (например, погрешность равна 5 %). Погрешность выражают различными способами. Для количественной оценки следует употреблять термины, отражающие интервальные, вероятностные свойства погрешности, например, «доверительный интервал абсолютной (или относительной) погрешности не более 5 %».

Словарь метрологических терминов приведен в разделе 4.

1.6. Правила отбора проб

Часто регламентированные правила отбора образцов не основаны на статистических методах и не опираются на статистические планы контроля. Наиболее проработан этот вопрос в [2] и [12].

1.7. Единство измерений

Этот вопрос, как правило, при метрологической экспертизе отраслевого нормативного документа в системе Ростехрегулирования не рассматривается. Да и не должен, поскольку это, совершенно очевидно, задача отраслевых метрологических служб. Основы построения систем обеспечения един-

ства измерений в аналитике изложены в [2].

1.8. Метрологическая экспертиза

Метрологическая экспертиза – анализ и оценивание экспертами-метрологами правильности применения метрологических требований, правил и норм, в первую очередь, связанных с единством и точностью измерений [6]. Метрологическую экспертизу должны проходить все виды документации в том случае, когда метрологи не являются соавторами документов. Это позволяет устранить недостатки еще на стадии их разработки. Можно привести множество примеров существенных просчетов в документации, которые были обнаружены не только в уже готовой документации, но и в реализованной продукции.

Здесь рассмотрены лишь отдельные, наиболее характерные ошибки отраслевой документации, которые свойственны документации многих отраслей. Более подробно метрологические требования к документации всех видов и правила проведения ее метрологической экспертизы изложены в разд. 2, а также в учебно-справочной книге [5] и монографии [2].

2. Метрологические требования к документации

2.1. Общие метрологические требования

Рассмотренные ниже метрологические требования распространяются на нормативную, технологическую, конструкторскую и проектную документацию.

Общими метрологическими требованиями являются следующие:

1. Нормируемые параметры следует разделять на критические, основные и дополнительные (вспомогательные). Для каждой из этих групп должно быть различное нормирование погрешности.

2. Номенклатура контролируемых (измеряемых) параметров должна быть оптимальной (или рациональной) с экономической точки зрения (это не относится к параметрам, определяющим технику безопасности, санитарное и экологическое состояние).

3. На каждый измеряемый и нормируемый параметр должны быть установлены нормированное значение, допустимый размах и предельно допустимое значение погрешности результата измерения. Практикующийся принцип выбора средства измерений (СИ) и методик выполнения измерений (МВИ) «чем точнее, тем лучше» ошибочен и должен быть заменен на прямо противоположный: «чем грубее, тем лучше», поскольку дешевле. Ограничением при этом является решение поставленной измерительной задачи.

4. СИ и МВИ должны соответствовать решаемой измерительной задаче по точности и экономической целесообразности.

5. Преимущество следует отдавать стандартизованным СИ и МВИ перед нестандартизованными, готовым СИ и МВИ (хотя и заимствованным из других отраслей) перед вновь разрабатываемыми.

6. Используемые СИ и МВИ должны иметь средства метрологического обеспечения. Для нестандартизованных СИ (НСИ) эти средства должны быть в документации оговорены особо. Регламентированные в документации НСИ должны иметь технические характеристики, достаточные для их приобретения или изготовления, а также сопровождаться информацией о прохождении ими метрологической аттестации. Последнее относится и к МВИ.

7. Требования к средствам измерений, предъявляемые в документации, должны быть достаточно полными, но не избыточными. Так, нецелесообразно в типовой документации (но не рабочих инструкциях на конкретные действия) нормировать конкретный тип прибора, достаточно указать его метрологические характеристики. Это создает свободу выбора СИ пользователем и исключает необходимость вводить изменения в документацию, если этот прибор заменяется или дополняется другим.

Это же относится и к нормированию вспомогательного оборудования и реактивов.

В то же время недостаточно указывать только, например, национальный стандарт на регламентируемое средство измерений, поскольку этот документ распространяется, обычно, на несколько типов приборов данного вида измерения, и такого рода регламентация оказывается недостаточной.

8. Технические требования, указываемые в документации, должны быть однозначными.

9. Нормированные значения параметров могут быть двухсторонними, вида «от... до...» (или сочетанием номинального значения с допустимыми отклонениями от него), если не допустимы ни слишком большие, ни слишком малые значения параметра, а также односторонними, «не более. . .» и «не менее. . .», если допустимы все значения, большие или меньшие указанного значения. Однако во всех этих случаях для нормированного параметра следует указывать предельно допустимое значение погрешности его измерения.

10. Не следует записывать процедуру измерения в таком традиционном виде: «измерить массу образца 5,00 г с погрешностью 0,01 мг». Это связано с тем, что исполнитель не знает, с какой погрешностью он получает результат измерения, если он не располагает соответствующей методикой выполнения измерений (в данном случае измерения массы образца). При необходимости это предписание должно быть следующее: «измерить массу образца 5 г на весах ... (в случае, если в списке используемых средств измерений указано несколько типов весов) с записью измеренного значения в миллиграммах до второго десятичного знака». Нет смысла требовать дозировать строго фиксированное значение образца, пробы и т.д., если далее это значение используется как аргумент в расчетной формуле и если этого не требует процедура приготовления, например, градуировочной смеси.

11. Физическая сущность измеряемой величины и ее единицы должна быть достаточно ясной. В необходимых случаях должно быть дано их определение.

Вопрос, что требуется измерить и в каких единицах, непустой нередко

даже в традиционно сложившихся измерениях. Например, если создается или выбирается влагомер, необходимо четко уяснить, какая по форме связи влага интересует в данном случае исследователя, какую величину требуется измерить: массовую или объемную долю влаги, так как при решении разных измерительных задач ответы на них будут разные.

12. Нормы точности должны выражаться, как правило, интервальными оценками в абсолютной или относительной форме с указанием доверительной вероятности. При этом запись вида «погрешность равна...» недостаточно информативна, поскольку термин «погрешность» носит только обобщенный, неконкретный характер.

Указанная неоднозначность содержания термина «погрешность» отражается и на ее количественной неопределенности, что необходимо учитывать при сопоставлении СИ и МВИ. Например, если в карте технического уровня приведены значения относительной погрешности разрабатываемого прибора 2 % и аналога 1 %, это еще не означает, что первый ниже по точности, чем второй. Для подобного вывода необходима дополнительная информация о способе расчета и форме выражения погрешности. Возможно, что в первом случае погрешность есть значение доверительного интервала относительной случайной (или суммарной) погрешности при $P = 0,997$, а второе значение — относительная оценка среднего квадратического отклонения (т. е. $P = 0,67$). В таком случае создаваемый прибор по точности лучше аналога.

Следует учитывать, что ГОСТ Р ИСО 5725₁₋₆ 2002 [13] ввел новые наименования погрешностей.

13. Погрешность измерения любого параметра следует назначать «сверху» (с завышением). При этом относительная погрешность погрешности может быть (20 – 25) %.

Назначение погрешности с завышением создает определенный «запас прочности» и значительно упрощает процедуру нахождения предельной погрешности и метрологической аттестации СИ и МВИ.

Обычно значение погрешности достаточно знать в пределах одной значащей цифры. Например, полученное при вычислении значение погрешности 3,2 % следует округлить до 3 %. При округлении до одной значащей цифры относительная погрешность значения погрешности находится в пределах ± 20 %. Исключение, когда первая значащая цифра единица. В этом случае значение погрешности должно быть указано двумя значащими цифрами, причем второй цифрой может быть ноль или 5. Например, если получено значение погрешности 1,27 %, то его округляют до 1,5 %, а 1,15 % - до 1,0 %. При этом относительная погрешность округления остается в тех же пределах.

14. Числовое значение нормируемой величины должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности.

15. Значение доверительной вероятности следует принимать, как правило, равным 0,95 (95 %) практически для всех случаев измерений в промышленности и очень часто при научных исследованиях. При назначении

инного значения доверительной вероятности необходимо давать обоснование.

16. Должно отдаваться предпочтение стандартизованным терминам, а при их отсутствии — общепринятым в научно-технической литературе. Специфические термины должны сопровождаться необходимым определением или толкованием при первом упоминании в тексте или в специальном приложении.

17. В тех случаях, когда на результат измерения могут влиять методические факторы и когда в документации на средство измерения нормированы, кроме основной погрешности, еще и дополнительные, в состав документации должна входить (самостоятельно или в виде раздела) МБ И данного параметра.

18. В документации разрешается применять только международную систему единиц, кратные и дольные единицы и внесистемные единицы, допущенные к применению наравне с этой системой по ГОСТ 8.417-2002. Единицы, изъятые из обращения и единицы, разрешенные к применению временно, можно использовать только в обоснованных случаях (например, когда градуировка шкалы средства измерений выполнена в этих единицах или когда они нанесены на испытательное или технологическое оборудование). Значения величин в этих единицах указывают в скобках после значения в единицах, разрешенных к применению. Это правило не относится к инструкции по эксплуатации оборудования (прибора) или технологическим инструкциям, так как в них используют только те единицы, в которых отградуирована шкала используемого прибора.

19. В документации, поставляемой за границу, следует использовать только международные обозначения единиц. В остальных видах документации можно применять русские и международные обозначения, но единые в пределах каждого документа.

20. В документации отчетного характера, например, бухгалтерских документах, следует пользоваться символами единиц измерения, установленными Общероссийским классификатором единиц измерений, приведенном в Приложении П.2, имея в виду, что в нем не соблюдены в полной мере правила Международной системы единиц.

21. При записи формул, содержащих числовые коэффициенты, не следует в стандарты вводить несколько числовых значений, их необходимо объединить в одно. При необходимости в сноске может быть дана расшифровка обобщенного значения, например, вместо $M_c = \frac{0,0171 \cdot 20}{V}$ следует писать

$M_c = \frac{0,342}{V}$, где $0,342 = 0,0171 \cdot 20$ и т.д.

22. При необходимости ссылки на нормативные и технические документы уровень согласования НД должен быть не ниже уровня согласования документа, который подвергается экспертизе. Ссылка должна быть однозначна: если в НД, на который делается ссылка, излагается несколько вариантов методик, то необходимо указать конкретный вариант.

23. Если в НД приведено несколько альтернативных МВИ для одного

параметра, между ними должна быть установлена корреляционная связь.

2.2. Терминология

В метрологии и измерительной технике прежде всего должна использоваться стандартизованная терминология. Выписка из соответствующих стандартов приведена в разд. 4. Здесь рассмотрим наиболее часто применяемые термины с их комментариями.

2.2.1. Физические величины и единицы

Под *физической величиной* понимают какое-либо измеримое свойство физического, химического или биологического объекта. Более подробно — это особенность физического объекта или физического явления, характеризующая его свойство, состояние или происходящий в нем процесс и имеющая качественное содержание, называемое *физической природой*, и количественную меру — *размер*.

Вместо термина физическая величина можно употреблять термины *параметр*, *характеристика*, *показатель качества*, — все эти представляют собой частные выражения общего понятия — физическая величина.

В общем смысле физическая величина характеризует одинаковое свойство различных физических объектов. Например, длина, температура могут быть свойствами разных объектов: картона, масла, процесса производства бумаги, самого человека и т.д.

Каждая физическая величина, характеризующая определенный объект, отличается еще и *размером*, показывающим, какое количество свойства, определяемого данной физической величиной, содержится в данном объекте.

Значением физической величины называют ее оценку в виде некоторого числа единиц. Например, масса пачки бумаги равна 500 г.

Физическая величина одного и того же размера может иметь различное значение в зависимости от выбранных единиц. При этом со сменой единицы будет меняться числовое значение физической величины.

Различают три вида значений физической величины: истинное, действительное и измеренное.

Под *истинным* понимают такое значение физической величины, которое идеальным образом могло бы выразить в качественном и количественном отношении свойство объекта. *Действительное* значение физической величины — это значение, найденное экспериментальным путем, и настолько приближается к истинному, что для данной цели может быть использовано вместо него. Иначе, действительное значение измеряемой величины является практически наиболее точным. Поэтому любое *измеренное значение физической величины* можно экспериментально сравнить с ее действительным значением. На этом принципе основана оценка точности различных средств измерений и их поверка, при которой действительное значение физической величины определяется показаниями эталонного средства измерений.

Между величинами определенных групп существует связь, выражаемая при помощи уравнений физики. На базе этих и других законов создана *система единиц физических величин*, связанных между собой зависимо-

стями. В такой системе физические величины разделяют на основные и производные.

Основными называют физические величины, условно принятые независимыми в данной системе, а *производными* - те, которые образуют посредством основных при помощи уравнений физики. Эти уравнения называют *уравнениями связи*. Так как физическая величина в общем случае отличается от ее единицы только количественно, то все сказанное относится и к единицам физических величин. Число основных единиц в такой системе определяется соображениями рациональности, конкретные основные единицы выбираются произвольно - по соглашению: в зависимости от того, какое из уравнений, связывающих те или иные физические величины, считать определяющим.

Важным принципом, положенным в основу построения производных единиц, является их *когерентность* (согласованность).

Когерентность состоит в том, что для образования единицы производной физической величины при помощи уравнения связи, подставляемые в это уравнение значения исходных физических величин должны быть такими, чтобы в результате его решения значение образуемой производной величины оказалось равным единице.

Пример 1. Механическая работа A и мощность P определяются согласно уравнениям: $A = F \cdot S$; $P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot S}{t}$, где F - сила, S - путь и t - время.

Из уравнений следует, что единица работы *Джоуль* - это работа, совершаемая силой 1 Ньютон при перемещении тела на расстояние 1 метр в направлении действия силы.

Соответственно единица мощности *Ватт* определяется как мощность, при которой работа в 1 Джоуль совершается за время 1 секунда или иначе *Ватт* - это мощность, при которой сила в 1 Ньютон перемещает тело на расстояние 1 метр в направлении действия силы за время 1 секунда.

Пример 2. Кинетическая энергия W движущегося со скоростью v тела массой m определяется уравнением с числовым коэффициентом $1/2$: $W = 0,5mv^2$.

Определение единицы энергии *Джоуля* в этом случае будет таким: *Джоуль* - энергия тела массой 2 килограмма, движущегося со скоростью 1 метр в секунду или иначе *Джоуль* - это энергия тела массой 1 килограмм, движущегося со скоростью $\sqrt{2}$ метра в секунду.

Количество теплоты, получаемое телом при его нагревании, равно произведению его массы на удельную теплоемкость и приращение температуры. Удельная теплоемкость представляет собой размерный коэффициент в уравнения связи. Определение единицы количества теплоты *Джоуль* будет следующим: *Джоуль* - это количество теплоты, необходимое для нагревания 1 килограмма чистой воды на 1 Кельвин в диапазоне значения температуры от 292,66 до 293,66 К. Здесь уточнение места (t_1-t_2) на температурной шкале связано с тем, что теплоемкость зависит от температуры. По определению

теплоемкость воды при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$: $C_0 = \frac{4,1868}{1 \cdot 10^{-3}} = 4,1868 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$.

В СССР Международная система единиц была введена государственным стандартом [14] и стандартом СЭВ [15] и двумя методическими документами [16] и [17].

В 2003 г. вышла новая редакция ГОСТ 8.417-2002 [1], мало отличающаяся от предыдущей. Здесь подробно излагается порядок образования производных единиц СИ из основных и дополнительных по правилам образования когерентных производных единиц. Кроме того, допускается образование производных единиц из других производных единиц, имеющих собственные наименования: например, единица частоты вращения - Герц; единица силы - Ньютон; единица давления - Паскаль; единица работы - Джоуль; единица мощности - Ватт; единица электрического напряжения - Вольт; единица электрического сопротивления - Ом и ряд других. В стандарте приведен перечень приставок, при помощи которых образуют десятичные кратные и дольные единицы СИ, даны перечни внесистемных единиц, разрешенных к применению наряду с единицами СИ, а также единиц временно допускаемых к применению, но подлежащих постепенному изъятию из обихода по мере поступления средств измерений, отградуированных в единицах СИ: в частности, единица силы - килограмм-сила, единицы давления - килограмм-сила на квадратный сантиметр, миллиметр ртутного столба и ряд других.

В стандарте изложены правила написания обозначений единиц; даны рекомендации по выбору тех или иных кратных и дольных единиц.

Единство наименований кратных и дольных единиц нарушено для ряда широко распространенных единиц. Допущены в ГОСТ 8.417 - 2002 к применению: единица массы - тонна, равная 1000 кг, вместо системной единицы мегаграмм; единица вместимости - литр - $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3$; единица температуры - градус Цельсия $1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$; единица площади - гектар - $1 \text{ га} = 10^4 \text{ м}^2$ и некоторые другие.

2.2.2. Физические величины, выражающие состав объектов измерений

Для технологических отраслей промышленности характерно использование физических величин и единиц, отражающих физико-химические свойства, а также состав объектов измерения.

В 1961 г. была принята единая шкала относительных атомных масс, в основу которой положена $1/12$ часть массы атома изотопа углерода ^{12}C , названная *атомной единицей массы* (а.е.м.). Значение а.е.м. $1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$. В связи с этим вместо понятий «атомный вес» и «молекулярный вес» введены физические величины: *относительная атомная масса элемента* (сокращенно - атомная масса) и *относительная молекулярная масса вещества* (сокращенно - молекулярная масса). Этим физическим величинам даны следующие словесные определения:

Относительной атомной массой элемента называют отношение массы его атома к $1/12$ части массы атома углерода ^{12}C .

Относительной молекулярной массой вещества называют отношение массы его молекулы к 1/12 части массы атома углерода ^{12}C .

Количество вещества $N(X)$ является основной величиной, характеризующей размер порции вещества числом содержащихся в ней частиц типа X . Последние могут быть атомами, молекулами, ионами, эквивалентами и т.п.

Единицей количества вещества принят моль. Число структурных единиц, содержащихся в одном моле, для всех веществ одинаково и равно постоянной Авогадро - $6,022045 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$, например, 1 моль - это $6,022045 \cdot 10^{23}$ атомов натрия или такое же число молекул этилового спирта.

Число молей элементов в одном моле соединения определяется по химической формуле соединения.

Пример: 1 моль CaCl_2 содержит 1 моль Ca^{2+} ионов (т.е. $6,022 \cdot 10^{23}$ отдельных ионов) и 2 моль хлорид-ионов (т.е. $12,0441 \cdot 10^{23}$ отдельных ионов).

Примеры указания количества вещества: $N_{\text{Ca}^{2+}} = 2$ моль, $N_{\text{CH}_4} = 1,5$ моль.

Известно, что элементы соединяются друг с другом в строго определенных количественных соотношениях, зависящих от их валентности. Поэтому в химии имеется понятие эквивалент. Эквивалентом $\mathcal{E}_x$ какого-либо элемента называют такое его количество, которое соединяется с 1 молем атомов водорода или замещает то же количество атомов водорода в химических реакциях. Например, в соединениях HCl эквивалент хлора - 1 моль, в H_2S - эквивалент серы 1/2 моль, в CH_4 - эквивалент углерода 1/4 моля.

В связи с новым определением понятия эквивалент введена и новая физическая величина: количество вещества эквивалента $n(\mathcal{E}_x)$, которое равно произведению: $n(\mathcal{E}_x) = Z_x(X)$, где $Z_x = 1/\mathcal{E}_x$ называют «числом эквивалентности».

Количество вещества эквивалента показывает число молей водорода, вступающих в реакцию с одним молем реагирующего с ним элемента.

Для выражения отношения массы порции вещества к количеству вещества (x) в этой порции принята физическая величина - молярная масса $M(x) = m/n(X)$. Она заменила ранее применявшиеся понятия грамм-молекула, грамм-атом, грамм-ион.

Единицей СИ для молярной массы является грамм на моль (г/моль).

Примеры указания молярной массы: $M(\text{Ca}) = 40,08$ г/моль; $M(\text{H}) = 1,008$ г/моль; $M(\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 210,14$ г/моль; $M(\text{NaOH}) = 40$ г/моль.

Молярная масса вещества численно равна его относительной молекулярной массе, а для химических элементов - относительной атомной массе, или по-старому - молекулярному весу и атомному весу соответственно.

Исходя из понятия эквивалентности, получена физическая величина - молярная масса эквивалента $M(1/Z_x X)$, которая равна произведению молярной массы $M(X)$ какого-то вещества на эквивалент $\mathcal{E}_x$: $M(\mathcal{E}) = \frac{1}{Z_x} \cdot M(X)$.

Числовое значение молярной массы эквивалента равно значению ранее применявшейся величины грамм-эквивалент.

Пример: $M(0,5 \cdot \text{Ca}^{2+}) = 20$ г/моль вместо прежнего 1 грамма-эквивалента

Ca^{2+} , равного 20 г.

Определения соответствующих физических величин можно конкретизировать. Например, *массовой концентрацией компонента* C следует называть отношение массы (m_x) компонента x , содержащегося в веществе, к общему объему (V) вещества: $C_m = m(x)/V$

Молярной концентрацией (концентрацией) количества вещества C_n называют отношение количества вещества $n(x)$, содержащегося в системе (смеси, растворе), к объему системы: $C_n = n(x)/V$.

Единицей молярной концентрации в СИ является моль на кубический метр (моль/ м^3). Обычно применяются кратные единицы: моль на кубический дециметр (моль/ дм^3) или моль на литр (моль/л). Пример указания молярной концентрации: $C(\text{HCl}) = 0,1$ моль/л.

Понятие молярной концентрации можно перенести и на эквивалент $C(\text{Э})$. *Молярная концентрация эквивалента* есть отношение количества вещества эквивалента к объему V раствора: $C(\text{Э}) = \frac{n(\text{Э})}{V} = \frac{m}{M(\text{Э}) \cdot V}$. Единица - моль на кубический метр (моль/ м^3). Однако большей частью применяют кратную единицу - моль на кубический дециметр (моль/ дм^3) или моль на литр (моль/л).

В связи с введением физической величины *молярная концентрация эквивалента* не рекомендуется применять понятие "нормальность раствора" и обозначение «N».

Например, вместо выражения «0,1 N нормальный раствор молочной кислоты» или «0,1 N раствор молочной кислоты» следует писать: «раствор молочной кислоты молярной концентрацией $C(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_2) = 0,1$ моль/л (0,1 N)».

Отношение объема V порции вещества к количеству вещества $n(x)$ в этой порции выражается физической величиной - *молярным объемом*.

Единицей молярного объема в СИ является кубический метр на моль ($\text{м}^3/\text{моль}$).

В технологических отраслях для характеристики состава материалов и веществ широко применяют относительные величины.

Относительной величиной называют безразмерное отношение физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную. Такую величину можно выразить:

а) безразмерным числом, которое представляется в виде многозначного целого или дробного числа, либо одно-, двух- или трехзначного числа, умноженного на 10 в i -й степени, где i - положительное или отрицательное целое число (например, $A = 25$, $B = 15 \cdot 10^{-3}$);

б) процентом - % (сотей долей единицы);

в) промилле - ‰ (одна промилле равен $1 \cdot 10^{-3}$);

г) пропромилле — ppm или миллионной долей единицы — млн^{-1} .

К относительным величинам относятся массовая, молярная и объемная доли, массовое, молярное и объемное отношения.

Массовой долей j -го компонента в веществе (продукте, материале) на-

зывают отношение массы j -го компонента, содержащегося в веществе, к общей массе вещества.

Молярной долей j -го компонента в веществе называют отношение количества вещества j -го компонента, содержащегося в веществе, к общему количеству вещества объекта исследования. Например, молярная доля кислорода в воздухе - 0.196.

Таблица 1

Соотношения физических величин состава

Наименование характеристики	Уравнение связи с массовой долей
Массовая доля компонента В	1
Массовое отношение компонента В	$m_B = m_{XB} (1 - m_{XB})^{-1}$
Парное массовое отношение компонентов В и У	$m_{BY} = m_{YB} m_{XY}^{-1}$
Объемная доля компонента В	$V_{XB} = m_{XB} \rho_B \rho^{-1}$
Объемное отношение компонента В	$V_{XB} = m_{XY} / \rho_B (\rho^{-1} - m_{XB} / \rho_B)^{-1}$
Парное объемное отношение компонентов В и У	$V_{XU} = (m_{YB} / \rho_B) (m_{XY} / \rho_Y)^{-1}$
Концентрационная плотность компонента В	$C_P = N_A m_{XB} \rho_B M_B^{-1}$
Массовая концентрация компонента В	$C_X(B) = m_{XB} \rho_B$
Молярная концентрация компонента В	$C(B) = m_{YB} \rho_B M_B^{-1}$
Молярно-массовая концентрация компонента В	$C_M(B) = m_{XB} M_B^{-1}$
Моляльность компонента В	$C_m(B) = m_{XB} (1 - m_{XB})^{-1} M_B^{-1}$
Молярная доля компонента В	$N_{XB}(B) = (m_{XB} M_B^{-1}) (\sum m_{XI} M_i^{-1})^{-1}$
Молярное отношение компонента В	$N_B(B) = (m_{XB} M_B^{-1}) (\sum m_{XI} M_i^{-1})^{-1}$
Парное молярное отношение компонентов В и У	$N_{BY} = (m_{YB} M_B^{-1}) (\sum m_{XY} M_Y^{-1})^{-1}$
где ρ_B, ρ_Y, ρ – плотности чистых компонентов В и У и системы в целом; M_i, M_B, M_Y – молярные массы компонентов i , в том числе: В и У	

Объемной долей j -го компонента в веществе называют отношение объема j -го компонента, содержащегося в веществе, к общему объему вещества.

Объемным отношением j -го компонента в веществе называют отношение объема j -го компонента, содержащегося в веществе, к объему другого вещества (других веществ), входящих в единый комплекс.

Массовое отношение - это отношение массы одного вещества к массе другого вещества (других веществ), входящих в единый комплекс.

В табл. 1 приведены соотношения между характеристиками состава через массовую долю.

Соотношение между характеристиками влажности газов с учетом ре-

ального их поведения:

$$Sn = Z_3 \frac{P_a}{P} = Z_3 \frac{P_a}{P} = Z_3 S \frac{P_a}{P} = Z_3 \frac{P_a - \Delta P_a}{P} = Z_4 A_2 a \frac{T}{P} = Z_1 A_1 C m = Z_1 D_1 C n =$$

$$\frac{Sn}{1 + Sn} = \frac{Sm}{B_1 (1 - B_0 Sm)} = \frac{Sm}{B_1 + Sm} = Z_2 Sv = \frac{Sv}{Z_1 (1 + Sv)}$$

Вывод этих соотношений, принятые условные обозначения и значения коэффициентов приведены в Приложении 4.

Для измерения относительных величин нельзя применять единицы в виде отношений одноименных величин - г/кг, см³/м³, л/м³ и т.п. Обозначения единиц одноименных физических величин, встречающихся в числителе и знаменателе, подлежат сокращению, даже если их наименования различны.

Нередко при указаниях расхода неправильно применяют выражения, содержащие относительные величины. Например, расход воздуха на сбраживание 3 м³/(м³ч), или расход сырья 5 кг/кг. В этих случаях нужно применять следующие выражения: расход воздуха на сбраживание 1 м³ раствора 3 м³/ч; расход сырья на 1 кг готового продукта равен 5 кг.

2.2.3. Характеристики, применяемые в гигрометрии

Кроме относительных (безразмерных) характеристик состава влажного газа (характеристик *влажностенания*), в гигрометрии применяются следующие характеристики *влажностенания*.

Относительная влажность – отношение значений парциального давления водяного пара в рабочем состоянии и при его изотермическом переводе в состояние насыщения.

Дефицит насыщения – разность значений парциального давления водяного пара в рабочем состоянии и при его изотермическом переводе в состояние насыщения.

Температура точки росы (льда) – температура, при которой водяной пар, охлаждаемый изобарически, переходит в состояние насыщения.

Абсолютная влажность – отношение массы газообразной воды к занимаемому ею объему при фиксированных значениях давления и температуры.

2.3. Правила написания размера физической величины

Измеренное значение всегда выражается приближенным числом. Это объясняется ограниченной точностью используемых методов и средств измерений. Поэтому отсчитывать показания следует с таким числом значащих цифр, которое гарантируется точностью средства измерения. Например, на производственном аппарате стоит стеклянный жидкостный термометр на диапазон (0-120) °С, предел допускаемой погрешности которого равен ±1 °С. Естественно, что отсчитывать следует только целые градусы 25 или 26, ибо, если столбик жидкости термометра показывает 25,5 °С, действительная температура может быть от 24,5 до 26,5 °С. Следовательно, можно записать 25 или 26 °С. В общем случае число значащих цифр в записи показания средства измерений должно соответствовать точности измерений. Если предпо-

лагается дальнейшая математическая обработка данных, число цифр должно на одну превышать гарантированную точность измерения, так как после математических операций обычно производят округление и не следует допускать потерю точности за счет округления.

Пример. Пусть абсолютная погрешность взвешивания не более 10 мг. Тогда, взвесив около 5 г продукта, следует записать 5,246 г (если далее будет математическая обработка) или 5,25 г (если математической обработки не будет).

Погрешность измерения следует выражать одной значащей цифрой. Две значащие цифры следует оставлять в двух случаях:

- а) при измерениях с повышенной точностью;
- б) если погрешность выражена числом с цифрой старшего разряда, равной или меньше трех.

Значения погрешности при промежуточных вычислениях должны быть выражены не более чем тремя значащими цифрами.

Округлять результат измерения следует так, чтобы он оканчивался цифрой того же разряда, что и погрешность. Если десятичная дробь в числовом значении результата измерения оканчивается нулями, то нули отбрасывают только для того разряда, который соответствует разряду погрешности. Например, число 253,757 при погрешности $\pm 0,5$ следует округлить до 253,8.

Если первая цифра в отбрасываемой части числа (или в заменяемой нулями) меньше 5, остающиеся цифры не изменяют. Лишние цифры в целых числах заменяют нулями, а в десятичных дробях отбрасывают.

Пример. При абсолютной погрешности измерения 0,2 % следует сохранить три значащих цифры в значении результата измерений. Тогда вместо 25723 записывается 25700.

Если первая из отбрасываемых или заменяемых нулями цифр больше 5 или равна 5, но за ней следует отличная от нуля цифра, последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу. Если необходимо сохранить четыре значащих цифры, так как погрешность измерения массы равна 0,001 г, результат 5,1256 г записывается 5,126 г. Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр равна 5, а за ней идут нули, округление производят до меньшего числа, если не следует цифр, - до ближайшего большего числа.

Пример. Число 278,50 округляют до 278, а число 353,5 - до 354.

Если числами выражают значения физических величин, при округлении части цифр нулями желательно записывать результат в виде произведения числа, состоящего из значащих цифр, на 10^n , где n - число нулей, или перейти к кратным единицам этой физической величины.

Пример. Вместо 15322732 Па следует записать $15 \cdot 10^6$ Па, или 15 МПа.

2.4. Правила написания и обозначения величин

Физическая величина - понятие первичное по отношению к единице. Она не зависит от единицы. Различные величины могут иметь одну единицу, но физический смысл, содержания их будут различными. Не следует приме-

нять такие наименования физических величин, в которые входят единицы физических величин, например, вместо «масса 1 м^3 газа 5 кг » должно быть «плотность газа 5 кг/м^3 ». Не следует применять сочетания наименований двух величин, т.е. таких выражений, которые означали бы «величину величины». Например: вместо «объем массы газа 5 м^3 » должно быть «объем газа данной массы 5 м^3 », вместо «объем количества вещества 3 м^3 » должно быть «молярный объем вещества $3 \text{ м}^3/\text{моль}$ ».

Для каждой физической величины, как правило, применяется одно наименование и только в виде исключения можно использовать второе, параллельное наименование. Например, «импульс» и его синоним «количество движения». Допускается использовать, кроме основного наименования физической величины, его краткую (так называемую усеченную) форму при непременном условии, что это не вызовет каких-либо недоразумений. Например, «сила электрического тока» и «сила тока», «линейная скорость» и «скорость».

Не следует подменять название величины ее размером, например, вместо «диапазон температур от 10 до 20°C » должно быть «диапазон значений температуры от 10 до 20°C », поскольку температура, как физическая величина, одна, а интервал относится к ее размерам.

Нельзя применять одно и то же наименование для нескольких физических величин, имеющих неодинаковые размерности и выраженных в разных когерентных единицах одной и той же системы. Так, вместо термина «нагрузка», под которой понимают и сосредоточенную силу, и отношение силы к длине, и отношение к площади, и отношение массы к площади поверхности, следует употреблять: сосредоточенная сила (кратко сила), линейная сила, давление, поверхностная плотность бумаги.

Для величин, представляющих собой отношение какой-либо физической величины к массе тела, следует дополнительно применять прилагательное «удельный», при отношении к объему – «пространственный» или «объемный», при отношении к количеству вещества – «молярный» (а не «мольный»), при отношении к длине – «линейный», при отношении к площади – «поверхностный».

Наименования физических величин и их буквенные обозначения (символы) должны соответствовать государственным стандартам на термины и определения, терминологическим приложениям к ним, терминологическим стандартам, международным терминологическим рекомендациям. При отсутствии таких документов наименования физических величин и их обозначения должны соответствовать терминам, рекомендованным в «Сборниках научно-технической терминологии АН СССР» и другой научно-технической документации. Наименования, размерности и обозначения величин должны соответствовать документу Международного союза чистой и прикладной физики [18]. Этот материал рассмотрен в разд. 7.

Образование производных величин далеко не завершено. Поэтому важными являются следующие положения.

Определения физических величин должны находиться в строгом соответствии с уравнениями связи между величинами. Например, уравнение связи между молярным объемом тела и количеством вещества имеет вид: $V_m = V/n$, где V_m - молярный объем, V - объем тела, n - количество вещества.

Определения физических величин должны формулироваться по такой примерной схеме: плотность однородного вещества есть физическая величина, равная отношению его массы к объему: $\rho = m/V$.

Неприемлемы определения, которые содержат единицы или обозначения физических величин. Например, «плотность однородного тела определяется массой единицы объема» или «плотность однородного тела численно равна массе 1 м³ этого тела».

В определения не должны входить буквенные обозначения физических величин. Во-первых, это усложняет сами определения. Во-вторых, буквенные обозначения одних и тех же величин могут быть различными и разных величин - одинаковыми. В определениях единиц перед единицей той или иной величины обязательно пишут наименование этой величины. Правильно, например, такое определение единицы мощности: «Ватт равен мощности, при которой работа 1 Дж производится за время 1 с».

