



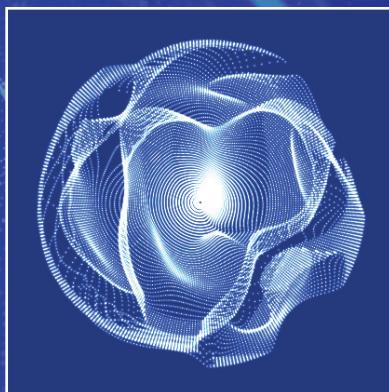
тольяттинский
государственный
университет

Н.Н. Грызунова

НАНОМЕТРОЛОГИЯ И ЭКСПЕРТИЗА МАТЕРИАЛОВ

Учебно-методическое
пособие

Тольятти
Издательство ТГУ
2025



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет

Н.Н. Грызунова

**НАНОМЕТРОЛОГИЯ И ЭКСПЕРТИЗА
МАТЕРИАЛОВ**

Учебно-методическое пособие

Тольятти
Издательство ТГУ
2025

УДК 006

ББК 30.10

Г917

Рецензенты:

главный технолог ПАО «Азотреммаш» *А.В. Бикмаев*;

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика» Тольяттинского государственного университета *Н.А. Клевцова*.

Г917 Грызунова, Н.Н. Нанометрология и экспертиза материалов : учебно-методическое пособие / Н.Н. Грызунова. – Тольятти : Издательство ТГУ, 2025. – 105 с. – ISBN 978-5-8259-1739-9.

Учебно-методическое пособие содержит теоретический материал по вопросам лекционных занятий, варианты практических заданий и критерии их оценки, контрольные вопросы для самостоятельной подготовки студентов, рекомендуемую литературу и глоссарий.

Предназначено для студентов высших учебных заведений по направлению подготовки 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов», направленность (профиль) «Современные материалы и технологии их производства», очной формы обучения (в том числе с использованием ДОТ), а также может быть полезно для студентов высших учебных заведений других направлений.

УДК 006

ББК 30.10

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

© Грызунова Н.Н., 2025

ISBN 978-5-8259-1739-9

© ФГБУ ВО «Тольяттинский

государственный университет», 2025

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие «Нанометрология и экспертиза материалов» предназначено для изучения дисциплины «Нанометрология и экспертиза». Содержание пособия соответствует программе курса «Нанометрология и экспертиза» в Тольяттинском государственном университете для подготовки студентов, обучающихся по программе бакалавриата очной формы обучения (в том числе и с применением дистанционных образовательных технологий), направление 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов».

Целью освоения дисциплины является формирование представлений о современном состоянии метрологического обеспечения нанотехнологий в стране и за рубежом и особенностях проведения экспертизы материалов и наноматериалов.

Основная задача курса заключается в подготовке студентов к будущей научной и практической деятельности, связанной с вопросами стандартизации наноразмерных объектов, методами проведения экспертизы, внедрением и использованием материалов, наноматериалов и нанотехнологий в машиностроении.

Материал учебно-методического пособия позволит ознакомиться с общими вопросами метрологии и стандартизации в нанотехнологиях, с основными проблемами стандартизации объектов, с размерами порядка нанометра, а также правовыми основами стандартизации и сертификации в нанометрологии, сформировать представления о современных методах экспертизы наноматериалов. Включает темы, охватывающие исторические и современные аспекты метрологии и нанометрологии.

Учебно-методическое пособие разделено на темы, которые отражают содержание рабочей программы дисциплины. В начале пособия изложен теоретический материал по каждой теме дисциплины, затем методические указания к контактной работе со студентами. Пособие содержит варианты практических заданий, в том числе с использованием компьютерной программы MathCAD, и критерии их оценки, вопросы для самостоятельной подготовки студентов, литературу, рекомендуемую для самостоятельного изучения. В конце пособия приведены примеры тестовых заданий для подготовки к тестированию и гlossарий.

Тема 1. ОСНОВЫ НАНОМЕТРОЛОГИИ

В современном мире в развитии каждого государства нанотехнологии занимают очень важное место в силу того, что внедрение нанотехнологий в реальный сектор экономики способствует опережающему развитию государства. А развитие и внедрение самих нанотехнологий неразрывно связано с развитием методов и средств измерений. Дело в том, что не все методы и средства измерений находят свое применение, если речь идет о нанообъектах и наноматериалах. Перед метрологами возникает целый ряд новых задач, обусловленных переходом кnanoуровню, малым размерам элементов и структур. В нанотехнологиях особо актуален тезис: «...если нельзя измерить, то невозможно создать» [1].

Теперь введем понятие «нанотехнологии». Для этого обратимся к «Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий до 2010 года» [2]. Согласно Концепции: «Нанотехнологии – совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами менее 100 нм хотя бы в одном измерении и в результате этого получившие принципиально новые качества» [2].

Все государства, присоединившиеся к нанотехнологической революции, хорошо понимают необходимость опережающего развития метрологии в этой области знаний, то есть **нанометрологии**.

Для разговора о нанометрологии надо сначала вспомнить понятия и принципы общей метрологии, а затем выяснить место, которое в ней занимает нанометрология, какое значение она имеет для науки и какими особенностями обладает. С этого и начнем курс.

1.1. Общие вопросы метрологии в нанотехнологиях

Наука начинается тогда,
когда начинают измерять.

Д.И. Менделеев

Почему именно с высказывания Д.И. Менделеева начинается теоретический материал учебно-методического пособия? Дело в том, что с именем этого человека связан один из исторических моментов становления метрологии в нашей стране. В 1893 году в Петербурге была образована Главная палата мер и весов. До 1907 года ее возглавлял Д.И. Менделеев. Впрочем, начнем по порядку.

Всем известно, что за последние десятилетия наука достигла огромных успехов. Она движется семимильными шагами, изменяя окружающий мир. А в полной ли мере мы осознаем, каков мир, в котором мы живем?

Чтобы понять суть научных открытий и разобраться в них, в проблемах, над которыми работают ученые, необходимо проследить, какими средствами достигаются научные знания.

Анализируя историю становления естественных и технических наук, можно выделить некоторую логическую последовательность в приобретении знаний человечеством:

- от созерцания к размышлению;
- от размышлений к идеям;
- от идей к экспериментам;
- от экспериментов к знаниям!

Есть еще одно очень старое изречение: «Знания без размышлений бесполезны, размышления без знаний опасны». Быть может, понимание того, как были достигнуты научные знания другими, – первый шаг к тому, чтобы научиться создавать их самому. Таким образом, важным связующим звеном между размышлениями и знаниями являются эксперименты, которые без измерений никогда не обходятся.

Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности измерений называется **метрологией**.

1.1.1. Исторические аспекты становления метрологии

История становления метрологии берет начало в глубокой древности, когда у общества возникла потребность в измерениях, то есть необходимость знать количественную оценку материальных объектов. Первые предпосылки метрологии возникают тогда, когда появляются и развиваются орудия производства.

Остановимся на некоторых исторических аспектах становления метрологии как одной из значимых наук современности. Для этого проследим, на примере одной физической величины, историю развития представлений о ней и историю развития технических средств ее измерений.

Наши предки в первую очередь научились измерять три основные величины: массу (вес), длину и время. Обратимся к выдержкам из книг Фридриха Завельского «Время и его измерение» [3] и «Масса и ее измерение» [4]. В книге [3] сделан «разрез» Мира по одной из основных его координат, а именно по времени. Такой подход позволил автору показать, как постепенно видоизменялось и совершенствовалось представление человека о времени и методах его измерения, к каким фундаментальным достижениям в науке это привело. Читая описание к книге [4], можно найти следующие слова: «Человек научился взвешивать менее 10 тысяч лет назад. После этого ему понадобилось более 5 тысяч лет, чтобы понять, что такое вес, и научиться отличать вес от массы».

Первые упоминания и археологические находки, связанные со средствами измерения веса, относятся примерно к 2950 гг. до н. э. В Египте на пирамиде в Гизе высечено изображение равноплечих весов (рис. 1, *а*). Эта пирамида была построена при династии Хеопса, то есть между 2930–2750 гг. до н. э. В Саккаре есть некрополь – город пирамид, город мертвых. В одной из комнат пирамиды Меру на барельефе изображены равноплечие ручные весы (рис. 1, *б*). Эта пирамида была построена при V династии фараонов, то есть между 2680–2540 гг. до н. э. Это говорит о том, что в Древнем Египте около 5 тысяч лет назад люди уже умели изготавливать весы и взвешивать [4].



a

б

Рис. 1. Изображения весов: *а* – с колонкой на пирамиде в Гизе; *б* – ручных весов на барельефе некрополя в Саккаре [4]

Археологические находки позволили установить конструкцию весов Древнего мира, их точность и даже чувствительность. На самых ранних из найденных весов коромысло подвешивалось в центре на веревке, прикрепленной к неподвижной опоре. Веревку либо накручивали на коромысло, либо пропускали через просверленное в нем отверстие или через прикрепленное к коромыслу кольцо. В находках, обнаруженных в культурном слое, относящемся к 1500 годам до н. э., в древнеегипетских весах появляются усовершенствования – отвес и указатель. Отвес крепился к кронштейну, а указатель устанавливался в центре коромысла. Чашки весов имели вид плоской тарелки и подвешивались к концам коромысла.

На археологических раскопках удалось найти гири древних египтян. Самая маленькая гирия весит несколько граммов. Из этого можно сделать вывод, что чувствительность весов Древнего мира и их точность была приблизительно такой же, а может быть, и выше. Именно такая конструкция весов прошла через тысячелетия.

В древнейших сумерийских государствах наряду с использованием равноплечих весов применялся безмен – неравноплечие весы. В Индии безмен использовался более 2 тысяч лет назад. Китайцы усложнили конструкцию безмена и расширили пределы его измерений за счет наличия нескольких серег подвеса. У таких безменов уже было несколько шкал измерений. Подвешивая безмен за определенную сергу, можно было измерять вес предметов разной тяжести, но с приблизительно одинаковой точностью.

Документальные упоминания о весах можно найти в «Илиаде» Гомера (XI–X века до н. э.). Древние греки разрабатывали теорию весов, а Архимед создал гидростатические весы. У древних римлян в ходу были как равноплечие весы, так и неравноплечие с одной или несколькими шкалами. Конструкции весов были заимствованы у греков. Когда Римская империя распространила свое влияние на Запад, римские весы проникли в европейские государства.

После распада Римской империи и долгие Средние века в европейских странах не было сделано серьезных усовершенствований весов. Позже арабы, изучая работы древних греков, стали успешно разрабатывать теорию весов. Они построили равноплечие коромысловые весы, обладающие точностью порядка 5 миллиграммов.

В эпоху Возрождения в европейских странах вновь возникает интерес к теории весов и появляются оригинальные не только теоретические, но и технические исследования.

Чем быстрее развивается наука, тем чаще внимание ученых начинает обращаться к вопросам взвешивания. Так, в конце XV – начале XVI века Леонардо да Винчи рассмотрел важную в техническом отношении задачу равновесия рычага весомого и непрямoliniйного. Ему принадлежит изобретение циферблатных весов, особенностью которых была правильность показаний даже в тех случаях, когда они стояли наклонно.

В 1669 году в Парижской академии наук Ж. Роберваль продемонстрировал изобретенные им настольные весы, отличающиеся тем, что их показания не зависели от того, на какое место чашек весов был положен груз. Позже, в XIX веке, Луи Пуансо предложил полную и строгую теорию этого факта.