Не включаются в наименования и обозначения единиц, указания на измеряемую величину или ее особенности например, нельзя писать ТУТ (тонна условного топлива) или ПМ (погонный метр), НМ³ (нормальный кубометр), % объем (объемный процент). Во всех этих примерах единицами являются тонна, метр, кубометр и процент. Необходимые пояснения, дополнения должны быть введены либо в названия величины, либо в определение единицы. Например, погонная длина рельса 10 м, приведенный объем газа 3 м³, масса условного топлива равна 5 т, объемная доля кислорода воздуха 30 %.

Вместо 12 мкг/100 мл следует писать 120 мкг/л. В обозначение единицы не включаются символы, отражающие ее сущность. Например, вместо «перекисное число 1,2 % J» следует писать «перекисное число 1,2 %», имея в виду, что символ йода должен быть введен в определение перекисного числа или размера его единицы.

Определение размера единицы должно основываться на физической сущности метода его воспроизводимости. Нечелесообразно вводить обозначения величин в определения физических величин. Например, неправильно говорить «теплоемкостью C называется физическая величина, численно равная количеству теплоты Q , которое...».

Не следует применять термин *процент* как физическую величину при оценке доли чего-то. Процент – это безразмерная единица, поэтому писать, например, «процент выхода продукта», «процент брака в партии» нельзя, т.к. при этом фактически название единицы используют вместо названия величины или параметра. Здесь уместны термины *доля*, *степень участия*... и др.

2.5. Правила написания и обозначения единиц измерений

Для ряда производных величин в SI установлены собственные имена по фамилиям всемирно известных ученых: Ньютон, Джоуль, Ампер и т.д.

Эти названия следует писать с заглавной буквы.

При образовании производных единиц могут применяться специальные наименования единиц. Присоединение к наименованию единицы двух или более приставок подряд не допускается. Например, вместо наименования единицы миллимиллиметр следует писать микрометр.

В связи с тем, что наименование основной единицы - килограмм - содержит приставку «кило», для образования кратных и дольных единиц массы используется дольная единица грамм (0,001 кг), и приставки присоединяются к слову, например, миллиграмм (мг) вместо микрокилограмм (мккг).

Дольную единицу массы «грамм» допускается применять и без присоединения приставки. Приставка или ее обозначение пишется с наименованием единицы, к которой она присоединяется, или с ее обозначением. Если единица образована как произведение или отношение единиц, приставка присоединяется к наименованию первой единицы, входящей в произведение или в отношение.

Единицы вязкости:

Правильно	Неправильно
килопаскаль – секунда на метр (кПа·с/м)	паскаль – килосекунда на метр (Па·кс/м)

Допускается применять приставку во втором множителе произведения или в знаменателе лишь в обоснованных случаях, например: тонна-километр (т·км), Ватт на квадратный сантиметр (Вт/см²), Вольт на сантиметр (В/см), Ампер на квадратный миллиметр (А/мм²).

Наименование кратных и дольных единиц от единицы, возведенной в степень, образуется присоединением приставки к наименованию исходной единицы, например, для образования наименования кратной или дольной от единицы площади - квадратного метра, представляющей собой вторую степень единицы длины – метра, приставку присоединяют к наименованию этой последней единицы: квадратный километр, квадратный сантиметр и т. д.

Обозначения кратных и дольных единиц от единицы, возведенной в степень, образуются добавлением соответствующего показателя степени, причем он означает возведение в степень кратной или дольной единицы (вместе с приставкой).

Примеры:

$$1. 5 \text{ км}^2 = 5(10^3 \text{ м})^2 = 5 \cdot 10^6 \text{ м}^2.$$

$$2. 2,5 \text{ см}^3/\text{с} = 2,5(10^{-2} \text{ м})^3/(1 \text{ с}) = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$3. 0,002 \text{ см}^{-1} = 0,002(10^{-2} \text{ м})^{-1} = 0,002 \cdot 100 \text{ м}^{-1} = 0,2 \text{ м}^{-1}.$$

При указании значений величин с предельными отклонениями следует заключать числовые значения в скобки и обозначение единицы помещать после скобок или проставлять обозначения единиц после числового значения величины и после его предельного отклонения.

Правильно	Неправильно
$(100 \pm 0,1) \text{ кг}$	$100 \pm 0,1 \text{ кг}$
$50 \text{ г} \pm 1 \text{ г}$	$50 \pm 1 \text{ г}$

Буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, отделяются точками на средней линии как знаками умножения.

Правильно	Неправильно
$\text{Н} \cdot \text{м}$	НМ
$\text{А} \cdot \text{м}^2$	Ам^2
$\text{Па} \cdot \text{с}$	Пас

При косой черте обозначения единиц в числителе и знаменателе помещают в строку, произведение обозначений единиц в знаменателе - заключают в скобки.

Правильно	Неправильно
м/с	м/с
$\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	$\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$

В буквенных обозначениях отношений единиц в качестве знака деления применяется косая или горизонтальная черта, допускается употребление произведений обозначений единиц, возведенных в степени (положительные и отрицательные).

Правильно	Неправильно
$\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$	$\text{Вт}/\text{м}^2/\text{К}$
или $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	или $\frac{\text{Вт}}{\frac{\text{м}^2}{\text{К}}}$
или $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$	

3. Рекомендуемые условные обозначения

Единых предписаний однозначных обозначений нет. Ниже рассмотрены наиболее авторитетные материалы в этом направлении.

3.1. Обозначения погрешностей

Для обозначения какой-либо погрешности используют букву греческого алфавита «дельта» - Δ (прописная), δ (строчная). Прописной буквой Δ обозначают абсолютную погрешность измерения и строчной буквой δ - относительную погрешность измерения.

Неисключенную систематическую погрешность измерения рекомендуется обозначать буквой греческого алфавита "тэта" - θ .

Среднее квадратическое отклонение и размах - характеристики случайной погрешности - рекомендуется обозначать буквами латинского алфавита σ и R , соответственно.

Поправку, которую вводят в неисправленный результат измерения с целью исключения одной или нескольких систематических погрешностей, обозначают символом ∇ (перевернутой буквой греческого алфавита "дельта").

та").

Метрологические характеристики СИ - нестабильность и вариацию - рекомендуется обозначать буквой греческого ν (ню) и латинского V алфавитов соответственно.

Обозначения погрешностей

Термин		Символы обозначений
Погрешность	абсолютная	Δ
	относительная	δ
Неисключенная систематическая погрешность		θ
Размах		R
Среднее квадратическое отклонение	математическое ожидание	σ
	оценка	s
Нестабильность		ν
Вариация		V
Поправка		∇

3. 2. Индексация символов

При необходимости конкретизации погрешности измерения (указания ее составляющей, формы представления или внесения других уточняющих данных) рекомендуется символ погрешности сопровождать индексом (индексами).

Если текст НТД не вызывает затруднений при прочтении обозначений погрешностей измерений, индексация необязательна.

В качестве индексов используют первую букву, несколько букв того слова, которое определяет или источник погрешности, или форму представления ее, или другие особенности погрешности.

Для индексации рекомендуется применять буквы русского, латинского и греческого алфавитов. (Например, Δ_{Σ} - суммарная погрешность результата измерения). Индексы пишутся как прописными, так и строчными буквами.

При необходимости указания физической величины, погрешность которой оценивается, в качестве индекса рекомендуется использовать символ этой физической величины. (Например, Δ_L - абсолютная погрешность измерений длины, δ_M - относительная погрешность измерения массы и т.д.).

Обозначения (символы) наиболее распространенных физических величин представлены в подразделе 3.5.

Примечание: Если в тексте измеряемые величины обозначают символами x , y и т. д., то и погрешность измерения этих величин обозначают соответственно Δ_x или δ_x , Δ_y или δ_y и т.д.

Дополнительную погрешность средств измерений, возникающую вследствие изменения показаний последних из-за воздействия влияющих величин, обозначают либо Δ_{don} - дополнительная абсолютная погрешность СИ, либо δ_{don} - дополнительная относительная погрешность СИ.

Дополнительную погрешность результата измерения, возникающую вследствие воздействия влияющих величин на измеряемую величину, обозначают либо $\Delta_{ВВ}$, либо $\delta_{ВВ}$.

Ниже дан перечень допускаемых сокращений слов, применяемых в метрологической практике для указания источника погрешности (составляющих погрешности измерений).

Для индексации символов при обозначении погрешности средств измерений рекомендуется использовать аббревиатуру, уточняющую вид средства измерений. (Например, $\Delta_{СИ}$ - абсолютная погрешность средства измерений, $\delta_{ИИС}$ - относительная погрешность измерительной информационной системы и т.д.).

В п.3.7. приведены аббревиатуры для обозначения некоторых средств измерений.

3.3. Структура индексации

При необходимости указания нескольких индексов у одного символа сначала указывается индекс, характеризующий источник погрешности (составляющую погрешности), а потом - индекс, характеризующий форму ее представления, (например, предел погрешности метода, заданной в абсолютной форме, должен быть выражен как $\Delta_{м,пр}$).

Если наличие нескольких индексов у одного символа приводит к затруднению их отдельного прочтения, их разделяют запятой. (Например, $\Delta_{о,пр}$ - предел допускаемой основной погрешности средства измерений в абсолютной форме, $\delta_{дин,макс}$ - максимальное значение динамической погрешности средства измерений в относительной форме).

Допустимо применять символы погрешностей, опуская некоторые индексы, если это не приводит к затруднению понимания текста. (Например, если речь идет о конкретном средстве измерений, то индекс в виде аббревиатуры, конкретизирующий средство измерений, можно опускать). Если в ИД речь идет об измерении конкретной физической величины и ее погрешности измерения, то индекс, конкретизирующий измеряемую величину, можно опустить. Наличие индексов "о" (основная), "доп" (дополнительная), "прв" (приведенная) снимает необходимость дополнительного указания индекса "СИ".

Для обозначения среднего квадратического отклонения рекомендуется использовать греческую букву «σ», если имеется в виду его математическое ожидание, т.е. когда объем выборки стремится к бесконечности, и латинскую заглавную букву «S», если речь идет об оценке СКО, т.е. при ограниченном объеме выборки.

Для пояснения того, характеристику какой погрешности представляет среднее квадратическое отклонение, рекомендуется сразу после символа "S" указывать в круглых скобках эту погрешность. (Например, $S(\Delta_{доп})$ - среднее квадратическое отклонение дополнительной погрешности средства измерений).

Среднее квадратическое отклонение единичного результата измерений рекомендуется обозначать только символом "S". При обозначении среднего квадратического отклонения результата многократных измерений (среднего арифметического) сразу после символа "S" в круглых скобках указывают символ результата измерений. (Например, $S(\bar{x})$ - среднее квадратическое отклонение среднего арифметического группы экспериментальных данных).

3.4. Обозначения видов погрешностей

Доверительная погрешность результата измерения длины стержня	$\Delta_L(P)$
Дополнительная погрешность средства измерений, вызванная изменением температуры окружающей среды, выраженная в относительной форме	$\Delta_{СИ, доп, t}$ или $\delta_{доп, t}$
Дополнительная погрешность результата измерения, возникающая из-за воздействия магнитной индукции на измеряемую величину	Δ_ϕ
Неисключенная систематическая погрешность метода при измерении массы	$\Theta_{м.М}$
Нестабильность систематической погрешности средства измерений за время τ	$v_\tau(\Delta_{СИ, сист})$ или $v_\tau(\Delta_{сист})$
Предел допускаемого значения среднего квадратического отклонения случайной погрешности средства измерений	$S_{пр}(\Delta_{СИ, сл})$
Приведенная погрешность средства измерений	$\delta_{СИ, прв}$ или $\delta_{прв}$
Среднее квадратическое отклонение единичного измерения	σ или S
Среднее квадратическое отклонение результата измерений (среднего арифметического)	$S(\bar{x})$ или $S(\bar{a})$
Среднее квадратическое отклонение неисключенной систематической погрешности	$S(\Theta)$

3.5. Обозначения (символы) наиболее распространенных физических величин

Наименование физической величины	Обозначение	Наименование физической величины	Обозначение
Длина	L	Масса	M
Время	τ	Температура	T, t
Сила электрического тока	I	Сила света	J
Угол (плоский)	ϕ	Частота	f
Сила, вес	F	Энергия	W
Количество электричества	Q	Длина волны	λ
Электрическое напряжение	U	Электрическое сопротивление	R
Электрическая емкость	C	Плотность	ρ
Поток магнитной индукции	Φ	Скорость	v
		Ускорение	a

Время, в течение которого фиксируется нестабильность, чаще всего указывается в тексте документа или в техническом тексте. При необходимости указания времени нестабильности в обозначении, оно указывается символом "τ" в качестве индекса к символу нестабильности v . (Например, v_τ ($\Delta_{\text{сист}}$) - нестабильность систематической погрешности за время τ).

Доверительную погрешность рекомендуется обозначать соответствующим символом погрешности с указанием вероятности в круглых скобках после символа этой погрешности. (Например, $\Delta(0.95)$ - абсолютная доверительная погрешность измерения при вероятности $P = 0.95$).

3.6. Допускаемые сокращения, используемые в качестве индекса для метрологической практики

Полное наименование	Сокращение	Полное наименование	Сокращение
аддитивная	адд	оператор	оп
аппаратура	ап	основная	о
аттестация	ат	отсчитывание	отс
влияющая величина	ВВ	параллакс	пар
воспроизведение	всп	передача	пер
градуировка	гр	поверка	пов
динамическая	дин	предел	пр
дополнительная	доп	приведенная	прв
запаздывание	зпд	систематическая	сист
инструментальная	и	случайная	сл
интерполяция	инт	средство измерений	СИ
максимальная	макс	стандартный образец	СО
мера	мер	статическая	ст
метод	м	теоретическая	т
минимальная	мин	частная	ч
мультипликативная	мл	оператор	оп

Примечание. Предлагаемые сокращения не всегда созпадают с правилами сокращений в русском языке, но при этом следует ориентироваться на краткость сокращений с целью удобства индексации.

3.7. Аббревиатура для обозначений некоторых средств измерений

Средство измерений	Аббревиатура
1	2
Вспомогательное средство измерений	ВСИ
1. Измерительная информационная система	ИИС
2. Измерительная система	ИС
3. Измерительная установка	ИУ
4. Измерительно-вычислительный комплекс	ИВК
5. Измерительный канал	ИК

1	2
6. Измерительный преобразователь	ИП
7. Измерительный прибор	Ипр
Рабочее средство измерений	РСИ
Средство измерений	СИ
Цифровой измерительный прибор	ЦПр

4. Стандартизованные термины

Основным НД, устанавливающим метрологическую терминологию, является РМГ 29. 99 [6], а также имеется ряд терминологических стандартов по отдельным видам измерений. Выдержки из них приведены ниже.

4.1. Метрология и ее разделы

Метрология: наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Различают теоретическую, законодательную и практическую (прикладную) метрологию.

Физическая величина (кратко величина) ФВ: одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Различают физические величины: измеряемая и неизмеряемая, основная, производная, размерная, безразмерная, влияющая, аддитивная, неаддитивная.

Размер физической величины: количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу

Размерность физической величины - выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях, отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

Значение физической величины: выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Различают значения физической величины: числовое, истинное, действительное.

Физический параметр - физическая величина, рассматриваемая при измерении данной физической величины как вспомогательная.

Система физических величин - совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

Шкала физической величины - упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая исходной основой для измерений данной

величины.

Условная шкала физической величины - шкала физической величины, исходные значения которой выражены в условных единицах.

Единица измерения физической величины - физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1, применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин.

Различают единицы: *основная, дополнительная, производная, системная, внесистемная* (входящая или нет в принятую систему единиц), *кратная и дольная* (в целое число раз больше или меньше системной или внесистемной единицы).

Система единиц физических величин - совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин.

Размер единицы физической величины - количественная определенность единицы физической величины, воспроизводимой или хранимой средством измерений.

Измерение физической величины - совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Различают измерения: *равноточные и неравноточные, однократные и многократные, статические и динамические* (не изменяющейся и изменяющейся по размеру физической величины), *абсолютные* (измерения, основанные на прямых измерениях величин или использовании значений физических констант) и *относительные* (измерения отношения данной величины к одноименной), *прямые, косвенные, совокупные и совместные*.

Наблюдение при измерении - операции, проводимые при измерении и имеющие целью своевременно и правильно произвести отсчет.

Измерительный сигнал - сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой физической величине.

Измерительная информация - информация о значениях физических величин.

Измерительная задача - задача, заключающаяся в определении значения физической величины путем ее измерения с требуемой точностью в данных условиях измерения.

Объект измерения - тело (физическая система, процесс, явление и т. д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми физическими величинами.

Область измерений - совокупность измерений физических величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой.

Вид измерений - часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.

Подвид измерений - часть вида измерений, выделяющаяся особенностями измерений однородной величины (по диапазону, по размеру величины и др.).

Мера физической величины - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью. У меры выделяют *номинальное* и *действительное* значение.

Стандартный образец - образец вещества (материала) с установленными в результате метрологической аттестации значениями одной или более величин, характеризующими свойство или состав этого вещества (материала).

Средства поверки - эталоны, поверочные установки и другие средства измерений, применяемые при поверке в соответствии с установленными правилами.

Различают: *тип* (средств измерений одного и того же назначения, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации) и *вид* (совокупность средств измерений, предназначенных для измерений данной физической величины), *метрологическую неисправность*, *надежность* и *отказ средства измерений*

Принцип измерений - физическое явление (или эффект), положенное в основу измерений.

Метод измерений - прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Различают методы: *непосредственной оценки* (значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений), *сравнения с мерой* (измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой), *нулевой* (результатирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля), *замещением* (измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины), *дополнением* (значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению), *дифференциальный* (измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами), *контактный* и *бесконтактный*.

Методика выполнения измерений (МВИ) - установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом. МВИ, предназначенные для количественного определения состава материалов и веществ, называют *методиками количественного*

химического анализа.

Результаты измерений физических величин - значение величины, полученное путем ее измерения.

Различают результаты измерений: *неисправленные* и *исправленные*.

Сходимость результатов измерений - близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

Воспроизводимость результатов измерений - близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

Математическое ожидание - среднее взвешенное по вероятностям значение случайной величины.

Среднее взвешенное значение величины - среднее значение величины из ряда неравноточных измерений, определенное с учетом веса каждого единичного измерения (положительное число, служащее оценкой доверия к тому или иному отдельному результату измерения, входящему в ряд неравноточных измерений).

Погрешность результата измерения - отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Различают погрешности: инструментальная, методическая, субъективная, абсолютная, относительная, приведенная, основная, дополнительная, статическая, динамическая, результата однократного или многократного (среднего арифметического) измерения, средняя квадратическая результата единичных измерений в ряду измерений, результата измерений среднего арифметического.

Дисперсия - математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от ее среднего арифметического.

Систематическая погрешность измерения - составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Различают систематические погрешности: из-за изменений условий измерения, субъективные, неисключенные.

Случайная погрешность измерения - составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях одной и той же физической величины, проведенных с одинаковой тщательностью.

Размах результатов измерений - оценка рассеяния результатов единичных измерений физической величины, образующих ряд (или выборку из n измерений).

Среднее квадратическое отклонение (СКО) - взятый с положительным знаком корень квадратный из дисперсии. Параметр, характеризующий рас-

сеяние результатов однократных измерений вокруг среднего арифметического.

Доверительная вероятность - вероятность того, что результат многократных измерений в виде среднего арифметического не выйдет за установленные доверительные границы.

Доверительные границы погрешности результата измерений - наибольшее и наименьшее значения погрешности измерений, ограничивающие интервал, внутри которого с заданной вероятностью находится искомое (истинное) значение погрешности результата измерения.

Поправка - значение величины, вводимое в неисправленный результат измерения с целью исключения составляющих систематической погрешности.

Точность результата измерений - одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

Неопределенность измерений - параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые можно приписать измеряемой величине.

Погрешность измерений - погрешность результата измерений, свойственная условиям статического измерения.

Премах - погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Погрешность - погрешность одного измерения (не входящего в ряд измерений), оцениваемая на основании известных погрешностей средства и метода измерений в данных условиях (измерений).

Суммарная средняя квадратическая погрешность результата измерений - погрешность результата измерений (состоящая из суммы случайных и неисключенных систематических погрешностей, принимаемых за случайные), вычисляемая по формуле

Размах - разность между наибольшим и наименьшим значениями измеренного параметра.

Международными стандартами по метрологии [13] введены следующие характеристики достоверности:

Результат единичного анализа (определения): значение содержания компонента в пробе вещества (материала), полученное при однократной реализации процедуры анализа.

Результат анализа: среднее значение (среднее арифметическое или медиана) результатов единичного анализа.

Точность анализа: степень близости результата анализа (результата единичного анализа) к истинному (или в его отсутствие принятому опорному) значению.

Правильность анализа: степень близости среднего значения, полученного на основе большой серии результатов единичного анализа, к истинному (или в его отсутствие принятому опорному) значению.

Прецизионность анализа: степень близости друг к другу независимых результатов единичного анализа (результатов анализа), полученных в конкретных регламентированных условиях.

Повторяемость анализа: прецизионность анализа в условиях повторяемости (условия, при которых результаты единичного анализа получают по одной и той же методике на одних и тех же пробах в одинаковых условиях и практически одновременно - результаты параллельных определений).

Воспроизводимость анализа: прецизионность анализа в условиях воспроизводимости (условия, при которых результаты анализа получают по одной и той же методике на одних и тех же пробах, но в различных условиях (разное время, разные аналитики, разные партии реактивов одного типа, разные наборы мерной посуды, экземпляры средств измерений, разные лаборатории)).

Внутрилабораторная прецизионность анализа: прецизионность анализа в условиях, при которых результаты анализа получают по одной и той же методике, на одних и тех же пробах при вариации различных факторов (время, аналитики, реактивы и т.п.), формирующих разброс результатов при применении методики в конкретной лаборатории.

Показатели точности, правильности, прецизионности методики анализа являются приписанными характеристиками погрешности анализа (методики анализа) и ее составляющих.

Неопределенность: параметр, связанный с результатом измерения (в данном случае - анализа) и характеризующий разброс значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине. Способы выражения и методы оценки неопределенности даны в МИ 2552 [19].

Погрешность результата анализа (результата единичного анализа): отклонение результата анализа (результата единичного анализа), полученного по аттестованной методике, от истинного (или в его отсутствие принятого опорного) значения измеряемой характеристики.

При опорном значении за погрешность принимает отклонение результата анализа (результата единичного анализа), полученного по аттестованной методике, от математического ожидания заданной совокупности результатов, полученных по этой методике.

Систематическая погрешность методики анализа: разность между математическим ожиданием результатов единичного анализа, полученных во всех лабораториях, применяющих данную аттестованную методику, и истинным (или в его отсутствие принятым опорным) значением измеряемой характеристики).

Случайная погрешность результата анализа (результата единичного анализа): составляющая погрешности результата анализа (результата единичного анализа), изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях одной и той же величины по аттестованной методике.

Предел повторяемости: допускаемое для принятой вероятности P абсолютное расхождение между наибольшим и наименьшим результатами из n результатов единичного анализа, полученных в условиях повторяемости.

Предел воспроизводимости: допускаемое для принятой вероятности P абсолютное расхождение между двумя результатами анализа (результатами единичного анализа), полученными в условиях воспроизводимости.

Лабораторная составляющая систематической погрешности: разность между математическим ожиданием результатов единичного анализа, полученных в отдельной лаборатории при реализации методики анализа, и математическим ожиданием результатов единичного анализа, полученных во всех лабораториях, применяющих данную методику.

Систематическая погрешность лаборатории при реализации методики анализа: разность между математическим ожиданием результатов единичного анализа, полученных в отдельной лаборатории, и истинным (или в его отсутствие принятым опорным) значением измеряемой характеристики.

Принятое опорное значение: значение, которое служит в качестве согласованного для сравнения.

Методическая погрешность алгоритма обработки данных - погрешность результата измерения, получаемого в случае точного выполнения всех арифметических и логических операций при отсутствии погрешностей исходных данных.

Пример. Погрешность, обусловленная использованием квадратурной формулы при вычислении интеграла.

Трансформированная погрешность - составляющая погрешности результата измерения, обусловленная наличием погрешностей исходных экспериментальных данных и их преобразованием с помощью алгоритма.

4.2. Условия измерений

Нормальные условия измерений - условия измерения, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости.

Рабочие условия измерений - условия измерений, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих частей.

4.3. Обеспечение единства измерений

Единство измерений - состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, а погрешности результатов измерений известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Обеспечение единства измерений - деятельность метрологических служб, направленная на достижение и поддержание единства измерений в соответствии с законодательными актами, а также правилами и нормами, установленными государственными стандартами и другими нормативными документами по обеспечению единства измерений.

Эталон единицы физической величины - средство измерений (или ком-

плекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Различают эталоны: первичный, вторичный, сравнения, исходный, рабочий, Государственный первичный, национальный эталон, международный, одиночный, групповой, эталонный набор, транспортируемый, эталонная и поверочная установки.

Кроме того, различают: воспроизведение и хранение единицы физической величины, передачу размера единицы.

Поверочная схема для средств измерений - нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим средствам измерений (с указанием метода и погрешности при передаче).

Различают государственные и локальные поверочные схемы.

Метрологическая служба - служба, создаваемая в соответствии с законодательством для выполнения работ по обеспечению единства измерений и для осуществления метрологического контроля и надзора.

Различают метрологические службы: государственную, государственного органа управления и юридического лица.

Государственный научный метрологический центр - метрологический научно-исследовательский институт (как центр государственных эталонов), несущий в соответствии с законодательством страны ответственность за создание, хранение и применение государственных эталонов, разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений в закреплённом виде измерений.

Орган государственной метрологической службы - структурное подразделение Госстандарта страны, осуществляющее государственный метрологический контроль и надзор на закреплённой территории.

Государственный инспектор по обеспечению единства измерений - должностное лицо Госстандарта страны, осуществляющее функции государственного метрологического контроля и надзора на соответствующей территории.

Государственный метрологический контроль - деятельность, осуществляемая государственной метрологической службой по утверждению типа средств измерений, поверке средств измерений (включая рабочие эталоны), по лицензированию деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений.

Государственный метрологический надзор - деятельность, осуществляемая органами государственной метрологической службы по надзору за выпуском, состоянием и применением средств измерений (включая рабочие эталоны), за аттестованными методиками измерений, соблюдением метрологических правил и норм, за количеством товаров при продаже, а также за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке

и продаже.

Испытания средств измерений - обязательные испытания образцов средств измерений в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора с целью утверждения типа средств измерений.

Утверждение типа средств измерений - установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям Ростехрегулирования.

Поверка средств измерений - установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определенных метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Различают поверки: первичную, периодическую, внеочередную, инспекционную, выборочную.

Калибровка средств измерений - совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений.

Градуировка средств измерений - определение градуировочной характеристики средства измерений.

Метрологическая экспертиза - анализ и оценивание экспертами - метрологами правильности применения метрологических требований, правил и норм, в первую очередь связанных с единством и точностью измерений.

Метрологическая аттестация средств измерений - признание метрологической службой узаконенным для применения средства измерений единичного производства (или ввозимого единичными экземплярами из - за границы) на основании тщательных исследований его свойств.

Сертификация средств измерений - деятельность по подтверждению соответствия средств измерений установленным требованиям.

Различают сертификации: добровольную и обязательную.

Сертификационные испытания средств измерений - контрольные испытания средств измерений, проводимые с целью установления соответствия характеристик их свойств национальным и (или) международным нормативным документам

Измерительный контроль - контроль, осуществляемый с применением средств измерений

Нормативные документы по обеспечению единства измерений - государственные стандарты, международные (региональные) стандарты, правила, положения, инструкции и рекомендации, содержащие нормы и требования по обеспечению единства измерений

Международные документы: рекомендации и документы Международной организации законодательной метрологии (МСЗМ), международные стандарты Международной организации по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссии (МЭК), публикации Международной конфедерации по измерительной технике и приборостроению» (ИМЕКО).

4.4. Испытания

Испытания – техническая операция, заключающаяся в определении одной или нескольких характеристик данной продукции, процесса или услуги в соответствии с установленной процедурой [18].

Испытательная лаборатория (ИЛ) – лаборатория, которая проводит испытания.

Испытательное оборудование – средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения условий испытаний.

Средство испытаний – техническое устройство, вещество и (или) материал для проведения испытаний.

Условия испытаний – совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях.

Испытательная организация – организация, на которую в установленном порядке возложено проведение испытаний определенных видов продукции или проведение определенных видов испытаний.

Аттестация испытательного оборудования – определение нормированных точностных характеристик испытательного оборудования, их соответствия требованиям нормативных документов и установление пригодности этого оборудования к эксплуатации (различают первичную, периодическую и повторную аттестацию).

Аттестация ИЛ – проверка ИЛ по месту расположения с целью определения ее соответствия критериям аккредитации.

Аккредитация испытательной лаборатории – процедура, по результатам которой аккредитующий орган выдает аттестат аккредитации, удостоверяющий, что ИЛ компетентна в проведении испытаний.

Область аккредитации ИЛ – виды испытаний (с указанием наименований испытываемых ПП и ПС, определяемых показателей, нормативных документов, устанавливающих показатели и методы их испытаний), на выполнение которых аккредитована ИЛ.

Критерии аккредитации ИЛ – совокупность требований, которым должна удовлетворять ИЛ, чтобы быть аккредитованной.

Аттестат аккредитации ИЛ – документ, выданный аккредитующим органом и регистрирующий факт официального признания компетентности ИЛ в области аккредитации.

Метрологическое обеспечение испытаний – установление и применение научных и организационных основ, технических средств, метрологических правил и норм, необходимых для получения достоверной измерительной информации о значениях показателей качества и безопасности продук-

ции и услуг, а также о значениях характеристик воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях, в других условиях испытаний.

Погрешность результатов испытаний – разность между результатом испытаний характеристики объекта при фактических условиях испытаний и истинным (действительным) значением характеристики объекта при условиях испытаний, установленных в нормативном документе на методы испытаний объекта испытаний.

Воспроизводимость результатов испытаний – характеристика результатов испытаний, определяемая близостью результатов испытаний одного и того же объекта по единым методикам в соответствии с требованиями одного и того же нормативного документа с применением различных экземпляров оборудования разными операторами в разное время.

Норматив (предел) воспроизводимости – предельно допустимое абсолютное расхождение между двумя результатами испытаний, полученными в условиях воспроизводимости для доверительной вероятности 0,95.

Статистическая оценка воспроизводимости – среднеквадратическое отклонение воспроизводимости результатов испытаний.

Повторяемость (сходимость) результатов испытаний – характеристика результатов испытаний, определяемая близостью результатов испытаний одного и того же объекта по одной и той же методике в соответствии с требованиями одного и того же нормативного документа в одной и той же лаборатории одним и тем же оператором с использованием одного и того же экземпляра оборудования в течение короткого промежутка времени.

Норматив (предел) повторяемости (сходимости) – предельно допустимое абсолютное расхождение между двумя результатами испытаний, полученными в условиях повторяемости (сходимости) при заданной доверительной вероятности.

Статистическая оценка повторяемости (сходимости) – среднеквадратическое отклонение повторяемости (сходимости) результатов испытаний.

Соответствие (в области оценки соответствия) – соблюдение установленных требований к продукции, процессу или услуге.

Оценка соответствия – любая деятельность, связанная с прямым или косвенным определением того, что соответствующие требования выполняются.

Подтверждение соответствия – деятельность, результатом которой является документальное свидетельство, дающее уверенность в том, что продукция, процесс или услуга соответствуют установленным требованиям.

Испытания на соответствие – процедура оценивания соответствия путем проведения испытаний.

Нормативный документ – документ, содержащий правила, общие принципы или характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов.

4.5. Средства измерений

Средство измерений - техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Различают средства измерений: *рабочее, вспомогательное, стандартизованное и нестандартизованное, автоматическое* (производящее без непосредственного участия человека измерения и все операции, связанные с обработкой результатов измерений, их регистрацией, передачей данных или выработкой управляющего сигнала) и *автоматизированное* (производящее в автоматическом режиме одну или часть измерительных операций).

Измерительный прибор - средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой величины в установленном диапазоне.

Измерительный преобразователь - техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Различают измерительные преобразователи: *первичный* (на который непосредственно воздействует измеряемая физическая величина), *датчик* (конструктивно обособленный первичный преобразователь), *измерительное устройство* (часть измерительного прибора, связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение), *чувствительный элемент* (часть измерительного преобразователя в измерительной цепи, воспринимающая входной измерительный сигнал).

Индикатор - техническое средство или вещество, предназначенное для установления наличия какой-либо физической величины или превышения уровня ее порогового значения.

Компаратор - средство сравнения, предназначенное для сличения мер однородных величин.

Шкала средства измерений - часть показывающего устройства средства измерений, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ними нумерацией.

Выделяют: *отметку и числовую отметку шкалы, деление шкалы и цену деления шкалы.*

Метрологическая характеристика средства измерений - характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений и на его погрешность.

Показание средства измерений - значение величины или число на показывающем устройстве средства измерений.

Различают: *вариацию и диапазон показаний*, а также *диапазон измерений измерительного прибора.*

Чувствительность средства измерений - свойство средства измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства

к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Порог чувствительности средства измерений - характеристика средства измерений в виде наименьшего значения изменения физической величины, начиная с которого может осуществляться ее измерение данным средством.

Разрешение средства измерений - характеристика средства измерений, выражаемая наименьшим интервалом времени между отдельными импульсами или наименьшим расстоянием между объектами, которые фиксируются прибором раздельно.

Градуировочная характеристика средства измерений - зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений, полученная экспериментально.

Различают: смещение нуля, дрейф показаний, зону нечувствительности средства измерений.

Погрешность средства измерений - разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины.

Для средств измерений характерны погрешности: *систематическая и случайная средства измерений, абсолютная и относительная*, а также *приведенная (относительная) погрешность*, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона, *основная* (погрешность при нормальных условиях) и *дополнительная* (составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений), *статическая и динамическая погрешность* средства измерений.

Класс точности средств измерений - обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Нормируемые метрологические характеристики типа средства измерений - совокупность метрологических характеристик данного типа средств измерений, устанавливаемая нормативными документами на средства измерений.

Индикатор - техническое средство, применяемое для наблюдения за изменением величины без оценки ее значения в единицах физической величины с нормируемой точностью.