Бурное развитие промышленности и торговли в XVIII веке побудило конструкторов искать пути создания специальных типов весов, каждый из которых предназначался бы для какой-либо одной специальной цели. Например, в начале XVIII века для взвешивания повозки с грузом использовался огромный безмен. Повозку с грузом поднимали на массивных цепях с помощью ворота и подвешивали к короткому плечу безмена. Другое плечо безмена нагружали тяжелыми гирями. Такое взвешивание отнимало много сил и времени. В 1741 году плотник Джон Уайатт разработал и изго-

товил большегрузные платформенные весы, в которых уже была применена система из нескольких рычагов первого и второго рода, соединенных между собой. Такие весы позволили получить передаточное отношение 1:20, что позволило уменьшить в 20 раз вес гирь, и уже не требовалось груз поднимать на большую высоту, а повозки могли просто въезжать на платформу.

К концу XIX – началу XX века появляются и распространяются багажные железнодорожные весы с передаточными отношениями 1:10 и 1:100. Появляются багажные и торговые весы с печатающим аппаратом.

В XX веке наряду с рычажными весами большое распространение получили весы, основанные на использовании различных упругих элементов в виде стальных пластин, спиралей или пружин. Стальная пластина под действием тяжести деформируется, и в некоторых пределах величина деформации пропорциональна приложенной нагрузке. Предварительно проградуировав упругий элемент, можно по величине его деформации определить вес груза.

Для достижения высокой точности взвешивания в весах такого типа стали применять электрические методы измерения малых деформаций при помощи тензометрических датчиков.

В 50–60-х годах XX века появляются бесконтактные весы, в которых используется гамма-излучение радиоактивных элементов.

1.1.2. Развитие весовых единиц от древних времен до наших дней

Исторический путь развития весовых единиц напрямую связан с развитием денежных единиц, потому что денежные единицы Древнего мира в большинстве случаев совпадали с весовыми. Исследование монет древних народов позволило изучить историю развития весовых единиц.

В глубокой древности у разных народов деньгами служили предметы, имеющие определенную ценность. Так, у некоторых племен Азии и Африки в качестве денег применялись раковины каури. В Древнем Китае определенную монетную стоимость имели бронзовые колокольчики и куски нефрита. В Индии в торговле в качестве оплаты применяли жемчужины, в Древней Греции и Древней Ита-

лии основной меновой единицей был скот. Постепенно эти виды денег вытеснили металлические деньги. Такие деньги имели вид брусков, слитков, колец и др.

При изучении древних гирь и монет было установлено, что самой древней системой весовых единиц является древневавилонская. В ее основе лежит вес одного хлебного зерна – грана (табл. 1), остальные древние весовые системы так или иначе были связаны и заимствованы у нее.

Таблица 1

Древние системы весовых единиц

Древневавилон-ская (ассиро-вавилонская)	Древнеегипет-ская	Древнегреческая	Древнеримская
1 грана – вес одного хлебного зерна	1 кедет	1 драхма – 2/3 египетского кедета	1 либра – 36 древнеегипетских кедетов
1 шекель – 60 гран	1 дебен – 10 кедет	1 мина – 100 драхм	1 унция – 1/12 либры
1 мина – 60 шекелей	1 мина – 60 кедет	1 талант – 60 мин	1 драхма – 1/96 либры
1 талант – 60 мин			Позже: денарий сестерций – 1/4 денария

В Древней Руси вплоть до XII века при различных торговых сделках товары оплачивались кусками серебра определенного веса – гривнами, то есть они были как весовыми единицами, так и денежными. Отломанные и рубленые части гривны назывались рублями. Наряду с этим в Древней Руси были другие весовые единицы. К концу XVI века на Руси установилась общая по всей стране система весовых единиц (табл. 2), однако по-прежнему в отдельных частях страны в ходу были единицы, которые могли не совпадать по мере с основными. Для того чтобы покончить с разнобоем весовых единиц, русское правительство в 1736 году создало специальную комиссию мер и весов. Этой комиссией был изготовлен образец фунта, который стал основой русской системы веса и получил название «бронзовый золоченый фунт 1747 года».

Таблица 2

Система весовых единиц в Древней Руси

Основные	Не основные, но широко применялись
Гривна – 96 золотников	Безмен – 2 фунта
Ансырь (русский фунт) – 96 и 128 золотников	Полубезмен – 1 фунта
	Кентарь – 100 фунтов
Конец XVI века	
1 ласт = 72 пуда 1 берковец = 10 пудам 1 кентарь = 2,5 пуда 1 пуд = 16 безменам = 40 фунтам 1 фунт = 96 золотникам = 24 почкам	

В 1797 году русское правительство с целью дальнейшего упорядочения мер и веса издало специальный указ о весовых, питейных и хлебных мерах.

Дальнейшее развитие весовых единиц в России неразрывно связано с построением и развитием систем единиц физических величин в западных странах и в мире в целом.

Теперь подведем итоги и перечислим основные ключевые моменты развития метрологии в целом и России в частности.

Из истории развития метрологии в России

В летописях начала X века упоминаются единицы длины – сажень (простая, косая, казенная), пядь, локоть.

В начале XVIII века указом Петра I русские меры длины были приведены в соответствие с английскими мерами.

В 1835 году Николай I издал «Указ к правительству Сенату», в котором в качестве основной меры длины в России была узаконена сажень.

В 1841 году в соответствии с указом «О системе Российских мер и весов», в котором были узаконены меры длины, веса и объема, при Петербургском монетном дворе было организовано первое государственное поверочное учреждение – Депо образцовых мер и весов.

В 1889 году было закончено изготовление международных прототипов килограмма и метра.

В 1849 году издана первая научно-учебная книга Ф.И. Петрушевского «Общая метрология».

В 1875 году во Франции (г. Севр) была создана Международная организация мер весов (МОМВ). В том же году 20 мая Россией была подписана метрическая конвенция.

В 1893 году на базе Депо образцовых мер и весов в Петербурге была образована Главная палата мер и весов (до 1907 г. ее возглавлял Д.И. Менделеев). Современное название – Научно-исследовательский институт метрологии им. Менделеева.

В 1900 году была открыта Поверочная палатка торговых мер и весов при Московском окружном пробирном управлении.

Спустя 18 лет, в 1918 году, правительством Российской Федерации был принят декрет «О введении международной метрической системы мер и весов».

В 1930 году произошло объединение метрологии и стандартизации. Организован ряд метрологических институтов.

В 1954 году при Совете Министров СССР образован Комитет стандартов, мер и измерительных приборов (Госстандарт СССР).

В октябре 1999 года на 88 заседании Международным комитетом мер и весов (МКМВ) учрежден Всемирный день метрологии. Отмечается ежегодно 20 мая.

В настоящее время управление метрологической службой России осуществляет Государственный комитет РФ по стандартизации, метрологии и сертификации (Росстандарт РФ). Органом управления метрологическим обеспечением народного хозяйства является Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии («Ростехрегулирование»).

1.1.3. Предпосылки создания и принципы построения системы единиц физических величин

Найди всему начало,
и ты поймешь многое.

Козьма Прутков

Поиски наилучшей системы единиц

В XVII веке крупнейшие ученые того времени обсуждали вопрос о выборе основной единицы веса. Они считали, что эта единица должна быть не только «естественной», но и воспроизводимой. Отыскать «естественную» меру веса пытались неоднократно и в разных странах. Так, в 1827 году в России член комиссии по упорядочению мер и весов при Министерстве внутренних дел профессор Ламберти в результате тщательных измерений показал, что вес 25 кубических дюймов дистиллированной невской воды при температуре 62 градуса по Фаренгейту и высоте барометра 0 дюймов соответствует весу позолоченного российского фунта, который хранился в Петербургском монетном дворе. Указом Николая I этот золоченый фунт монетного двора был утвержден в качестве основной единицы веса. Однако насколько «естественным» и «воспроизводимым» был дюйм у разных народов, хорошо известно из истории.

По-голландски «дюйм» — большой палец. Первоначально длина дюйма и определялась как длина большого пальца человека. Но у всех людей эта длина может быть разной, поэтому в 1324 году король Англии Эдвард II установил «законный» дюйм, равный длине трех ячменных зерен, вынутых из средней части колоса и приставленных одно к другому своими концами. Такая единица была «естественной», но не «воспроизводимой».

Ученым стало ясно, что в качестве основной международной единицы веса ни одна из существующих в то время национальных единиц не годится.

Спустя время, после того как Исааком Ньютона было введено понятие о массе и установлена зависимость между весом тела и его массой, ученые посчитали удобным взять из природы единицу длины, а единицу массы связать с ней.

В 1790 году национальное собрание Франции обсудило вопрос о новых единицах измерения и решило принять подготовительные меры к их введению. Крупнейшим французским ученым Лапласу, Лагранжу, Борда, Монжу было поручено обсудить различные проекты новой системы единиц измерения и предложить на утверждение Национального собрания.

В 1791 году комиссия предложила на утверждение проект метрической системы единиц, в котором в качестве основной единицы длины — метра — предлагалось принять одну сорокамиллионную часть земного меридиана, а в качестве основной единицы массы — массу одного кубического дециметра дистиллированной воды, взятой при наибольшей плотности (при температуре +4 °C), взвешенной в вакууме.

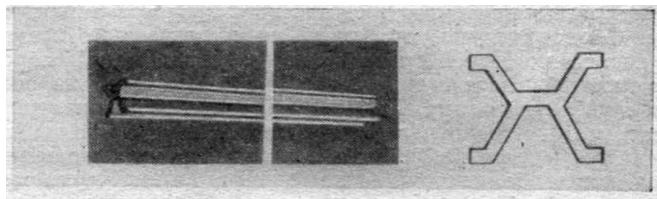
В течение 8 лет велись работы по определению длины дуги земного меридиана. В 1799 году работы были завершены. На основании этого были изготовлены прототипы метра и килограмма, которые были 10 декабря 1799 года утверждены правительством Франции. Позже они стали называться архивными прототипами.

Создание метрической системы и ее основных единиц являлось весомым достижением и могло способствовать развитию науки и техники, но политические события того периода на десятилетия отодвинули ее международное признание.

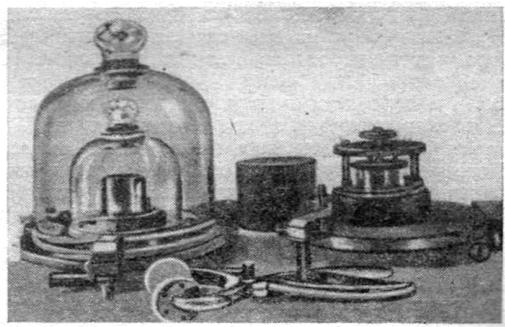
В 1867 году в Париже был создан Международный комитет весов, мер и монет. Председателем являлся член Петербургской академии Б.С. Якоби. Вскоре было обнаружено, что при измерении длины земного меридиана была допущена ошибка, поэтому было принято решение принять архивные метр и килограмм за основные единицы и в дальнейшем их уже не менять. Так прототипы потеряли свою «естественность», но получили полную определенность. В 1872 году специальная комиссия Комитета постановила создать платиново-иридиевые прототипы метра и килограмма (рис. 2) и сличить их с архивными.

В 1875 году представители 17 государств собрались на Международной конференции и подписали метрическую конвенцию, по которой устанавливались прототипы метра и килограмма и учреждался Международный комитет мер и весов. В 1889 году было

закончено изготовление серии прототипов метра и килограмма. Всего было изготовлено 34 эталона метра и 43 эталона килограмма. Из них один эталон метра и один эталон килограмма были узаконены как международные прототипы. Россия, как страна, подписавшая метрическую конвенцию, получила два эталона метра и один эталон килограмма.



a



b

Рис. 2. Эталоны:
a – метра; *b* – килограмма [4]

После создания основных единиц – метра и килограмма на их основе было построено несколько систем единиц.

Система физических величин и их единиц – совокупность физических величин в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимаются за независимые, а другие являются их функциями.

Системы единиц физических величин в названии содержали аббревиатуру единиц измерений, в нее входящих (табл. 3).

Таблица 3

Системы единиц

Название	Достоинства и недостатки Области применения	Основные единицы
Гауссова система единиц	<i>Недостатки:</i> мелкий размер ее основных единиц, неудобна для решения технических задач	мм, мг, с
СГС (абсолютная)	<i>Недостатки:</i> мелкий размер ее основных единиц, неудобна для решения технических задач	см, грамм-масса, с
МКГСС (техническая)	<i>Недостатки:</i> основная единица килограмм-сила зависела от места измерения и была переменной величиной. <i>Достоинства:</i> размер основных единиц удачно выбран для инженерных задач	м, килограмм-сила, с
МТС	<i>Недостатки:</i> не прижилась, так как основные единицы были крупными	м, тонна-масса, с
СИ (Международная система единиц)	<i>Достоинства:</i> удачно совмещает достоинства других систем, соотношение между единицами построено на десятичной основе	м, килограмм-масса, с, А, градус (по шкале Кельвина), свеча (сила света)

В 30-х годах XIX века Карлом Гауссом была создана гауссова система единиц (табл. 3). В 60-х годах XIX века Британской ассоциацией для развития наук была введена система единиц СГС. В конце XIX – начале XX века была введена система МКГСС. В 1922 году во Франции была узаконена система единиц МТС.

В 1901 году ученый Джорджи предложил систему, в которой основными единицами были метр, килограмм-масса и секунда. В 1933 году VII Генеральная конференция Международного комитета мер и весов одобрила эту систему. В 1956 году X Генеральная конференция Международного комитета мер и весов обсудила название этой системы. Было предложено три варианта: «Система Джорджи», МКСАГС – аббревиатура единиц, входивших в систему (метр, килограмм, секунда, ампер, градус, свеча), «Международная система единиц».

В 1960 году XI Генеральная конференция Международного комитета мер и весов окончательно утвердила Международную систему единиц (СИ), в которой было 6 основных единиц измерения. Были утверждены производные единицы измерения.

Таким образом, к 60-м годам XX века была разработана и принята многими странами мира унифицированная и универсальная система единиц физических величин. Унифицированность СИ была обусловлена тем, что для каждой физической величины была установлена одна единица, а от нее образовывалась система кратных и дольных единиц с помощью множителей. Универсальность СИ связана с тем, что охватывает все отрасли экономики, области науки и техники.

Важные этапы в истории развития метрологии

XVII век ознаменовался установлением эталонов метра и килограмма, которые в настоящее время являются историческими экспонатами и хранятся во Франции, в Музее мер и весов.

В 1832 году Карлом Гауссом была создана одна из первых систем единиц физических величин и называлась абсолютной системой единиц.

В 1960 году была разработана и узаконена Международная система единиц (СИ).

1.1.4. Основные понятия и категории метрологии и нанометрологии

Все вышеописанное позволяет нам сформулировать основные понятия общей метрологии.

Любая сфера человеческой деятельности признается наукой, если она имеет свой объект, предмет и методы исследования. Объект науки, ее предмет и метод исследования не придумываются и не назначаются, они постепенно складываются, вырисовываются под влиянием практики и логики. Под объектом науки понимается совокупность (система) конкретных реальных предметов, явлений и процессов, исследуемых средствами, методами данной науки. Предмет науки раскрывает, что ею изучается, а метод говорит о том, каким образом осуществляется это изучение, познание предмета науки. Метод является сущностным признаком науки.

В связи с этим обозначим объект, предмет и задачи метрологии.

Объектом метрологии является физическая величина.

Предмет метрологии – извлечение количественной информации (измерение) о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью.

Задача метрологии – обеспечение единства измерений, которое решается при соблюдении двух основных условий:

- выражение результатов измерений в узаконенных единицах;
- установление допускаемых погрешностей результатов измерений и границ, за которые они не должны выходить, при заданной вероятности.

Метрология как наука состоит из трех основных разделов (рис. 3).

«*Теоретическая метрология* рассматривает общие теоретические проблемы. Занимается разработкой теории и проблемами измерений, физических величин, их единиц, методов этих измерений» [5].

«*Прикладная метрология* изучает вопросы практического применения разработок теоретической метрологии. В её ведении находятся все вопросы метрологического обеспечения» [5].

«*Законодательная метрология* устанавливает обязательные технические и юридические требования по применению единиц физической величины, методов и средств измерений» [5].

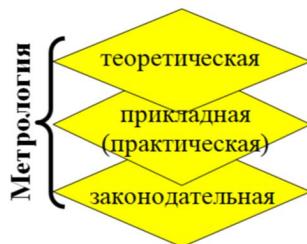


Рис. 3. Основные разделы метрологии

Кроме разделов в метрологии можно выделить огромное множество направлений. Как правило, они связаны с особенностями сфер деятельности человека. К направлениям метрологии можно отнести авиационную, химическую, медицинскую, историческую и множество других. Направления метрологии могут расширяться и появляться новые. Все это связано с развитием человечества.

Совсем недавно, примерно во второй половине XX века, появилась необходимость в становлении и развитии нового направления в метрологии – нанометрологии.

Нанометрология – наука, отличающаяся от общей метрологии измерениями, методами и средствами обеспечения единства измерений и способами достижения требуемой точности в нанометровом диапазоне.

На рис. 4 хорошо видны отличительные особенности нанометрологии в рамках общей метрологии.

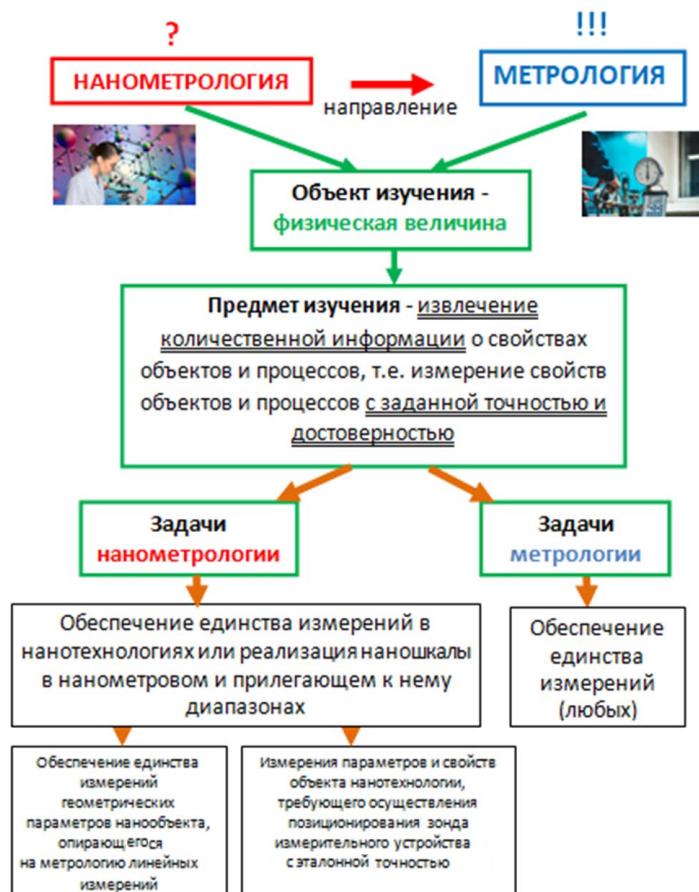


Рис. 4. Сводная схема, определяющая место нанометрологии в общей метрологии

Объектом нанометрологии, так же, как и общей метрологии, является физическая величина.

Предмет нанометрологии – извлечение количественной информации (измерение) о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью.

В отличие от общей метрологии в нанометрологии выделяется не только основная задача, но и две подзадачи.

Основная задача нанометрологии – обеспечение единства измерений в нанотехнологиях. Другими словами, реализация наношкалы в нанометровом диапазоне.

Из этого вытекают следующие подзадачи.

Первая подзадача нанометрологии – обеспечение единства измерений геометрических параметров нанообъекта, опирающихся на метрологию линейных измерений.

Вторая подзадача нанометрологии – измерения механических, электрических, магнитных, оптических и многих других параметров и свойств объекта нанотехнологии требуют осуществления позиционирования зонда измерительного устройства в исследуемое место с эталонной точностью.

Все теоретические и практические аспекты, связанные с измерениями в нанотехнологиях, можно выделить в виде трех основных направлений:

- разработка эталонов единиц физических величин, стандартных образцов состава и свойств;
- разработка методов и средств калибровки параметров средств измерений в нанотехнологиях;
- метрологическое сопровождение технологических процессов, связанных с нанотехнологиями.

Таким образом, можно сделать вывод, что все понятия и категории общей метрологии применимы и для направления «нанометрология», с той лишь разницей, что они характеризуют нанообъекты и применяются в нанометровом диапазоне. Однако именно это обстоятельство вызывает огромный пласт задач, которые должны быть решены для реализации обеспечения единства измерений в нанотехнологиях и наноиндустрии.

1.1.5. Физическая величина. Классификация физических величин

Разговор о физической величине начнем с ее определения и ряда других определений, ее характеризующих. Под физической величиной (ФВ) понимается свойство объекта (процесса или явления), общее в качественном и различное в количественном отношении. Если обозначить некоторую физическую величину через X , тогда определение физической величины можно представить в виде выражения

$$X = q [X], \quad (1)$$

где q – числовое значение физической величины, характеризующее различия в количественном отношении; $[X]$ – единицы измерения, характеризующие ее качественную составляющую.

Под числовым значением физической величины понимается число, равное отношению размера измеряемой физической величины к размеру единицы измерения или кратной (дольной) единицы.

Кроме этого, следует различать понятия «числовое значение» и «размер физической величины».

Размер физической величины – количественное содержание в данном материальном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина».

Значение физической величины – отражение физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. В свою очередь, значение ФВ может быть двух видов: истинное и действительное.

Истинное значение физической величины – значение величины, которое бы идеальным образом отражало свойство исследуемого объекта.

Действительное значение физической величины (или условно истинное) – значение величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Теперь разберемся, что называется единицей измерения ФВ и чем она отличается от ее размерности.

Единица измерения физической величины – физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1. Другими словами, это определенная величина, принятая конвенцией или законом, которая используется в качестве стандарта для измерения одного и того же вида величины. Найти ΦB – значит указать, во сколько раз она больше или меньше единицы измерения.

Размерность физической величины (Z) – выражение, показывающее связь данной физической величины с величинами, положенными в основу системы единиц.

Через обозначения основных единиц размерность физической величины (Z) можно записать в виде

$$Z = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\varepsilon \theta^n J^\lambda N^\delta. \quad (2)$$

Рассмотрим пример определения размерности физической величины. Физическая величина – доза излучения (D) определяется по формуле

$$D = \frac{E}{m}. \quad (3)$$

Измеряется в греях (Гр).

Согласно формуле (3)

$$1 \text{ Гр} = \frac{1 \text{ Дж}}{\text{кг}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{кг}} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}.$$

Тогда размерность имеет вид: $L^2 T^{-2}$.