Метрологические характеристики средств измерений - характеристика свойств средства измерений, оказывающая влияние на результаты и погрешности измерений.

4.6. Виды средств измерений

Термометр - средство измерений (совокупность средств измерений),

предназначенное для выработки сигнала температурной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем, автоматической обработки, передачи и использования в системах управления.

Термопреобразователь - средство измерений, предназначенное для выработки сигнала температурной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Термометр расширения - термометр, действие которого основано на использовании зависимости удельного объема вещества от температуры.

Жидкостный термометр - термометр расширения, действие которого основано на использовании теплового расширения жидкостей. Примечание. В зависимости от применяемой термометрической жидкости различают: ртутный, спиртовой и другие термометры.

Биметаллический термометр - термометр расширения, действие которого основано на использовании разности коэффициентов расширения двух разнородных металлов.

Манометрический термометр - термометр расширения, действие которого основано на использовании зависимости давления вещества от температуры при постоянном объеме.

Термометр сопротивления - термометр, содержащий термопреобразователь сопротивления.

Термоэлектрический термометр - термометр, содержащий термоэлектрический преобразователь в виде термопары.

Пирометр - средство (совокупность средств) измерений температуры по тепловому электромагнитному излучению.

Манометр - измерительный прибор или измерительная установка для измерения давления или разности давлений.

Манометр абсолютного давления - манометр для измерения давления, отсчитываемого от абсолютного нуля.

Манометр избыточного давления - манометр для измерения разности между абсолютным давлением, большим абсолютного давления окружающей среды, и абсолютным давлением окружающей среды. Примечания: 1. В большинстве случаев абсолютным давлением окружающей среды является атмосферное давление. 2. Манометр избыточного давления в газовых средах с верхним пределом не более 40000 Па (4000 кгс/м^2) называется *напорометром*.

Барометр - манометр абсолютного давления для измерения давления околоземной атмосферы. Примечание. Барометр с непрерывной записью показаний называется *барографом*.

Вакуумметр - манометр для измерения давления разреженного газа. Примечание. Вакуумметр для измерения давления разреженного газа с верхним пределом измерения не более 40000 Па (4000 кгс/м^2) называется *тягомером*.

Мановакуумметр - манометр для измерения избыточного давления к давлению разреженного газа. Примечание. Мановакуумметр для газовых

сред с верхним пределом измерений не более 20000 Па (2000 кгс/м²) называется *тягонапорометром*.

Дифференциальный манометр - манометр для измерения разности двух давлений. Примечание. Дифманометр с верхним пределом измерения не более 40000 Па (4000 кгс/м²) называется *микроманометром*.

Деформационный манометр - манометр, принцип действия которого основан на зависимости деформации чувствительного элемента или развиваемой им силы от измеряемого давления. По принципу действия бывают: *мембранный, пружинный, сильфонный*.

Жидкостный манометр - манометр, принцип действия которого основан на уравнивании измеряемого давления или разности давлений давлением столба жидкости. По принципу действия бывает: *U-образный, компрессионный, колокольный*.

Грузопоршневой манометр - манометр, принцип действия которого основан на уравнивании измеряемого давления давлением, создаваемым весом поршня с грузоприемочным устройством и грузом с учетом сил жидкого трения.

Электрический манометр - манометр, принцип действия которого основан на зависимости электрических параметров преобразователя давления от измеряемого давления. По принципу измерения бывают: *пьезоэлектрический, манометр сопротивления, ионизационный, электронный, магнитный, радиоизотопный*.

Уровнемер - прибор, предназначенный для определения положения границы раздела двух сред (уровня) с различными физическими свойствами.

Уровнемер с визуальным отсчетом - уровнемер, в котором высоту уровня жидкости измеряют визуально при помощи градуированной стеклянной трубки, сообщаемой с контролируемым резервуаром, или же при помощи прозрачной вставки в стенке контролируемого сосуда.

Зондовый уровнемер - уровнемер, измеряющий уровень жидкости или сыпучего вещества при помощи зонда или рейки.

Преобразователь уровня - первичный измерительный преобразователь, воспринимающий измеряемый уровень жидкости или сыпучего вещества.

Датчик уровня - конструктивный элемент уровнемера, содержащий первичный и передающий измерительные преобразователи. По принципу действия датчика различают следующие уровнемеры: *поплавковый, гидростатический, весовой, кондуктометрический, акустический, ультразвуковой, емкостный* и др.

Преобразователь расхода. Датчик расхода - измерительный преобразователь, непосредственно воспринимающий измеряемый расход и преобразующий его в другую физическую величину, удобную для измерения (давление, скорость вращения). В давление преобразуют расход: сужающее или напорное устройства, струйный преобразователь, в скорость вращения - тахиметрический и турбинный преобразователь.

Анализатор жидкости - измерительный прибор или измерительная установка для анализа состава и (или) свойств жидкости.

Механический анализатор жидкости - анализатор жидкости, в котором значение выходного сигнала зависит от молекулярно - механических свойств анализируемой жидкости или от молекулярно - механических явлений, происходящих в ней.

Электрохимический анализатор жидкости - анализатор жидкости, в котором значение выходного сигнала определяется электрохимическими явлениями, происходящими в электродных системах, погруженных в анализируемую жидкость.

Потенциометрический анализатор жидкости - электрохимический анализатор жидкости, основанный на измерении э.д.с. электродной системы.

Иономерный анализатор жидкости (иономер) - потенциометрический анализатор жидкости, в котором измеряемая э.д.с. электродной системы селективно зависит от активности определяемого иона.

pH-метр - иономерный анализатор жидкости, измеряющий активность ионов. Кроме того, к электрохимическим анализаторам жидкости относятся: кулонометрический и кондуктометрический анализаторы.

pH-метр - анализатор жидкости, измеряющий кислотность по активности ионов водорода.

Титрометрический анализатор жидкости (титрометр) - анализатор жидкости, предназначенный для определения состава анализируемой жидкости по количеству реагента, необходимого для проведения титрования.

Радиоизотопный анализатор жидкости - анализатор жидкости, в котором выходной сигнал зависит от поглощения или испускания ионизирующего излучения радиоактивным изотопом компонента анализируемой жидкости. По принципу действия различают: *ионизационный анализатор*, *анализатор на основе ядерно-магнитного резонанса* и др.

Влагометрия - измерение характеристик влажности конденсированных систем.

Влагомер - измерительный прибор, предназначенный для измерения величин, характеризующих влажность веществ в твердом и жидком состоянии.

Гигрометрия - измерение характеристик влажности газов.

Гигрометр - средство измерения характеристик влажности газов.

Влагосодержание - совокупность характеристик, выражающих концентрацию влаги в газовых системах [25].

Влагосостояние - совокупность характеристик, выражающих относительное термодинамическое состояние водяного пара в газовой системе [25].

Поляриметр - прибор, предназначенный для измерения угла вращения плоскости поляризации поляризованного света оптически активным веществом для излучения определенной длины волны.

Спектро - поляриметр - прибор, предназначенный для измерения угла или разности углов вращения плоскости поляризации при разных длинах

волн оптического излучения в заданном интервале длин волн.

Сахариметр - прибор, предназначенный для определения процентного содержания сахара в продукте, не содержащем других оптически активных веществ.

Поляромер - прибор, предназначенный для измерения степени поляризации частично поляризованного оптического излучения.

Оптический анализатор жидкости - анализатор жидкости, принцип действия которого основан на взаимосвязи параметров оптического излучения с составом или свойствами анализируемой жидкости.

Спектральный анализатор жидкости - оптический анализатор жидкости, осуществляющий определение состава и свойств анализируемой жидкости по спектральному составу оптического излучения.

Рефрактометр - оптический анализатор жидкости, основанный на измерении показателя преломления света анализируемой жидкостью.

Масс - спектрометр - прибор для количественного и (или) качественного определения состава и структуры веществ, изучения физико-химических процессов и явлений по масс-спектрам этих веществ.

Хроматограф - средство измерений, предназначенное для качественного и количественного анализа состава смесей веществ и (или) выделения компонентов методом хроматографии.

Метрологическое обеспечение - установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Метрологическое обеспечение подготовки производства - комплекс организационно-технических мероприятий, обеспечивающих определение с требуемой точностью характеристик изделий, технологических процессов и оборудования, необходимых в производстве изделий.

4.7. Контроль качества продукции

Качество продукции - совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением [19].

Показатель качества продукции - количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления.

Определяющий показатель качества продукции - показатель качества продукции, по которому принимают решение, оценивая ее качество.

Свойство - внутренняя предрасположенность предмета или явления, выражающая такую его сторону, которая обуславливает его различие с другими предметами (явлениями) и обнаруживается в его отношении к ним.

Измеряемое свойство - свойство, которое может быть выявлено в результате физического эксперимента и оценено качественно и количественно.

Предельное значение показателя качества продукции - наибольшее или

наименьшее регламентированное значение показателя качества продукции.

Оптимальное значение показателя качества продукции - значение показателя качества продукции, при котором достигается либо наибольший эффект от эксплуатации или потребления продукции при заданных затратах на ее создание и эксплуатацию или потребление, либо заданный эффект при наименьших затратах, либо наибольшее отношение эффекта к затратам.

Допускаемое отклонение показателя качества продукции - отклонение фактического значения показателя качества продукции от номинального значения, находящееся в пределах, установленных нормативной документацией.

Уровень качества продукции - относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателей качества оцениваемой продукции с базовыми значениями соответствующих показателей.

Технический уровень продукции - относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции с соответствующими базовыми значениями.

Единица продукции - отдельный экземпляр штучной продукции или определенное в установленном порядке количество нештучной или штучной продукции.

Партия (производственная) - определенное количество некоторой товарной продукции или услуг, произведенное в одно время и при условиях, которые можно считать однородными. Примечание: обстоятельства, которые можно считать однородными, в большинстве случаев нельзя установить.

Контролируемая партия - определенное число единиц продукции, материала или услуг, собранных вместе и представленных для испытаний. Примечание: контролируемая партия может состоять из нескольких производственных партий или частей производственных партий.

Объем партии - число единиц продукции в партии.

Изделие - единица промышленной продукции, количество которой может исчисляться в штуках или экземплярах.

Выборка - изделие или определенная совокупность изделий, отобранных для контроля из партии или потока продукции.

Объем выборки - число изделий, составляющих выборку.

Проба - определенное количество нештучной продукции, отобранное для контроля.

Контрольный образец - единица продукции или ее часть или проба, утвержденные в установленном порядке, характеристики которых приняты за основу при изготовлении и контроле такой же продукции.

Дефект - каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям.

Уровень дефектности - доля дефектных единиц продукции или число дефектов на сто единиц продукции.

Брак - продукция, передача которой потребителю не допускается из-за наличия дефектов.

Контроль - проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Контроль качества продукции – контроль количественных и (или) качественных характеристик свойств продукции.

Сплошной контроль - контроль каждой единицы продукции в партии. Применяется при неразрушающем контроле.

Выборочный контроль – контроль, при котором решение о качестве контролируемой продукции принимается по результатам проверки одной или нескольких выборок или проб из партии или потока продукции.

Статистический приемочный контроль качества продукции - выборочный контроль качества продукции, основанный на применении методов математической статистики для проверки соответствия качества продукции установленным требованиям.

Риск поставщика - вероятность забракования партии продукции, обладающей приемочным уровнем качества.

Риск потребителя - вероятность приемки партии продукции, обладающей браковочным уровнем качества.

Испытания - экспериментальное определение количественных или качественных характеристик свойств объекта как результата воздействия на него - при его формировании; при моделировании объекта и (или) воздействии.

Вид испытаний и контроля - классификационная группировка испытаний и контроля по определенному признаку.

Оценивание качества продукции - определение значений характеристик продукции с указанием точности и достоверности.

Объект технического контроля - подвергаемая контролю продукция, процессы ее создания, применения, транспортирования, хранения, технического обслуживания и ремонта, а также соответствующая техническая документация.

Объект испытаний - продукция, подвергаемая испытаниям.

Метод контроля (испытаний) - правила применения определенных принципов и средств контроля (испытаний). Различают методы разрушающего и неразрушающего контроля.

Средство контроля - техническое устройство, вещество и материал для проведения контроля.

Период отбора - интервал времени между моментами отбора смежных выборок или проб из потока продукции.

5. Терминология математической обработки экспериментальных данных и представления результатов

В данном разделе изложены с некоторыми сокращениями опубликованные в [20] терминология и формулировки, относящиеся к правилам обра-

ботки и представления результатов экспериментов.

Нижеследующий текст представляет собой список характеристик, необходимых для описания результатов в стандартизированной форме. Только в случае, если использованы другие термины, автор обязан объяснить их значение.

5.1. Приближения и предостережения

Чрезвычайно важно понимать, что приближения играют центральную роль в том, насколько пригодны заключения после статистической обработки экспериментальных данных. Поскольку подобные приближения чаще всего являются неявными, необходимо обратить внимание на их существование и их важность. Принципиальные приближения, на которые следует обращать внимание, - это используемая модель. Например, если наблюдения y выражаются следующим образом: $y = f(x) + e_y$, то следует знать о приближениях, связанных с функцией $f(x)$, связывающих параметры y и x , и о приближениях, связанных со структурой погрешности e_y . Существуют статистические критерии, такие, как t , χ^2 или F , а кроме того, методы - остаточных сумм, контрольных диаграмм и т. п., - которые помогают найти погрешности выбора модели. Однако слепо на них полагаться нельзя вследствие того, что все статистические критерии имеют два фундаментальных ограничения. Первое из них заключается в том, что они сами базируются на каких-либо приближениях. Во-вторых, их способность находить ошибочные модели (или альтернативные гипотезы) всегда ограничена, т.е. погрешности, не найденные в модели, могут тем не менее вызвать серьезные погрешности в заключениях.

Приближения, связанные с e_y , включают случайность, независимость, однородность дисперсии (гомоскедастичность) и тип распределения погрешностей (функцию распределения). В большинстве случаев в настоящем документе предполагается нормальное распределение погрешностей. Так же как и в случае предположений, связанных с функциональной взаимосвязью переменных, для исследования отклонений от предполагаемой модели ошибок можно использовать статистические критерии: знака погрешности, χ^2 , Колмогорова - Смирнова и т.п. Однако и здесь упомянутые выше ограничения будут в силе. Действительно, исследование распределений приводит к приемлемым результатам только в случаях, когда число степеней свободы достаточно велико.

Примечание. Следует обратить внимание, что в ряде случаев в документе используется термин «величина» в смысле «значение» или «размер» по [6]. Например, термин 5.2.5. «истинная величина» следовало бы называть «истинное значение величины», термин 5.3.4. «средняя величина» должно быть ее среднее (арифметическое) значение величины» и т.д.

5.2. Общие термины

5.2.1. Измеренное значение (measured value). Наблюдаемое значение массы или объема, показание прибора или другая величина, найденная при

анализе образца.

5.2.2. Результат (result). Окончательное значение для измеренного или рассчитанного значения, найденное по окончании измерения, включая все вспомогательные процедуры и численные оценки.

5.2.3. Переменная (variable; x). Измеренная или рассчитанная численная величина или характеристика. Также см. «независимая переменная» (п. 5.4.3) и «зависимые переменные» (п. 5.4.4). Соответствующая численная величина может быть использована для статистической обработки. Переменная величина, например, может быть измеренной величиной или результатом.

Комментарий. Следует иметь в виду, что в статистике принято использовать заглавные буквы для случайных величин и строчные буквы для частных или наблюдаемых значений. В случаях, когда выбор « x » как обозначения может привести к путанице, можно использовать и другие символы.

5.2.4. Серия (series). Ряд измеренных величин ($x_1, x_2, \dots, x_b, \dots, x_n$), которые эквивалентны друг другу с точки зрения статистического исследования, т.е. результаты повторяющихся анализов, использующих только один аналитический метод, для вещества, которое считается гомогенным.

5.2.5. Истинная величина (true value; τ). Величина, которая характеризует некий параметр, однозначно определенный в условиях, существующих в то время, когда данный параметр рассматривается. Это - идеальная величина, которую можно достичь только в случае, когда устранены все источники погрешностей измерения и выбрана вся генеральная совокупность.

5.2.6. Правильность (accuracy). Степень близости между полученным результатом и истинным значением. Правильность является качественной характеристикой и включает комбинацию компонентов случайных погрешностей и обычную систематическую погрешность (п. 5.3.14).

5.2.7. Воспроизводимость (precision). Степень близости между независимыми результатами измерений, полученными при использовании экспериментальной методики при оговоренных условиях. Чем меньше случайная погрешность эксперимента, влияющая на результат, тем точнее данная методика. Мерой воспроизводимости (или невоспроизводимости) служит стандартное отклонение (пп. 5.3.7-5.3.9).

Комментарий. Как следует из Международного словаря основных и общих метрологических терминов (International vocabulary of basic and general terms in metrology; ISO, 1993), термин "precision" часто используют в смысле "правильность" (см. определение 3.5 этого словаря). Этой проблемы можно избежать, если четко представлять, что воспроизводимость (precision) относится только к дисперсии, но не к отклонению от истинного (в традиционном понимании) значения.

5.2.8. Сходимость (repeatability). Степень согласованности независимых результатов, полученных при помощи одного и того же метода или идентичного анализируемого материала в одинаковых условиях (один и тот же исполнитель, тот же прибор, та же лаборатория и незначительные интервалы между измерениями). Мерой сходимости является *стандартное от-*

клонение (standard deviation), употребляемое с уточняющим термином, т.е. *стандартное отклонение сходимости* (repeatability standard deviation). В некоторых случаях сходимость может быть определена как критическая величина, при значениях ниже которой абсолютное различие между двумя единичными результатами измерений, полученными при вышеуказанных условиях, может быть определено с заданной вероятностью.

5.2.9. Повторяемость (reproducibility). Степень согласованности независимых результатов, полученных при помощи одного и того же метода или идентичного анализируемого материала, но при разных условиях (разные исполнители, разные приборы, разные лаборатории и (или) спустя различные интервалы времени). Мерой повторяемости является стандартное отклонение, употребляемое с уточняющим термином, т.е. «стандартное отклонение повторяемости» (reproducibility standard deviation).

5.3. Термины, относящиеся к параллельным измерениям

5.3.1. Число измерений (number of observations; r). Общее число полученных данных (измеренных значений) в серии, объем выборки (sample size). В случае, если рассматривается генеральная совокупность, используют обозначение N .

5.3.2. Число степеней свободы (degrees of freedom; v). Статистическая величина, показывающая число переменных, которые могут быть присвоены произвольно при характеристике выборки. В наиболее простом случае, $v=n-1$.

5.3.3. Уровень доверительной вероятности (confidence level; $P=1-\alpha$). Вероятность того, что ожидаемая величина исследуемого параметра лежит внутри некоторого интервала. Уровень доверительной вероятности может быть выражен в виде числа между 0 и 1 или в процентах. Комплементарная величина α известна как *уровень значимости* (significance level).

Комментарий. В некоторых случаях уровень доверительной вероятности диктуется требованиями ситуации. Во всех других случаях рекомендуется использовать $1 - \alpha = 0,95$.

5.3.4. Среднее арифметическое, средняя величина (arithmetic mean, average; $\bar{x}$). Сумма всех значений серии наблюдений, деленная на число наблюдений: $\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$.

Комментарий. Следует заметить, что $\bar{x}$ является несмещенной оценкой математического ожидания m .

5.3.4.1. Среднее взвешенное (weighed mean). Если в серии измерений каждой величине присваивается соответствующий статистический вес W_i , то среднее взвешенное X_w рассчитывают по формуле: $X_w = \sum W_i X_i / \sum W_i$.

Комментарий. Если только использование статистических весов не обусловлено целями эксперимента, использовать среднее взвешенное обычно не рекомендуется.

5.3.5. Отклонение (deviation; d). Разница между наблюдаемой величи-

ной и арифметическим средним выборки, к которой она принадлежит:

$$d_i = x_i - \bar{x}.$$

5.3.6. Размах выборки (range; R_x). Разность наибольшей и наименьшей из наблюдаемых величин: $R_x = x_{\max} - x_{\min}$.

Комментарий. Этот параметр удобен для малых выборок ($n < 10$) как альтернативная мера дисперсии. Наиболее важная область его применения - контрольные диаграммы.

5.3.7. Стандартное отклонение (standard deviation). Оценивается как положительный квадратный корень величины, получаемой при делении суммы квадратов разностей всех элементов выборки и среднего этой выборки на число степеней свободы (в простейшем случае - число измерений минус единица). Обозначения: S (выборочное стандартное отклонение [estimated standard deviation]) и σ (стандартное отклонение [population standard deviation]). Рассчитывают по следующим формулам:

$$s = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}}.$$

Комментарий. Часто для обозначения стандартного отклонения среднего используют термин *стандартная погрешность* (standard error). Минимальное число наблюдений, которое необходимо для получения приемлемой оценки стандартного отклонения, равно 6. Для очень малого числа степеней свободы стандартное отклонение S оказывается чрезвычайно неточным и дает значимо смещенную оценку σ , хотя критерий Стьюдента по-прежнему приводит к достоверным значениям доверительного интервала.

5.3.7.1. Стандартное отклонение для пар данных (standard deviation from paired data). Возможно оценить стандартное отклонение и для больших выборок, включающих измерения, сделанные для подобных (но не обязательно идентичных) проб. Если анализ m проб привел к результатам x'_i и x''_i (относящихся к i -му результату), то стандартное отклонение можно рассчитать из уравнения:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x'_i - x''_i)^2}{2m}},$$

где ν - число степеней свободы.

5.3.7.2. Стандартное отклонение для групп данных (standard deviation from grouped data). Если существует несколько выборок, включающих результаты анализов, полученных, например, в разное время или для слегка различающихся образцов, то результаты могут быть объединены в группы следующим образом:

Группа 1	Группа 2	Группа i	Группа m
x_{11}	x_{21}	x_{i1}	x_{m1}
x_{12}	x_{22}	x_{i2}	x_{m2}
x_{13}	x_{23}	x_{i3}	x_{m3}
...	...	...	...
x_{1j}	x_{2j}	x_{ij}	x_{mj}
x_{1n1}	x_{2n2}	x_{in1}	x_{mn1}
арифметические средние для каждой группы:			
$\bar{x}_1$	$\bar{x}_2$	$\bar{x}_i$	$\bar{x}_m$
число вариантов в каждой группе			
n_1	n_2	n_i	n_m
общее число групп: m			
общее число вариантов: $n = \sum_{i=1}^m n_i$			

Полное стандартное отклонение можно рассчитать из следующего уравнения:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n-m}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}^2 - \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{n_i}\right) \left(\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij}\right)^2}{n-m}}$$

Комментарий. Этот параметр известен также как «суммарное стандартное отклонение» (pooled standard deviation). Он эквивалентен квадратному корню взвешенной дисперсии среднего, когда числа степеней свободы каждой группы представляют собой статистические веса. Достоверность этой величины базируется на предположении об однородности дисперсии для всех групп.

5.3.8. Дисперсия (variance; V или σ^2). Квадрат стандартного отклонения.

5.3.9. Относительное стандартное отклонение (relative standard deviation; s_r или δ_r). Стандартное отклонение, деленное на среднее выборки:

$$s_r = s / \bar{x}.$$

5.3.10. Относительное стандартное отклонение, выраженное в процентах (percentage standard deviation; $s_r(\%)$ [или $\delta_r(\%)$]). Получают умножением величины относительного стандартного отклонения на 100.

Комментарий. Рекомендуется при описании результатов использовать относительное стандартное отклонение, не выраженное в процентах, во избежание путаницы в том случае, когда результаты также выражены в процентах. Термин *коэффициент вариации* (coefficient of variation) вместо термина «относительное стандартное отклонение» использовать не рекомендуется.

5.3.11. Погрешность результата (error of result; e). Величина результата минус истинное значение (величина со знаком): $e_i = x_i - \tau$.

Комментарий. Если результат, например, концентрация определяемого вещества, выражен в процентах, данный параметр также, естественно, будет выражен в процентах. При этих обстоятельствах во избежание путаницы с термином "относительная погрешность, выраженная в процентах" (п. 5.3.11) данную величину можно указывать как "абсолютную погрешность, выраженную в процентах" (percentage absolute error).

5.3.12. Относительная погрешность (relative error; e_r). Погрешность, деленная на истинное значение: $e_r = e / \tau$.

5.3.13. Относительная погрешность в процентах (percentage relative error; e_r (%)). Получают умножением величины относительной погрешности на 100.

Комментарий. Данный термин нельзя называть "погрешностью" или "погрешностью, выраженной в процентах" во избежание путаницы (смотри п. 5.3.11).

5.3.14. Полная систематическая погрешность (bias; Δ). Разность между математическим ожиданием и истинным значением (со знаком): $\Delta = \mu - \tau$.

5.3.15. Границы доверительного интервала (confidence levels about the mean). Симметричные границы доверительного интервала ($\pm C$) для оценки среднего, в который с вероятностью $P = 1 - \alpha$ попадает математическое ожидание (среднее генеральной совокупности). Численное значение C рассчитывают по уравнению $C = t_{p,v} S / \sqrt{n}$, где $t_{p,v}$ - табличное значение t -критерия Стьюдента для доверительного уровня $1 - \alpha$ и числа степеней свободы v . Символ p обозначает *процентиль* t -распределения. Для односторонних интервалов $p = 1 - \alpha$, для двусторонних интервалов $p = 1 - \alpha/2$. В обоих случаях уровень доверительной вероятности равен $1 - \alpha$. **Доверительный интервал** (confidence interval) описывается как $\bar{x} \pm C$.

Комментарий. Если известно стандартное отклонение σ , то границы доверительного интервала для единичного результата могут быть рассчитаны по формуле: $C = t_{p,\infty} \sigma$.

Коэффициент $t_{p,\infty}$ представляет собой предельное значение функции t -распределения для $v \rightarrow \infty$ для уровня доверительной вероятности $1 - \alpha$. Это значение идентично z_p p -му процентиллю варианты стандартного нормального распределения.

5.3.16. Среднее геометрическое (логарифмическое) (geometric mean; $\bar{x}_g$; logarithmic mean; x_g). Корень n -й степени из произведения абсолютных

величин результатов (без учета знака): $\bar{x}_g = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n |x_i|}$.

Комментарий. Эту величину чаще всего определяют непосредственно из экспериментальных данных (например, при определении концентраций из измерений электродного потенциала или pH), хотя ее смысл не всегда пони-

мают. Проблема заключается в том, что среднее некоторой переменной (например, pH), которая является *функцией* концентрации, - не то же, что значение этой функции при средней концентрации. В случае электродных потенциалов средний потенциал эквивалентен среднегеометрической концентрации. При правильном подходе к расчетам необходимо преобразовывать полученные данные к концентрациям и только после этого проводить их усреднение. Единственная заслуживающая внимания ситуация, в которой использование среднего геометрического оказывается приемлемым, - это случай *логарифмически нормального распределения* определяемого соединения в образце (в некоторых объектах окружающей среды или геологических материалах).

5.3.17. Среднее гармоническое (harmonic mean; $\bar{x}_h$). Число результатов,

деленное на сумму величин, обратных полученным результатам:
$$\bar{x}_h = \frac{n}{\sum x_j^{-1}}.$$

5.3.18. Среднее квадратичное (quadratic mean; $\bar{x}_q$). Квадратный корень

из суммы квадратов результатов, деленной на размах выборки n :
$$\bar{x}_q = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}}.$$

5.3.19. Медиана (median). В зависимости от четности или нечетности числа измерений медиану рассчитывают как

а) $n = 2m + 1$: величина срединного элемента выборки, отсортированной по возрастанию (убыванию);

б) $n = 2m$: среднее арифметическое значений двух срединных элементов выборок, полученных сортировкой исходной выборки по возрастанию или убыванию.

Комментарий. Использование медианы при описании результатов химического анализа чаще всего не рекомендуется, поскольку статистическая эффективность этого понятия не столь велика, как у понятия "среднее". Однако в некоторых случаях, особенно при работе с маленькими выборками, использование медианы может стать предпочтительным, так как этот термин относится к т.н. *устойчивой статистике* (robust statistic), т.е. медиана проявляет устойчивость к эффектам отдельных *выбросов* (cutliers).

5.3.20. Мода (mode). Величина переменной, встречающаяся в выборке с наибольшей частотой.

Комментарий. Использование термина "мода" при описании результатов химического анализа чаще всего не рекомендуется.

5.4. Термины, относящиеся к линейным градуировочным функциям

При описании результатов, полученных при помощи линейных градуировочных функций, рекомендуется включать следующие характеристики: число измерений (5.4.1), уравнение, отражающее функциональную связь (5.4.5), стандартное отклонение измерений от прямой (5.4.9), а также рассчитанные (fitted) параметры и их стандартные отклонения. Результат химиче-

ского анализа следует приводить как рассчитанное значение независимой переменной (5.4.14) с указанием границ доверительного интервала (5.4.15).

5.4.1. Число измерений (number of observations; n). Общее число данных (измеренных значений), использованных при построении градуировочных кривых.

5.4.2. Число степеней свободы (degrees of freedom; ν). Число измерений минус число переменных. Для линейной градуировки $\nu = n - 1$ (см. также п. 5.3.2).

5.4.3. Независимая переменная (independent variable; x). Величина (измеренная или рассчитанная), выбранная произвольно или при планировании процесса градуировки. Предполагается, что данная величина не имеет погрешности.

5.4.4. Зависимая переменная (dependent variable; y). Величина (измеренная или рассчитанная), использованная как функция независимой переменной. Имеет погрешность и характеризуется стандартным отклонением и другими подобными параметрами. При проведении анализа эту величину измеряют или рассчитывают из измеренного сигнала.

5.4.5. Уравнение функциональной (градуировочной) зависимости (equation for calibration relation). Уравнение, отражающее линейную связь независимой и зависимой переменных: $y = a + bx$, где a - отрезок, отсекаемый градуировочной прямой на оси y , b - наклон этой прямой. Оба параметра рассчитывают по методу наименьших квадратов.

5.4.6. Наклон градуировочной зависимости (slope). Параметр b градуировочной функции:
$$b = \frac{m \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{m \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}.$$

5.4.7. Отрезок, отсекаемый на оси ординат (intercept). Параметр a градуировочной функции:
$$a = \frac{m \sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{m \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} = \frac{\sum y_i - b \sum x_i}{m}.$$

5.4.8. Коэффициент корреляции (correlation coefficient) $r(a, b)$. Термины «корреляция» и «регрессия» описывают статистическую, а не функциональную связь между переменными. Таким образом, статистически рассчитанные значения наклона регрессионной зависимости и отрезка, отсекаемого ею на оси ординат, могут быть должным образом описаны коэффициентом

корреляции:
$$r(a, b) = \frac{s_y}{s_x}.$$

Знание коэффициента корреляции и связанного с ним эллипса доверительной вероятности для взаимозависимых значений a и b необходимо в ряде случаев. Например, эллипс доверительной вероятности может быть использован для определения границ полной градуировочной зависимости, т.е. границ, которые могут быть использованы для любых x , которые могут появиться в будущем.

Знание коэффициента корреляции также требуется в двух следующих

ситуациях: а) при редуцировании области доверительной вероятности для линейной зависимости, когда известно, что a и b ограничены некоторым диапазоном; б) когда желательно знать доверительные интервалы функций оцениваемых параметров (a , b).

Комментарий. Довольно популярное использование коэффициента корреляции в качестве меры совместного изменения зависимой переменной y и независимой переменной x при описании градуировочных зависимостей не рекомендуется, поскольку r относится только к статистическим связям переменных.

5.4.9. Стандартное отклонение точек от найденной зависимости (standard deviation of points about the fitted line; S_y или S_y). Оценка воспроизводимости измерений (зависимой переменной). Этот параметр также носит название *остаточной суммы отклонений* (residual standart deviation). Данный параметр рассчитывают как

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum y_j^2 - \frac{(\sum y_j)^2}{m} - \frac{\left(\sum x_j y_j - \frac{\sum x_j \sum y_j}{m}\right)^2}{\sum x_j^2 - \frac{(\sum x_j)^2}{m}}}{m-2}},$$

где $m-2=v$ есть число степеней свободы.

5.4.10. Стандартное отклонение рассчитанного значения наклона градуировочной зависимости (standard deviation of the slope; S_b). Параметр, характеризующий воспроизводимость расчета наклона найденной регрессионной зависимости:

$$S_b = \sqrt{\frac{m S_y^2}{m \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2}}.$$

5.4.11. Стандартное отклонение рассчитанного значения отрезка, отсекаемого на оси ординат (standard deviation of the intercept; S_a). Параметр, характеризующий воспроизводимость расчета отрезка, отсекаемого найденной регрессионной зависимостью на оси ординат:

$$S_a = S_b \sqrt{\frac{\sum x_j^2}{m}} = S_b x_q.$$

5.4.12. Границы доверительного интервала рассчитанного значения наклона регрессионной зависимости (confidence limits about the slope; $\pm C_b$). Границы доверительного интервала, соответствующего уровню доверительной вероятности $1 - \alpha$: $C_b = t_{p,v} S_b$.

5.4.13. Границы доверительного интервала для рассчитанного значения отрезка, отсекаемого на оси ординат (confidence limits about the intercept; $\pm C_a$). Границы доверительного интервала, соответствующего уров-

нию доверительной вероятности $1 - \alpha$: $C_a = t_{p,v} S_b$.

5.4.14. Рассчитанная величина независимой переменной (estimated value of the independent variable; $\hat{x}$). Значение независимой переменной, полученное из измеренного или выбранного значения зависимой переменной (y') при помощи уравнения регрессионной зависимости $\hat{x} = \frac{y' - a}{b}$.

5.4.15. Границы доверительного интервала для рассчитанного значения независимой переменной (confidence limits about the fitted value of the independent variable; $\pm C_x$). Границы доверительного интервала для уровня доверительной вероятности $1 - \alpha$, в который попадает рассчитанное значение независимой переменной x :

$$C_x = t_{p,v} \frac{S_y}{b} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m} + \frac{m \left(y' - \frac{\sum y_j}{m} \right)^2}{\left[m \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2 \right] b^2}}$$

Данное выражение является приближенным, поскольку случайная погрешность в b вносит некоторую асимметрию (которая может быть учтена в более строгом выражении). За исключением случаев, когда относительное стандартное отклонение b велико, вышеприведенное выражение является достаточно точным (Natrella, 1963, раздел 5-4.1).

Комментарий. Если среднее значение y' представляет собой среднее арифметическое n параллельных измерений, можно использовать следующее выражение:

$$C_x = t_{p,v} \frac{S_y}{b} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m} + \frac{m \left[y' - \frac{\sum y_j}{m} \right]^2}{\left[m \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2 \right] b^2}}.$$

5.4.16. Рассчитанное значение зависимой переменной (estimated value of the dependent variable, y). Предсказываемое значение зависимой переменной, соответствующее выбранному значению независимой переменной x' .

5.4.17. Границы доверительного интервала для рассчитанного значения зависимой переменной (confidence limits about the fitted value of the dependent variable; $\pm C_y$). Границы доверительного интервала для уровня доверительной вероятности $1 - \alpha$, в который попадает рассчитанное значение переменной y :

$$C_y = t_{p,v} S_y \sqrt{\frac{1}{m} + \frac{m \left[x' - \frac{\sum x_j}{m} \right]^2}{\left[m \sum x_j^2 - (\sum x_j)^2 \right]}}.$$

5.4.18. Минимальный значимый сигнал (minimum significant signal,

critical level; S_c). Минимальное статистически значимое значение чистого сигнала) $y-a : S_c = t_{p,v} S_0$, где $t_{p,v}$ - табличное значение t - распределения (п. 5.3.15), S_0 - рассчитанное стандартное отклонение чистого сигнала при $x = 0$: $S_c = \sqrt{S_a^2 + S_y^2}$.

Комментарий. S_c используют при принятии решения о возможности детектирования. Если наблюдаемый чистый сигнал превышает S_c , то он считается детектируемым для уровня значимости $(1 - \alpha)$, так как он представляет собой односторонний тест.

5.4.19. Предел обнаружения, минимально обнаруживаемое содержание (detection limit, minimum detectable quantity; x_D) Минимальное значение независимой переменной, которое может быть с уверенностью обнаружено (с вероятностью p) при использовании S_c как **порогового значения критерия** (decision threshold): $x_D = 2 \frac{S_c K}{b \cdot l}$, где $K = 1 + r(a, b) (S_a/S_0) \cdot t_{p,v} (S_b/b)$ и $l = 1 - t_{p,v} (S_b/b)^2$.

Комментарий. Строго говоря, как упомянуто выше, величина x_D является *оценкой* минимально обнаруживаемого содержания. Она представляет собой максимальный нулевой сигнал некоторого экземпляра градуировочной кривой. Если значение δ_y не содержит погрешности, то интервал относительной неопределенности x_D не будет превышать интервал неопределенности для наклона кривой. Если в качестве оценки σ_y используют S_y , то неопределенность x_D увеличивается на ширину доверительного интервала для δ/S . Следует отметить, что отношение $K/l = 1$ при $S_b < b/t_{p,v}$; в том случае, когда $S_b > b/t_{p,v}$, неопределенность предела обнаружения неограниченна.

6. Термины, определения и обозначения метрологических характеристик анализа вещества [21]

Накопление знаний сопровождается возрастающей неоднозначностью терминологии. Неоднозначность терминов остро проявляется в метрологии анализа вещества. Например, такие термины как «точность» и «чувствительность» разные специалисты часто понимают и используют по-разному, что затрудняет обмен научной информацией.

В 1974 г. по поручению Научного совета по аналитической химии АН СССР группой ученых составлен проект рекомендаций по унификации основных метрологических терминов.

Настоящие рекомендации включают основные термины, определения и обозначения для метрологических характеристик анализа вещества. Для каждого понятия (за исключением позиции 22) рекомендуется один термин. Нерекомендуемые термины - синонимы приведены в качестве справочных. Для ряда терминов приведены краткие формы, которые можно применять взамен полных форм в случаях, исключая возможность их неоднозначного толкования. Приведены эквиваленты терминов на английском языке.

6.1. Количество вещества, масса и концентрация

В атомистической концепции строения материи наряду с понятием «масса вещества» существует еще одно понятие «количество вещества», связанное с числом частиц. Так, роль числа частиц, совершенно независимая от массы отдельной частицы, проявляется в уравнении состояния идеального газа, давление которого p подчиняется простому соотношению: $p = kNT$, где N – число частиц в единице объема; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура. Свойства отдельных частиц при этом не имеют значения.

Количество вещества не является синонимом массы. Масса и количество вещества – две независимые физические величины, являющиеся основными физическими величинами СИ.

Появление наряду с массой вещества такой физической величины, как количество вещества, было вызвано тем, что масса оказалась величиной переменной, зависящей от скорости движения вещества и изменения его энергии при ядерных превращениях (см. п. 6.1.2). Количество вещества от его энергетических превращений и скорости движения не зависит, так как характеризует корпускулярную природу вещества.

6.1.1. Количество вещества

Любое вещество состоит из формульных (структурных) единиц или частиц (аббревиатура ФЕ). Формульные единицы в химии – это реально существующие частицы, такие, как атомы, молекулы, ионы, радикалы, условные молекулы кристаллических веществ и полимеров (KCl , $CaSO_4$ и т. п.).

Количество вещества ν (символ ν или $\nu(B)$, единица – моль) – физическая величина, пропорциональная числу формульных единиц этого вещества ($N_{фс}$): $\nu = \frac{N_{фс}}{N_A}$, где N_A – постоянная Авогадро; символами $N_{фс}$ или N_ν

принято обозначать число частиц вещества ν .

Если формула вещества ν является сложной, то допускается подстрочный индекс « ν » превратить в строчный и вместо ν писать $\nu(B)$. Например, $\nu(C_6H_5CONHCH_2COOH) = 2,5$ моль.

Один моль – это такое количество вещества которое содержит столько ФЕ, сколько атомов содержится в 0,012 кг изотопа углерода $^{12}_6C$. Число атомов в 12 г углерода $^{12}_6C$ равно постоянной Авогадро, $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$.

Слово «моль» после числа ν не склоняется. Например, 6 моль, 0,12 моль, а не 6 молей, 0,12 молей. Называть физическую величину ν «числом молей» неправильно, поскольку ν представляет собой обозначение величины, а не числа.

Не следует в термине «количество вещества» опускать слово «вещество» или переставлять слова. Недопустимо вместо «количество вещества 1 моль» писать и говорить «вещество количеством 1 моль» или «количество 1 моль вещества».

Понятие «моль» распространяется на любые формульные единицы,

можно говорить о количестве радикалов ($n_{\text{он}} = 5 \text{ моль}$), количестве электронов ($n_e = 0,7 \text{ моль}$), количестве анионов ($n_{\text{Г-}} = 1,4 \text{ моль}$).

Кроме формульных единиц в химии применяет такое понятие, как «эквивалент». Понятие эквивалента, укоренившееся в химии, появилось после работ Рихтера (1793), открывшего закон эквивалентов и предложившего новый термин «стехиометрия».

С введением новой физической величины — количества вещества — изменилось содержание понятия «эквивалент».

В некоторых химических реакциях, в частности кислотноосновных, окислительно - восстановительных, ионнообменных, принимает участие не целая формульная единица, а лишь ее часть, называемая эквивалентом.

Эквиваленты - условные частицы вещества, в Z_e раз меньшие, чем соответствующие им формульные единицы.

Например, $1/2 \text{ ФЕ } (\text{Ba}^{+2})$, $1/6 \text{ ФЕ } (\text{Al}^{3+})$, $1/6 \text{ ФЕ } (\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ или в общем случае: $\frac{\Phi(E)}{Z_e}$.

В одной формульной единице вещества B может содержаться Z_B эквивалентов этого вещества. При $Z_B = 1$ эквивалент идентичен формульной единице.

Число Z_B называют **эквивалентным числом** или **числом эквивалентности**, $Z_B > 1$. Значение Z_B определяют по химической реакции, в которой участвует данное вещество. Так, для аниона MnO_4^- в зависимости от характера реакции эквивалентное число может быть равно 1, 3 и 5. Следовательно, в этих реакциях участвуют 1, 3 и 5 эквивалентов MnO_4^- , но каждый эквивалент соответственно равен 1, $1/3$ и $1/5$ формульной единицы MnO_4^- .

Фактором эквивалентности F_B называют обратную величину эквивалентного числа $1/Z_B$. Его употребление как дробной величины менее удобно.

Определение эквивалентных чисел веществ неодинаково для обменных и окислительно-восстановительных реакций.

В обменных реакциях эквивалентное число вещества определяют по стехиометрии реакции. Если в реакции $V_A A + V_B B = V_C C + V_D D$ на 1 ФЕ вещества A требуется V_B/V_A ФЕ вещества B , то $Z_A = V_B/V_A$.

Например, для реакции $\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{KOH} = \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

$Z(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2$, так как на 1 ФЕ H_2SO_4 требуется 2 ФЕ KOH .

Для реакции $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Mg}(\text{OH})_2 = \text{MgSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

$Z(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1$, так как на 1 ФЕ H_2SO_4 требуется 1 ФЕ $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Для реакции $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 12\text{KOH} = 2\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6] + 3\text{K}_2\text{SO}_4$ на 1 ФЕ $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ требуется 12 ФЕ KOH , следовательно, эквивалентное число $Z[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$ равно 12, а эквивалентные числа $Z\text{Al}^{3+}$ и $Z\{[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}\}$ равны шести. В окислительно-восстановительных реакциях значения Z_e для окислителя и восстановителя определяют по числу электронов, которые принимает 1 ФЕ окислителя или отдает 1 ФЕ восстановителя.

Например, для полуреакции $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e^- = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ эквива-

лентное число аниона MnO_4^- равно пяти, для полуреакции $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ имеем $Z(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}) = 6$, а $Z_{\text{Cr}^{3+}} = 3$.

Применение таких терминов, как «химический эквивалент» или «окислительный», «восстановительный эквивалент», не рекомендуется.

Таким образом, из изложенного следует, что нельзя определять эквивалент как частное от деления молярной массы вещества на основность кислоты (кислотность основания, число приобретенных или потерянных электронов, сумму зарядов катиона и аниона соли). Это определение не эквивалента, а молярной массы эквивалентов вещества (см. п. 6.1.2).

Неверным будет также определение эквивалента как количества вещества, которое соединяется с 1 моль атомов водорода или замещает то же число атомов водорода в веществе в ходе химической реакции. Это определение не эквивалента, а количества вещества эквивалентов В.

Количество вещества эквивалентов В (символ $n_{\text{эк}}(\text{В})$, единица моль – физическая величина, пропорциональная числу эквивалентов вещества В, $N_{\text{эк}}(\text{В})$: $n_{\text{эк}}(\text{В}) = N_{\text{эк}}(\text{В})/N$.

Пример: $n_{\text{эк}}(2; \text{Ba}^{2+}) = 2$ моль, $n_{\text{эк}}(5; \text{KMnO}_4) = 1,5$ моль.

Цифры 2 и 5 – значения эквивалентных чисел.

Так как в одной ФЕ вещества В может содержаться $Z_{\text{в}}$ эквивалентов этого вещества, то $N_{\text{эк}}(\text{В}) = Z_{\text{в}} \cdot N_{\text{фс}}$. Отсюда $n_{\text{эк}}(\text{В}) = Z_{\text{в}} \cdot n$.

Реакция $2\text{CuSO}_4 + 4\text{KI} = 2\text{CuI} \downarrow + \text{I}_2 \downarrow + 2\text{K}_2\text{SO}_4$, к которой отвечают полуреакции: $\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + \text{e}^- = \text{CuI}$ и $2\text{I}^- - 2\text{e}^- = \text{I}_2$, связана с получением одной ФЕ катионов Cu^{2+} одного электрона. Поэтому значение $Z(\text{CuSO}_4) = 1$, а количество вещества эквивалентов CuSO_4 для этой реакции равно:

$n_{\text{эк}}(\text{CuSO}_4) = Z(\text{CuSO}_4) \cdot n(\text{CuSO}_4) = 1 \cdot 2 = 2$ моль.

Реакции $\text{KIO}_3 + 5\text{KI} + 6\text{HCl} = 3\text{I}_2 + 6\text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O}$ отвечают две полуреакции: $2\text{IO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10\text{e}^- = \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$; $2\text{I}^- - 2\text{e}^- = \text{I}_2$, для которых $Z(2\text{IO}_3^-) = 5$, а $Z_{\text{I}^-} = 1$. Таким образом, в реакции участвуют количества вещества эквивалентов KIO_3 и KI , равные 5 моль. Если в реакцию

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 14\text{HCl} = 2\text{CrCl}_3 + 3\text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{KCl} + 7\text{H}_2\text{O}$ или

$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6\text{e}^- = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$

вступил 1 моль ФЕ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ [$n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 1$ моль], а $Z(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 6$, то количество вещества эквивалентов $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, участвующего в данной реакции, $n_{\text{эк}}(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 6$ моль (6 моль условных частиц $1/6(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$).

6.1.2. Масса

Масса (символ m , единица – кг) – единственная основная единица СИ, связанная с существованием искусственно созданного материального прототипа, который может быть выбран свободно и который не требует проведения специальных опытов для обеспечения его неизменности.

Из теории относительности следует, что масса вещества не является величиной постоянной. Масса вещества зависит от скорости движения и значения энергии, сопровождающей превращения вещества. Правда, в химических реакциях, когда изменение внутренней энергии системы имеет порядок (500...1000) кДж, изменение массы не превышает 10^{-9} г, но в ядерных про-

цессах изменение массы может достигать на моль вещества 10^{-2} г и больше.

Релятивистское (от лат. *relativus* – относительный) выражение массы

m : $m = m_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{C^2}}$, где m_0 – масса покоя; V – скорость движения вещества; C – скорость света в вакууме; при $V/C \ll 1$ $m = m_0$, для фотона $V = C$, $m = 0$.

Масса вещества – физическая величина, являющаяся мерой его инерционных и гравитационных свойств. В рамках применимости нерелятивистской механики масса вещества – неизменное его свойство. Для любого вещества его инертная и гравитационная массы равны друг другу.

Понятия и термины «масса» и «вес» разделены. Понятие массы как скалярной (ненаправленной величины) следует использовать во всех тех случаях, когда имеется в виду свойство вещества, характеризующее его инерционность и способность создавать гравитационное поле. Масса не зависит от ускорения свободного падения g . Массу вещества измеряют его взвешиванием на весах. Результат взвешивания следует называть массой, а не весом. Не допустимо применять термин «вес вещества» в качестве физической величины, характеризующей вещество.

Понятие веса, которое раньше отождествляли с понятием массы, теперь используют только как понятие силы, возникающей при взаимодействии вещества с гравитационным полем. Вес пропорционален ускорению свободного падения (равен mg) и представляет векторную величину. Как и любая другая сила, вес выражается в ньютонах и определяется специальными силоизмерительными машинами и динамометрами.

Поэтому термин «вес» исключен из всех других понятий, связанных с массой вещества.

Нельзя записывать и говорить «вес навески 10 г», «закон сохранения веса веществ», следует: «масса навески 10 г», «закон сохранения массы веществ».

По сложившейся традиции сохраняют корень «вес» такие термины, как весы, взвешивание, весовая лаборатория и некоторые другие.

Относительная атомная масса элемента (символ A_r , безразмерная величина) – это средняя масса атома элемента при его природном изотопном составе, отнесенная к $1/12$ массы атома углерода $^{12}_6\text{C}$.

Например, $A_r(\text{Cs}) = 132,9054$, а $A_r(\text{P}) = 30,9738$. Подстрочный индекс «г» происходит от лат. *relativus* – относительный.

Из-за наличия у большинства элементов изотопов значения A_r не могут рассматриваться в качестве постоянной в природе величины. Она зависит от происхождения образца, содержащего исследуемый элемент. Поэтому значения A_r периодически уточняются комиссией ИЮПАК по атомным массам элементов.

Термин «атомный вес элемента» применять не рекомендуется. Он заменен на термин «относительная атомная масса элемента».

Относительная молекулярная масса (символ M_r , безразмерная вели-

чина) – это отношение средней массы вещества определенного формульного состава, включающего атомы отдельных элементов в их природном изотопном составе, к $1/12$ массы атома углерода $^{12}_6\text{C}$.

Поэтому $M_r(\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8) = 2A_r(\text{K}) + A_r(\text{S}) + 4 A_r(\text{O}) = 174,26$; $M_r(\text{WO}_3) = 231,85$; $M_r(\text{C}_6\text{H}_6) = 78,11$. В круглых скобках после символа M_r следует указывать формульный состав соединения, к которому относится относительная молекулярная масса.

Термин «молекулярный вес вещества» применять не рекомендуется. Правильным будет термин «относительная молекулярная масса вещества».

Масса молекулы любого вещества равна произведению ее относительной молекулярной массы на атомную единицу массы: $m(\text{молекулы}) = M_r$ (а.е.м).

Молярная масса вещества B (символ M_B , единица – кг/моль) – это масса вещества $B(m_B)$, деленная на количество вещества n_B : $M_B = m_B/n_B$

Размерность молярной массы: $\dim M_B = \text{MN}^{-1}$.

Термин «молярная масса» относится не только к массе моля молекул, но и к массе моля атомов, ионов, электронов и других частиц, составляющих вещество B . Например, $M_{\text{Ca}} = \text{г/моль}$, $M_{\text{Ba}^{2+}} = 137,36 \text{ г/моль}$, $M_{\text{NO}_3^-} = 62,005 \text{ г/моль}$, $M_{\text{e}^-} = 0,5486 \cdot 10^{-3} \text{ г/моль}$.

Значение молярной массы вещества B численно равно значению относительной молекулярной массы этого вещества. Например, $M_r(\text{KOH}) = 56,1$, а $M_{\text{KOH}} = 56,10 \text{ г/моль}$. Однако отождествлять молярную массу и относительную молекулярную массу не следует, так как последняя является величиной безразмерной, отличающейся по физическому смыслу от молярной массы.

Молярная масса – одна из констант данного вещества. Она определяется только составом ФЭ и не зависит от рода реакции, в которой данное вещество принимает участие.

Молярная масса эквивалентов вещества B (символ $M_{\text{эк}}(B)$, единица – кг/моль или г/моль) – это отношение массы вещества $B (m_B)$ к количеству вещества эквивалентов $B (n_{\text{эк}}(B))$: $M_{\text{эк}}(B) = m_B/n_{\text{эк}}(B)$

Так как $n_{\text{эк}}(B) = Z_B \cdot n_B$, то $M_{\text{эк}}(B) = M_B/Z_B$. Например, $M_{\text{эк}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 49,04 \text{ г/моль}$, $M_{\text{эк}}(\text{KMnO}_4) = 31,60 \text{ г/моль}$, $M_{\text{эк}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 45,02 \text{ г/моль}$. Молярная масса эквивалентов вещества B в конкретной химической реакции всегда в Z_B раз меньше молярной массы этого же вещества. Так, молярная масса KMnO_4 равна $158,03 \text{ г/моль}$, а молярная масса эквивалентов KMnO_4 как окислителя в сильно кислой среде в 5 раз меньше, $M_{\text{эк}}(\text{KMnO}_4, \text{MnO}_4^-, \text{Mn}^{+2}) = 31,60 \text{ г/моль}$. В скобках, помимо формулы вещества, указывают его окисленную и восстановленную формы.

Размерность молярной массы эквивалентов B : $\dim M_{\text{эк}}(B) = \text{MN}^{-1}$.

Использование терминов «грамм-эквивалент», «эквивалентный вес» не рекомендуется. Вместо 1 грамм-эквивалент KMnO_4 равен $31,60 \text{ г}$ или 1 эквивалентный вес KMnO_4 равен $31,60 \text{ г}$ следует писать $M_{\text{эк}}(\text{KMnO}_4, \text{MnO}_4^-, \text{Mn}^{+2}) = 31,60 \text{ г/моль}$.

6.1.3. Концентрация

Концентрация вещества – физическая величина (размерная или безразмерная), определяющая количественный состав раствора, смеси или расплава.

Наряду с температурой и давлением концентрация является основным термодинамическим параметром состояния системы. Способы выражения состава системы довольно разнообразны. Ниже приводятся только способы, рекомендуемые ИЮПАК.

Молярная концентрация вещества B или концентрация количества вещества (отношение массы растворенного вещества m_B к объему раствора: $C_B = \frac{n_B}{V_p} = \frac{m_B}{M_B V_p}$).

Распространенная сокращенная форма записи единицы молярной концентрации M = моль/л очень удобна в использовании.

Размерность молярной концентрации: $\dim c_B = L^{-3}N$.

Записи 0,1 М KCL или 0,02 М CuSO₄ означают, соответственно, децимолярный (0,1 моль/л) раствор хлорида калия и двусантимольный (0,02 моль/л) раствор сульфата меди.

Применение термина «концентрация» к числу частиц в 1 м³ или в 1 см³, а также к плотности числа частиц (единица – м⁻³) недопустимо.

Так как термин «молярность» можно спутать по созвучию с термином «моляльность», то его использование не рекомендуется. Вместо него следует применять только приведенный выше термин «молярная концентрация».

Формульная концентрация вещества B (символ F_B , единица – г/л) равна отношению формульной массы вещества, выраженной в граммах, к объему раствора (в литрах): $F_B = m_F/V_p$.

Например, согласно формуле ортофосфорной кислоты H₃PO₄ ее относительная молекулярная масса равна 97,99. Раствор, приготовленный растворением 97,99 г или 1-й формульной единицы массы (1F) в таком объеме воды, чтобы окончательный объем раствора стал равным 1 л, будет являться 1,000F раствором ортофосфорной кислоты. Различие между молярной и формульной концентрациями заключается в том, что в растворе, содержащем, например, 1 М H₃PO₄, в действительности содержится меньшее количество H₃PO₄ из-за ее протолиза: $H_3PO_4 + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + H_2PO_4^-$, $H_2PO_4^- + H_2O \leftrightarrow H_3O^+ + HPO_4^{2-}$.

Но в этих же условиях, несмотря на протолиз H₃PO₄, вполне справедливо утверждать, что в растворе находится 1F H₃PO₄.

Термин «молярная концентрация» должен относиться к концентрации только определенного рода действительно находящихся в растворе частиц (молекул или ионов), а не к их равновесной смеси.

Последнее время считают, что термин «молярная концентрация» относится не к реально присутствующему в растворе веществу, а к веществу, использованному для получения раствора. В этом случае необходимость в применении формульной концентрации отпадает.

Молярная концентрация эквивалентов вещества В (с и м в о л $c_{\text{эк}}(\text{В})$, е д и н и ц а – моль/м³ или моль/л) равна отношению количества эквивалентов вещества В $n_{\text{эк}}(\text{В})$ к объему раствора V_p : $c_{\text{эк}}(\text{В}) = n_{\text{эк}}(\text{В})/V_p = (m_{\text{В}} \cdot Z_{\text{В}})/(M_{\text{В}} \cdot V_p)$.

Сокращенное обозначение единицы молярной концентрации эквивалентов вещества «н». Размерность молярной концентрации эквивалентов: $\dim c_{\text{эк}}(\text{В}) (\text{В}) = \text{L}^{-3}\text{N}$. Из приведенных выше соотношений следует, что $c_{\text{эк}}(\text{В}) = Z_{\text{В}} \cdot c_{\text{В}}$, т. е. молярная концентрация эквивалентов вещества В в $Z_{\text{В}}$ раз больше его молярной концентрации.

Например, молярная концентрация эквивалентов KMnO_4 в 5 л водного раствора, содержащего 15,8 г KMnO_4 , равна

$$C_{\text{эк}}(\text{KMnO}_4, \text{H}_2\text{O}, Z=5) = m \cdot Z / (M \cdot V_p) = 15,8 \cdot 5 / (158,03 \cdot 5) = 0,1 \text{ моль/л.}$$

Обозначение $C_{\text{эк}}(\text{KMnO}_4, \text{H}_2\text{O}, Z=1) = 0,1$ н отвечает молярной концентрации эквивалентов перманганата калия, децинормальному водному раствору, содержащему в 1 л 158,03 г перманганата калия или единицу молярной массы этого вещества. Обозначение $c_{\text{эк}}(\text{KMnO}_4, \text{H}_2\text{O}, Z=5) = 0,01$ н отвечает молярной концентрации эквивалентов перманганата калия, сантинормальному водному раствору, содержащему в 1 л 31,60 г перманганата калия или 1/5 молярной массы этого вещества.

Сокращенное обозначение молярной концентрации эквивалентов вещества В – символ «н» набирается прямым шрифтом без кавычек и точки, как и все другие обозначения единиц.

Применение терминов «нормальность», «нормальная концентрация» не рекомендуется, как и символа для сокращенного обозначения молярной концентрации эквивалентов вещества В.

Произведение молярной концентрации эквивалентов вещества В на объем раствора V_p равно количеству эквивалентов этого вещества. Поэтому для реакции, в которой участвуют равные количества эквивалентов веществ А и В: $c_{\text{эк}}(\text{В}) \cdot V_p(\text{В}) = c_{\text{эк}}(\text{А}) \cdot V_p(\text{А})$.

Пример. Определить объем 0,32 н раствора H_2O_2 , который необходим для реакции в кислотной среде с KI , содержащемуся в 125 мл 0,14 н раствора: $V_p(\text{H}_2\text{O}_2) = c_{\text{эк}}(\text{KI}) \cdot V_p(\text{KI}) / c_{\text{эк}}(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,14 \cdot 0,125 / 0,32 = 0,055$ л.

Моляльность вещества В в растворе (символ $c_m(\text{В})$, единица – моль/кг) – это количество растворенного вещества В, деленное на массу m_s растворителя: $c_m(\text{В}) = n_{\text{В}}/m_s$.

Размерность моляльности растворенного вещества В: $\dim c_m(\text{В}) = \text{M}^{-1}\text{N}$. Сокращенное обозначение единицы моляльности моль/кг Мн.

Обозначение $c_m(\text{HCl}, \text{H}_2\text{O}) = 2,0$ моль/кг или 2,0 Мн – говорит о том, что в растворе (или смеси) на каждый килограмм воды как растворителя приходится 2 моль хлороводорода. Такой раствор называют двумоляльным.

Для ненасыщенных растворов и неизотермических условий применение моляльной концентрации предпочтительнее применения молярной концентрации, поскольку моляльная концентрация не зависит от температуры, от изменения объема раствора (смешивание реальных растворов всегда со-

проводятся изменением объема).

Массовая концентрация вещества В (символ ρ_v , γ_v , единица – г/л) – равна массе растворенного вещества В (m_v), деленной на объем раствора (V_p): $\rho_v = m_v / V_p$.

Размерность массовой концентрации: $\dim \rho_v = L^{-3}M$.

Концентрационная плотность частиц (символ β , единица – m^{-3} , cm^{-3}) – число частиц (электронов, носителей заряда, примесных атомов, ионов, молекул) или число дефектов в единице объема кристаллического вещества:

$\beta = N / V_k$, где N – число частиц или дефектов; V_k – объем, m^3 или cm^3 .

Тип раствора вещества В (символ T , единица – г/мл) – концентрация стандартного раствора, равная массе вещества В (m_v), содержащегося в 1 мл раствора: $T_v = m_v / V_p$.

Массовая доля растворенного вещества В (символ ω_v , безразмерная величина) равна отношению массы растворенного вещества В к массе раствора (m_p): $\omega_v = m_v / m_p$.

Если известны плотность ρ и объем раствора V_p , то $\omega_v = m_v / (\rho \cdot V_p)$.

При получении водного раствора кристаллогидрата или аквакомплекса В с определенным значением ω_v следует учитывать массу воды, входящую в состав кристаллогидрата или аквакомплекса (m_{aq}). Масса кристаллогидрата или аквакомплекса $m_k = m_v + m_{aq}$. Масса полученного раствора

$$m_p = m_k + m_{H_2O} = m_v + m_{aq} + m_{H_2O},$$

где m_{H_2O} – масса воды, использованной на приготовление раствора с заданным значением ω_v .

Разбавленный водный раствор вещества В (ω_v^p , m_p^p) можно получить из концентрированного водного раствора (ω_v^k , m_p^k) добавлением некоторой порции воды (m_{H_2O}). Так как масса растворенного вещества В остается неизменной при разбавлении концентрированного раствора водой, то

$$\omega_v^p \cdot m_p^p = \omega_v^k (m_p^k + m_{H_2O}) = \omega_v^k \cdot m_p^k.$$

Запись $\omega_{HCl} = 0,2$ обозначает 20 %-й раствор хлороводорода или массовая доля хлороводорода равна 20 %. Когда необходимо указать растворитель, то обозначение массовой доли вещества В принимает вид:

$\omega(HCl, C_2H_5OH) = 0,01$. Читается: массовая доля хлороводорода в этаноле равна 1 %.

Употребление терминов «процентная концентрация», «весовая дробь», «весовая часть» не рекомендуется.

Молярная доля растворенного вещества В (символ x_v , безразмерная величина) равна отношению количества этого вещества (n_v) к суммарному количеству всех веществ, входящих в состав раствора, включая растворитель: $x_v = n_v / \sum n_i$, $\sum n_i = n_v + n_1 + n_2 + \dots + n_i$.

Сумма молярных долей всех веществ раствора равна единице.

Запись $x_{KCl} = 0,02$ читается: «молярная доля хлорида калия равна 2 %» или «содержание хлорида калия равно двум молярным процентам». Термины «молярная доля», «молекулярная дробь» применять не рекомендуется.

Объемная доля растворенного вещества В (символ ϕ_v , безразмерная

величина) равна отношению объема растворенного вещества V_v) к объему раствора (V_p): $\varphi_v = V_v / V_p$.

Запись $\varphi_{CCl_4} = 0,15$ читается: «объемная доля тетрахлорида углерода равна 15 %».

Если необходимо указать значение концентрации вещества В в той или иной фазе, то применяют подстрочные индексы: г – газообразная, к – твердая и ж – жидкая фазы. Например, символы $c_{mk}(B)$ и $c_{ж}(B)$ означают соответственно моляльную и молярную концентрации вещества В в твердой и жидкой фазах. В этом случае, как это следует из примера, состав вещества указывают рядом с символом концентрации в круглых скобках.

Для обозначения начальной и конечной концентрации вещества В в той или иной химической реакции применяют подстрочные индексы соответственно 0 или 1 и 2. Например, $c_0(B)$ – исходная (начальная) молярная концентрация вещества В; $c_{m0}(B)$ – исходная (начальная) моляльная концентрация вещества В. Если одновременно необходимо указать и фазу, то символ последней включают в подстрочный индекс. Например, $c_{k0}(RbCl)$ – начальная концентрация (молярная) хлорида рубидия в твердой фазе.

При описании различного рода химических равновесий употребляют в значениях концентрационной константы равновесия K_c символ $[B]$, означающий равновесную молярную концентрацию вещества В.

Квадратные скобки – символ только равновесной молярной концентрации вещества В (моль/л). Например, для обратимой реакции протолиза слабой кислоты НА: $НА + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$ константа равновесия K_c записывается в виде $K_c = [H_3O^+][A^-] / [НА]$.

6.2. Степень чистоты вещества

6.2.1. Чистота вещества – химическое качество вещества, характеризующее его химической однородностью, определяемой примесным составом. Компоненты системы «вещество – примесь» делят по значению массовой доли компонента В условно на три группы: основной компонент, примесь и микропримесь.

6.2.2. Основной компонент – вещество, содержание которого в равновесной системе вещество – примесь является наибольшим, условно $\varphi_n = 0,50 - 1,00$.

6.2.3. Примесь – вещество другого химического или изотопного состава или другой структуры по сравнению с веществом основного компонента. Содержание примеси много меньше содержания основного компонента, условно $\omega_{II} \approx 10^{-4} - 0,01$. К примесям относят также избыток элементов основного компонента против стехиометрического состава. Для нестехиометрических соединений избыток элементов основного компонента против стехиометрического соотношения примесью не является.

6.2.4. Микропримесь – это примесь в состоянии предельного разбавления. Микропримесь в газообразном, в жидком и твердом растворах окружают лишь частицы основного компонента. В отличие от примеси микропримесь не изменяет свои физико-химические свойства при дальнейшем уменьшении

ее концентрации и поэтому значения ее констант распределения между фазами остаются постоянными. Такие свойства микропримесей приобретает, когда ее содержание не превышает значения массовой доли $\omega_{МП} = 10^{-8}$ ($10^{-6}\%$), если она является электролитом, или значения $\omega_{МП} = 10^{-4}$ ($10^{-2}\%$), если она является неэлектролитом. Эти предельные значения содержания микропримеси носят ориентировочный характер и зависят от свойств компонентов системы «вещество – примесь».

В зарубежной литературе используют термины: «следы» (синоним «примеси») $\omega_c = 10^{-4} - 10^{-10}$ и «микроследы» (синоним «микропримеси») $\omega_{МС} = 10^{-13} - 10^{-10}$. Предлагается также применять термины: нанопри́месь (наноследы), $\omega_{НП} = 10^{-16} - 10^{-13}$ и пикопри́месь (пикоследы) $\omega_{П} = 10^{-19} - 10^{-16}$.

Использование термина «следы» и его производных вряд ли целесообразно. «Следы», по толкованию значения слова, – это концентрации, которые едва могут быть обнаружены современными средствами аналитического контроля. Следовательно, конкретное значение «следа» с течением времени может изменяться в зависимости от уровня развития аналитической химии.

6.2.5. Степень чистоты вещества (символ Σ , единица – массовая доля) – отношение суммарного содержания нормируемых примесей к их общему числу: $S = \Sigma \omega_{П} / N$, где $\omega_{П}$ – содержание каждой примеси в массовых долях; N – общее число нормируемых примесей.

Степень чистоты вещества – среднеарифметическое значение условной единицы нормируемой примеси. Например, в нитрате свинца найдено: Fe – 0,001 %; Cu – 0,0005 %; Ca – 0,01 %; Na – 0,001 %; Cl – 0,002 %; Ag – 0,001 %; CO_3 – 0,1 %; NH_4 – 0,005 %; Mn – 0,003 %; SO_4 – 0,02 %. Сумма $\omega_{П}$ будет равна $1,41 \cdot 10^{-3}$, а степень чистоты – $1,41 \cdot 10^{-4}\%$, причем степень чистоты нитрата свинца определяют в основном примеси катионов Ca^{2+} и анионов CO_3^{2-} , SO_4^{2-} . Чем меньше суммарное содержание нормируемых примесей и чем больше их число, тем выше степень чистоты вещества. По степени чистоты все вещества делят на три группы: технические продукты, химические реактивы и особо чистые вещества.

6.2.6. К техническим продуктам относят вещества, в которых содержание примесей может колебаться от 1 до 10 % и выше.