Таким образом, физическая величина имеет числовое значение, определяющее ее количественную составляющую, и единицу измерения, характеризующую ее качественную составляющую.

На рис. 5 представлена возможная схема классификации единиц ΦB . Согласно этой схеме их можно разделить на кратные и дольные или сгруппировать на основные, производные и дополнительные.

Теперь разберемся с классификацией физических величин.

Все ΦB можно классифицировать, применяя разные классификационные признаки (рис. 6). Например, по видам явлений, которые они характеризуют или с ними связаны, все ΦB можно разделить на энергетические, вещественные, характеризующие процессы. К энергетическим относятся энергия, теплота, работа

и другие. К вещественным – масса, плотность, объем и т. д. Величины, характеризующие процессы, – термодинамические потенциалы, химические потенциалы, коэффициенты теплопроводности и теплового расширения и др.

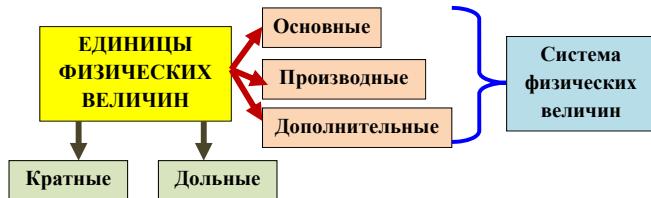


Рис. 5. Классификация единиц измерения физических величин



Рис. 6. Схема, отражающая классификацию физических величин

По способу измерения физические величины можно разделить на три группы:

- синоптические – непосредственно измеряемые прибором;
- конъектурные – измеряемые после предварительной настройки приборов;

– креационные – фиксируемые одновременно с созданием объекта или приготовлением его определенного состояния.

Надо понимать, что одна и та же ФВ в одних случаях может быть синоптической, в других ситуациях креационной, и наоборот. Все зависит от условий и методики выполнения измерений, а также технических средств, позволяющих определить ее количественную характеристику.

1.1.6. Измерение. Классификация измерений физических величин. Виды методов измерений

В связи с тем, что предметом метрологии и нанометрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов (в том числе и в наномире), в этом пункте главы мы не можем обойти стороной теоретический материал, связанный с измерениями.

Измерение – экспериментальное сравнение данной величины с другой величиной, принятой за единицу измерения. Измерить – значит выполнить совокупность операций с помощью специального технического средства, хранящего единицу величины, и получить значение этой величины путем сопоставления измеряемой величины с ее единицей.

Все измерения содержат цели измерения, опираются на принципы и методы измерения. Целью любого измерения является получение значения физической величины в форме, наиболее удобной для использования.

Принцип измерений – совокупность физических явлений, положенных в основу измерений. Например, одна и та же ФВ может быть измерена разными средствами измерения, в основу которых положены разные принципы измерений. На рис. 7 приведены примеры трех принципов измерения температуры.

Первый принцип основан на тепловом расширении жидкостей, второй – на теплопроводности и третий – на тепловом излучении.

Метод измерений – совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений, или другими словами – это совокупность принципов и средств измерений, позволяющих получить коли-

чественную информацию о ФВ. Например, если воспользоваться рис. 7, то измерение температуры по тепловому излучению относится к неконтактному методу термометрии, а измерение термометром – контактный метод термометрии.

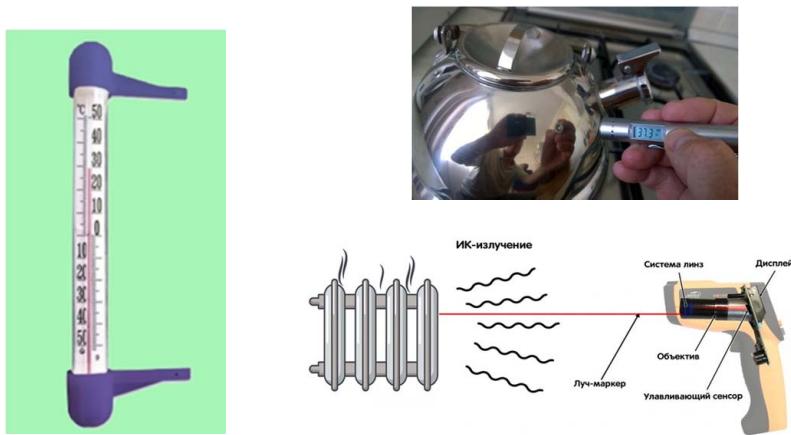


Рис. 7. Примеры разных принципов, положенных в основу измерения температуры

Слово «метод» в ГОСТ Р ИСО 5725 [6] охватывает и собственно метод измерений, и методику их выполнения.

Для характеристики качества измерений устанавливают следующие свойства измерений: точность, сходимость, воспроизводимость, правильность, достоверность, прецизионность.

Терминология и требования к точности методов и результатов измерений регламентированы в комплексе из шести государственных стандартов РФ – ГОСТ Р ИСО 5725 [6] под общим заголовком «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений», введенных в действие в 2002 году. Стандарты являются переводом с английского языка международных стандартов ИСО 5725:1994. Стандарт 5725 указывает, каким образом можно обеспечить необходимую точность измерения, что позволяет сравнивать по точности различные методы измерений, методики их выполнения, организации (лаборатории) и персонал (операторов), осуществляющий измерения.

Точность измерений – свойство измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Точность измерений определяется погрешностью средств измерений.

Погрешность измерения (Δ) – разность между показаниями средства измерения (X) и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины. Погрешность характеризует точность и указывает границы неопределенности значения измеряемой величины.

Сходимость – свойство измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях, одним и тем же средством измерения, одним и тем же оператором.

Воспроизводимость – свойство измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в разное время, в разных местах, разными методами и средствами измерений).

Правильность – свойство измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.

Достоверность измерений – свойство измерений, определяющее степень доверия к полученным результатам измерений.

Прецизионность – степень близости друг к другу независимых результатов измерений, полученных в конкретных регламентированных условиях.

Измерения и их методы могут быть классифицированы (рис. 8):

- по характеристике точности;
- числу измерений в ряду измерений;
- отношению к изменению измеряемой величины;
- выражению результата измерений;
- общим приемам получения результатов измерений и др.

Измерения, производимые в нанотехнологиях, отличаются от измерений в других направлениях метрологии лишь техническими средствами (средствами измерений), которые позволяют осуществлять измерения объектов наnanoуровне.



Рис. 8. Классификация методов измерений

1.1.7. Средства измерений

Теперь остановимся подробнее на средствах измерений. Согласно Межгосударственным рекомендациям РМГ 29 – 2013 [7], средство измерений (средство измерительной техники, измерительная техника) – обобщающее понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений. Более полное определение звучит так: 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.

К средствам измерений относят:

- средства измерений и их совокупности (измерительные системы, измерительные установки);
- измерительные принадлежности;
- измерительные устройства и др.

На рис. 9 представлена наиболее полная классификация средств измерений.

Все технические средства измерений классифицируются по классу точности. Класс точности – обобщенная характеристика средств измерения, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей и рядом других свойств, влияющих на точность выполняемых с их помощью измерений. Важно понимать, что класс точности устанавливается при разработке

или поверке, не устанавливается для средств измерений, для которых существенное значение имеет динамическая погрешность, и класс точности регламентируется стандартами на отдельные виды средств измерений.



Рис. 9. Классификация средств измерений

По видам измеряемых величин все средства измерений могут быть предназначены, например, для температурных и теплофизических измерений (приборы теплового контроля, измерители теплопроводности, термостаты, преобразователи температуры, измерители плотности тепловых потоков и температуры, теплосчёты и др.). На рис. 10, *а* представлен внешний вид средства измерений, относящегося к данной классификационной группе.

Для измерения давления разработаны манометры, барометры, тонометры, вакуумметры, тягометры. На рис. 10, *б* изображены разновидности манометров, которые основаны на разных принципах действия.

Для акустических измерений разработаны шумомеры, системы ультразвуковой диагностики (рис. 11, *а*).

Примером средств измерений, которые сгруппированы по принципам действия (например, оптико-механический принцип действия), могут быть оптико-механические однокоординатные станковые измерительные приборы (рис. 11, *б*).



Рис. 10. Средства измерений: *а* – термостат жидкостный; *б* – различные конструкции манометров



Рис. 11. Системы ультразвуковой диагностики:
а – ультразвуковая установка; *б* – оптикатор

В зависимости от функционального назначения (рис. 12) средства измерений, в свою очередь, могут быть контактные и бесконтактные.

Например, к контактным средствам измерения температуры относятся термометры, термостаты, установки поверочные, калибраторы температуры, преобразователи температуры, измерители-регуляторы температуры, измерители температуры, термогигрометры, измерители-регистраторы температуры. К бесконтактным

средствам измерения температуры относятся все технические средства, основанные на регистрации теплового излучения: термометры, пиromетры, тепловизоры.

По метрологическому назначению различают:

- эталонные (первичные эталоны, вторичные эталоны);
- рабочие средства измерений.

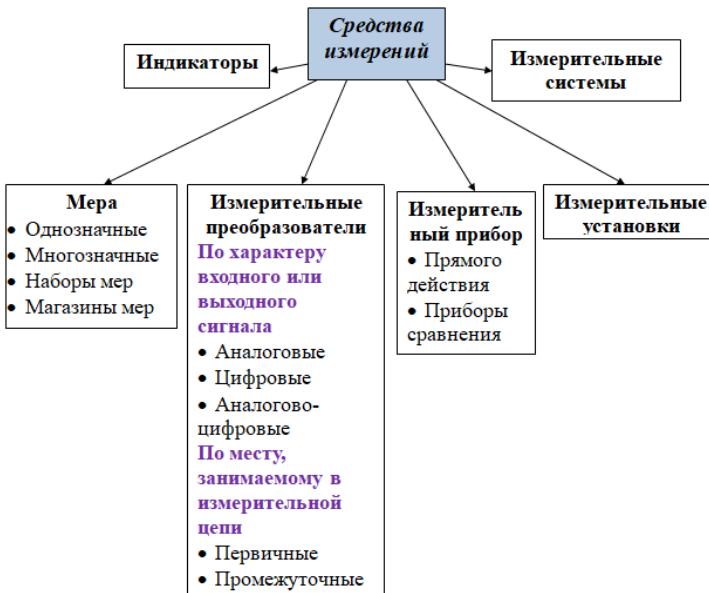


Рис. 12. Классификация средств измерений в зависимости от функционального назначения

Эталонные средства измерений называют также средствами поверки. Средства поверки – эталоны, поверочные установки и другие средства измерений, применяемые при поверке в соответствии с установленными правилами.

Рабочее средство измерений – средство, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

Развитие нанотехнологий ужесточает требования к измерительным системам, погрешности измерений которых должны быть сравнимы с межатомными расстояниями. Поэтому в нанотехнологиях для измерений геометрических параметров нанообъектов

применяются лазерные измерители наноперемещений (рис. 13, *а*), растровые, просвечивающие электронные микроскопы, сканирующие зондовые микроскопы, лазерная интерферометрия и др.

Важнейшим этапом в решении задач метрологического обеспечения линейных измерений в нанометровом диапазоне явилось создание вещественных носителей размера – мер с программируемым нанорельефом поверхности, обеспечивающих калибровку средств измерений с наивысшей точностью (рис. 13, *б*, 14) [1].

В качестве эталонов сравнения в нанометрологии для калибровки и реализации единства измерений геометрических параметров нанообъектов применяются трехмерные шаговые линейки (рис. 13, *б*).

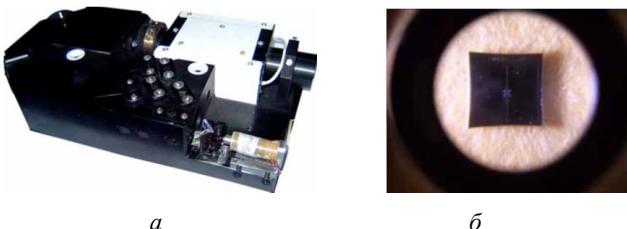


Рис. 13. *а* – лазерный измеритель наноперемещений;
б – трехмерная шаговая линейка

Меры малой длины в нанотехнологиях – эталоны сравнения используются для калибровки микроскопов. Базисный эталон единицы длины в диапазоне от 1 нм до 100 нм изготавливается на основе растровой, просвечивающей электронной и зондовой микроскопии, рентгеновской дифрактометрии и лазерной интерферометрии.

Эталоны единицы длины в нанометрологии принято называть базисными. Это связано с тем, что первоочередной задачей нанометрологии является определение геометрических параметров нанообъектов, то есть метрология линейных измерений.

Определение механических, электрических, магнитных и других свойств нанообъектов требует прецизионного пространственного позиционирования зонда измерительного устройства в нужное место с эталонной точностью по координатам.

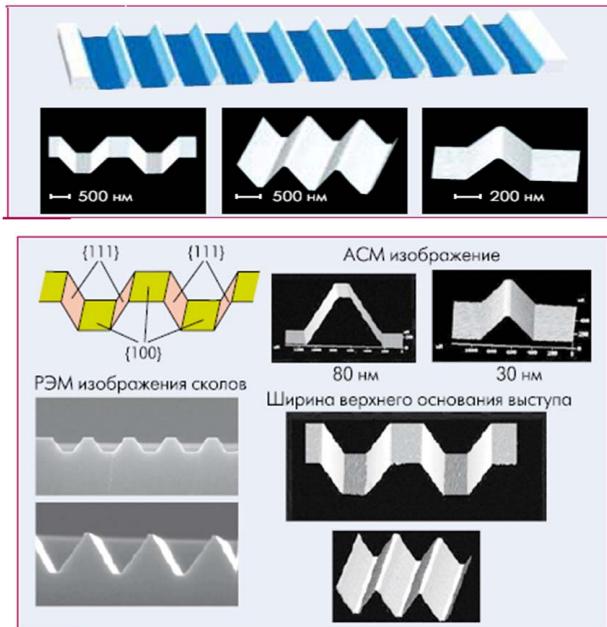


Рис. 14. Профили эталонов сравнения [1]

Эталон сравнения – трехмерная шаговая линейная мера (рис. 14), обеспечивающая калибровку и поверку измерительных систем по трем координатам в диапазоне линейных размеров от 1 нм до 100 мкм и более.

Мера – средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Индикатор – средство измерения (прибор, устройство, информационная система, вещества, объект), отображающее изменения какого-либо параметра контролируемого процесса или состояния объекта в форме, наиболее удобной для непосредственного восприятия человеком.

Измерительные принадлежности – вспомогательные средства измерений физических величин.

Пример однозначной меры – стандартный образец (СО) – один из видов стандартизованных средств измерений, образец вещества (материала) с установленными в результате метрологической аттестации значениями одной или более величин, характеризующими

свойство или состав этого вещества (материала). Различают стандартные образцы свойств и состава.

Измерительное устройство – часть измерительного прибора (установки или системы), имеющая обособленную конструкцию и назначение и связанная с измерительным сигналом.

Средства измерений узаконивают уполномоченные органы.

Узаконенное средство измерений – средство измерений, признанное годным и допущенное для применения уполномоченным на то органом. Одним из методов официального утверждения является стандартизация средств измерений.

Средства измерений подвергают испытаниям и в случае положительных результатов стандартизуют и вносят в Госреестр.

Стандартизованное средство измерений – средство измерений, изготовленное и применяемое в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта.

Метрологические характеристики средств измерений

Возможности использования средств измерений, а также их точностные свойства определяются их метрологическими характеристиками. Метрологические характеристики (МХ) зависят от типа средств измерений.

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

МХ делятся на нормируемые и действительные (рис. 15).



Рис. 15. Примеры классификационных признаков метрологических характеристик

Нормируемые метрологические характеристики (НМХ) – характеристики средств измерений, предназначенные для обеспечения единства измерения с требуемой точностью. Они устанавливаются нормативно-техническими документами.

В табл. 4 предложена классификация НМХ.

Действительные метрологические характеристики (ДМХ) – это характеристики средств измерений, полученные экспериментально.

МХ средств измерений по ГОСТ 8.009–84 [8] делятся на следующие группы:

- номинальные характеристики, предназначенные для определения результатов измерений (без введения поправки);
- характеристики погрешностей средства измерений;
- характеристики чувствительности средства измерений;
- динамические характеристики средства измерений;
- неинформативные параметры выходного сигнала средства измерений.

Таблица 4

Классификация нормируемых характеристик

Классификационный признак	Виды нормируемых метрологических характеристик
Показания на шкале средства измерений	Отметка шкалы, цена деления шкалы, диапазон измерений, диапазон показаний, чувствительность средства измерений, порог чувствительности
Качество измерений	Точность
Погрешности средств измерений	Абсолютные, относительные, систематические, случайные, статические, динамические, субъективные и объективные

Проверка средств измерений

При рассмотрении этого пункта постараемся ответить на несколько основных вопросов: что такое проверка средств измерений и зачем она нужна? В каких случаях средства измерений подвергаются поверке? Кто вправе осуществлять поверку? Каким документом устанавливаются межпроверочные интервалы? Каковы основные этапы поверки?

Проверка средств измерений – это совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим характеристикам.

Средства измерений подвергаются поверке в следующих случаях:

- при их выпуске или вводе в эксплуатацию;
- после ремонта;
- в процессе эксплуатации;
- при ввозе по импорту после формального определения их типа или метрологической аттестации и регистрации в Государственном реестре.

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.

На рис. 16 представлены виды поверки средств измерений.



Рис. 16. Схема видов поверки

Кто вправе осуществлять поверку?

В России поверочная деятельность регламентирована Федеральным законом от 26 июня 2008 года № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [9] и другими подзаконными актами.

Согласно этому федеральному закону осуществлять поверку средств измерений разрешается:

- государственной метрологической службе;
- юридическим лицам;
- индивидуальным предпринимателям, которые имеют аккредитацию на право поверки средств измерений.

Однако существует перечень средств измерений, поверка которых осуществляется только аккредитованными в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации государственными региональными центрами метрологии.

Метрологическая служба – совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений.

Виды метрологических служб:

- 1) Государственная метрологическая служба Российской Федерации (ГМС) – объединение государственных метрологических органов, которое занимается координацией деятельности по обеспечению единства измерений;
- 2) Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения Земли;
- 3) Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;
- 4) Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов;
- 5) метрологические службы государственных органов управления Российской Федерации;
- 6) метрологические службы юридических лиц.

Руководит всеми службами Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии (Госстандарт России).

Каким документом устанавливаются межповерочные интервалы?

Межповерочные интервалы средств измерений устанавливаются частью 1 статьи 13 Федерального закона от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

Этапы поверки:

- подача заявления на проверку или допуск экспертов к устройству;
- проведение визуального осмотра системы измерения;
- проверка на месте или изъятие прибора в лабораторию;
- осуществление проверки на специальном оборудовании;
- выдача документа (экспертного заключения), установка поверочного клейма.

1.2. Направления работ в области нанометрологии

Рассмотрим основные направления работ, которые реализуются в рамках нанометрологии. Было выделено восемь таких ключевых направлений.

1. Разработка рабочего эталона (установки высшей точности) на базе приборов нанометрового диапазона с интерференционными и другими датчиками перемещений.
2. Разработка комплекса параметрических мер для калибровки приборов нанометрового диапазона, а также для передачи размера единицы длины в нанометровом диапазоне от первичного эталона к рабочему.
3. Разработка государственной поверочной схемы для передачи размеров единицы длины от государственного исходного эталона к рабочим средствам измерений.
4. Разработка алгоритмов и программного обеспечения для выполнения измерений и анализа погрешностей результатов измерений.
5. Разработка нормативно-технической документации, включая методику испытаний и поверки средств измерений на приборах нанометрового диапазона геометрических параметров двух- и трехмерных наноструктур.
6. Законодательное оформление разработанного рабочего эталона в качестве государственного рабочего эталона в области измерений нанометрового диапазона.
7. Организация работ по международному сличению мер линейных размеров.
8. Создание Центра нанометрологии и нанодиагностики.

На данный момент эти направления успешно реализуются и работа по ним продолжается.

В Российской Федерации обеспечение развития методической составляющей наноиндустрии возложено на Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Для решения этой задачи был создан Центр метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии. Этот центр не локализован в одном регионе, распределен и включает сеть региональных и отраслевых отделений.

Рекомендуемая литература

1. Введение в нанотехнологию : учебник / В. И. Марголин, В. А. Жабрев, Г. Н. Лукьянов, В. А. Тупик. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 464 с. – ISBN 978-5-8114-1318-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/211034> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Сергеев, А. Г. Нанометрология : монография / А. Г. Сергеев. – Москва : Логос, 2020. – 416 с. – ISBN 978-5-98704-494-0. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/163080> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Смирнов, Ю. А. Контроль и метрологическое обеспечение средств и систем автоматизации. Испытания средств измерений. Лабораторный практикум : учебное пособие / Ю. А. Смирнов. – Санкт-Петербург:Лань,2020.–148с.–ISBN 978-5-8114-3935-5.– Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/148197> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Блесман, А. И. Методы исследования наноматериалов : учебное пособие / А. И. Блесман, В. В. Данышина, Д. А. Полонянкин. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2023. – 79 с. – ISBN 978-5-4497-1978-2, 978-5-8149-2506-0. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/128969.html> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

Тема 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ С РАЗМЕРАМИ ПОРЯДКА НАНОМЕТРА

2.1. Общие вопросы стандартизации в нанотехнологиях

Рассмотрение темы начнем с общих определений.

Стандартизация – деятельность, связанная с установлением характеристик и правил для их добровольного использования в целях достижения упорядоченности в сферах производства, обращения, повышения конкурентоспособности продукции, работ или услуг.

Цель стандартизации – обеспечить возможно полное удовлетворение интересов всех заинтересованных сторон (производителя и потребителя), повышение производительности труда, экономное расходование материалов, энергии, рабочего времени и гарантировать безопасность при эксплуатации и производстве продукции и услуг.

3 февраля 1947 года была учреждена неправительственная организация – Международная организация по стандартизации (ISO – ИСО), результатом деятельности которой является публикация международных стандартов, принятых на основе консенсуса. В настоящее время в нее входит порядка 170 национальных агентств государств, присоединившихся к этой организации.

Одним из 25 стран-основателей ИСО был СССР. Более 70 лет Российской Федерации, как правопреемница СССР, постоянно принимает участие в деятельности её технических комитетов по стандартизации и руководящих органов. Российской Федерации в ИСО представляет Росстандарт, организуя деятельность экспертов в 588 технических комитетах (подкомитетах) в статусе полноправного члена и ещё в 112 технических комитетах (подкомитетах) в статусе наблюдателя. Помимо этого, за Российской Федерацией закреплено ведение и председательство в 11 комитетах ИСО.