В группу *химических реактивов* включены вещества с содержанием примесей от 10^{-5} до 1 %. Химические реактивы подразделяют по их степени чистоты на три вида: чистые вещества (марка «ч», содержание основного компонента не ниже 98 %, а отдельных примесей от 10^{-5} до 1 %), чистые для анализа (марка «чда», содержание основного компонента не ниже 99 %, а отдельных примесей от 10^{-5} до 0,1 %) и химически чистые вещества (марка «хч», содержание основного компонента не ниже 99 %, а отдельных примесей от 10^{-5} до 0,01 %).

6.2.7. Особо чистое вещество – вещество с таким содержанием нормируемых микропримесей, когда дальнейшее уменьшение их концентрации либо не изменяет примесно-чувствительных свойств, либо изменяет их линейно. Особо чистые вещества представляют собой предельно разбавленные

растворы по содержанию различных микропримесей. В особо чистых веществах частицы микропримесей настолько разобщены друг от друга частицами основного компонента, что их энергетическое взаимодействие полностью исключено. Поэтому многие термодинамические функции особо чистых веществ (парциальный молярный объем, парциальная энтальпия, парциальная энергия Гиббса, коэффициент активности) от концентрации микропримесей не зависят.

При концентрации микропримесей меньше (10^{-6} – 10^{-12}) % вещества уже следует называть сверхчистыми, возможность получения таких веществ проблематична.

6.2.8. Абсолютно чистое вещество – гипотетическое вещество с определенным изотопным составом слагающих его элементов, не содержащее никаких химических примесей.

Появление абсолютно чистого вещества сразу же вызвало бы возникновение самопроизвольного и необратимо протекающего интенсивного процесса растворения в этом веществе составных частей окружающей среды.

В таблице приведены сокращенные обозначения единиц концентраций примесей, встречающихся в литературе.

Система классификации особо чистых веществ по содержанию примесей состоит из буквенных обозначений и цифровых индексов.

Например, если диоксид кремния имеет марку качества ОСЧ 10 – 5, то это означает, что он отнесен к категории особо чистых веществ (аббревиатура ОСЧ), в нем нормируется присутствие десяти примесей, суммарная массовая доля которых составляет $1 \cdot 10^{-5}$ % (второй индекс, цифра 5, является отрицательным десятичным логарифмом суммарной массовой доли нормируемых десяти примесей). Таким образом, массовая доля каждой из десяти примесей будет равна $1 \cdot 10^{-6}$ %.

Если в особо чистом веществе присутствуют как органические, так и неорганические примеси, то марка качества, характеризующая особо чистое состояние вещества, усложняется. Например, некоторое особо чистое вещество имеет марку качества ОСЧ 15 – 6, ОП 3 – 4. Аббревиатура ОП означает «органические примеси», а цифровые индексы 3 – 4 имеют тот же смысл, что и индексы, следующие за аббревиатурой ОСЧ.

6.2.9. Обозначения единиц концентраций примеси

Международное	Русское		Другое
ppm	млн ⁻¹ ;	$1 : 10^6$	мкг/г
ppb	млрд ⁻¹ ;	$1 : 10^9$	нг/г
ppt	трлн ⁻¹ ;	$1 : 10^{12}$	пг/г
ppquad	квдрл ⁻¹ ;	$1 : 10^{15}$	фг/г

7. Рекомендации Комиссии по терминологии Научного совета РАН по аналитической химии [22]

7.1. Физические величины - общие рекомендации

Написание термина «физическая величина» соответственно на английском, немецком, итальянском и испанском языках имеет вид: «physical quantity», «physikalische Größe», «grandezza fisica» и «magnitud fisica».

7.1.1. Физическая величина эквивалентна произведению численного значения, т. е. чистого числа, на единицу измерения:

(физическая величина) = (численное значение) · (единица измерения).

Или в символьном виде: $a = \{a\} \cdot [a]$, где $\{a\}$ характеризует численное значение, а $[a]$ является символом единицы измерения. Безразмерные физические величины часто не имеют ни специального наименования, ни символа для обозначения единицы измерения, и она явно не указывается.

Примеры: $E = 200$ Дж, $n = 1,55$ (для кварца), $F = 27$ Н, $\nu = 3 \cdot 10^8$ Гц.

7.1.2. Обозначения физических величин — общие правила

1. Обозначениями (символами) физических величин должны быть отдельные буквы латинского или греческого алфавитов, снабженные или нет дополнительными метками: нижними и верхними индексами, штрихами и т.д.

Замечания:

а) исключением из этого правила являются двухбуквенные символы, используемые для обозначения безразмерных комбинаций физических величин. Если такой символ, составленный из двух букв, стоит в виде множителя в каком-либо произведении, то рекомендуется отделить его от других символов с помощью точки, пропуска или скобок. Указанную величину можно возвести в положительную или отрицательную степень, не вводя дополнительных скобок.

б) сокращения, т. е. укороченные формы названий или выражений, например, такие, как *r.f.* для функции разбиения, не должны использоваться при записи физических уравнений. Эти сокращения в тексте следует набирать обычным прямым шрифтом.

2. Обозначения физических величин должны записываться в виде курсива (т. е. наклонно).

Замечание. В качестве основополагающего принципа при написании разного рода индексов рекомендуется следующий критерий: курсивом следует записывать лишь те индексы, которые являются символами физических величин.

Примеры:

Прямые индексы	Наклонные индексы
C_g (g — газ)	p в C_p
g_n (n — нормальный)	p в $\sum_n a_n \Psi_n$

μ_i (г — относительный)	x в $\sum_x a_x b_x$
E_k (к — кинетический)	i, k в g_{ik}
χ_e (е — электрический)	x в p_x

3. *Обозначения векторов и тензоров.* Чтобы избежать употребления дополнительных нижних индексов, часто бывает удобно использовать для обозначения векторов и тензоров второго ранга буквы специального вида. Рекомендуется следующий выбор шрифтов:

а) для обозначения векторов следует пользоваться полужирным (курсивным) шрифтом, например, A, a ;

б) для обозначения тензоров второго ранга следует пользоваться полужирным рубленным шрифтом, например, S, T .

Замечание. При отсутствии указанных шрифтов можно воспользоваться при обозначении векторных величин одной стрелкой, а тензорных — двумя стрелками, проставленными сверху соответствующего символа: $\vec{A}, \vec{S}$.

7.1.3. Простые математические действия обозначают следующим образом:

Сложение и вычитание двух физических величин: $a + b$ и $a - b$.

Умножение двух физических $ab, a \cdot b, a \times b$.

Деление одной величины на другую $y, a/b, ab^{-1}$ или любыми другими способами записи результата умножения для величин a и b^{-1} .

Рассмотренные операции обобщаются на случаи когда одна из величин или обе величины вместе представляют, в свою очередь, произведения, отношения, суммы или разности других величин.

При необходимости записи более сложных выражений можно воспользоваться скобками, которые употребляются так же, как это принято в математике. Если косая черта используется для отделения числителя дроби от ее знаменателя и если возникают сомнения относительно того, откуда начинается числитель и где кончается знаменатель, то в этих случаях предпочтительнее воспользоваться скобками.

Примеры:

Выражения с горизонтальной чертой	Те же выражения с косой чертой	Выражения с горизонтальной чертой	Те же выражения с косой чертой
$\frac{a}{bcd}$	$a/(bcd)$	$\frac{a}{(b-c)}$	$a/(b-c)$
$\frac{2}{9} \sin kx$	$(2/9) \sin kx$	$\frac{(a-b)}{(c-d)}$	$(a-b)/(c-d)$
$\frac{a}{b} - c$	$a/b - c$	$\frac{a}{c} - \frac{b}{d}$	$a/c - b/d$

Замечание. Всегда рекомендуется в выражениях типа

$$\sin \left[\frac{2\pi(x-x_0)}{\lambda} \right], \exp \left[\frac{-V(r)}{kT} \right], \exp \left\{ \frac{(r-r_0)}{\sigma} \right\}, \sqrt{\frac{\epsilon}{c^2}}$$

помещать аргумент функций в скобки; исключение из этого правила относится к случаю, когда искомый аргумент представляет собой простое произведение двух величин, например $\sin kx$. Использование скобок становится необязательным при употреблении знака квадратного корня с верхней горизонтальной чертой.

7.2. Единицы измерения - общие рекомендации

7.2.1. Обозначения единиц измерения - общие правила

Для обозначения единиц измерения физических величин следует пользоваться прямым шрифтом.

Обозначения единиц измерения не должны включать в себя точек и должны оставаться неизменными во множественном числе, например 7 см (см), но не 7 cms.

Символы единиц измерения следует набирать прямым строчным шрифтом. Однако в случае, если символ единицы происходит от имени собственного, первая буква в его написании должна отвечать прописной букве латинского алфавита, например: м (метр), А (ампер), Вб (вебер), Гц (герц).

7.2.2. Приставки - общие правила

1. Приставки, используемые для образования десятичных кратных и дольных единиц.

деци	($= 10^{-1}$)	д	Дека	($= 10^1$)	да
санتي	($= 10^{-2}$)	с	Гекто	($= 10^2$)	г
милли	($= 10^{-3}$)	м	Кило	($= 10^3$)	к
микро	($= 10^{-6}$)	мк	Мега	($= 10^6$)	М
нано	($= 10^{-9}$)	н	Гига	($= 10^9$)	Г
пико	($= 10^{-12}$)	п	Тера	($= 10^{12}$)	Т
фемто	($= 10^{-15}$)	Ф	Пета	($= 10^{15}$)	П
атто	($= 10^{-18}$)	а	Экса	($= 10^{18}$)	Э

2. Не следует пользоваться составными приставками, образованными путем комбинации двух или более приведенных выше приставок.

Не следует	Следует
ммкс	нс (наносекунды)
кМВт	ГВт (гигаватт)
мкмкФ	пФ (пикофарада)

3. В случае, когда приставка помещена перед символом единицы, следует рассматривать образовавшуюся комбинацию из двух символов в качестве одного нового символа, который можно возводить в положительную или отрицательную степень без привлечения скобок.

Примеры: см^3 , мА^2 , мкс^{-1} .

Замечание: см^3 всегда обозначает $(0,01 \text{ м})^3$, но отнюдь не $0,01 \text{ м}^3$; мкс^{-1} всегда обозначает $(10^{-6} \text{ с})^{-1}$, но отнюдь не 10^{-6} с^{-1} .

7.2.3. Математические действия

1. Умножение двух единиц измерения можно представить одним из следующих способов: $N \cdot m$ или $N \cdot m$.

2. Деление одной единицы измерения на другую можно представить одним из следующих способов: $\frac{m}{c}$, m/c , $m \cdot c^{-1}$, или любым другим способом записи результата умножения единиц m и c^{-1} . Не следует пользоваться при этом более чем одной косой чертой.

Примеры:

Не следует	Следует
$cm/c/c$	$cm/c^2 = cm \cdot c^{-2}$
$DJ/K/моль$	$DJ/(K \cdot моль) = DJ \cdot K^{-1} \cdot моль^{-1}$

7.2.4. Числовые значения

1. Цифры должны набираться *прямым шрифтом*.

2. Символом записи числа в *десятичной системе* является запятая, написанная в линию к основной строке (,). В документах на английском языке можно использовать для этой цели как запятую, так и точку (.).

Если величина числа не превышает единицу, то перед десятичным знаком должен стоять ноль.

3. Знаком умножения чисел является крестик (x) или точка на уровне середины строки (·). Если точка используется в качестве десятичного знака, то для обозначения действия умножения ее привлекать не следует.

Пример: $2,3 \times 3,4$ или $2,3 \cdot 3,4$.

4. Деление одного числа на другое можно обозначить следующими способами:

$$\frac{136}{237,15} \quad , \quad 136/237,15$$

или путем записи результата этого действия в виде произведения числителя и обратной степени знаменателя. В этих случаях число, возведенное в обратную степень, никогда не следует заключать в скобки.

Замечание. Если при записи чисел используется косая черта и если имеются сомнения относительно того, откуда начинается числитель и где кончается знаменатель, то в этих случаях следует воспользоваться скобками аналогично рассмотренному выше случаю написания физических величин (см. 7.1.3).

5. С целью облегчить прочтение *больших чисел* можно провести группировку цифр в *разряды по три*, но употреблять с этой целью запятые или точки, за исключением случая простановки десятичного знака, не следует.

Пример: 2 573,421 736.

7.3. Обозначения химических элементов, нуклидов и элементарных частиц

1. Символы химических элементов следует писать с помощью прямого

шрифта. После символа элемента точка не ставится.

Примеры: Са ; С ; Н ; Нс.

2. Число нуклонов (массовое число) нуклида обозначается с помощью левого верхнего индекса (например, ^{14}N).

3. Нижний правый индекс используется для обозначения числа атомов определенного нуклида в молекуле (например, $^{14}\text{N}_2$).

4. В случае необходимости верхний правый индекс следует использовать для обозначения степени ионизации (например, Ce^{2+} , PO_4^{3-}) или возбужденного состояния (например, $^{110}\text{Ag}^m$, He^*).

5. Спектроскопическим обозначением z -кратно ионизованного атома служит римская цифра $z + 1$, следующая за символом химического элемента.

Примеры: СаII, AlIII, HI (спектроскопическое обозначение нейтрального атома водорода).

Замечание. Римские цифры, проставляемые на месте верхнего правого индекса, могут указывать степень окисления (например, $\text{Pb}_2^{\text{II}}\text{Pb}^{\text{IV}}\text{O}_4$, $\text{K}_6\text{M}^{\text{IV}}\text{Mo}_9\text{O}_{32}$, где М - символ металла).

6. Обозначения элементарных частиц и квантов.

Нуклон	N	Ω- частица	Ω	К-мезон	K
Протон	P	Дейтерон	d	Электрон	e
Нейтрон	N	Тритон	t	Мюон	μ
Λ- частица	Λ	Гелион ($^3\text{He}^2+$)	h	Нейтрино	ν
Σ - частица	Σ	α - частица	α	Фотон	γ
Ξ - частица	Ξ	Пион	π		

Заряд частицы можно указать путем добавления верхнего индекса +, - или 0.

Примеры: π^- , π^0 , p^+ , p^- , e^- , e^+ .

Если символы p и e употребляются без обозначения зарядового состояния, то они соответственно характеризуют положительно заряженный протон и отрицательно заряженный электрон.

Метка в виде черты «—», или иногда в виде тильды «~», над символом элементарной частицы используется для обозначения соответствующей античастицы.

7.4. Квантовые состояния

7.4.1. Общие правила

Обозначение квантового состояния системы следует набирать прямым шрифтом для прописных букв.

Обозначение квантового состояния отдельной частицы следует набирать шрифтом для строчных букв.

7.4.2. Атомная спектроскопия

Электронная конфигурация атомной системы обозначается набором символов: $(nl)^k (n'l')^{k'} \dots$. Вместо указания значений l С, 1, 2, 3 ... можно использовать буквенные символы квантового состояния s, p, d, f ...

Пример : конфигурация атомных электронов $(1s)^2 (2s)^2 (2p)^3$.

Для обозначения квантовых состояний атомных систем используются буквенные символы:

$L, l = 0 : S, s$	$L, l = 4 : G, g$	$L, l = 8 : L, l$
$= 1 : P, p$	$= 5 : H, h$	$= 9 : M, m$
$= 2 : D, d$	$= 6 : I, i$	$= 10 : N, n$
$= 3 : F, f$	$= 7 : K, k$	$= 11 : O, o$

Нижний правый индекс используется для обозначения квантового числа J или j полного углового момента. Верхний левый индекс указывает мультиплетность терма $(2S+1)$.

Пример: $^2P_{3/2}$ - состояние ($J = 3/2$, мультиплетность терма 2),
 $p_{3/2}$ - электрон ($j = 3/2$).

7.4.3. Молекулярная спектроскопия

Для линейных молекул используются следующие буквенные обозначения ее электронных состояний:

$\Lambda, \lambda = 0 : \Sigma, \sigma$
$= 1 : \Pi, \pi$
$= 2 : \Delta, \delta$

В случае нелинейных молекул соответственно: $A, \epsilon; B, b; E, e$ и т. д.

Замечания. Верхний левый индекс служит для обозначения мультиплетности терма. В случае молекул, обладающих центром симметрии, принято писать индексы четности g или u (gerade (нем.) – четный, ungerade (нем.) – нечетный) характеризующие симметрию волновой функции относительно операции инверсии электронных координат нижнего правого индекса. Симметрия молекулы относительно операции отражения в любой плоскости, проходящей через ось симметрии молекулы, характеризуется знаками $+$ или $-$, проставляемыми в виде правого индекса при символе терма.

Примеры: $\Sigma^g, \Pi_u, ^2\Sigma, ^3\Pi$ и т.д.

В случае линейных молекул для обозначения углового момента колебательных состояний используются следующие буквенные символы:

$l = 0 : \Sigma$
$= 1 : \Pi$
$= 2 : \Delta$

7.4.4. Ядерная спектроскопия

Ядерное состояние характеризуется спином и четностью с помощью комбинации символов J^π , где индекс четности π принимает значения $+$ и $-$ соответственно в случае четного и нечетного состояния.

Примеры: $3^+, 2^-$ и т. д.

В рамках модели оболочек ядерная конфигурация представляется с помощью символической записи $(nlj)^k (n' l' j')^{k'}$, где первая скобка характеризует протонную оболочку, а вторая — нейтронную оболочку. Отрицательные значения k и k' соответствуют дыркам в заполненной оболочке. Вместо ука-

зания значений $l = 0, 1, 2, 3 \dots$ можно использовать буквенные символы квантового состояния s, p, d, f...

Пример: ядерная конфигурация: $(1d_{3/2})^3 (1f_{7/2})^2$.

7.4.5. Спектроскопические обозначения переходов

Верхний и нижний уровни маркируются соответственно как ' и ''.

Примеры: $h\nu = E' - E''$, $\sigma = T' - T''$.

Спектроскопическое обозначение перехода составляется путем записи вначале символа верхнего состояния, затем — символа нижнего состояния, которые связываются чертой.

Примеры: ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2S_{1/2}$: электронный переход,
 $(J', K') \rightarrow (J'', K'')$: вращательный переход,
 $v' \rightarrow v''$: колебательный переход.

Переходы с поглощением и испусканием излучения можно отмечать соответственно стрелками $\leftarrow$ и $\rightarrow$.

Примеры: ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2S_{1/2}$ — испускание излучения при переходе с уровня ${}^2P_{1/2}$ на уровень ${}^2S_{1/2}$;

$(J', K') \leftarrow (J'', K'')$ — поглощение излучения при переходе с уровня (J'', K'') на уровень (J', K') .

Разность двух квантовых чисел отвечает разности квантовых чисел верхнего и нижнего состояний.

Пример: $\Delta J = J' - J''$.

Различные ветви вращательных полос следует обозначать следующим образом:

$$\begin{aligned}\Delta J = J' - J'' &= -2 && : \text{O-ветвь} \\ &= -1 && : \text{P-ветвь} \\ &= 0 && : \text{Q-ветвь} \\ &= +1 && : \text{R-ветвь} \\ &= +2 && : \text{S-ветвь}\end{aligned}$$

7.5. Терминология

7.5.1. Использование терминов «удельный» и «молярный»

Употребление слова «удельный» (в английском написании «specific») по отношению к экстенсивным физическим величинам следует ограничивать рамками смыслового значения «деленный на массу (массу системы, если она состоит из более чем одной компоненты или фазы вещества)».

Примеры: удельный объем = объем/масса,
удельная энергия = энергия/масса,
удельная теплоемкость = теплоемкость/масса.

Употребление слова «молярный» (англ. «molar») по отношению к экстенсивным физическим величинам следует ограничивать рамками смыслового значения «деленный на количество вещества (количество вещества для системы, если она состоит из более чем одной компоненты или фазы вещества)».

Примеры: молярный объем = объем/количество вещества,
 молярная энергия = энергия/количество вещества,
 молярная теплоемкость = теплоемкость/количество вещества.

Символ X_B , где X характеризует какую-либо экстенсивную величину, а B является химическим символом вещества, служит для обозначения парциальной молярной величины, определенной по отношению к веществу B соотношением $X_B = (\partial X / \partial n_B)_{T,p,n_c, \dots}$.

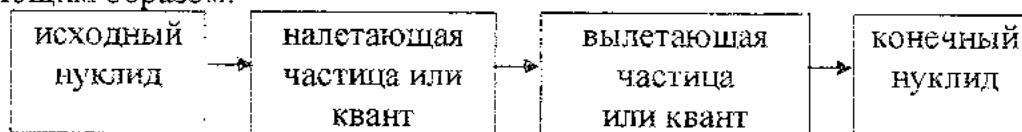
В случае чистого вещества B парциальная молярная величина X_B оказывается идентичной с молярной величиной X_m . Парциальную молярную величину X_B для чистого вещества B , которая идентична молярной величине X_m чистого вещества B , можно обозначить символом X_B^* , где верхний индекс «*» заменяет слово «чистый». Таким путем устанавливается различие между введенной величиной и парциальной молярной величиной X_B для вещества B , представляющего собой смесь различных компонент.

7.5.2. Система обозначений ковариантного характера связи

S - скалярная связь, A - аксиально-векторная связь, V - векторная связь, P - псевдоскалярная связь, T - тензорная связь.

7.5.3. Сокращенная система обозначений ядерной реакции

Смысловое значение символической записи реакции раскрывается следующим образом:



Примеры: $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$, $^{59}\text{Co}(n, \gamma)^{60}\text{Co}$, $^{23}\text{Na}(\gamma, 3n)^{20}\text{Na}$, $^{31}\text{P}(\gamma, pn)^{29}\text{Si}$.

7.5.4. Характер переходов

Мультиполярность перехода:

электрический	или	магнитный	монополь:	$E0$	или	$M0$
	то же		диполь:	$E1$	или	$M1$
	то же		квадруполь:	$E2$	или	$M2$
	то же		октуполь:	$E3$	или	$M3$
	...		...	...	...	...
	то же		2^n -поль:	E_n	или	M_n

Изменение четности при переходе:

переход с изменением четности: да,
 переход без изменения четности: нет.

7.5.5. Нуклид

Слово *нуклид*, а не *изотоп*, должно употребляться для обозначения разновидностей атомов, идентичных по своему атомному номеру (числу протонов) и массовому числу (числу нуклонов).

Различные нуклиды, имеющие один и тот же атомный номер, следует определять как *изотопы* или *изотопные нуклиды*.

Различные нуклиды, обладающие одним и тем же массовым числом, следует определять как *изобары* или *изобарные нуклиды*.

7.5.6. Описание поляризационных эффектов (мэдисонское соглашение)

В символической записи ядерной реакции $A(b, c)D$ стрелка над символом обозначает частицу, первоначально находящуюся в поляризованном состоянии или частицу, состояние поляризации которой измеряется.

Примеры:

$A(\overrightarrow{b}, c)D$: поляризованный падающий пучок;

$A(\overrightarrow{b}, \overrightarrow{c})D$: поляризованный падающий пучок; измеренная поляризация вылетающей частицы c (перенос поляризации);

$A(\overline{b}, \overrightarrow{c})D$: неполяризованный падающий пучок; измеренная поляризация вылетающей частицы c ;

$\overline{A}(b, c)D$: неполяризованный пучок падает на поляризованную мишень;

$\overline{A}(\overline{b}, \overrightarrow{c})D$: неполяризованный пучок падает на поляризованную мишень; измеренная поляризация вылетающей частицы c ;

$A(\overline{b}, c)\overline{D}$: поляризованный падающий пучок; измерение поляризации мишени.

7.5.7 Знак вектора поляризации (базельское соглашение)

В ядерных взаимодействиях направление положительной поляризации частиц со спином $1/2$ берется по векторному произведению $\mathbf{k}_1 \times \mathbf{k}_0$, где $\mathbf{k}_1$ и $\mathbf{k}_0$ - волновые векторы падающей и вылетающей частиц.

7.6. Рекомендуемые обозначения физических величин

7.6.1. Пространство и время

1	2
Пространственные координаты	(x, y, z)
Вектор положения	r
Длина	l
Ширина	b
Высота	h
Радиус	r
Толщина	d, δ
Диаметр: $d = 2r$	d
Элемент пути	ds
Площадь	A, S
Объем	V, (v)
Плоский угол	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \vartheta, \varphi$
Телесный угол	ω, Ω
Длина волны	λ
Волновое число: $\sigma = 1/\lambda$	σ^*)
*) В молекулярной спектроскопии принят также символ ν .	

1	2
Волновой вектор	σ
Круговое (циклическое) волновое число: $k = 2\pi/\lambda$	k
Круговой (циклический) волновой вектор	k
Постоянная затухания: $F(x) = \exp(-\alpha x) \cos \beta x$	α
Фазовая постоянная	β
Постоянная распространения: $\gamma = a + ip$	γ
Время	t
Период, время периода	T
Частота: $\nu = 1/T$	ν, f
Круговая (циклическая) частота, угловая частота, пульсация: $\omega = 2\pi\nu$	ω
Время релаксации: $F(t) = \exp(-t/\tau)$	τ
Коэффициент затухания: $F(t) = \exp(-\delta t) \sin \omega t$	δ
Логарифмический декремент: $\Lambda = T\delta = T/\tau$	Λ
Скорость: $v = ds/dt$	u, v
Угловая скорость: $\omega = d\phi/dt$	ω
Ускорение: $a = dv/dt$	a
Угловое ускорение: $\alpha = d\omega/dt$	α
Ускорение свободного падения	g
Нормальное ускорение свободного падения	g_n
Скорость света в вакууме v/c	c
Релятивистские координаты: $x_0 = ct, x_1 = x, x_2 = y, x_3 = z, x_4 = ict$	$(x_0 x_1 x_2 x_3)$ $(x_1 x_2 x_3 x_4)$
7.6.2. Механика	
Масса	m
Плотность (массы): $\rho = m/V$	ρ
Относительная плотность: $d = \rho/\rho(\text{H}_2\text{O})$	d
Удельный объем: $v = V/m = 1/\rho$	v
Приведенная масса: $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$	μ
Импульс: $p = mv$	p
Угловой момент (момент количества движения): $L = r \cdot p$	L
Момент второго порядка плоской фигуры: $I_a = \int x^2 dx dy$	I_a
Полярный момент второго порядка плоской фигуры: $I_p = \int (x^2 + y^2) dx dy$	I_p
Момент инерции: $I_z = \int (x^2 + y^2) dm$	I, J
Сила	F
Вращающий момент, момент пары сил	T
Вес	$G, (W, P)$
Момент силы	M

1	2
Давление	p
Нормальное напряжение	σ
Тангенциальное напряжение	τ
Гравитационная постоянная: $F(r) = Gm_1m_2/r^2$	G
Линейная деформация, относительное удлинение: $\varepsilon = \Delta l / l_0$	ε
Модуль упругости, модуль Юнга: $\sigma = E\varepsilon$	E
Сдвиговая деформация	γ
Модуль сдвига: $\tau = G\gamma$	G
Объемная деформация, деформация всестороннего сжатия: $\theta = \Delta V / V_0$	θ
Модуль всестороннего сжатия: $p = -K\theta$	K
Отношение Пуассона	μ, ν
Вязкость	$\eta, (\mu)$
Кинематическая вязкость: $\nu = \eta / \rho$	ν
Коэффициент трения	$\mu, (f)$
Поверхностное натяжение	γ, σ
Энергия	E, W
Потенциальная энергия	E_p, V, Φ
Кинетическая энергия	E_k, T, K
Работа	W, A
Мощность	P
Коэффициент полезного действия	η
Функция Гамильтона	H
Функция Лагранжа	L
Главная функция Гамильтона (действие): $W = \int L dt$	W, S_p
Характеристическая функция Гамильтона: $S = 2 \int f dt$	S
Обобщенная координата	q, q_i
Обобщенный импульс	p, p_i
Интеграл действия (фазовый интеграл): $J = \oint p dq$	J
7.6.3. Молекулярная физика	
Число молекул	N
Плотность числа молекул: $n = N/V$	n
Постоянная Авогадро	L, N_A
Масса молекулы	m
Вектор скорости молекулы и его компоненты	$\mathbf{c}, (c_x, c_y, c_z)$ $\mathbf{u}, (u_x, u_y, u_z)$
Вектор положения молекулы и ее координаты	$\mathbf{r}, (x, y, z)$
Вектор импульса молекулы и его компоненты	$\mathbf{p}, (p_x, p_y, p_z)$

1	2
Средняя скорость (вектор)	$\mathbf{c}_0, \mathbf{u}_0, \langle \mathbf{c} \rangle, \langle \mathbf{u} \rangle$
Средняя скорость (численное значение)	$\bar{c}, \bar{u}, \langle c \rangle, \langle u \rangle$
Наиболее вероятная скорость (численное значение)	$\bar{c}, \bar{u}$
Длина свободного пробега	$\bar{l}$
Энергия притяжения молекулы	ε
Энергия взаимодействия молекул i и j	Φ_{ij}, V_{ij}
Функция распределения по скоростям: $n = \int f dc_x dc_y dc_z$	$f(\mathbf{c})$
Функция Больцмана	H
Обобщенная координата	q
Обобщенный импульс	p
Объем в фазовом пространстве (γ -пространстве)	Ω
Термодинамическая (абсолютная) температура	T
Постоянная Больцмана	k
$1/kT$ (в экспоненциальных функциях)	β
Молярная (универсальная) газовая постоянная	R
Функция разбиения	Q, Z
Показатель симметрии	s
Коэффициент диффузии	D
Коэффициент термодиффузии	D_T
Термодиффузионное отношение	k_T
Термодиффузионный фактор	α_T
Характеристическая температура	Θ
Дебаевская температура: $\Theta_D = h\nu_D/k$	Θ_D
Эйнштейновская температура: $\Theta_E = h\nu_E/k$	Θ_E
Вращательная температура: $\Theta_r = h^2/(8\pi^2Ik)$	Θ_r
Колебательная температура: $\Theta_v = h\nu/k$	Θ_v
7.6.4. Термодинамика	
Чтобы отличать молярные величины от величин, относящихся ко всей системе в целом, вводят дополнительный индекс m . Для обозначения удельных величин (см. 7.5.1) используют строчные буквы.	
Количество тепла	Q
Работа	W, A
Термодинамическая (абсолютная) температура	T
Температура по шкале Цельсия	t, θ
В случае совместного использования температуры по шкале Цельсия и времени символ t сохраняется за временем	
Энтропия	S
Внутренняя энергия	U
Функция Гельмгольца (свободная энергия): $F = U - TS$	F
Энтальпия (тепловая функция): $H = U + pV$	H

1	2
Функция Гиббса (термодинамический потенциал Гиббса): $G = H - TS$	G
Функция Мазо $J = - F/T$	J
Функция Планка: $Y = - G/T$	Y
Коэффициент давления: $\beta = (\partial p / \partial T)_v$	β
Относительный коэффициент давления: $\alpha_p = - (1/p) X (\partial p / \partial T)_v$	α_p
Сжимаемость (изотермическая): $\kappa = - (1/V) (\partial V / \partial p)_T$	κ
Коэффициент линейного расширения	α_l
Коэффициент объемного расширения: $\alpha = (1/V) X (\partial V / \partial T)_p$	α, γ
Коэффициент теплопроводности	λ
Удельная теплоемкость: $c = C/m$	c_p, c_v
Теплоемкость	C_p, C_v
Коэффициент Джоуля - Томсона	μ
Изэнтропический показатель: $k = - (V/p) X (\partial p / \partial V)_s$	k
Скорость потока тепла	$\Phi, (q)$
Отношение удельных теплоемкостей	$\gamma, (\kappa)$
В случае идеального газа изэнтропический показатель k совпадает с отношением удельных теплоемкостей γ	
Плотность потока тепла	$q, (\phi)$
Коэффициент температуропроводности: $a = \lambda / (\rho c_p)$	a
7.6.5. Электричество и магнетизм	
Количество электричества	Q
Плотность зарядов	ρ
Плотность поверхностного заряда	σ
Электрический потенциал	V, ϕ
Разность потенциалов, напряжение	U, V
Электродвижущая сила	E
Напряженность электрического поля	E
Электрический поток (поток электрического смещения)	ψ
Электрическое смещение (электрическая индукция)	D
Емкость	C
Диэлектрическая постоянная: $D = \epsilon E$	ϵ
Диэлектрическая проницаемость вакуума, электрическая постоянная	ϵ_0
Поляризованность диэлектрика (интенсивность поляризации): $D = \epsilon_0 E + P$	P
Относительная диэлектрическая проницаемость, электрическая постоянная	ϵ_r

Продолжение табл. 7.6

1	2
Диэлектрическая восприимчивость	χ_e
Поляризуемость	α, γ
Электрический момент диполя	p
Электрический ток	I
Плотность электрического тока	j, J
Напряженность магнитного поля	H
Разность магнитных потенциалов	U_m
Магнитодвижущая сила: $F_m = \oint H_s ds$	F_m
Магнитная индукция, плотность магнитного потока	B
Магнитный поток (поток магнитной индукции)	Φ
Магнитная проницаемость: $B = \mu H$	μ
Магнитная проницаемость вакуума, магнитная постоянная	μ_0
Относительная магнитная проницаемость: $\mu_r = \mu / \mu_0$	μ_r
Намагниченность (интенсивность намагничивания): $B = \mu_0 (H + M)$	M
Магнитная восприимчивость	χ_m
Электромагнитный момент: $E_p = -m \cdot B$	μ, m
(Омическое) сопротивление	R
Реактивное сопротивление	X
Добротность: $Q = X / R$	Q
Полная проводимость: $Y = 1/Z = G + iB$	Y
Активная проводимость	G
Реактивная проводимость	B
Удельное сопротивление	ρ
Удельная проводимость: $\gamma = 1/\rho$	γ, σ
Индуктивность	L
Взаимная индуктивность	M, L_{12}
Коэффициент связи: $k = L_{12} / (L_1 L_2)^{0.5}$	k
Фазовое число	m
Угол потерь	δ
Число витков	N
Мощность	P
Объемная плотность энергии	w
Вектор Пойнтинга	S
Векторный потенциал поля	A
Вышеприведенная система обозначений отвечает рационализированной 4-размерной системе величин.	