Работы по стандартизации в России осуществляются на основе Федеральных законов: «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ [10] и «О стандартизации в Российской Федерации» от 29 июня 2015 года № 162-ФЗ [11].

Для чего нужна стандартизация в нанометрологии и что собой представляет наноиндустрия?

Практическое применение нанотехнологий показывает, что они реализуются в разных направлениях науки и техники – от функциональных материалов в космической отрасли до биотехнологий и генетики. Другими словами, нанотехнология – надотраслевая технология, необходимая для всех отраслей индустрии и влияющая на их развитие.

Важнейшим фактором, обуславливающим надотраслевой характер нанотехнологий, является методическая составляющая, включающая в себя три основных компонента: метрологию, стандартизацию, сертификацию и оценку соответствия и безопасности продукции наноиндустрии [2].

Стандартизация методов изготовленияnanoобъектов, их параметров и характеристик необходима для интеграции в общее технологическое и экономическое пространство.

Переход к наноразмерам в науке и технике привел к возникновению и развитию новых отраслей индустрии (наноинженерия, нанофотоника и др.). В связи с этим в конце XX века формируется новый интегрированный комплекс – наноиндустрия, который включает:

- оборудование, материалы;
- программные средства;
- систему знаний;
- технологическую, метрологическую, информационную, организационно-экономическую культуру;
- кадровый потенциал, обеспечивающий при переходе к наномасштабам производство научноемкой продукции с нетрадиционными свойствами материалов и систем.

На рис. 17 представлена схема отраслей наноиндустрии и направления исследований в нанотехнологиях, связанные с соответствующими отраслями наноиндустрии. Из схемы видно, что каждая отрасль наноиндустрии связана с определенными направлениями исследований, которые заложены в основу ее развития. Например, развитие наноэлектроники в первую очередь опирается на применение результатов получения nanoобъектов

и определений их линейных размеров, а также связано с изучением их состава и свойств (рис. 17). Для получения конструкционных наноматериалов с уникальными свойствами необходимы исследования, не только связанные с геометрическими размерами и составом наноматериалов, но и их структурой (рис. 17).

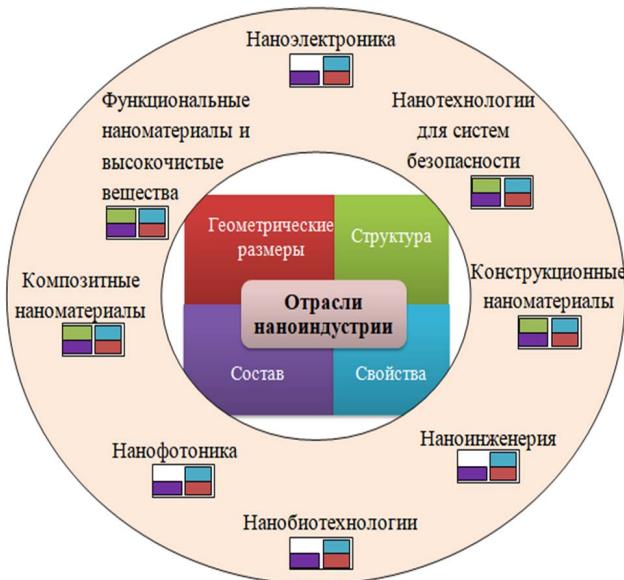


Рис. 17. Отрасли наноиндустрии, опирающиеся на направления исследований в нанотехнологиях

Наноиндустрия – одна из самых молодых индустрий в Российской Федерации. Ее возникновение и развитие напрямую связано с развитием нанотехнологий в стране.

Первые официальные документы, координирующие и стимулирующие развитие нанотехнологий в Российской Федерации:

- Распоряжение Правительства РФ от 25 августа 2006 г. № 1188-р «О Программе координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в РФ»;
- Программа координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в РФ (одобрена распоряжением Правительства РФ от 25 августа 2006 г. № 1188-р);

- Приложение к программе координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в РФ – «План действий по стимулированию развития наноиндустрии»;
- Президентская инициатива «Стратегия развития наноиндустрии» (поручение Президента Российской Федерации от 24 апреля 2007 г. № Пр-688);
- Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы» (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 14 июля 2007 г. № 937-р);
- Программа развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий и наноматериалов до 2015 года;
- «Концепция развития работ в области нанотехнологий на период до 2010 года»;
- Приказ Минобрнауки РФ от 31.01.2008 № 34 «О национальной системе мониторинга исследований и разработок в сфере нанотехнологий».

Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в Российской Федерации на 2008–2010 годы» была определена одним из основных инструментов государственной политики в сфере нанотехнологий в президентской инициативе «Стратегия развития наноиндустрии», утвержденной Президентом Российской Федерации. «Концепция развития работ в области нанотехнологий на период до 2010 года» была принята распоряжением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2007 года № 937-р.

2.2. Стандартизация методов калибровки и измерений

Ни одна отрасль техники не может существовать без принятой системы измерений, которая определяет технологические процессы и управление ими, а также контроль качества выпускаемой продукции. С помощью метрологических стандартов специалисты на практике получают количественные параметры объектов с заданной точностью.

Стандарты проверяются на соответствие признанной системе качества в калибровочных лабораториях. Методы и средства достижения цели в стандартизации включают:

- терминологические стандарты;
- аттестованные и стандартизированные методики измерений, калибровки и проверки приборно-аналитического и технологического оборудования нанотехнологий.

На схеме метрологического и стандартизационного обеспечения нанотехнологий (рис. 18) пунктирной линией указано, на каком этапе необходимо осуществлять калибровку и поверку средств измерений как параметров объектов нанотехнологий, так и сопровождения технологических процессов.

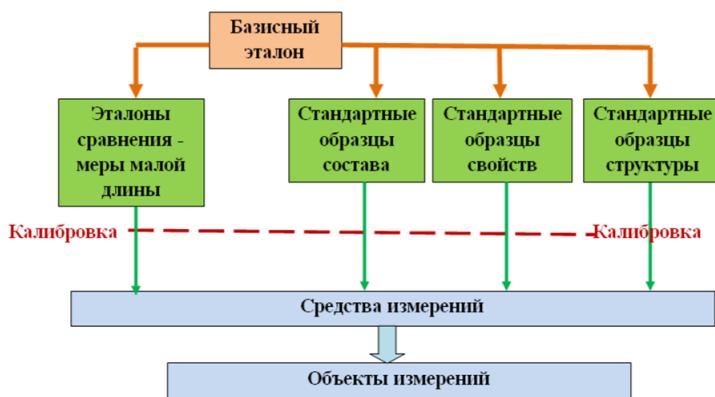


Рис. 18. Схема метрологического и стандартизационного обеспечения нанотехнологий

2.3. Стандарты в области нанотехнологии

По данным Росстата, ежегодно в России разрабатывается около 500 нанотехнологий, при этом внедряется лишь малая их часть. Важнейшее условие успешного внедрения – это нормативно-техническое обеспечение жизненного цикла новой продукции: от разработки до серийного выпуска и выведения на рынок.

Для обеспечения нормативной базы нанометрологии были созданы специальные комитеты, занимающиеся непосредствен-

ной разработкой стандартов в данной области [12]. Кроме этого, в разработку стандартов для наноиндустрии свой вклад вносит Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт РФ) совместно со сторонними объединениями.

С 2010 до 2019 года в РФ реализовывалась «Программа развития стандартизации в наноиндустрии». В реализации Программы принимало участие 45 технических комитетов по стандартизации. Финансирование работ по реализации Программы осуществлялось из средств Фонда инфраструктурных и образовательных программ группы «Роснано» (см. тему 3, п. 3.2), средств федерального бюджета (Росстандарта) и средств организаций, заинтересованных в реализации проектов в области наноиндустрии. Программа была рассчитана на 2010–2019 гг.

Принятая «Программа развития стандартизации в наноиндустрии» была направлена на активизацию инновационной деятельности предприятий, адаптацию их к рыночной экономике в сфере нанотехнологий, соответствие нормативного обеспечения требованиям международных стандартов.

До начала реализации «Программы развития стандартизации в наноиндустрии» к 2008 году были разработаны и внедрены всего семь российских стандартов [13]. Программа предусматривала разработку порядка 400 стандартов (рис. 19) [12].

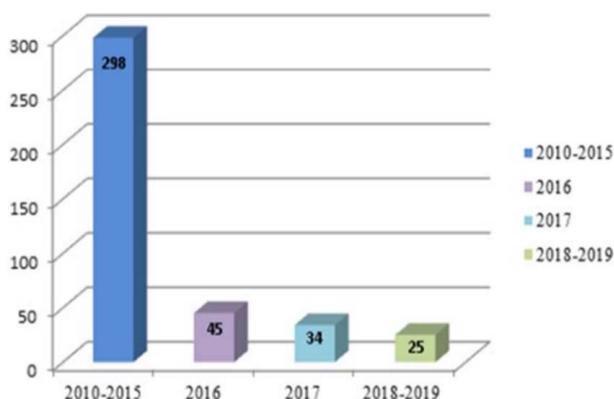


Рис. 19. Количество разработанных стандартов по годам [12]

В структурном плане Программа состояла из двух разделов, каждый из которых представлял собой совокупность иерархически и функционально связанных стандартов, разрабатываемых в зависимости от тематической направленности развития нанотехнологий.

Эти стандарты охватывают разные сферы деятельности в наноиндустрии. Из табл. 6 видно, что стандарты, в рамках Программы, делятся на две большие группы: общетехнические стандарты и прикладные стандарты отраслей по направлениям [14].

Таблица 6

Классификация стандартов по группам [12]

Группы стандартов	Количество стандартов
1. Общетехнические стандарты (terminология, классификация, общие требования, безопасность)	41
2. Прикладные стандарты отраслей по направлениям развития нанотехнологий	
Наноэлектроника	17
Наноинженерия	42
Функциональные материалы и высокочистые вещества	35
Функциональные материалы для энергетики	120
Функциональные материалы для космической техники	4
Нанобиотехнологии	17
Конструкционные наноматериалы	22
Композиционные наноматериалы	65
Нанотехнологии для систем безопасности	39

Ниже приведены примеры нескольких стандартов, разработанных и используемых в наноиндустрии. Оба стандарта относятся ко второй группе стандартов (табл. 6):

– Стандарт ГОСТ Р 57408–2017 «Наноматериалы. Нанопокрытия сверхтвёрдые и износостойкие. Общие технические требования» [15].

– Стандарт ГОСТ Р 58038–2017 «Нанотехнологии. Часть 9. Нанотехнологические электротехнические изделия и системы. Термины и определения» [16].

Авторы научной публикации «Стандартизация в наноиндустрии» [14] делают заключение: «На сегодняшний день в России недостаточно действующих стандартов в области нанотехнологий и наноматериалов. <...> Стандарты должны быть опережающими, то есть предшествовать появлению новых устройств и процессов. Согласно стратегии этих стандартов они предопределяют необходимость создания новых инструментов и процессов, конкуренцию на мировом рынке для быстрой коммерциализации и широкого распространения новых разработок. Также стоит отметить, что стандарты, распространяющиеся и касающиеся наноиндустрии в целом, нуждаются в структурировании. Это поможет в создании единой „нанобазы“, пользуясь которой, будет удобно находить и анализировать нормативные технические документы...» [14, с. 103–104].