1	2
7.6.6. Излучение, свет	
В ряде случаев для обозначения пар совпадающих энергетических характеристик излучения и светотехнических величин используются одинаковые символы, которые следует различать нижними индексами «е» (энергетический) и «v» (видимый) в ситуациях, когда в их толковании могут возникнуть трудности.	
Энергия излучения	$Q, (Q_e), W$
Объемная плотность энергии излучения	w
Спектральная плотность энергии излучения (по длине волны): $w = \int w_\lambda d\lambda$	w_λ
Поток излучения, мощность излучения: $\Phi = \int \Phi_\lambda d\lambda$	$\Phi, (\Phi_e), P$
Плотность потока излучения	ϕ
Интенсивность излучения: $\Phi = \int I d\Omega$	$I, (I_e)$
Спектральная интенсивность излучения (по частоте): $I = \int I_\nu d\nu$	$I_\nu, (I_{e\nu})$
Энергетическая освещенность (облученность): $\Phi = \int E dS$	$E, (E_e)$
Энергетическая яркость (лучистость): $I = \int I \cos\theta dS$	$L, (L_e)$
Энергетическая светимость (излучательность): $\Phi = \int M dS$	$M, (M_e)$
Постоянная Стефана — Больцмана: $\sigma = 2 \pi^5 k^4 / 15 h^3 c^2$	σ
Первая радиационная постоянная: $c_1 = 2 \pi h c^2$	c_1
Вторая радиационная постоянная: $c_2 = h c / k$	c_2
Излучательная способность: $\varepsilon = M / M_e$ (M_e - энергетическая светимость абсолютно черного тела)	ε
Видность (световая отдача): $K = \Phi_v / \Phi_e$	K
Спектральная видность: $K(\lambda) = \Phi_{v\lambda} / \Phi_{e\lambda}$	$K(\lambda)$
Максимальная спектральная видность	
Относительная видность (относительная световая эффективность): $V = K / K_m$	V
Относительная спектральная видимость: $V(\lambda) = K(\lambda) / K_m$	$V(\lambda)$
Световая энергия (количество света)	$Q, (Q_v)$
Световой поток	$\Phi, (\Phi_v)$
Сила света: $\Phi = \int I d\Omega$	$I, (I_v)$
Спектральная сила света (по волновому числу): $I = \int I_\sigma d\sigma$	$I_\sigma (I_{va})$
Освещенность: $\Phi = \int E dS$	$E, (E_v)$
Яркость: $I = \int I \cos\theta dS$	$L, (L_v)$
Светимость: $\Phi = \int M dS$	$M, (M_v)$
Коэффициент поглощения: Φ_a / Φ_0	$\alpha^*)$
Коэффициент отражения: Φ_r / Φ_0	$\rho^*)$

Продолжение табл. 7.6

1	2	
Коэффициент пропускания : Φ_{tr}/Φ_0	$\tau^*)$	
Линейный коэффициент ослабления	μ	
Линейный коэффициент поглощения	a	
Скорость света в вакууме	c	
Показатель преломления: $n = c / c_n$	n	
7.6.7. Акустика		
Скорость звука	c	
Скорость продольных волн	c_1	
Скорость поперечных волн	c_2	
Групповая скорость	c_g	
Поток звуковой энергии (звуковая мощность)	P, P_a	
Акустический коэффициент отражения: P_r/P_0	ρ	
Акустический коэффициент поглощения: $1 - \rho$	$\alpha_a, (\alpha)$	
Акустический коэффициент пропускания: P_{tr}/P_0	τ	
Акустический коэффициент рассеяния: $\alpha_a - \tau$	δ	
Уровень громкости	L_N	
Уровень интенсивности звука	L_p	
Уровень звукового давления	L_p	
Скорость света в вакууме	c	
Показатель преломления: $n = c / c_n$	n	
7.6.8. Атомная и ядерная физика		
Число нуклонов, массовое число	A	
Число протонов, атомный номер	Z	
Число нейтронов: $N = A - Z$	N	
Элементарный заряд (равный заряду протона)	e	
Масса электрона	m_e, m_e	
Масса протона	m_p	
Ядерная масса (масса ядра A_X)	$m_N, m_N({}^A_X)$	
Атомная масса (масса нуклида A_X)	$m_a, m_a({}^A_X)$	
(Единая) атомная единица массы: $m_u = m_a({}^{12}\text{C})/12$	m_u	
Относительная атомная масса: m_a/m_a	A_r	
Квантовое число	орбитального (углового) момента	L, l_i
	спинового момента	S, s_i
	полного углового момента	J, j_i
	Магнитное	M, m_i
	полного момента атома	F
	ядерного	в атомной физике I
	спинового момента	в ядерной физике J
	вращательное	J, K
	колебательное	v

Продолжение табл. 7.6

1	2
Постоянная Планка ($\hbar = h/2\pi$)	$\hbar$
Главное квантовое число (кв. ч.)	n, n_1
Квадрупольный момент	Q
Постоянная Ридберга	R_∞
Радиус Бора	a_0
Постоянная тонкой структуры **)	α
Дефект массы: $m_a - A m_u$	Δ
Доля упаковки: $\Delta/A m_u$	f
Радиус ядра: $R = r_0 A^{1/3}$	R
Магнитный момент частицы	μ
Магнитный момент протона	μ_p
Магнитный момент нейтрона	μ_n
Магнитный момент электрона	μ_e
Магнетон Бора	μ_B
Ядерный магнетон	μ_N
g-фактор: например, $g = \mu/(I\mu_N)$	g
Гиромагнитное отношение, гиромагнитный коэффициент	γ
Ларморовская частота	ω_L
Ширина уровня	Γ
Среднее время жизни	τ
Энергетический эффект реакции	Q
Сечение рассеяния	σ
Макроскопическое сечение рассеяния: $\Sigma = n\sigma$	Σ
Прицельное расстояние	b
Угол рассеяния	$\vartheta, \theta, \varphi$
Энергия распада	Q
Период полураспада	$T_{1/2}$
Приведенное время полураспада	$tT_{1/2}$
Постоянная затухания, постоянная распада	λ
Активность радиоактивного источника	A
Комптоновская длина волны: $\lambda_c = h/(mc)$	λ_c
Радиус электрона	r_e
Линейный коэффициент затухания	μ, μ_1
Атомный коэффициент затухания	μ_a
Массовый коэффициент затухания	μ_m
Линейная тормозная способность	S, S_1
Атомная тормозная способность	S_a
Линейная глубина проникновения	R, R_1

1	2
Коэффициент рекомбинации	α
7.6.9. Квантовая физика	
Комплексно сопряженная к ψ волновая функция	ψ^*
Плотность вероятности: $P = \psi^* \psi$	P
Плотность потока вероятности: $S = (\hbar/2im)(\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*)$	S
Объемная плотность заряда электронов: $\rho = -eP$	ρ
Плотность электронного тока: $j = -eS$	j
Дираковский вектор состояния «бра»	$\langle $
Дираковский вектор состояния «кет»	$ \rangle$
Среднее (ожидаемое) значение A	$\langle A \rangle \bar{A}$
Коммутатор операторов A и B : $[A, B] = AB - BA$	$[A, B], [A, B]$
Антикоммутатор операторов A и B : $[A, B]^+ = AB + BA$	$[A, B]^+$
Матричный элемент: $A_{ij} = \int \varphi_i^* (A \varphi_j) d\tau$	A_{ij}
Оператор, (эрмитово) сопряженный оператору A	A^+
Оператор импульса в координатном представлении	$(\hbar/i)\nabla$
Операторы уничтожения	a, b, α, β
Операторы рождения	$a^+, b^+, \alpha^+, \beta^+$
Символами $\alpha(\lambda) = \Phi_{a\lambda} / \Phi_{0\lambda}$, $\rho(\lambda) = \Phi_{r\lambda} / \Phi_{0\lambda}$ и $\tau(\lambda) = \Phi_{tr\lambda} / \Phi_{0\lambda}$ обозначаются соответственно спектральные коэффициенты поглощения, отражения и пропускания.	
7.6.10. Физика твердого тела	
Вектор решетки: вектор трансляций, отображающий кристаллическую решетку саму на себя	R, R_0
Векторы основных трансляций кристаллической решетки: $R = n_1 a_1 + n_2 a_2 + n_3 a_3$, где n_1, n_2, n_3 - целые числа	a_1, a_2, a_3 a, b, c
Вектор обратной решетки: $G \cdot R = m \cdot 2\pi$, где m - целое число	G
В кристаллографии, однако, принято считать $a_i \cdot b_k = \delta_{ik}$.	
Расстояние между плоскостями в решетке	d
Угол Брэгга	ϑ
Порядок отражения	n
Параметр ближнего порядка	σ
Параметр дальнего порядка	s
Вектор Бюргерса	b
Вектор положения частицы	r, R
Чтобы провести различие между векторами положения электронов и ионов следует использовать соответственно строчные и прописные буквы.	
Вектор равновесного положения иона	R_0
Вектор смещения иона	u
Нормальные координаты	Q_i

1	2
Вектор поляризации	$\mathbf{e}$
Фактор Дебая — Валлера	D
Волновое число Дебая	q_D
Дебаевская частота	ω_D
Параметр Грюнайзена: $\gamma = \alpha V / (k C_V)$ (α - коэффициент при кубическом члене в разложении потенциальной энергии, k - сжимаемость)	γ, Γ
Постоянная Маделунга	α
Длина свободного пробега электронов	l, l_e
Длина свободного пробега фононов	Λ, l_{ph}
Дрейфовая скорость	v_{dr}
Подвижность	μ
Одноэлектронная волновая функция	$\psi(\mathbf{r})$
Волновая функция Блоха: $\psi_{\mathbf{k}}(\mathbf{r}) = u_{\mathbf{k}}(\mathbf{r}) \exp(i\mathbf{k} \cdot \mathbf{r})$	$u_{\mathbf{k}}(\mathbf{r})$
Плотность состояний: $dN(E)/dE = N_E(E) = \rho(E)$	N_E, ρ
(Спектральная) плотность колебательных состояний	g, N_w
Обменный интеграл	J
Тензор удельного сопротивления	ρ_{ik}
Тензор проводимости	σ_{ik}
Тензор теплопроводности	λ_{ik}
Остаточная проводимость	ρ_R
Время релаксации	τ
Число Лоренца: $L = \lambda / (\sigma T)$	L
Коэффициент Холла	A_H, R_H
Коэффициент Эттингхаузена	A_E
Первый коэффициент Риги - Ледюка	A_{RL}
Термоэлектродвижущая сила между веществами а и b	E_{ab}
Коэффициент Зеебека для веществ а и b: $S_{ab} = dE_{ab}/dT$	S_{ab}, ϵ_{ab}
Коэффициент Пелтье для веществ а и b	Π_{ab}
Коэффициент Томсона	$\mu, (\tau)$
Работа выхода $\Phi = e\phi$	ϕ
Величина $W = \Phi + \mu$, где μ - химический потенциал	W
Постоянная Ричардсона: $j = AT^2 \exp(-\Phi/kT)$	A
Плотность числа электронов	n, n_n, n_-
Плотность числа дырок	p, n_p, n_+
Плотность числа доноров	n_d
Плотность числа акцепторов	n_a
Внутренняя плотность числа частиц: $n_i = (n p)^{1/2}$	n_i
Ширина энергетической щели	E_g

1		2
Энергия ионизации доноров		E_d
Энергия ионизации акцепторов		E_a
Энергия Ферми		E_F, ε_F
Волновой вектор, вектор распространения (частиц)		k
Волновой вектор, вектор распространения (фононов)		q
Волновой вектор Ферми		k_F
Оператор уничтожения электронов		a
Оператор рождения электронов		$a^\dagger$
Оператор уничтожения фононов		b
Оператор рождения фононов		$b^\dagger$
Эффективная масса		m_n^*, m_p^*
Подвижность		μ_n, μ_p
Отношение подвижностей: $b = \mu_n / \mu_p$		b
Коэффициент диффузии		D_n, D_p
Диффузионная длина		L_n, L_p
Время жизни носителей		τ_n, τ_p
Характеристическая температура (Вейсса)		Θ, Θ_w
Температура Кюри		T_c
Температура Нееля		T_N
Температура сверхпроводящего перехода		T_c
Напряженность (термодинамического) критического магнитного поля		H_c
Напряженности критического магнитного поля в сверхпроводнике	в сверхпроводник	H_{c1}
	при исчезновении сверхпроводимости	H_{c2}
	в поверхностном слое образца	H_{c3}
Ширина энергетической щели в сверхпроводнике		Δ
Глубина проникновения Лондонов		λ_L
Длина когерентности		ξ
Параметр Гинзбурга — Ландау: $\kappa = \lambda_L / \xi \sqrt{2}$		κ
Квант магнитного потока (флюксонид): $\Phi_0 = h / (2e)$		Φ_0
Направление в решетке		$\{u, v, w\}$
Отдельная плоскость или семейство параллельных плоскостей в решетке		(h_1, h_2, h_3)
		(h, k, l)
Полное семейство плоскостей в решетке, эквивалентных по симметрии		$\{h_1, h_2, h_3\}$
		$\{h, k, l\}$
Индексы Миллера		(h_1, h_2, h_3)
		(h, k, l)
Полное семейство направлений в решетке, эквивалентных по симметрии		$\langle u, v, w \rangle$

1	2
Замечание. Если внутри скобочных выражений буквенные символы заменены на числовые, то знаки запятых обычно опускаются. Относительное числовое значение обычно обозначается с помощью горизонтальной черты сверху символа, например, (110) .	
7.6.11. Молекулярная спектроскопия	
Квантовое число (кв. ч.) проекции электронного углового момента на ось симметрии	Λ, λ_i
Кв. ч. проекции электронного спинового момента на ось симметрии	Σ, σ_i
Кв. ч. проекции полного электронного углового момента на ось симметрии: $\Omega = \Lambda + \Sigma $	Ω, ω_i
Кв. ч. электронного спина	S
Кв. ч. ядерного спина	I
Кв. ч. колебательного состояния	v
Фактор вырождения колебательного состояния	d
Кв. ч. колебательного углового момента (Л. М.)	l
Кв. ч. полного углового момента (исключая ядерный спиновый момент)	J
Кв. ч. проекции вектора J на направление внешнего поля	M, M_J
Кв. ч. проекции вектора S на направление внешнего поля	M_S
Кв. ч. полного углового момента (включая ядерный спиновый момент): $F = J + I$	F
Кв. ч. проекции вектора F на направление внешнего поля	M_F
Кв. ч. проекции вектора I на направление внешнего поля	M_I
Кв. ч. проекции углового момента на выделенное направление (Л. М. и С. В. М.; исключая электронный и ядерный спиновые моменты; для Л. М. имеем: $K = \Lambda + l $)	K
Электронный терм: $T_e = E_e / (hc)$	T_e
Напряженность (термодинамического) критического магнитного поля	H_c
Колебательный терм: $G = E_{vib} / (hc)$	G
Коэффициенты разложения колебательного терма (для Д. М.): $G = \sigma_e (v_j + 1/2) - x\sigma_e (v + 1/2)^2$	$\sigma_e, x\sigma_e$
Коэффициенты разложения колебательного терма (для М. М.): $G = \sum \sigma_j (v_j + 1/2 d_j) + 1/2 \sum_j \sum_k x_{jk} (v_j + 1/2 d_j) (v_k + 1/2 d_k)$	σ_j, x_{jk}
Вращательный терм: $F = E_{rot} / (hc)$	F
Главные моменты инерции: $I_A \leq I_B \leq I_C$	I_a, I_b, I_c
Вращательные постоянные: $A = h / 8\pi^2 c I_A$ и т.д.	A, B, C
В случае двухатомных молекул используются обозначения: I и $A = h / (8\pi^2 c I)$	
Полный терм молекулы: $T = T_e + G + F$	T

1	2
Замечание. Л. М. - линейные молекулы; С. В. М.- молекулы в модели симметричного волчка; Д. М.— двухатомные молекулы; М. М.- многоатомные молекулы.	
7.6.12. Химическая физика	
Относительная атомная масса	A_r
Относительная молекулярная масса	M_r
Количество вещества	n, ν
Когда символ n используется для обозначения плотности числа частиц, можно ввести символ ν в качестве альтернативы для n .	
Молярная масса вещества В	M_B
Концентрация вещества В: $c_B = n_B/V$	c_B
Мольная доля вещества В	x_B
Массовая доля вещества В	w_B
Объемная доля вещества В	ϕ_B
Химический потенциал вещества В (на одну частицу)	μ_B
Абсолютная активность вещества В (безразмерная величина): $\lambda_B = \exp(\mu_B/kT)$	λ_B
Относительная активность	a_B
Коэффициенты активности	γ_B, f_B
Осмотическое давление	Π
Осмотический коэффициент (растворителя)	g, φ
Стехиометрический коэффициент вещества В	ν_B
Сродство	A
Порядок реакции	ξ
Константа химического равновесия	K
Зарядовое число иона	z
Постоянная Фарадея	F
Ионная крепость	I
Приведенная активность вещества В: $z_B = (2\pi mkT/h^2)^{3/2} \lambda_B$	z_B
7.6.13. Физика плазмы	
Энергия частицы	ε
Энергия диссоциации (например, молекулы X)	$E_d, E_d(X)$
Сродство к электрону	E_{ca}
Потенциал ионизации	E_i
Степень ионизации	x
Зарядовое число (положительного или отрицательного иона)	z
Плотность числа ионов с зарядом e_z	n_z

1	2
При рассмотрении только однократно заряженных ионов вместо символов n_{+1} и n_{+1} можно употреблять соответственно n_{+} и n_{+} .	
Степень ионизации, отвечающая зарядовому числу $z \geq 1$: $x_z = n_z / (n_z + n_{z-1})$	x_z
Температура нейтральных частиц	T_n
Температура ионов	T_i
Температура электронов	T_e
Плотность числа электронов	n_e
Плазменная частота: $\omega_{pe}^2 = n_e e^2 / (\epsilon_0 m_e)$	ω_{pe}
Дебаевская длина	λ_D
Заряд частицы	q
Циклотронная частота электронов: $\omega_{ce} = (e/m_e) B$	ω_{ce}
Циклотронная частота ионов: $\omega_{ci} = (ze/m_i) B$	ω_{ci}
Приведенная масса: $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$	μ, m_f
Прицельный параметр	b
Длина свободного пробега	l, λ
Частота столкновений	ν_{coll}, ν_c
Среднее время между столкновениями: $\tau_{coll} = 1/\nu_{coll}$	τ_{coll}, τ_c
Сечение столкновения: $\sigma = l/\ln$	σ
Эффективность ионизации при столкновениях с электронами: $s_e = (\rho_0/\rho) dN/dx$; (dN - число пар ионов, образованных ионизирующими электронами на пути dx в газе с плотностью ρ ; ρ_0 — плотность газа при $p_0 = 1$ мм рт. ст. и $T_0 = 273,15$ K)	S_e
Константа скорости реакции	k
Константа скорости мономолекулярной реакции: $-dn_A/dt = k_m n_A$	k_m
Время релаксации (например, $\tau = 1/k_m$)	τ
Константа скорости парного процесса, константа скорости бимолекулярной реакции (например, $X + Y \rightarrow XY + h\nu$): $dn_{XY}/dt = k_b n_X n_Y$	k_b
Константа скорости тройного процесса, константа скорости тримолекулярной реакции (например, $X + Y + M \rightarrow XY + M$): $dn_{XY}/dt = k_t n_X n_Y n_M$	k_t
Первый коэффициент (электронной) ионизации Таунсенда	α
То же наименование используется также для величины $\eta = \alpha E$, где E напряженность электрического поля	
Второй коэффициент (ионной) ионизации Таунсенда	β
Коэффициент вторичной электронной эмиссии	γ

1	2
Дрейфовая скорость	v_{dr}
Подвижность: $\mu = v_{dr}/E$	μ
Коэффициент диффузии положительных или отрицательных ионов	D_+, D_-
Коэффициент диффузии электронов	D_e
Коэффициент амбиполярной (электрон-ионной) диффузии: $D_a = (D_+ \mu_e - D_e \mu_+) / (\mu_+ + \mu_e)$	D_a, D_{amb}
Характеристическая длина диффузии	L_D, Λ
Частота ионизации	ν_i
Коэффициент ион-ионной (взаимной) рекомбинации: $dn/dt = -\alpha_i n_+ n_-$	α_i
Коэффициент электрон-ионной рекомбинации: $dn_-/dt = -\alpha_e n_+ n_-$	α_e
Давление плазмы	p
Магнитное давление: $p_m = B^2/(2\mu)$ (μ - магнитная проницаемость)	p_m
Отношение магнитных давлений: $\beta = p/p_m$ (p_m - магнитное давление вне плазмы)	β
Коэффициент магнитной диффузии: $\nu_m = 1/(\mu\sigma)$ (σ - удельная проводимость, μ - магнитная проницаемость)	ν_m, η_m
Альвеновская скорость: $v_A = B/(\mu\rho)^{0.5}$ (ρ - плотность плазмы, μ - магнитная проницаемость)	v_A
7.6.14. Безразмерные параметры	
<i>Перенос импульса</i>	
Число Рейнольдса: $Re = vl/\nu$	Re
Число Эйлера: $Eu = \Delta p/(p\nu^2)$	Eu
Число Фруда: $Fr = v/(lg)^{-1/2}$	Fr
Число Грассхофа: $Gr = l^3 g \gamma \Delta T/\nu^2$	Gr
Число Вебера: $We = pvl/\sigma$	We
Число Маха: $Ma = v/c$	Ma
Число Кнудсена: $Kn = \lambda/l$	Kn
Число Струхала: $Sr = lf/\nu$	Sr
<i>Перенос тепла</i>	
Число Фурье: $Fo = a \Delta t / l^2$	Fo
Число Пекле: $Pe = vl/a = Re \cdot Pr$	Pe
Число Рэлея: $Ra = l^3 g \gamma \Delta T / (va) = Gr \cdot Pr$	Ra
Число Нуссельта: $Nu = hl/\lambda$	Nu
Число Стентона: $St = h/(pvc_p) = Nu \cdot Pe^{-1}$	St
<i>Перенос материи в бинарной смеси</i>	

1	2
Число Фурье для массопередачи: $ Fo = D \Delta t / l^2 = Fo / Le $	Fo
Число Пекле для массопередачи: $ Pe = vl/D = Re \cdot Sc = Fe \cdot Le $	Pe
Число Грассхофа для массопередачи: $ Gr = l^3 g \beta' \Delta x / \nu^2 $	Gr
Число Нуссельта для массопередачи: $ Nu = kl / (pD) $	Nu
Число Стентона для массопередачи: $ St = k / pv = Nu / Pe $	St
<i>Безразмерные постоянные, характеризующие вещество</i>	
Число Прандтля: $ Pr = \nu / a $	Pr
Число Шмидта: $ Sc = \nu / D $	Sc
Число Льюиса: $ Le = a / D = Sc / Pr $	Le
<i>Магнитная гидродинамика</i>	
Магнитное число Рейнольдса: $ Rm = \nu \mu \sigma l $	Rm
Число Альвена: $ Al = \nu / \nu_A $	Al
Число Гартмана: $ Ha = Bl [\sigma / (\rho \nu)]^{1/2} $	Ha
Число Каулинга (второе число Каулинга): $ Co = B^2 / \mu \rho \nu^2 = Al^{-2} $	Co, Co ₂
Первое число Каулинга: $ Co_1 = B^2 l \sigma / (\rho \nu) = Rm \cdot Co_2 = Ha^2 / Re $	Co ₁

Примечания:

1) В случаях, когда для одной величины приведены несколько разных обозначений и не сделано специальных указаний, все они могут использоваться на равных основаниях.

2) Как правило, на наименование величины не обращается специальное внимание.

3) В случаях, когда существует несколько написаний для греческой буквы ($\varepsilon, \vartheta; \theta, \kappa, \phi, \epsilon, \emptyset$), можно пользоваться любым из них. Форма написания π и буквы ρ может использоваться в качестве независимой буквы.

4) Выше приняты следующие условные обозначения:

l - характерная длина, ν - характерная скорость, Δt - характерный интервал времени, ΔT - характерная разность температур, Δp - характерная разность давлений, ρ - плотность, Δx - характерная разность мольных долей, η - коэффициент вязкости, ν - кинематическая вязкость (η/ρ), σ - поверхностное натяжение, g - ускорение свободного падения, γ - коэффициент объемного расширения ($-\rho^{-1}(\partial/\partial T)_p$), λ - длина свободного пробега и коэффициент теплопроводности, f - характерная частота, c - скорость звука, c_p - удельная теплоемкость при постоянном давлении, a - коэффициент температуропроводности $\lambda/(\rho c_p)$, h - коэффициент теплопередачи, $\beta' = -\rho^{-1}(\partial\rho/\partial x)_{T,p}$, D - коэффициент диффузии, k - коэффициент массопередачи, μ - магнитная проницаемость, B - плотность магнитного потока, σ - удельная проводимость. Кроме того, имеют место равенства: $\Delta\rho/\rho = \gamma\Delta T$, $\Delta\rho/\rho = \gamma\Delta T + \beta'\Delta x$. Для всех таких чисел у нас часто используют (прямой) «рубленный» шрифт.

7.7. Рекомендуемые математические обозначения

7.7.1. Тригонометрические и гиперболические функции

Функция «синус x »	$\sin x$
Функция «косинус x »	$\cos x$
Функция «тангенс x »	$\tan x, \operatorname{tg} x$
Функция «котангенс x »	$\cot x, \operatorname{ctg} x$
Функция «секанс x »	$\sec x$
Функция «косеканс x »	$\operatorname{cosec} x$

Для обозначения *обратных тригонометрических функций* рекомендуется использовать буквенную приставку *arc* перед соответствующим символом тригонометрической функции: $\arcsin x$, $\arccos x$, $\arctan x$ и т. д.

Для обозначения *гиперболических функций* рекомендуется использовать соответствующий символ тригонометрической функции, за которым пишется буква *h*: $\sinh x$, $\cosh x$, $\tanh x$; и т. д.

Для обозначения *обратных гиперболических функций* рекомендуется использовать буквенную приставку *arg* перед соответствующим символом гиперболической функции: $\operatorname{arsinh} x$, $\operatorname{arcosh} x$ и т. д.

7.7.2. Общие обозначения

1	2
Равенство	$=$
Неравенство	$\neq$
Тождественное равенство	$\equiv$
Равенство по определению	$\stackrel{\text{def}}{=}$
Соответствие	$\sim$
Приближенное равенство	$\approx$
Асимптотическое равенство	$\asymp$
Пропорциональность	$\sim, \propto$
Стремление к ...	$\rightarrow$
Знак «больше»	$>$
Знак «меньше»	$<$
Знак «много больше»	$\gg$
Знак «много меньше»	$\ll$
Знак «больше или равен»	$\geq$
Знак «меньше или равен»	$\leq$
Знак «сложение»	$+$
Знак «вычитание»	$-$
Знак «сложение или вычитание»	$\pm$
a умножить на b	$ab, a \cdot b, a \times b$
a разделить на b	$a/b, \frac{a}{b}, ab^{-1}$

Окончание табл. 7.7.2

1	2
Отношение длины окружности к ее диаметру	π
a возвести в n -ю степень	a^n
Абсолютная величина a	$ a $
Корень квадратный из a	$\sqrt{a}, a^{1/2}, a^{0,5}$
Среднее значение a	$\bar{a}, \langle a \rangle$
p -факториал ,	$p!$
Биномиальный коэффициент: $n!/p! (n - p)!$	$(n \ p)$
Бесконечность	∞

7.7.3. Комплексные величины

Мнимая единица ($i^2 = -1$)	i, j
Действительная часть комплексного числа z	$\text{Re } z, z'$
Мнимая часть комплексного числа z	$\text{Im } z, z''$
Модуль комплексного числа z	$ z $
Фаза, аргумент комплексного числа $z: z = z \exp(i\varphi)$	$\arg z, \varphi$
Комплексно сопряженное число для z , сопряженное число для z	$\bar{z}$

Замечание. Иногда для обозначения комплексно сопряженного для z числа используют символ z^* .

7.7.4. Буквенные обозначения

1	2
Экспоненциальная функция от x	$\exp x, e^x$
Основание натуральных логарифмов	e
Логарифмическая функция от x по основанию a	$\log_a x$
Натуральный логарифм от x	$\ln x, \log_e x$
Десятичный логарифм от x	$\lg x, \log_{10} x$
Двоичный логарифм от x	$\text{lb } x, \log_2 x$
Сумма	$\sum$
Произведение	$\prod$
Конечное приращение переменной x	Δx
Вариация переменной x	δx
Полный дифференциал переменной x	Dx
Функция от переменной x	$f(x), f(x)$
Сложная функция f и $g: g \circ f(x) = g(f(x))$	$g \circ f$
Предел функции $f(x)$	$\lim_{x \rightarrow a} f(x)$
	$\lim_{x \rightarrow a} f(x)$

Окончание табл. 7.7.4

1	2
Производная функции f	$df/dx, f'$
Частная производная функции f	$\frac{\partial f}{\partial x}, \partial f / \partial x, \partial_x f, f'_x$
Полный дифференциал функции f : $df(x, y) = \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial y} dy$	df
Вариация функции f	δf
Дельта-функция Дирака: $\delta(r) = \delta(x) \delta(y) \delta(z)$	$\delta(x), \delta(r)$
Дельта-символ Кронекера	δ_{ij}
Единичная функция: $\varepsilon(t) = 1 (t > 0), \varepsilon(t) = 0 (t < 0)$	$\varepsilon(t)$
Сигнум-функция от a : $\operatorname{sgn} a = a/ a (a \neq 0)$	$\operatorname{sgn} a$
Наибольшее целое число, меньшее или равное a ($\leq$)	$\operatorname{ent} a$

Замечание: Отдельные буквенные символы и буквенные выражения, служащие для обозначения математических операций, следует записывать с помощью прямого шрифта.

7.7.5. Векторное исчисление

Векторная величина	a, A
Модуль вектора	$ A , A$
Единичный вектор: $a/ a $	e_a
Единичные векторы	e_x, e_y, e_z, i, j, k l_x, l_y, l_z
Скалярное произведение векторов a и b	$a \cdot b$
Векторное произведение векторов a и b	$a \times b, a \wedge b$
Диада, образованная произведением векторов a и b	ab
Векторный дифференциальный оператор, набла	$\partial/\partial r, \nabla$
Градиент скаляра φ	$\operatorname{grad} \varphi, \nabla \varphi$
Дивергенция вектора A	$\operatorname{div} A, \nabla A$
Ротор вектора A	$\operatorname{curl} A, \operatorname{rot} A, \nabla \times A$
Произведение лапласиана на скаляр φ	$\Delta \varphi, \nabla^2 \varphi$
Произведение даламбертиана на скаляр φ	$\square \varphi$
Тензор второго порядка	A
Скалярное произведение тензоров S и T : $(\sum_{ik} S_{ik} T_{ki})$	$S : T$
Тензорное произведение тензоров S и T : $(\sum_k S_{ik} T_{kj})$	$S \cdot T$
Произведение тензора S на вектор A : $(\sum_k S_{ik} A_{ki})$	$S \cdot A$

7.7.6. Теория множеств

Знак «является элементом множества»: $x \in A$	$\in$
Знак «не является элементом множества»: $x \notin A$	$\notin$
Знак «множество содержит элемент»: $A \ni x$	$\ni$
Множество элементов	$\{a_1, a_2, \dots\}$
Множество рациональных чисел	$\mathbb{Z}$
Множество вещественных чисел	$\mathbb{Q}$
Множество комплексных чисел	$\mathbb{R}$
Множество элементов в A , для которых $p(x)$ является истинной	$\mathbb{C}$
Знак «содержится в качестве подмножества»: $B \subseteq A$	$\{x \in A \mid p(x)\}$
Знак «содержит»: $A \subseteq B$	$\subseteq (\subset)$
Знак «содержит»: $A \supseteq B$	$\supseteq (\supset)$
Знак «собственно содержится в»	$\subset (\subset)$
Знак «содержит собственно»	$\supset (\supset)$
Знак «объединение»: $A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ или } x \in B\}$	$\cup$
Знак «пересечение»: $A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ и } x \in B\}$	$\cap$
Знак «разность»: $A \setminus B = \{x \mid x \in A \text{ и } x \notin B\}$	$\setminus$
Знак «дополнение»: $\bar{A} = \{x \mid x \notin A\}$	$\bar{C}$

7.7.7. Матричное исчисление

Матрица	$\begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$
Произведение матриц A и B	AB
Матрица, обратная к A	A^{-1}
Единичная матрица	E, I
Матрица, транспонированная к A : $\tilde{A}_{ij} = A_{ji}$	$\tilde{A}$
Матрица, комплексно сопряженная к A : $A^{*}_{ij} = (A_{ij})^*$	A^*
Матрица, эрмитово сопряженная к A : $A^{\dagger}_{ij} = (A_{ij})^*$	$A^{\dagger}$
Определитель матрицы A	$\det A$
След матрицы A	$\text{Tr } A$
Матрицы Паули: $\sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}; \quad \sigma_y = \begin{pmatrix} 0 & i \\ i & 0 \end{pmatrix}; \quad \sigma_z = \begin{pmatrix} i & 0 \\ 0 & -i \end{pmatrix}$	σ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z;$ $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3;$
(4 X 4)-матрицы Дирака $\alpha_x = \begin{pmatrix} 0 & \sigma_x \\ \sigma_x & 0 \end{pmatrix}; \quad \alpha_y = \begin{pmatrix} 0 & \sigma_y \\ \sigma_y & 0 \end{pmatrix}; \quad \alpha_z = \begin{pmatrix} 0 & \sigma_z \\ \sigma_z & 0 \end{pmatrix}$	$\alpha,$ $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$

1	2
Единичная матрица: $I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$	I
$\beta = \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & -I \end{pmatrix}$	β

7.8. Единицы, широко используемые для решения специальных проблем

Величина	Единица измерения		
	наименование	символ	соотношение
Масса	Атомная единица массы	а.е.м.	1 а.е.м. = $10^{-3} \text{Na}^{-1} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}$
Энергия	Электрон-вольт	эВ	1 эВ = (э/Кл) Дж*

7.9. Производные единицы СИ, имеющие собственные наименования

Величина	Производная единица СИ			
	наименование	символ	выражение через	
			основные единицы	другие единицы СИ
1	2	3	4	5
Плоский угол	Радян	рад	$\text{м} \cdot \text{м}^{-1}$	
Телесный угол	Стерadian	ср	$\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$	
Частота	Герц	Гц	с^{-1}	
Сила	Ньютон	Н	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$	Дж/м
Давление	Паскаль	Па	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$	$\text{Н} / \text{м}^2$
Энергия, работа, количество тепла	Джоуль	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$	Н м
Мощность, поток излучения	Ватт	Вт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$	Дж/с
Количество электричества, электрический заряд	Кулон	Кл	$\text{с} \cdot \text{А}$	А с
Емкость	Фарада	Ф	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$	Кл/В
Электрический потенциал, разность потенциалов, электродвижущая сила	Вольт	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$	Вт/А
Электрическое сопротивление	Ом	Ом	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$	В/А
Электрическая проводимость	Сименс	См	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$	А/В
Магнитный поток	Вебер	Вб	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$	В с

1	2	3	4	5
Плотность магнитного потока	Тесла	Т	$\text{кг с}^{-2} \text{А}^{-1}$	Вб/м
Индуктивность	Генри	Г	$\text{м}^2 \text{кг с}^{-2} \text{А}^{-2}$	Вб/А
Световой поток	Люмен	лм		кд·ср
Освещенность	Люкс	лк		$\text{м}^{-2} \text{кд ср}$
Активность радиоактивного источника	Беккерель	Бк	с^{-1}	
Поглощенная доза излучения	Грей	Гй	$\text{м}^2 \text{с}^{-2}$	Дж/кг

7.10. Основные величины, имеющие внесистемные единицы измерения

Величина	Единица измерения		
	символ	наименование	определение
Плоский угол	о	Градус	$1^\circ = (1/180) \text{ рад}$
	'	Минута (угловая)	$1' = (1/60)^\circ = (1/10800) \text{ рад}$
	"	Секунда (угловая)	$1'' = (1/60)' = (\pi/648000) \text{ рад}$
Время	мин	Минута	$1 \text{ мин} = 60 \text{ с}$
	ч	Час	$1 \text{ ч} = 60 \text{ мин} = 3600 \text{ с}$
	сут	День	$1 \text{ сут} = 24 \text{ ч} = 86400 \text{ с}$
	г	Год	$1 \text{ г} = 365 \text{ - } 366 \text{ сут}$
Объем	л	Литр	$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3 = 10^{-3} \text{ м}^3$
Масса	т	Тонна	$1 \text{ т} = 1 \text{ Мг} = 10^3 \text{ кг}$

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Фундаментальные физические постоянные

Наименование и символ	Численное значение	Среднее квадратическое отклонение	Единица СИ (десятичная кратная)
Гравитационная постоянная G	6,672 0	0,0041	$10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Скорость света в вакууме c	2,997 924 58	0,000 000 012	$10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Элементарный заряд	1,602 189 2	0,000 004 6	10^{-19} Кл
Постоянная Планка h	6,626 176	0,000 036	$10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная тонкой структуры	7,297 350 6	0,000 006 0	10^{-3}
Радиус Бора a_0	5,291 770 6	0,000 004 4	10^{-11} м
Радиус электрона (классический) r_e	2,817 938	0,000 007	10^{-15} м
Магнетон Бора μ_B	9,274 078	0,000 036	$10^{-24} \text{ Дж} \cdot \text{Т}^{-1}$
Комптоновские длины волн: электрона $\lambda_{C,e}$	2,426 308 9	0,000 004 0	
Постоянная Авогадро N_A	6,022 045	0,000 031	$10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Атомная единица массы	1,660 565 5	0,000 008 6	10^{-27} кг
Универсальная газовая постоянная R	8,314 41	0,000 26	$\text{Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Постоянная Больцмана k	1,380 622	0,000 044	$10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Объем моля идеального газа (T_0, p_0) V_m	2,241 383	0,000 070	$10^{-2} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$
Число Лошмидта n_0	2,686 754	0,000 086	10^{25} м^{-3}
Число Фарадея F	9,648 455	0,000 027	$10^4 \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$
Энергетические эквиваленты величин			
1 масса электрона	8,187 241	0,000 042	10^{-14} Дж
1 а.е.м.	1,492 442	0,000 008	10^{-10} Дж

Приложение 2. Общероссийский классификатор единиц измерений

Общероссийский классификатор единиц измерения (ОКЕИ) разработан ФГУП «Стандартинформ» в соответствии с Федеральным законом № 184-ФЗ «О техническом регулировании и во исполнение постановления Правительства РФ от 10 ноября 2003 года № 677 «Об общероссийских классификаторах технико-экономической и социальной информации в социально-экономической области». Он является нормативным документом в области стандартизации, обязательным для применения при создании государственных информационных систем и ресурсов и межведомственном обмене технико-экономической и социальной информации, а также должен использоваться в правовых актах в социально-экономической области для однозначной идентификации объектов правоотношения. В ОКЕИ включены кроме международных, также национальные единицы (например, погоны метр и др.).

ОКЕИ входит в состав Единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации Российской Федерации (ЕСКК). Он введен на территории Российской Федерации взамен Общесоюзного классификатора "Система обозначений единиц измерения, используемых в АСУ".

ОКЕИ разработан на основе международной классификации единиц измерения Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) "Коды для единиц измерения, используемых в международной торговле" [Рекомендация N 20 Рабочей группы по упрощению процедур международной торговли (РГ 4) ЕЭК ООН, далее - Рекомендация N 20 РГ 4 ЕЭК ООН], Товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД) в части используемых единиц измерения и с учетом требований международных стандартов ИСО 31/0 - 92 "Величины и единицы измерения. Часть 0. Общие принципы" и ИСО 1000 - 92 "Единицы СИ и рекомендации по применению кратных единиц и некоторых других единиц".

ОКЕИ увязан с ГОСТ 8.417 - 81 [13].

ОКЕИ предназначен для использования при решении задач количественной оценки технико-экономических и социальных показателей в целях осуществления государственного учета и отчетности, анализа и прогнозирования развития экономики, обеспечения международных статистических сопоставлений, осуществления внутренней и внешней торговли, государственного регулирования внешнеэкономической деятельности и организации таможенного контроля. Объектами классификации в ОКЕИ являются единицы измерения, используемые в этих сферах деятельности.

Единицы измерения в ОКЕИ разбиты на семь групп:

- единицы длины;
- единицы площади;
- единицы объема;
- единицы массы;
- технические единицы;
- единицы времени;

- экономические единицы.

Исходя из сложившейся практики использования единиц измерения, для ряда из них введены кратные и дольные единицы.

ОКЕИ содержит два раздела и два приложения.

Первый раздел ОКЕИ - "Международные единицы измерения, включенные в ЕСКК" - сформирован на базе международной классификации единиц измерения, содержащейся в Рекомендации N 20 РГ 4 ЕЭК ООН, и включает в себя наиболее употребительные в Российской Федерации единицы измерения. Оставшиеся не включенными в ЕСКК единицы измерения из указанной международной классификации вынесены в приложение А ОКЕИ.

Вместе с тем, в сложившейся практике осуществления функций государственного учета и отчетности в экономической и социальной сфере Российской Федерации используется достаточно широкий набор дополнительных национальных единиц измерения, отсутствующих в международных классификациях, второй раздел ОКЕИ.

Структурно каждая позиция классификатора (в разделах и приложении А) состоит из трех блоков: блока идентификации, блока наименования и блока дополнительных признаков.

Идентификационный код единицы измерения представляет собой трехзначный цифровой десятичный код, присвоенный по серийно-порядковой системе кодирования с выделением резерва кодов в каждой группе единиц измерения. В первом разделе и приложении А использованы коды, которые полностью совпадают с кодами международной классификации (Рекомендация N 20 РГ 4 ЕЭК ООН). Во втором разделе также использованы трехзначные цифровые десятичные коды, которые берутся из резерва кодов международной классификации.

Формула структуры идентификационного кода в ОКЕИ: XXX.

В блоке наименования приведено наименование единицы измерения или по международной классификации (для первого раздела и приложения А ОКЕИ) – табл. П.2.1, или принятое в государственном учете и отчетности (для второго раздела) – табл. П.2.2.

В блоке дополнительных признаков даны условные, а также кодовые буквенные обозначения единиц измерения (международные и национальные).

Таблица П.2.1

Международные единицы измерения, включенные в ЕСКК

Код	Наименование единицы измерения	Условное обозначение		Кодовое буквенное обозначение	
		нацио- нальное	междуна- родное	нацио- нальное	Междуна родное
1	2	3	4	5	6
<i>Единицы длины</i>					
003	Миллиметр	мм	mm	ММ	MMT
004	Сантиметр	см	cm	СМ	CMT
005	Дециметр	дм	dm	ДМ	DMT
006	Метр	м	m	М	MTR
008	Километр	км	km	КМ	KMT
	тысяча метров	10^3 м		ТЫС М	
009	Мегаметр	Мм	Mm	МЕГАМ	MAM
	миллион метров	10^6 м		МЛН М	
039	Дюйм (25,4 мм)	дюйм	in	ДСЙМ	INH
041	Фут (0,3048 м)	фут	ft	ФУТ	FOT
043	Ярд (0,9144 м)	ярд	yd	ЯРД	YRD
047	Морская миля (1852 м)	миля	n mile	МИЛЬ	NMI
<i>Единицы площади</i>					
050	Квадратный миллиметр	кв. мм	mm ²	ММ 2	ММК
051	Квадратный сантиметр	кв. см	cm ²	СМ2	СМК
053	Квадратный де- циметр	кв. дм	dm ²	ДМ2	ДМК
055	Квадратный метр	кв. м	m ²	М2	МТК
058	Тысяча квадрат- ных метров	10^3 кв. м	daa	ТЫС М2	DAA
059	Гектар (10^4 м ²)	га	ha	ГА	HAR
061	Квадратный ки- лометр	кв. км	km ²	КМ2	КМК
071	Квадратный дюйм (645,16 кв. мм)	кв. дюйм	in ²	ДСЙМ2	INK
073	Квадратный фут (0,092903 кв.м)	кв. фут	ft ²	ФУТ2	FTK
075	Квадратный ярд (0,8361274 кв.м)	кв. ярд	yd ²	ЯРД2	YDK
109	Ар (100 кв.м)	а	a	АР	ARE

Продолжение табл. П. 2.1

1	2	3	4	5	6
<i>Единицы объема</i>					
110	Кубический миллиметр	куб. мм	mm ³	ММЗ	ММQ
111	Кубический сантиметр;	куб. см	cm ³	СМЗ	СМQ
	миллилитр	мл	ml	МЛ	МЛQ
112	Литр;	л;	l; L	Л;	LTR
	Кубический дециметр	куб. дм	dm ³	ДМЗ	ДМQ
113	Кубический метр	куб. м	m ³	МЗ	МТQ
118	Децилитр	дл	dl	ДЛ	ДЛQ
122	Гектолитр	гл	hl	ГЛ	ГЛQ
126	Мегалитр	Мл	Мl	МЕГАЛ	МАЛ
131	Кубический дюйм (16387,1 мм ³)	куб. дюйм	in ³	ДСЙМЗ	ИНQ
132	Кубический фут (0,02831685 м ³)	куб. фут	ft ³	ФУТЗ	FТQ
133	Кубический ярд (0,764555 м ³)	куб. ярд	yd ³	ЯРДЗ	YDQ
159	Миллион кубических метров	10 ⁶ куб.м	10 ⁶ m ³	МЛН МЗ	НМQ
<i>Единицы массы</i>					
160	Гектограмм	гг	hg	ГГ	НГМ
161	Миллиграмм	мг	mg	МГ	МГМ
162	Метрический карат (1 карат = 200 мг = 2·10 ⁻⁴ кг)	кар	MC	КАР	СТМ
163	Грамм	г	g	Г	ГРМ
166	Килограмм	кг	kg	КГ	КГМ
168	Тонна; метрическая тонна	т	t	Т	ТНЕ
170	Килотонна	10 ³ т	kt	КТ	КТН
173	Сантиграмм	сг	cg	СГ	СГМ
181	Брутто-регистрационная тонна (2,8316 м ³)	БРТ	-	БРУТТ. РЕГИСТР Т	ГРТ
185	Грузоподъемность в метрических тоннах	т грп	-	Т ГРУ- ЗОПОД	ССТ

Продолжение табл. П.2.1

1	2	3	4	5	6
206	Центнер (метрический); гектокилограмм; квинтал (метрический); децитонна	ц	q; 10 ² kg	Ц	DTN
<i>Технические единицы</i>					
212	Ватт	Вт	W	BT	WTT
214	Киловатт	кВт	kW	KBT	KWT
215	Мегаватт; тысяча киловатт	МВт; 10 ³ кВт	MW	МЕГАВТ; ТЫС КВТ	MAW
222	Вольт	В	V	B	VLT
223	Киловольт	кВ	kV	KB	KVT
227	Киловольт-ампер	кВ.А	kV.A	KB A	KVA
228	Мегавольт-ампер (тысяча киловольт - ампер)	МВ.А	MV.A	МЕ-ГАЗ.А	MVA
230	Киловар	квар	kVAR	KBAP	KVR
243	Ватт-час	Вт.ч	W.h	BT.Ч	WHR
245	Киловатт-час	кВт.ч	kW.h	KBT.Ч	KWH
246	Мегаватт-час;	МВт.ч;	MW.h	МЕ-ГАЗТ.Ч	MWH
247	1000 киловатт-часов	10 ³ кВт.ч	ТЫС КВТ. Ч		
	Гигаватт-час (миллион киловатт-часов)	ГВт.ч	GW.h	ГИ-ГАЗТ.Ч	GWH
260	Ампер	А	A	A	AMP
263	Ампер. час (3,6 кКл)	А.ч	A.h	A.Ч	AMH
264	Тысяча ампер-часов	10 ³ А.ч	10 ³ A.h	ТЫС А.Ч	TAN
270	Кулон	Кл	C	КЛ	COU
271	Джоуль	Дж	J	ДЖ	JOU
273	Килоджоуль	кДж	kJ	КДЖ	KJO
274	Ом	Ом	O	ОМ	OHM
280	Градус Цельсия	град.С	°C	ГРАД ЦЕЛЬС	CEL
281	Градус Фаренгейта	OF	OF	ГРАД ФАРЕНГ	FAN

Продолжение табл. П.2.1

1	2	3	4	5	6
282	Кандела	кд	cd	КД	CDL
283	Люкс	лк	lx	ЛК	LUX
284	Люмен	лм	lm	ЛМ	LUM
288	Кельвин	К	K	К	KEL
289	Ньютон	Н	N	Н	NEW
290	Герц	Гц	Hz	ГЦ	HTZ
291	Килогерц	кГц	kHz	КГЦ	KHZ
292	Мегагерц	МГц	MHz	МЕГАГЦ	MHZ
294	Паскаль	Па	Pa	ПА	PAL
296	Сименс	См	S	СИ	SIE
297	Килопаскаль	кПа	kPa	КПА	KPA
298	Мегаласкаль	МПа	MPa	МЕГАПА	MPA
300	Физическая атмосфера (101325 Па)	атм	atm	АТМ	ATM
301	Техническая атмосфера (98066,5 Па)	ат	at	АТГ	ATT
302	Гигабеккерель	ГБк	GBq	ГИГАБК	GBQ
304	Милликюри	мКи	mCi	МКИ	MCU
305	Кюри	Ки	Ci	КИ	CUR
306	Грамм делящихся изотопов	г Д/И	g fissile isotopes	Г ДЕ-ЛЯЩ ИЗОТОП	GFI
308	Миллибар	мб	mbar	МБАР	MBR
309	Бар	бар	bar	БАР	BAR
310	Гектобар	гб	hbar	ГБАР	HBA
312	Килобар	кб	kbar	КБАР	KBA
314	Фарада	Ф	F	Ф	FAR
316	Килограмм на кубический метр	кг/куб.м	kg/m ³	КГ/МЗ	KMQ
323	Беккерель	Бк	Bq	БК	BQL
324	Вебер	Вб	Wb	ВБ	WEB
327	Узел (миля/ч)	уз	kn	УЗ	KNT
328	Метр в секунду	м/с	m/s	М/С	MTS
330	Оборот в секунду	об/с	r/s	ОБ/С	RPS
331	Оборот в минуту	об/мин	r/min	ОБ/МИН	RPM
333	Километр в час	км/ч	km/h	КМ/Ч	KMH

Продсложение табл. П.2.1

1	2	3	4	5	6
335	Метр на секунду в квадрате	м/кв.с	m/s ²	M/C2	MSK
349	Кулон на кило- грамм	Кл/кг	C/kg	КЛ/КГ	CKG
354	Секунда	с	s	С	SEC
355	Минута	мин	min	МИН	MIN
356	Час	Ч	h	Ч	HUR
359	Сутки	сут; дн	d	СУТ; ДН	DAY
360	Неделя	нед	-	НЕД	WEE
361	Декада	дек	-	ДЕК	DAD
362	Месяц	мес	-	МЕС	MON
364	Квартал	кварт	-	КВАРТ	QAN
365	Полугодие	полгода	-	ПОЛГОД	SAN
366	Год	г; лет	a	ГОД; ЛЕТ	ANN
368	Десятилетие	деслет	-	ДЕСЛЕТ	DEC
Экономические единицы					
499	Килограмм в се- кунду	кг/с	-	КГ/С	KGS
533	Тонна пара в час	т пар/ч	-	Т Г АР/Ч	TSH
596	Кубический метр в секунду	куб.м/с	m ³ /s	M3/C	MQS
598	Кубический метр в час	куб.м/ч	m ³ /h	M3/Ч	MQH
599	Тысяча кубиче- ских метров в су- тки	10 ³ куб.м/сут	-	ТЫС М3/СУТ	TQD
616	Бобина	боб	-	БОБ	NBB
625	Лист	л	-	ЛИСТ	LEF
626	Сто листов	100 л	-	100 ЛИСТ	CLF
630	Тысяча стандарт- ных условных кирпичей	тыс. станд. усл. кирп	-	ТЫС СТАНД УСЛ КИРП	MBE
641	Дюжина (12 шт.)	дюжина	Doz; 12	ДЮЖИ- НА	DZN
657	Изделие	изд	-	ИЗД	NAR
683	Сто ящиков	100 ящ	Hbx	100 ЯЩ	HBX
704	Набор	набор	-	НАБОР	SET

Окончание табл. П.2.1

1	2	3	4	5	6
715	Пара (2 шт.)	пар	pr; 2	ПАР	NPR
730	Два десятка	20	20	2 ДЕС	SCO
732	Десять пар	10 пар	-	ДЕС ПАР	TPR
733	Дюжина пар	дюжина пар	-	ДЮЖИ-НА ПАР	DPR
734	Посылка	посыл	-	ПОСЫЛ	NPL
735	Часть	часть	-	ЧАСТЬ	NPT
736	Рулон	рул	-	РУЛ	NRL
737	Дюжина рулонов	дюжина рул	-	ДЮЖИ-НА РУЛ	DRL
740	Дюжина штук	дюжина шт	-	ДЮЖИ-НА ШТ	DPC
745	Элемент	элем	CI	ЭЛЕМ	NCL
778	Упаковка	упак	-	УПАК	NMP
780	Дюжина упаковок	дюжина упак	-	ДЮЖИНА УПАК	DNP
781	Сто упаковок	100 упак	-	100 УПАК	CNP
796	Штука	шт	pc; 1	ШТ	PCE,NM B
797	Сто штук	100 шт	100	100 ШТ	CEN
798	Тысяча штук	тыс.шт; 1000 шт	1000	ТЫС ШТ	MIL
799	Миллион штук	10^6 шт	10^6	МЛН ШТ	MIO
800	Миллиард штук	10^9 шт	10^9	МЛРД ШТ	MLD
801	10^{12} штук (Европа) триллион штук	Биллион 10^{12} шт	10^{12}	БИЛЛ ШТ(ЕВР);	BIL
802	Квинтильон штук (Европа)	10^{18} шт	10^{18}	ТРИЛЛ ШТ	TRL
820	Крепость спирта по массе	крен. спирта по массе	% mds	КВИНТ ШТ	
				КРЕП СПИРТ ПО МАСС	ASM

Таблица П.2.2

Национальные единицы измерения, включенные в ЕСКК

Код	Наименование единицы измерения	Условное обозначение (национальное)	Кодовое буквенное обозначение (национальное)
1	2	3	4
<i>Единицы длины</i>			
018	Погонный метр	пог.м	ПОГ М
019	Тысяча погонных метров	10^3 пог.м	ТЫС ПОГ М
020	Условный метр	усл. м	УСЛ М
048	Тысяча условных метров	10^3 усл.м	ТЫС УСЛ М
049	Километр условных труб	км усл. труб	КМ УСЛ ТРУБ
<i>Единицы площади</i>			
054	Тысяча квадратных дециметров	10^3 кв. дм	ТЫС ДМ2
056	Миллион квадратных дециметров	10^6 кв. дм	МЛН ДМ2
057	Миллион квадратных метров	10^6 кв. м	МЛН М2
060	Тысяча гектаров	10^3 га	ТЫС ГА
062	Условный квадратный метр	усл. кв. м	УСЛ М2
063	Тысяча условных квадратных метров	10^3 усл.кв.м	ТЫС УСЛ М2
064	Миллион условных квадратных метров	10^6 усл.кв.м	МЛН УСЛ М2
081	Квадратный метр общей площади	кв. м общ.пл	М2 ОБЩ ПЛ
082	Тысяча квадратных метров общей площади	10^3 кв.м общ.пл	ТЫС М2 ОБЩ ПЛ
083	Миллион квадратных метров общей площади	10^6 кв.м общ.пл	МЛН М2. ОБЩ ПЛ
084	Квадратный метр жилой площади	кв.м жил. пл	М2 ЖИЛ ПЛ
085	Тысяча квадратных метров жилой площади	10^3 кв.м жил.пл	ТЫС М2 ЖИЛ
086	Миллион квадратных метров жилой площади	10^6 кв.м жил.пл	МЛН М2 ЖИЛ ПЛ
087	Квадратный метр учебно-лабораторных зданий	кв.м уч. лаб. здан	М2 УЧ ЛАБ ЗДАН

1	2	3	4
088	Тысяча квадратных метров учебно-лабораторных зданий	10^3 кв.м уч. лаб. зданий	ТЫС М2 УЧ ЛАБ ЗДАН
089	Миллион квадратных метров в двухмиллиметровом исчислении	10^6 кв.м мм исч	МЛН М2 2ММ ИСЧ
<i>Единицы объема</i>			
114	Тысяча кубических метров	10^3 куб. м	ТЫС М3
115	Миллиард кубических метров	10^9 куб. м	МЛРД М3
116	Декалитр	дкл	ДКЛ
119	Тысяча декалитров	10^3 дкл	ТЫС ДКЛ
120	Миллион декалитров	10^6 дкл	МЛН ДКЛ
121	Плотный кубический метр	плотн. куб. м	ПЛОТН М3
123	Условный кубический метр	усл. куб. м	УСЛ М3
124	Тысяча условных кубических метров	10^3 усл. куб. м	ТЫС УСЛ М3
125	Миллион кубических метров переработки газа	10^6 куб. м перераб. газа	МЛН М3 ПЕРЕРАБ ГАЗА
127	Тысяча плотных кубических метров	10^3 плотн. куб. м	ТЫС ПЛОТН М3
128	Тысяча полулитров	10^3 пол. л	ТЫС ПОЛ Л
129	Миллион полулитров	10^6 пол. л	МЛН ПОЛ Л
130	Тысяча литров; 1000 литров	10^3 л; 1000 л	ТЫС Л
<i>Единицы массы</i>			
165	Тысяча каратов метрических	10^3 кар	ТЫС КАР
167	Миллион каратов метрических	10^6 кар	МЛН КАР
169	Тысяча тонн	10^3 т	ТЫС Т
171	Миллион тонн	10^6 т	МЛН Т
172	Тонна условного топлива	т усл. топл	Т УСЛ ТОПЛ
175	Тысяча тонн условного топлива	10^3 т усл. топл	ТЫС Т УСЛ ТОПЛ
176	Миллион тонн условного топлива	10^6 т усл. топл.	МЛН Т УСЛ ТОПЛ

Продолжение табл. П.2.2

1	2	3	4
177	Тысяча тонн единовременного хранения	10^3 т единовр. хран	ТЫС Т ЕДИ- НОВР ХРАН
178	Тысяча тонн переработки	10^3 т перераб усл.т	ТЫС Т ПЕРЕ- РАБ
179	Условная тонна	усл. т	УСЛ Т
<i>Технические единицы</i>			
226	Вольт-ампер	В.А	В.А
231	Метр в час	м/ч	М/Ч
232	Килокалория	ккал	ККАЛ
233	Гигакалория	Гкал	ГИГАКАЛ
234	Тысяча гигакалорий	10^3 Гкал	ТЫС ГИГА- КАЛ
235	Миллион гигакалорий	10^6 Гкал	МЛН ГИГА- КАЛ
236	Калория в час	кал/ч	КАЛ/Ч
237	Килокалория в час	ккал/ч	ККАЛ/Ч
238	Гигакалория в час	Гкал/ч	ГИГАКАЛ/Ч
239	Тысяча гигакалорий в час	10^3 Гкал/ч	ТЫС ГИГА- КАЛ/Ч
241	Миллион ампер-часов	10^6 А.ч	МЛН А.Ч
242	Миллион киловольт-ампер	10^6 кВ.А	МЛН КВ.А
248	Киловольт-ампер реактив- ный	кВ.А Р	КВ.А Р
249	Миллиард киловатт-часов	10^9 кВт.ч	МЛРД КВТ.Ч
250	Тысяча киловольт-ампер реактивных	10^3 кВ.А Р	ТЫС.КВ.А Р
251	Лошадиная сила	л.с	ЛС
252	Тысяча лошадиных сил	10^3 л.с	ТЫС ЛС
253	Миллион лошадиных сил	10^6 л.с	МЛН ЛС
254	Бит	бит	БИТ
255	Байт	байт	БАЙТ
256	Килобайт	кбайт	КБАЙТ
257	Мегабайт	Мбайт	МБАЙТ
258	Бод	бод	БОД
287	Генри	Гн	ГН
313	Тесла	Тл	ТЛ

1	2	3	4
337	Миллиметр водяного столба	мм вод. ст	ММ ВОД СТ
338	Миллиметр ртутного столба	мм рт. ст	ММ РТ СТ
339	Сантиметр водяного столба	см вод. ст	СМ ВОД СТ
<i>Единицы времени</i>			
352	Микросекунда	мкс	МКС
353	Миллисекунда	мс	МЛС
<i>Экономические единицы</i>			
383	Рубль	руб	РУБ
384	Тысяча рублей	10^3 руб	ТЫС РУБ
385	Миллион рублей	10^6 руб	МЛН РУБ
386	Миллиард рублей	10^9 руб	МЛРД РУБ
387	Триллион рублей	10^{12} руб	ТРИЛЛ РУБ
388	Квадрильон рублей	10^{15} руб	КВАДР РУБ
449	Тонно-километр	т. км	Т.КМ
450	Тысяча тонно-километров	10^3 т. км	ТЫС Т.КМ
510	Грамм на киловатт-час	г/кВт.ч	Г/КВТ.Ч
511	Килограмм на гигакалорию	кг/Гкал	КГ/ГИГАКАЛ
521	Человек на квадратный метр	чел/кв.м	ЧЕЛ/М2
522	Человек на квадратный километр	чел/кв.км	ЧЕЛ/КМ2
534	Тонна в час	т/ч	Т/Ч
535	Тонна в сутки	т/сут	Т/СУТ
536	Тонна в смену	т/смен	Т/СМЕН
537	Тысяча тонн в сезон	10^3 т/сез	ТЫС Т/СЕЗ
538	Тысяча тонн в год	10^3 т/год	ТЫС Т/ГОД
539	Человеко-час	чел. ч	ЧЕЛ.Ч
540	Человеко-день	чел. дн	ЧЕЛ.ДН
541	Тысяча человеко-дней	10^3 чел. дн	ТЫС ЧЕЛ.ДН
542	Тысяча человеко-часов	10^3 чел.ч	ТЫС ЧЕЛ.Ч
543	Тысяча условных банок в смену	10^3 усл.банк/смен	ТЫС УСЛ БАНК/СМЕН
544	Миллион единиц в год	10^6 ед/год	МЛН ЕД/ГОД
545	Посещение в смену	посещ/смен	ПО- СЕЩ/СМЕН
546	Тысяча посещений в смену	10^3 посещ/смен	ТЫС ПО- СЕЩ/СМЕН

Продолжение табл. П.2.2

1	2	3	4
547	Пара в смену	пар/смен	ПАР/СМЕН
548	Тысяча пар в смену	10^3 пар/смен	ТЫС ПАР/СМЕН
550	Миллион тонн в год	10^6 т/год	МЛН Т/ГОД
552	Тонна переработки в сутки	т перераб/сут	Т ПЕРЕ- РАБ/СУТ
553	Тысяча тонн переработки в сутки	10^3 т перераб/сут	ТЫС Т ПЕРЕ- РАБ/СУТ
554	Центнер переработки в су- тки	ц перераб/сут	Ц ПЕРЕ- РАБ/СУТ
555	Тысяча центнеров перера- ботки в сутки	10^3 ц перераб/сут	ТЫС Ц ПЕРЕ- РАБ/СУТ
560	Минимальная заработная плата	мин. заработн. плат	МИН ЗАРА- БОТН ПЛАТ
561	Тысяча тонн пара в час	10^3 т пар/ч	ТЫС Т ПАР/Ч
600	Доза	доз	ДОЗ
640	Тысяча доз	10^3 доз	ТЫС ДОЗ
642	Единица	ед	ЕД
643	Тысяча единиц	10^3 ед	ТЫС ЕД
644	Миллион единиц	10^6 ед	МЛН ЕД
698	Место	мест	МЕСТ
699	Тысяча мест	10^3 мест	ТЫС МЕСТ
744	Процент	%	ПРОЦ
746	Промилле	промилле	ПРОМИЛЛЕ
792	Человек	чел	ЧЕЛ
793	Тысяча человек	10^3 чел	ТЫС ЧЕЛ
794	Миллион человек	10^6 чел	МЛН ЧЕЛ
812	Ящик	ящ	ЯЩ
837	Тысяча пар	10^3 пар	ТЫС ПАР
838	Миллион пар	10^6 пар	МЛН ПАР
839	Комплект	компл	КОМПЛ
840	Секция	секц	СЕКЦ
875	Тысяча коробок	10^3 кор	ТЫС КОР
876	Условная единица	усл. ед	УСЛ ЕД
877	Тысяча условных единиц	10^3 усл. ед	ТЫС УСЛ ЕД
878	Миллион условных единиц	10^6 усл. ед	МЛН УСЛ ЕД
879	Условная штука	усл. шт	УСЛ ШТ

1	2	3	4
880	Тысяча условных штук	10^3 усл.шт	ТЫС УСЛ ШТ
881	Условная банка	усл. банк	УСЛ БАНК
882	Тысяча условных банок	10^3 усл.банк	ТЫС УСЛ БАНК
884	Условный кусок	усл. кус	УСЛ КУС
885	Тысяча условных кусков	10^3 усл. кус	ТЫС УСЛ КУС
886	Миллион условных кусков	10^6 усл. кус	МЛН УСЛ КУС
887	Условный ящик	усл. ящ	УСЛ ЯЩ
888	Тысяча условных ящичков	10^3 усл. ящ	ТЫС УСЛ ЯЩ
889	Условная катушка	усл. кат	УСЛ КАТ
890	Тысяча условных катушек	10^3 усл. кат	ТЫС УСЛ КАТ
891	Условная плитка	усл. плит	УСЛ ПЛИТ
892	Тысяча условных плиток	10^3 усл. плит	ТЫС УСЛ ПЛИТ
893	Условный кирпич	усл. кирп	УСЛ КИРП
894	Тысяча условных кирпичей	10^3 усл. кирп	ТЫС УСЛ КИРП
896	Семья	семей	СЕМЕЙ
897	Тысяча семей	10^3 семей	ТЫС СЕМЕЙ
898	Миллион семей	10^6 семей	МЛН СЕМЕЙ
902	Ученическое место	учен. мест	УЧЕН МЕСТ
903	Тысяча ученических мест	10^3 учен.мест	ТЫС УЧЕН МЕСТ
904	Рабочее место	раб. мест	РАБ МЕСТ
905	Тысяча рабочих мест	10^3 раб. мест	ТЫС РАБ МЕСТ
906	Посадочное место	посад. мест	ПОСАД МЕСТ
907	Тысяча посадочных мест	10^3 посад. мест	ТЫС ПОСАД МЕСТ
908	Номер	ном	НОМ
909	Квартира	кварт	КВАРТ
913	Том книжного фонда	том книжн. фонд	ТОМ КНИЖН ФОНД
914	Тысяча томов книжного фонда	10^3 том книжн. фонд	ТЫС ТОМ КНИЖН ФОНД

1	2	3	4
915	Условный ремонт	усл. рем	УСЛ РЕМ
916	Условный ремонт в год	усл. рем/год	УСЛ РЕМ/ГОД
917	Смена	смен	СМЕН
918	Лист авторский	л. авт	ЛИСТ АВТ
920	Лист печатный	л. печ	ЛИСТ ПЕЧ
921	Лист учетно-издательский	л. уч.-изд	ЛИСТ УЧ.ИЗД
922	Знак	знак	ЗНАК
923	Слово	слово	СЛОВО
924	Символ	символ	СИМВОЛ
957	Тысяча тонно-миль	10 т. миль	ТЫС Т. МИЛЬ
958	Тысяча пассажиро-миль	10 пасс. миль	ТЫС ПАСС. МИЛЬ
959	Автомобиле-день	автомоб. дн	АВТОМОБ. ДН
960	Тысяча автомобиле-тонно- дней	10 ³ автомоб. т. дн.	ТЫС АВТО- МОБ. Т. ДН
961	Тысяча автомобиле-часов	10 ³ автомоб. ч	ТЫС АВТО- МОБ. Ч
962	Тысяча автомобиле-место- дней	10 ³ автомоб. мест. дн	ТЫС АВТО- МОБ. МЕСТ. ДН
963	Приведенный час	привед. ч	ПРИВЕД. Ч
965	Тысяча километров	10 ³ км	ТЫС КМ
966	Тысяча тоннаже-рейсов	10 ³ тоннаж. рейс	ТЫС ТОН- НАЖ. РЕЙС