Рекомендуемая литература

1. Хомутова, Е. Г. Стандартизация и метрология в приоритетных технологиях : учебное пособие / Е. Г. Хомутова, А. А. Спиридонова. – Москва : РТУ МИРЭА, 2021. – 107 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/218813> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Методы исследования структуры твердых тел : учебное пособие / В. В. Ожерельев, А. В. Костюченко, С. В. Канныкин, А. И. Донцов. – Воронеж : Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021. – 108 с. – ISBN 978-5-7731-0987-7. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/118616.html> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

Тема 3. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ И СИСТЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ В НАНОМЕТРОЛОГИИ

3.1. Основные принципы сертификации продукции и ее виды в России

В условиях появления на российских рынках продукцииnanoиндустрии особо актуальным становится вопрос о ее сертификации. Сертифицирование вообще и нанопродукции в частности увеличивает для производителей конкурентоспособность и способствует успешной реализации товаров на внутренних рынках. А потребителю позволяет исключить вероятность покупки непригодной продукции и некачественных товаров.

Сертификация – вид деятельности, при которой орган по сертификации подтверждает, что производимая продукция соответствует нормам стандартов, технических регламентов, договоров.

По сути, сертификация в России призвана подтверждать соответствие и качество изготавливаемого и выпускаемого товара утвержденным государственным нормам.

Объектами сертификации являются:

- продукция;
- услуги (работы);
- системы менеджмента;
- персонал.

Практически на все виды продукции и услуг распространяются действия Закона РФ «О сертификации продукции и услуг».

Сертификация осуществляется в целях:

- создания условий для деятельности предприятий, учреждений, организаций и предпринимателей на едином товарном рынке Российской Федерации, а также для участия в международном экономическом научно-техническом сотрудничестве и международной торговле;
- содействия потребителям в компетентном выборе продукции;
- защиты потребителя от недобросовестности изготовителя (продавца);

- контроля безопасности продукции для окружающей среды, жизни и здоровья человека и его имущества;
- подтверждения показателей качества продукции, заявленных изготавителем.

В Российской Федерации национальным органом по сертификации является Росстандарт РФ, деятельность которого регулируется законодательством Российской Федерации о сертификации.

Функции Росстандарта РФ заключаются в следующем:

- разработка и совершенствование основополагающих организационно-методических документов системы;
- утверждение нормативно-технической документации, устанавливающей порядок сертификации конкретных видов продукции;
- информация о результатах сертификации.

На рис. 20 представлены виды сертификации по ее статусу. По правовому статусу сертификация делится на обязательную и добровольную.

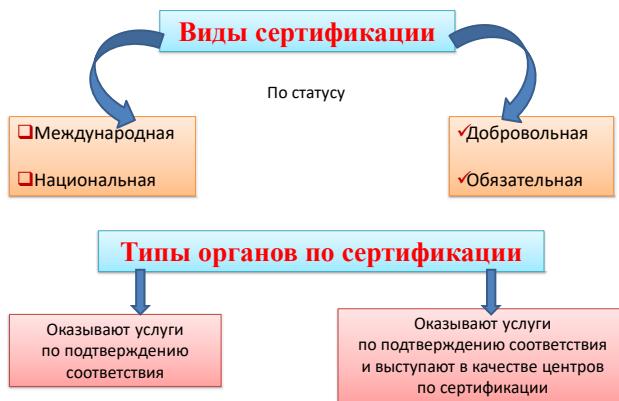


Рис. 20. Схемы видов сертификации и органов по сертификации

Обязательная сертификация распространяется на товары, услуги или продукцию, связанные с обеспечением безопасности здоровья, жизни, имущества и окружающей среды, и осуществляется органами по сертификации, аккредитованными в порядке, установленном Правительством Российской Федерации (Постановление Правительства РФ от 24.02.2009 № 163 «Об аккредитации орг-

ганов по сертификации и испытательных лабораторий (центров), выполняющих работы по подтверждению соответствия»).

Добровольная сертификация осуществляется по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и органом по сертификации и проводится органами по сертификации, аккредитованными в системах сертификации в установленном порядке.

Сертификация продукции в России может осуществляться лишь независимыми лабораториями и государственными сертификационными органами, получившими соответствующую аккредитацию на ведение деятельности в области сертификации и имеющими соответствующих специалистов и оборудование, способных правильно изучить предмет на подтверждение его характеристик и свойств техническим требованиям. Аттестат аккредитации подобных органов по сертификации выдаётся на определённый срок.

Контроль над данными органами осуществляют Федеральное агентство метрологии и технического регулирования. Аккредитованные органы, выполняющие все виды сертификации, оформляются в качестве частных компаний или юридических лиц, которым подвластна сертификация услуг и качества продукции на соответствие действующим требованиям межнациональных и национальных стандартов.

В России существуют и действуют, параллельно друг другу, несколько видов сертификации. Это связано с началом реформы технического регулирования и подписанием 1 января 2015 года договора о создании Евразийского экономического союза [17].

В России на данный момент выделяют несколько видов сертификатов:

- сертификат и декларация соответствия технических регламентов (ТР);
- сертификат и декларация соответствия в системе ГОСТ Р;
- свидетельство государственной регистрации.

Для упрощения товарообмена между отдельными государствами (бывшими союзовыми республиками, входящими в состав СССР) в 2010 году начал работать Таможенный союз, в который на 1 июля 2010 года входили Россия, Белоруссия и Казахстан.

18 ноября 2011 года президенты этих трех государств подписали Декларацию о евразийской экономической интеграции.

Декларация предполагала переход к следующему этапу интеграционного строительства – Единому экономическому пространству. К началу 2012 года было подписано порядка 17 межгосударственных соглашений, создающих правовую основу для формирования Единого экономического пространства.

В мае 2014 года в Астане президенты Республики Беларусь, Республики Казахстан и Российской Федерации подписали Договор о Евразийском экономическом союзе (ЕАЭС).

Договор вступил в силу 1 января 2015 года, и сегодня в ЕАЭС входят пять государств – Российская Федерация, Беларусь, Казахстан, Армения и Кыргызстан.

«Отказавшись от старой системы ГОСТов, российское правительство объединило все существующие обязательные требования к безопасности и качеству продукции в нормативно-правовые акты нового образца – технические регламенты. А с созданием Таможенного союза (ТС) было принято решение о разработке единых для всех стран-участниц ТС технических регламентов, которые позволяют производителям, получившим единую декларацию или сертификат о соответствии, реализовывать свою продукцию или товар на всей территории Таможенного союза» [17].

После того как в рамках Таможенного союза (ЕАЭС) были разработаны унифицированные технические регламенты, обязательные для применения на территории всех стран-участников ЕАЭС, большая часть продукции вышла из системы ГОСТ Р и перешла под техническое регулирование.

На сегодняшний день в системе сертификации ГОСТ Р осуществляется только обязательное подтверждение соответствия сертификации продукции, которая включена в Единые перечни продукции, подлежащие обязательной сертификации и декларированию соответствия, утвержденные Постановлением Правительства РФ от 23 декабря 2021 г. № 2425. Последнее обновление вступило в силу 23 декабря 2021 года.

Бланк обязательного сертификата ГОСТ Р является бланком строгой отчетности жёлтого цвета. Все выданные сертификаты

ГОСТ Р в обязательном порядке заносятся в Реестр сертификатов соответствия на продукцию, включенную в единый перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации, который ведёт Федеральная служба по аккредитации (Росаккредитация).

Приказом Росстандарта от 26 декабря 2019 г. № 3358 отменено действие системы добровольной сертификации ГОСТ Р, единоличным владельцем которой являлся Росстандарт. Выпуск и распространение бланков сертификатов добровольной системы сертификации ГОСТ Р прекращены с 26 декабря 2019 года.

Кроме вышеперечисленных сертификатов на территории России все больше набирает обороты сертификация в системе ИСО. Основными преимуществами системы сертификации ИСО являются возможность участвовать в международной торговле, сотрудничать с разными партнёрами за рубежом. Все это неизбежно приводит к увеличению объёмов продаж и положительно отражается на репутации и имидже производителя.

Добровольная сертификация продукции проводится в системах добровольной сертификации (СДС), зарегистрированных в установленном порядке в Росстандарте. Каждая система имеет свой реестр выданных сертификатов. Как правило, на самом сертификате размещается QR-код, который ведёт пользователя сразу в Реестр.

3.2. Системы добровольной сертификации нанопродукции. Наносертифика

Для реализации государственной инновационной политики и создания системы государственной поддержки инноваций в 2007 году по инициативе президента РФ Владимира Путина была учреждена Российская корпорация нанотехнологий – ГК «Роснанотех». В 2011 году в результате реорганизации «Роснанотех» было создано акционерное общество «Роснано» (АО «Роснано»), которое является преемником госкорпорации по всем правам и обязанностям, 100 % его акций закреплено в государственной собственности.

«Роснано» реализует государственную политику по развитию наноиндустрии, выступая соинвестором в нанотехнологиче-

ских проектах со значительным экономическим или социальным потенциалом.

Еще одним инструментом государственной поддержки инноваций выступает Фонд инфраструктурных и образовательных программ. Фонд был создан в 2010 году на основании Федерального закона от 27.07.2010 № 211-ФЗ «О реорганизации Российской корпорации нанотехнологий» для содействия инновационному развитию российской экономики в нанотехнологическом секторе экономики.

Основные цели Фонда:

- финансовая поддержка нанотехнологического сектора экономики;
- формирование и развитие инновационной инфраструктуры;
- создание рынка квалифицированных кадров, системы профессионального образования для наноиндустрии;
- продвижение на рынок технологических решений и готовых продуктов.

На сайте Фонда (<https://fiop.site>) можно найти полную информацию о его деятельности. Фонд объединяет 15 наноцентров в 11 регионах РФ, более 800 стартапов и 10 технологических инжиниринговых компаний.

Фонд формирует нормативно-техническую инфраструктуру, обеспечивает инновационные компании пакетом документов для свободного обращения продукции на рынке. С участием Фонда разработано более 255 национальных, в том числе зеленых, стандартов на нанопродукцию, выдано 680 сертификатов и разрешений на нанопродукцию, разработано 240 методик выполнения измерений и стандартных образцов.

Одним из основополагающих компонентов развития технологического предпринимательства является создание благоприятной регуляторной среды. Фонд ведет непрерывную работу с органами власти, экспертным сообществом и институтами развития в части законодательных инициатив, направленных на создание благоприятных условий для развития инновационного предпринимательства. На рис. 21 представлены логотипы партнеров Фонда.



Рис. 21. Логотипы партнеров Фонда инфраструктурных и образовательных программ

Зеленая стандартизация и зеленая сертификация

В последние десятилетия во всем мире делается акцент на развитие зеленых технологий, в том числе и зеленых нанотехнологий. В нашей стране развитие зеленых нанотехнологий курирует Группа «Роснано». Для нее это одно из приоритетных видов деятельности, направленных на решение экологических проблем. Все приоритетные направления наноиндустрии, связанные с зелеными нанотехнологиями, разделены на 6 зеленых кластеров, которые интенсивно развиваются:

- 1) возобновляемая зеленая энергетика (солнце и ветер);
- 2) переработка ТБО в электроэнергию;
- 3) зеленое машиностроение;
- 4) гибкая электроника;
- 5) промышленное хранение энергии;
- 6) наномодифицированные материалы.

Для продвижения на рынок зеленой инновационной продукции необходима разработка нормативно-технических инструментов и развитие соответствующей инфраструктуры. Этими задачами занимается Фонд инфраструктурных и образовательных программ.