**Приложение 3. Производные величины
(не имеющие собственных названий)**

№ п/п	Физическая величина			Обозначение единицы		Размерность и соотноше- ние
	наименование	обо- зна- чение	опреде- ляющее уравне- ние	русское	между- народ- ное	
1	2	3	4	5	6	7
<i>Механические величины</i>						
1	Площадь	S	l^2	m^2	m^2	$[m^2]$
				см ²	sm ²	$1\text{ см}^2 = 10^{-4} m^2$
				мм ²	m·n ²	$мм^2 = 10^{-6} m^2$
2	Объем, вместимость	V	l^3	m^3	m^3	$[m^3]$
				л (литр)	l (ltr)	$1\text{ л} = 10^{-3} m^3$
				см ³	sm ³	$1\text{ см}^3 = 10^{-6} m^3$
				мл	m	
3	Скорость	v	l/t	м/с	m/s	$[m \cdot c^{-1}]$
				м/ч	m/h	
				м/мин	m/min	
				км/ч	km/h	
4	Ускорение	a	v/t	m/c^2	m/s^2	$[m/c^2]$
5	Период	T	[c]	c	s	[c]
6	Угловая скорость	ω	ϕ/t	рад/с	rad/s	$[рад \cdot c^{-1}]$
7	Плотность	ρ	m/V	$кг/м^3$ $г/см^3$	kg/m^3	$[кг \cdot m^{-3}]$
8	Относительная плотность	d	ρ/ρ_0	1	1	
9	Удельный объем	υ	V/m	$m^3/кг$	m^3 / kg	$[m^3/кг^{-1}]$
				см ³ /г	sm ³ / g	
10	Удельный вес	γ	G/V	H/m^3	N/n^3	$[H \cdot m^{-3}]$
11	Кинетическая энергия	T	$mv^2/2$	Дж	J	$[кг \cdot м \cdot c^{-2}]$
	Потенциальная энергия	П	mgh			
12	Момент силы	M	$F \cdot r$	Н·м	Nm	$[м^2 \cdot кг \cdot c^{-2}]$
13	Модуль упругости	K	σ/ϵ	Па	Pa	$[м^{-1} \cdot кг \cdot c^{-2}]$
14	Коэффициент Пуассона	μ				
15	Модуль Юнга	E	σ/ϵ			
16	Модуль сдвига	G				

1	2	3	4	5	6	7
17	Динамическая вяз- кость	η	$\frac{F}{dv/dl \cdot \Delta l}$	Па·с	Pa · s	$[M^{-1} \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}]$
18	Кинетическая вяз- кость	ν	η/ρ	$\text{м}^2/\text{с}$	$\text{м}^2/\text{s}$	$[M^2 \cdot \text{с}^{-1}]$
<i>2. Величины термодинамики и молекулярной физики</i>						
19	Концентрация мо- лекул	n	N/V	м^{-3}	м^{-3}	$[m^{-3}]$
20	Молярная масса	M	m/ν	кг/моль	kg/mol	$[\text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}]$
21	Коэффициент диффузии	D	ν/l	$\text{м}^2/\text{с}$	$\text{м}^2/\text{s}$	$[\text{см}^2/\text{с}]$
22	Удельное количе- ство теплоты	q	Q/m	Дж/кг	sm^2/s	$[M^2 \text{ с}^2]$
23	Теплоемкость	C	$Q/\Delta T$	Дж/К	J/kg	$[M^2 \text{ кг} \text{ с}^{-2} \text{ K}^{-1}]$
24	Удельная тепло- емкость	c	C/m	Дж /(кг·К)	J/(kg·K)	$[M^2 \text{ с}^{-2} \text{ K}^{-1}]$
25	Молярная тепло- емкость	C_m	$c \cdot M$	Дж/(мол · К)	J/(mol·K)	$[M^2 \text{ кг} \text{ с}^{-2} \text{ K}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}]$
26	Энтропия	S	$\Delta Q/T$	Дж/К	J/K	$[M^2 \text{ кг} \text{ с}^{-2} \text{ K}^{-1}]$
27	Теплопроводность (коэффициент те- плопроводности)	λ	$\frac{Q}{dT/dr \cdot St}$	Вт/(м·К)	$W/(m \cdot K)$	$[M \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \text{ K}^{-1}]$
28	Коэффициент теп- лообмена (тепло- отдачи)	α	$\frac{\Phi}{S \Delta T}$	Вт/(м ² ·К)	$W/(m^2 \cdot K)$	$[\text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \text{ K}^{-1}]$
29	Коэффициент теплопередачи	h				
30	Температуро- проводность	a	$\frac{\lambda}{C_p \cdot \rho}$	$\text{м}^2/\text{с}$	$\text{м}^2/\text{s}$	$[M^2 \text{ с}^{-1}]$
31	Поверхностное на- тяжение	α	$\Delta F/\Delta l$	Н/м	N / m	$[\text{кг} \cdot \text{с}^{-2}]$
<i>3. Электрические и магнитные величины</i>						
32	Коэффициент Томсона	σ	$Q/q \Delta T$	В/К	V/K	$[M^2 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} \text{ K}^{-1} \text{ J}]$
33	Плотность элек- трического тока	δ	I/S	A/м ²	A/m ²	$[M^2 \text{ J}]$
34	Коэффициент Пельтье	Π	Q/q	Дж/Кл	J/C	$[M^2 \text{ кг} \text{ с}^{-1}]$
35	Подвижность ио- нов (электронов)	ν	V/E	$\text{м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$	$\text{м}^2/\text{V} \cdot \text{s}$	$[M^{-1} \text{ с}^2]$

Продолжение Приложения 3

1	2	3	4	5	6	7
36	Удельная электрическая проводимость	σ	$\text{г} \cdot \text{л} / \text{С}$	$\text{См} / \text{м}$	$\text{С} / \text{м}$	$[\text{м}^{-3} \text{кг}^{-1} \text{с}^3 \text{л}^2]$
37	Температурный коэффициент сопротивления	α	$\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0 \cdot \tau}$	К^{-1}	К^{-1}	$[\text{К}^{-1}]$
39	Напряженность электрического поля	E	$\text{В} / \text{В}$	$\text{Н} / \text{Кл}$	$\text{Н} / \text{С}$	$[\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \text{л}^{-1}]$
4. Акустические величины						
40	Акустическое сопротивление	Z_a	$\text{Па} \cdot \text{с} / \text{В}$	$\text{Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$	$\text{Па} \cdot \text{с} / \text{м}^3$	$[\text{м}^4 \text{кг} \cdot \text{с}^{-1}]$
41	Плотность звукового давления	ω	$\Delta W / \Delta V$	$\text{Дж} / \text{м}^3$	$\text{Дж} / \text{м}^3$	$[\text{м}^{-1} \text{кг} \text{с}^{-2}]$
42	Интенсивность звука	I	$\text{Вт} / \text{С}$	$\text{Вт} / \text{м}^2$	$\text{Вт} / \text{м}^2$	$[\text{кг} \cdot \text{с}^{-3}]$
43	Показатель преломления	N	$\text{С} / \text{В}$		1	
44	Линейное увеличение	β	y_r / y	1	1	
45	Волновое число	ν	$1 / \lambda$	1	м^{-1}	$[\text{м}^{-1}]$
46	Энергетическая светимость (излучательность)	Re	$\Phi_c / \text{С}$	м^{-1}	$\text{Вт} / \text{м}^2$	$[\text{кг} \cdot \text{с}^{-3}]$
47	Энергетическая освещенность (облученность)	Ee	$\Phi_c / \text{С}$	$\text{Вт} / \text{м}^2$		
48	Энергетическая сила света	Ic	Φ_c / ω	$\text{Вт} / \text{ср}$	$\text{Вт} / \text{ср}$	$[\text{м}^2 \text{кг} \text{с}^{-3}]$
49	Яркость	Вц	$1 / (\delta \cos \varphi)$	$\text{Кд} / \text{м}^2$		$[\text{м}^{-2} \text{Кд}]$
50	Мощность дозы излучения (поглощения)	D	$\Delta D / \Delta t$	$\text{Гй} / \text{с}$	$\text{Гй} / \text{С}$	$[\text{м}^2 \text{с}^{-3}]$
51	Световая энергия	Q	Φt	$\text{лм} \cdot \text{с}$		$[\text{с} \cdot \text{лм}]$
52	Доза излучения	D	$\Delta W / \Delta m$	$\text{Дж} / \text{кг}$	$\text{Дж} / \text{кг}$	$[\text{м}^2 \text{с}^{-1}]$
53	Экспозиционная доза фотонного (гамма-рентгеновского) излучения	X	$\Delta Q / \Delta m$	$\text{Кл} / \text{кг}$	$\text{С} / \text{кг}$	$[\text{кг}^{-1} \text{с Кл}]$

Продолжение Приложения 3

1	2	3	4	5	6	7
54	Мощность экспозиционной дозы фотонного излучения	X'	$\Delta X/\Delta t$	A/ кг	A/ kg	[кг ⁻¹ A]
55	Интенсивность ионизирующего излучения (плотность потока излучения)	Ψ	P/S	Вт/м ²	A/ м ²	[кг с ⁻³]
56	Активность нуклида (активность изотопа)	A	$\Delta N/\Delta t$	с ⁻¹	S ⁻¹	[с ⁻¹]
57	Поток ионизирующих частиц	Φ	$\Delta N/\Delta S$	с ⁻¹	S ⁻¹	[с ⁻¹]
58	Плотность потока ионизирующих частиц	J	$\Delta \Phi/\Delta S$	с ⁻¹ м ⁻²	S ⁻¹ м ⁻²	[с ⁻¹ м ⁻²]
<i>5. Концентрационные величины</i>						
59	Массовая доля компонента A		ma/m	-	-	
				%	%	
				тыс ⁻¹	pm	
				млн ⁻¹	ppm	
60	Массовое отношение компонента A		ma/(m-ma)	-	-	
61	Молярная доля компонента A	X_a	Na/N	-	-	
62	Молярное отношение компонента A		Na/(N-Na)	-	-	
				%	%	
				тыс ⁻¹	pm	
				млн ⁻¹	ppm	
63	Объемная доля компонента A	φ_a	Va/V	-	-	
64	Объемное отношение компонента A		Va/(V-Va)	-	-	
65	Массовая концентрация компонента A	ω_a	ma/V	кг/м ³	kg/м ³	
				г/см ³	g/sm ³	
				г/мл	g/ml	
66	Молярная концентрация компонента A	C_a	Na/V	моль/м ³	mol/ м ³	
				моль/см ³	mol /sm ³	
				моль/л ³	mol / l	

Приложение 4. Соотношения между характеристиками влажности газов [23]

Ниже приведены уравнения связи характеристик влагосодержания и влажосостояния с учетом поведения реальных газовых систем.

$$Sn = Z_3 \frac{P_g}{P} = Z_3 \frac{P_g}{P} = Z_3 S \frac{P_g}{P} = Z_3 \frac{P_g - \Delta P_g}{P} = Z_4 A_2 a \frac{T}{P} = Z_1 A_1 C m = Z_1 D_1 C n =$$

$$\frac{Sn^*}{1 + Sn^*} = \frac{Sm}{B_1(1 - B_9 Sm)} = \frac{Sm^*}{B_1 + Sm^*} = Z_7 Sv = \frac{Sv^*}{Z_7(1 + Sv^*)}. \quad (\text{П } 4.1)$$

Эти соотношений получены на основании определяющих уравнений при следующих допущениях:

1. Газовая смесь есть бинарная (квазибинарная) система, состоящая из определяемого компонента (индекс В) и остальной части (индекс С). Ее поведение описывается известным уравнением состояния $pV = RTNK$ и соотношениями:

$$N = N_B + N_C \quad \text{и} \quad m = m_B + m_C. \quad (\text{П.4.2})$$

где N - количество вещества, m - масса, p - давление, V - объем, R - газовая постоянная, K - коэффициент сжимаемости смеси

2. Влияние компонентов смеси на ее коэффициент сжимаемости K пропорционально молярным долям коэффициентов каждого компонента Sn смеси и описывается выражением:

$$K = Sn_C K_C + Sn_B K_B. \quad (\text{П.4.3})$$

3. Парциальные давления компонентов смеси есть молярные доли от общего давления смеси:

$$P_C = Sn_C P; P_B = Sn_B P, \quad (\text{П.4.4})$$

откуда получаем: $P = P_C + P_B$. Это выражение аналогично по форме закону Дальтона с той разницей, что в данном случае имеет место реальное состояние газовой смеси. Из (П.4.2) и (П.4.3) получаем:

$$P_C = N_C K_C RTV \quad \text{и} \quad P_B = N_B K_B RTV. \quad (\text{П.4.5})$$

Далее, подставляя в определяющие уравнения соответствующие зависимости и производя необходимые преобразования, получим формулы (П.4.1). В них обозначены:

коэффициенты, зависящие от природы основного и определяемого компонентов:

$$B_1 = \frac{M_g}{M_c}; B_2 = \frac{1}{B_2}; B_3 = \frac{RT}{M_c P_n}; B_4 = B_6 = B_2 - 1; B_5 = \frac{R}{M_c}; B_7 = M_g B_3; B_8 = R B_5; B_9 = 1 - B_1;$$

коэффициенты, зависящие только от определяемого компонента:

$$A_1 = \frac{RT_n}{M_g P_n}; A_2 = \frac{R}{M_g}; A_3 = \frac{1}{M_g}; A_4 = \frac{P_n}{T_n M_g};$$

коэффициенты, имеющие постоянные значения:

$$D_1 = \frac{RT_n}{P_n} = 0,02406 \text{ м}^3; D_2 = T_n P_n = 3,4564 \text{ мбар}.$$

В табл. П.4.1. приведены значения этих коэффициентов для некоторых газов.

Коэффициенты Z_i позволяют учитывать реальное поведение газовых смесей:

$$Z_1 = K_n; Z_2 = \frac{K}{K_n}; Z_3 = \frac{K}{K_n}; Z_4 = K; Z_5 = K_e; Z_6 = \frac{K_n K_a}{K}; Z_7 = \frac{K_a}{K_n};$$

$$Z_8 = \frac{K_a K}{K_n K_a}; Z_9 = \frac{K_{an} K}{K_n}; Z_{10} = K_{an},$$

где K -коэффициент сжимаемости определяемого компонента или смеси при рабочих условиях K_n - то же, но при нормальных условиях.

Как видно из уравнения (П.4.3), K_n и K_e , являются коэффициентами сжимаемости не чистых газов, а компонентов смеси. Они могут быть найдены с помощью коэффициентов эмпирических уравнений состояния, записанных в вириальной форме, к которой, как показано в [24], можно привести любое уравнение состояния. Для этого, ограничиваясь вторым вириальным коэффициентом запишем уравнение состояния для бинарной системы:

$$\frac{PV}{RT} = 1 + \frac{B_{11}n_1^2 + 2B_{12}n_1n_2 + B_{22}n_2^2}{V_0} \quad (\text{П.4.6})$$

Заменив в правой части первое слагаемое $1 = n_1 + n_2$ и заменив удвоенное произведение на два слагаемых вида $B_{12}n_1n_2$ получим:

$$K = n_1 \left(1 + \frac{B_{11}n_1 + B_{12}n_2}{V_0} \right) + n_2 \left(1 + \frac{B_{22}n_2 + B_{12}n_1}{V_0} \right), \quad (\text{П.4.7})$$

откуда переходя к принятым выше обозначениям $n_1 = S_n$ и $n_2 = 1 - S_n$ имеем:

$$K_n = 1 + \frac{B_{cc} + S_n(B_{cs} - B_{cc})}{V_0} \quad (\text{П.4.8})$$

$$K_e = 1 + \frac{B_{ca} + S_n(B_{sa} - B_{ca})}{V_0}$$

(П.4.9)

Для влажного воздуха удобнее эти уравнения записать в виде, предложенном в [25], поскольку входящие в них коэффициенты определены с достаточной для гигрометрии точностью:

$$\frac{PV}{RT} = 1 - \frac{P[2(1-n_v)A_{aa} + 2n_v(1-n_v)A_{av} + 2n_vA_{ww}]}{RT} \quad (\text{П.4.10})$$

При этом уравнения (П.4.8) и (П.4.9) примут вид:

$$K_n = 1 - \frac{P[A_{aa} + S_n(A_{av} - A_{aa})]}{RT} \quad (\text{П.4.11})$$

$$K_e = 1 - \frac{P[A_{aw} + S_n(A_{ww} - A_{aw})]}{RT} \quad (\text{П.4.12})$$

Подробнее о коэффициентах A_{aa} , A_{av} и A_{ww} можно найти в [26].

В общем случае, для любого числа компонентов газовой смеси уравнение (П.4.4) примет вид:

$$P_i = \frac{RTKp_i n_i}{V_0} \quad (\text{П.4.13})$$

где $Kp_i = 1 + \sum n_j B_{ij}$

В уравнении (П.4.6) выражения числители второго слагаемого в круглых скобках есть второй вириальный коэффициент смеси, а выражение в круглых скобках уравнений (П.4.8) и (П.4.9) есть его части, пропорциональные молярным долям компонентов. Назовем эти части молярными частями вириальных коэффициентов.

Если учесть третий и последующие вириальные коэффициенты, парциальное давление будет выражаться уравнением:

$$P_i = \frac{RTn_i}{V_0} \left[1 + \frac{B(T)_i}{V_0} + \frac{C(T)_i}{V_0} + \frac{D(T)_i}{V_0} + \dots \right], \quad (\text{П.4.14})$$

где $B(T)_i$, $C(T)_i$, $D(T)_i$ - второй, третий, четвертый вириальные коэффициенты.

Молярные доли вириальных коэффициентов можно вычислить и из коэффициентов приемлемого для каждого конкретного случая эмпирического уравнения состояния, приведенного к вириальной форме. Покажем это на примере уравнения Бигтэ [27], коэффициенты которого известны для большого количества газов.

$$P = \frac{RT}{V^2} \left(1 - \frac{C_m}{VT^3} \right) \left[V + (B_0)_m \left(1 - \frac{b_m}{V} \right) \right] - \frac{A_m}{V^2} \left(1 - \frac{a_m}{V} \right). \quad (\text{П.4.15})$$

Его вириальные коэффициенты:

$$B(T) = (B_0)_m - \frac{C_m}{T^3} - \frac{(A_0)_m}{RT}, \quad (\text{П.4.16})$$

$$C(T) = \frac{(A_0)_m a_m}{RT} - \frac{C_m (B_0)_m}{T^3} - (B_0)_m b_m, \quad (\text{П.4.17})$$

$$D(T) = C_m b_m (B_0)_m. \quad (\text{П.4.18})$$

где $(A_0)_m = [\sum n_j \sqrt{(A_0)_j}]^2$; $(B_0)_m = \sum n_j (B_0)_j$;
 $a_m = \sum n_j a_j$; $b_m = \sum n_j b_j$; $C_m = \sum n_j C_j$.

Исходя из принятого здесь принципа молярной пропорциональности из уравнения (11), можно записать в общем виде выражения для молярных частей вириальных коэффициентов:

$$B(T)_i = (B_0)_{mi} - \frac{C_{mi}}{T^3} - \frac{(A_0)_{mi}}{RT}, \quad (\text{П.4.19})$$

$$C(T)_i = \frac{(A_0)_{mi} a_{mi}}{RT} - \frac{C_{mi} (B_0)_{mi}}{T^3} - (B_0)_{mi} b_{mi}, \quad (\text{П.4.20})$$

$$D(T)_i = C_{mi} b_{mi} (B_0)_{mi}. \quad (\text{П.4.21})$$

Таблица П.4.1
Значения коэффициентов для некоторых газов

Коэф- фици- ент	Единица измерения	Угле- кислый газ	Кисло- род	Стан- дартный воздух	Азот	Окись углерода	Метан	Водород
M_c	г/моль	44,0100	31,9988	28,9605	28,0134	28,0105	16,0430	2,01594
B_1	-	0,4094	0,5630	0,6220	0,6431	0,6432	0,1229	8,9365
B_2	-	-0,5996	-0,4370	-0,3780	-0,3569	-0,3568	1,2229	7,9365
B_3	10^{-4} м ³ /г	5,4658	7,5174	8,3050	8,5869	8,5878	14,9979	119,323
B_4	10^{-4} м ³ /г	7,8866	5,8350	5,0470	4,7655	4,7646	1,6415	1,0597
B_5	10^{-6} бар.м ³ /(К.г)	1,8892	2,5983	2,8705	2,9680	2,9683	5,1825	41,243
B_6	10^{-6} бар.м ³ /(К.г)	2,7259	2,0168	1,7446	1,6471	1,6469	-5,6738	-36,628
B_7	10^{-2} м ³ моль	0,9847	1,3544	1,4962	1,5470	1,5472	2,7014	21,498
B_8	10^{-2} м ³ моль	1,4208	1,0512	1,9092	0,8585	0,8584	-0,2957	-19,096
B_9	-	-1,4429	-0,7762	-0,6678	-0,5550	-0,5548	0,1095	0,8881

Приложение 5. Соотношение между единицами измерений

Таблица П.5.1

Соотношение между единицами длины

Единица измерения	Км	м	см	дюйм	фут	Морская миля
Километр	1	10^3	10^5	$3,94 \cdot 10^4$	$3,28 \cdot 10^3$	0,540
Метр	10^{-3}	1	10^2	39,4	3,28	$5,4 \cdot 10^{-4}$
Сантиметр	10^{-5}	10^{-2}	1	0,394	$3,28 \cdot 10^{-2}$	$5,4 \cdot 10^{-2}$
Дюйм	$2,54 \cdot 10^{-5}$	$2,54 \cdot 10^{-2}$	2,54	1	$1,33 \cdot 10^{-2}$	$1,37 \cdot 10^{-5}$
Фут	$3,05 \cdot 10^{-4}$	0,305	30,5	12	1	$1,65 \cdot 10^{-4}$
Морская миля	1,85	$1,85 \cdot 10^3$	$1,85 \cdot 10^5$	$7,29 \cdot 10^4$	$6,08 \cdot 10^3$	1

Таблица П.5.2

Соотношение между единицами площади

Единица	га	м ²	см ²	кв. дюйм	кв. фут
Гектар	1	10^4	10^8	$1,55 \cdot 10^7$	$1,08 \cdot 10^5$
Квадратный метр	10^{-4}	1	10^4	$1,55 \cdot 10^3$	10,8
Квадратный сантиметр	10^{-8}	10^{-4}	1	0,155	$1,08 \cdot 10^{-3}$
Квадратный дюйм	$6,45 \cdot 10^{-8}$	$6,45 \cdot 10^{-4}$	6,45	1	$6,94 \cdot 10^{-3}$
Квадратный фут	$9,29 \cdot 10^{-6}$	$9,29 \cdot 10^{-2}$	$9,29 \cdot 10^2$	$1,12 \cdot 10^6$	1

Таблица П.5.3

Соотношение между единицами объема

Единица	м ³	см ³	л (дм ³)	куб. фут	куб. дюйм
Кубический метр	1	10^6	10^3	35,3	$6,1 \cdot 10^4$
Кубический сантиметр	10^{-6}	1	10^{-3}	$3,53 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^{-2}$
Литр (кубический дециметр)	10^{-3}	10^3	1	$3,53 \cdot 10^{-2}$	61
Кубический фут	$2,83 \cdot 10^{-2}$	$2,83 \cdot 10^4$	28,3	1	$1,73 \cdot 10^3$
Кубический дюйм	$1,639 \cdot 10^{-5}$	16,39	$1,639 \cdot 10^{-2}$	$5,79 \cdot 10^{-4}$	1

Таблица П.5.4

Соотношение между единицами массы

Единица	кг	г	т	фунт	унция
Килограмм	1	10^3	10^{-3}	2,2046	35,274
Грамм	10^{-3}	1	10^{-6}	$2,2046 \cdot 10^{-3}$	$3,5274 \cdot 10^{-2}$
Тонна	10^3	10^6	1	$2,2046 \cdot 10^3$	$3,5274 \cdot 10^4$
Фунт	0,454	$4,54 \cdot 10^2$	$4,54 \cdot 10^{-4}$	1	16
Унция	$2,835 \cdot 10^{-2}$	28,35	$2,835 \cdot 10^{-5}$	$6,25 \cdot 10^{-2}$	1

Таблица П.5.5

Соотношение между единицами скорости

Единица	м/с	м/мин	см/с	км/ч	узел
Метр в секунду	1	60	100	3,6	1,94
Метр в минуту	$1,67 \cdot 10^{-2}$	1	1,67	$6 \cdot 10^{-2}$	$3,24 \cdot 10^{-2}$
Сантиметр в секунду	10^{-2}	0,6	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$1,94 \cdot 10^{-2}$
Километр в час	0,278	16,7	27,8	1	0,540
Узел	0,514	30,9	51,4	1,85	1

Таблица П.5.6

Соотношение между единицами силы

Единица	Н	дин	кгс	сн
Ньютон	1	10^5	0,102	10^{-3}
Дина	10^{-5}	1	$1,02 \cdot 10^{-6}$	10^{-8}
Килограмм-сила	9,81	$9,81 \cdot 10^5$	1	$9,81 \cdot 10^{-3}$
Стен	10^3	10^8	102	1

Таблица П.5.7

Соотношение между единицами времени

Единица	с	сут	ч	мин	мс	мкс
Секунда	1	1/86400	1/3600	1/60	10^{-3}	10^{-6}
Сутки	86400	1	24	1440	$86,4 \cdot 10^6$	$86,4 \cdot 10^9$
Час	3600	1/24	1	60	$3,6 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^9$
Минута	60	1/1440	1/60	1	60000	$60 \cdot 10^6$
Миллисе- кунда	10^{-3}	$1/(86,4 \cdot 10^6)$	$1/(3,6 \cdot 10^6)$	1/60	1	10^3
Микросе- кунда	10^{-6}	$1/(86,4 \cdot 10^9)$	$1/(3,6 \cdot 10^9)$	$1/60 \cdot 10^6$	0,001	1

Таблица П.5.8

Соотношение между единицами теплоты

Единица	Дж	кал	Кал ₁₅	Кал (термо-химическая)	БТЕ
Джоуль	1	0,238846	0,238920	0,239006	$9,4781 \cdot 10^{-4}$
Калория (международная)	4,1868	1	1,00031	1,00067	$3,96829 \cdot 10^{-3}$
Калория 15-градусная	4,1855	0,99969	1	1,00036	$3,96706 \cdot 10^{-3}$
Калория (термо-химическая)	4,1840	0,99933	0,99964	1	$3,96564 \cdot 10^{-3}$
Британская тепловая единица	1055,06	251,997	252,075	252,075	1

Таблица П.5.8

Соотношение между единицами энергии

Единица	Дж	эрг	кгс·м	кал	ккал	кВт·ч
Джоуль	1	10^7	0,102	0,239	$2,39 \cdot 10^{-4}$	$2,78 \cdot 10^{-7}$
Эрг	10^{-7}	1	$1,02 \cdot 10^{-8}$	$2,39 \cdot 10^{-8}$	$2,78 \cdot 10^{-11}$	$2,78 \cdot 10^{-14}$
Килограмм-сила-метр	9,8067	$9,8067 \cdot 10^7$	1	2,343	$2,343 \cdot 10^{-3}$	$2,72 \cdot 10^{-6}$
Калория	4,1868	$4,1868 \cdot 10^7$	0,42686	1	10^3	$1,16 \cdot 10^{-6}$
Килокалория	$4,1868 \cdot 10^3$	$4,1868 \cdot 10^{10}$	$4,2686 \cdot 10^2$	10^3	1	$1,16 \cdot 10^{-3}$
Киловатт-час	$3,6 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^{11}$	$3,67 \cdot 10^5$	$8,6 \cdot 10^5$	$8,6 \cdot 10^2$	1

Таблица П.5.9

Соотношение между единицами мощности

Единица	Вт	эрг/с	кгс·м/с	кал/с	л.с.
Ватт	1	10^7	0,102	0,239	$1,36 \cdot 10^{-3}$
Эрг в секунду	10^{-7}	1	$1,02 \cdot 10^{-8}$	$2,39 \cdot 10^{-8}$	$1,36 \cdot 10^{-10}$
Килограмм-сила-метр в секунду	9,8067	$9,8067 \cdot 10^{-7}$	1	2,343	$1,33 \cdot 10^{-2}$
Калория в секунду	4,1868	$4,1868 \cdot 10^7$	0,427	1	$5,69 \cdot 10^{-3}$
Лошадиная сила	736	$7,36 \cdot 10^9$	75	175,5	1

Таблица П.5.10

Соотношение между единицами давления

Единицы	Па	бар	мм вод.ст.	мм рт.ст.	кгс/см ²	Фунт-сила на кв. дюйм
Паскаль	1	10^{-5}	0,102	$7,5024 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,45 \cdot 10^{-4}$
Бар	10^5	1	$1,02 \cdot 10^{-4}$	$7,5024 \cdot 10^2$	1,02	14,5
Миллиметр водяного столба	9,8067	$9,8067 \cdot 10^{-5}$	1	$7,35 \cdot 10^{-2}$	10^{-4}	$1,422 \cdot 10^{-3}$
Миллиметр ртутного столба	$1,33 \cdot 10^2$	$1,33 \cdot 10^{-3}$	13,6	1	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,934 \cdot 10^{-2}$
Килограмм-сила на квадратный сантиметр	$9,8067 \cdot 10^4$	0,98067	10^4	$7,35 \cdot 10^2$	1	14,223
Фунт-сила на квадратный дюйм	$6,8948 \cdot 10^3$	$6,8948 \cdot 10^{-2}$	$7,0307 \cdot 10^2$	52,2	$7,0307 \cdot 10^{-2}$	1

Приложение 6. Единицы, применявшиеся в России перед их отменой

Величина	Наименование единицы и ее дольные	Перевод в единицы СИ
1	2	3
Длина	1 верста = 50 сажням = 1500 аршинам	1,0668 км
	1 сажень = 3 аршинам = 48 вершкам	2,1336 м
	1 аршин = 16 вершкам	71,120 см
	1 сажень = 7 футам = 48 дюймам	2,1336 м
	1 фут = 12 дюймам = 120 линиям	0,3048 м
	1 дюйм = 10 линиям = 100 точкам	2,54 см
Объем (вместимость для жидких тел)	1 бочка = 40 ведер = 400 штофам	491,98 дм ³
	1 ведро = 10 штофам = 20 бутылкам	12,2994 дм ³
	1 штоф = 2 бутылкам = 10 чаркам	1,22994 дм ³
	1 бутылка = 5 чаркам = 10 шкаликам	0,614970 дм ³
	1 четверть = 8 четверикам = 64 гарнцам	209,91 дм ³
	1 четверть = 8 гарнцам	262,387 дм ³
	1 гарнец	3,27984 дм ³

Окончание табл. П.6

1	2	3
Площадь	1 десятина = 2400 квадратным сажением	10925,4 м ²
Объем (вместимости мер для сыпучих тел)	1 берковец = 10 пудам = 400 фунтам	163,805 кг
	1 пуд = 40 фунтам = 1280 лотам	16,3805 кг
	1 фунт = 32 лотам = 96 золотникам	409,512 г
	1 лот = 3 золотникам = 288 долям	12,797 г
Масса	1 доля	44,4349 мг
Русский аптекарский вес	Аптекарский фунт = 12 унциям	358,328 г
	1 унция = 8 драхмам	28,860 г
	1 драхма = 3 скрупулам	3,732 г
	1 скрупул = 20 граням	1,244 г
	1 гран	0,062 г

Библиографический список

1. ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы физических величин.
2. Бегунов А.А. Метрологические основы аналитики. - СПб.: РИМ, 2004.
3. ГОСТ 8.563-2002. ГСИ. Методики выполнения измерений.
4. Бегунов А.А., Лисицын А.Н., Пацовский А.П., Соколов П.А., Санова Л.А. Методики выполнения измерений. Разработка, оформление, аттестация. - СПб: ГНУ ВНИИЖ Россельхозакадемии, 2001.
5. Бегунов А.А. Метрология в пищевой и перерабатывающей промышленности: учебно-справочная книга. В 2 т. - М: Изд-во Россельхозакадемии, 2005.
6. РМГ 29-99. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Минск: ИПК «Издательство стандартов», 2000.
7. ГОСТ 51487-99. Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа.
8. ГОСТ 28561-90. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги.
9. Словарь русского языка. В 4 т./ АН СССР, Ин-т рус. яз.: под ред. А.П. Евгеньевой. - 3-е изд. стереотип. - М.: Русский язык, 1985-1988.
10. Большой энциклопедический словарь. Физика/ гл. науч. ред. А.М. Прохоров. - М.: Науч. изд-во «Большая Российская энциклопедия»; СПб.: НОРИТ, 1997.
11. ГОСТ Р 51672-2000. ГСИ. Метрологическое обеспечение испытаний продукции для целей подтверждения соответствия. Основные положения.
12. Гельфанд С.Ю., Дьяконова Э.В. Статистические методы контроля качества пищевой продукции в консервной и пищекопцентратной промышленности.

ленности. – М.: Легкая и пищевая пром-ть, 1984.

13. ГОСТ Р ИСО 5725 – 2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений.

14. ГОСТ 8.417-81. ГСИ. Единицы физических величин.

15. СТ СЭВ 1052-78. Метрология. Единицы физических величин.

16. РД 50-160-79. Методические указания по внедрению и применению в СССР СТ СЭВ-1052-78. Метрология. Единицы физических величин.

17. МИ 221-80. Методика внедрения в СССР СТ СЭВ 1052-78. Метрология. Единицы физических величин.

18. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.

19. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения.

20. Успехи физических наук. 1979. Т. 129. Вып. 2.- С. 299.

21. Журнал аналитической химии. 1998. Т. 53. № 9. -С. 999-1008.

22. Журнал аналитической химии. 1971. Т. 26, -С. 1021.

23. Бегунов А.А. Теоретические основы и технические средства гигрометрии. Метрологические аспекты.-М.: Издательство стандартов,1988. 176 с.

24. Novak Yosef P // Chemiche listi cislo 12 rocnic. 1964. Vol. 58.

25. Goff U.A. and Grath S. // Trans Amer. Soc. Heating Ventilating Engineers, 1945. V. 51, P. 125.

26. Humidity and Moisture Measuriment and Contro. in Sciense and Indas-try vol. 1- New York , 1965. P. 215-230.

27. Beattie Jams F. // Proc. Natl. Acad. Sci. 1930, Vol. 16, P. 9-14.

Учебное издание

Бегунов Александр Андреевич

Метрологические требования к документации

Справочное пособие

Редактор и корректор Н.П. Новикова

Техн. редактор Л.Я. Титова

Темплан 2008 г., поз. 39

Подп. к печати 27.03.08. Формат 60х84/16. Бумага тип. №1.

Печать офсетная. Уч.-изд. л. 8,75. Усл. печ. л. 8,75. Тираж 100 экз. Изд. № 39.

Цена «С». Заказ 2242

Ризограф ГОУВПО Санкт-Петербургского государственного
технологического университета растительных полимеров,
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.