Например, при участии Фонда разработан и утвержден зеленый стандарт на объекты недвижимости (жилые здания). В стандарте учтены действующие требования в области зеленого строительства, функционально-технологические и конструктивные особенности

помещений, а также инженерно-технические решения, направленные на снижение негативных воздействий на окружающую среду и человека.

В настоящее время продукция наноиндустрии не подлежит обязательной сертификации. Она подлежит добровольной сертификации в системе «Наносертифика». Система добровольной сертификации продукции наноиндустрии АНО «Наносертифика» была создана еще ГК «Роснанотех» (сегодня «Роснано»).

АНО «Наносертифика» проводит работу по сертификации объектов недвижимости, построенных с применением зеленых инновационных решений с учетом оценки уровня их соответствия требованиям стандартов в области зеленого строительства.

В системе СДС «Наносертифика» проводится сертификация продукции наноиндустрии по требованиям зеленых стандартов, в том числе в сотрудничестве с Некоммерческим партнерством «Экологический союз». Инновационные компании получают возможность иметь признаваемый на международном уровне сертификат «Листок жизни».

Подготовлен первый в России регулярно обновляемый каталог экологически ориентированной продукции компаний наноиндустрии – Книга «Российские зеленые нанотехнологии», иллюстрирующая вклад предприятий наноиндустрии в устойчивое развитие инновационной экономики России и решение экологических проблем.

По инициативе и при поддержке «Роснано» на базе АНО «Наносертифика» был открыт **Экологический центр в наноиндустрии**.

Центр содействует инновационным компаниям в оценке соблюдения требований экологического и природоохранного законодательства, разработке и сертификации систем экологического менеджмента. При участии Центра было разработано более 50 зеленых стандартов.

3.3. Документы, регламентирующие проведение сертификации и экспертизы наноматериалов, изделий на основе наноматериалов

Нормативные документы в области стандартизации и сертификации:

- заявление о соответствии;
- аттестация соответствия;
- сертификация соответствия.

Рассмотрим процедуру выдачи сертификатов органами по сертификации, к которым относятся:

- Росстандарт РФ;
- территориальные центры Росстандарта РФ по стандартизации, метрологии и сертификации;
- испытательные лаборатории центров Росстандарта РФ по стандартизации, метрологии и сертификации;
- другие государственные органы управления РФ в пределах своей компетенции по отдельным видам продукции.

В качестве органов по сертификации и испытательных лабораторий могут быть аккредитованы зарегистрированные некоммерческие объединения и организации любых форм собственности.

Согласно [17], для сертификации импортных и отечественных товаров могут использоваться следующие утверждённые схемы:

- на компанию-импортёра или производителя, занимающегося реализацией своей продукции;
- на серийный выпуск товаров;
- на ограниченную партию товара.

Существующие схемы сертификации предусматривают оформление документов сроком от 1 до 3 лет. В некоторых случаях сроки действия сертификата могут быть другие. Если сертификат выдан на серийный выпуск товаров, то срок действия сертификата или декларации распространяется до окончания реализации продукции или завершения ее серийного выпуска. Если на партию товара, то в документе указывается точное количество товара, продукции и оборудования, и сертификат или декларация действуют только на указанную партию [17].

Для проведения сертификации отечественный или иностранный заявитель готовит заявку установленной формы и копии учредительной документации и направляет в орган по сертификации, аккредитованный в системе по группе однородной продукции. Перечень необходимых для проведения сертификации документов для всех видов продукции и систем оценки соответствия примерно одинаков, его можно найти на сайте органа по сертификации [17].

Получив от заявителя информацию о товаре, орган по сертификации определяет схему, по которой будут оформляться разрешительные документы, а также общую стоимость предоставляемых услуг [17].

Далее следует передача отобранных типовых образцов в аккредитованную лабораторию для осуществления исследований, на основании которых оформляется протокол. После анализа полученных данных сертификационный орган принимает решение о возможности или невозможности оформления и последующей выдачи сертификата или декларации в зависимости от вида сертификации.

Сертификационные испытания проводят испытательные лаборатории по показателям, установленным соответствующими правилами. Они же выдают протокол испытаний, в котором содержатся результаты испытаний и другая информация, относящаяся к испытаниям. Этот протокол служит основанием для выдачи сертификата соответствия органом по сертификации. При положительных результатах протокол испытаний направляется органу по сертификации (копия – заявителю).

На основе протокола испытаний выдается сертификат соответствия продукции стандартам на продукцию или стандартам на конкретные свойства.

Сертификат составляется на бланке установленной формы, имеющем защиту, он регистрируется в Государственном реестре и вступает в силу со дня регистрации.

Сертификат действителен только при наличии регистрационного номера в течение срока годности товаров; если такой срок не установлен, то он определяется в соответствии со статьей 25 Федерального закона «О техническом регулировании» [10]. Продавцам необходимо учесть, что за стабильностью сертифи-

цированных свойств продукции осуществляется инспекционный контроль, в котором могут принять участие общество потребителей и торговые инспекции.

Рекомендуемая литература

1. Метрология, стандартизация и оценка соответствия : учебное пособие / составители С. Г. Смердова [и др.]. – Казань : КНИТУ, 2022. – 184 с. – ISBN 978-5-7882-3195-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/330983> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Ломакина, О. В. Метрология и стандартизация : курс лекций / О. В. Ломакина, П. А. Галкин, К. В. Шестаков. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021. – 92 с. – ISBN 978-5-8265-2432-9. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/123029.html> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.

Тема 4. ЭКСПЕРТИЗА МАТЕРИАЛОВ

Экспертиза – исследование, проводимое лицом, компетентным в соответствующей сфере науки, техники, искусства или ремесла, привлечённым заинтересованным лицом или органом для ответов на вопросы, требующие специальных знаний.

4.1. Виды экспертизы материалов

На рис. 22 представлена наиболее полная классификация видов экспертизы. Наиболее объемный перечень видов экспертизы относится к классификационному признаку, связанному с характером использования специальных знаний.

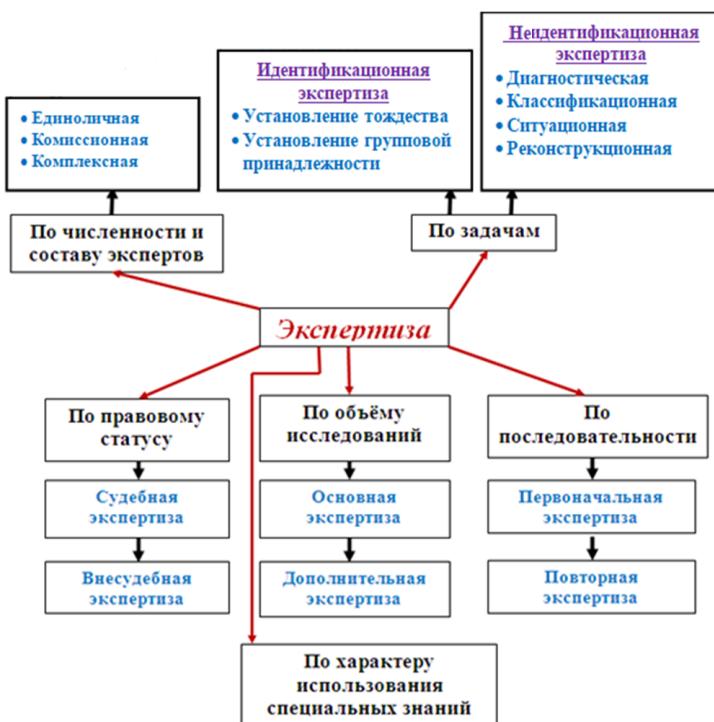


Рис. 22. Классификация видов экспертизы

Сюда можно отнести: геологическую, физическую, химическую, биологическую и т. д. Эти экспертизы определяют зависи-

мость структуры и состава материала от действия самых разных по своей природе закономерностей.

В свою очередь, эти виды экспертизы можно сгруппировать по более узкоспециализированным видам экспертиз:

- медицинская экспертиза, которая может включать экспертизу, например, наркотических и психотропных веществ;
- материаловедческая экспертиза — экспертиза материалов, веществ и изделий из них.

Материаловедческая экспертиза может включать экспертизу:

- лакокрасочных покрытий и материалов;
- металлов и сплавов;
- волокнистых материалов (текстильные материалы);
- стекла (фарфор, фаянс, керамика);
- полимерных веществ и материалов;
- парфюмерных и косметических средств и др.

Материаловедческая экспертиза лакокрасочных покрытий и материалов проводится в случаях, если необходимо определить: принадлежность данного вещества к лакокрасочному покрытию (материалу); подвергался ли предмет перекрашиванию; вид лакокрасочного материала.

Материаловедческая экспертиза волокнистых материалов проводится в случаях, если необходимо определить: механизм наслоения волокон на предмете; природу волокна; принадлежность волокнистых материалов к одному куску (партии).

Материаловедческая экспертиза стекла проводится в случаях, если необходимо, например, определить механизм разрушений изделий из стекла и др.

Материаловедческая экспертиза металлов и сплавов проводится в случаях, если необходимо определить: марку металла (сплава); область применения металла (сплава); способ изготовления изделия; наличие следов оплавления на металлических объектах и др.

Материаловедческая экспертиза полимерных веществ и материалов проводится в случаях, если необходимо определить: принадлежность вещества к полимеру; какое вещество применялось для склеивания объектов; наличие внешнего воздействия на изделие и т. д.

Материаловедческая экспертиза проводится также в криминалистике, таможенном деле и др.

Некоторые испытательные центры материаловедческую экспертизу ставят обособленно. Например, предлагают услуги по проведению экспертизы:

- ГСМ и нефтепродуктов;
- химическую;
- материаловедческую;
- волокнистых материалов;
- лакокрасочных материалов и покрытий;
- изделий из полимерных материалов и др.

В этом случае под материаловедческой экспертизой подразумевается определение физических, химических свойств, количественного, качественного состава, технических характеристик, позволяющих идентифицировать класс веществ, материалов и изделий.

На сайте Торгово-промышленной палаты РФ (<https://uslugi.tpprf.ru/ru/services/31556/>) предлагаются услуги по проведению материаловедческой экспертизы, описана процедура проведения, информация о дочерних организациях-исполнителях, расположенных в разных регионах РФ.

Материаловедческая экспертиза, как и любой вид экспертизы, может иметь независимый статус.

В процессе независимой материаловедческой экспертизы осуществляются следующие действия эксперта:

- анализ сопутствующей документации;
- комплексное лабораторное исследование предмета экспертизы;
- систематизация полученной информации и оформление письменного экспертного заключения.

Экспертное заключение – мотивированное заключение эксперта, в котором описывается ход исследования и даются ответы на поставленные вопросы.

У каждого вида экспертизы прописываются сроки проведения. Например, срок проведения таможенной экспертизы не может превышать 20 дней. Он исчисляется со дня поступления материалов на изучение. Но эксперт может его продлить, если не может завершить экспертизу в установленный период.

4.2. Методики экспертизы материалов

Не существует единой методики проведения экспертизы наноматериалов, но существует единая процедура проведения экспертизы, и можно выделить основные принципы проведения исследований наноматериалов.

Процедура

1. Направление заявки.
2. Первичное (общее) консультирование об условиях предоставления услуги.
3. Рассмотрение заявления с приложенным комплектом документов.
4. Выставление счета на оплату услуги.
5. Подтверждение оплаты.
6. Проведение экспертизы.
7. Выдача заключения эксперта.
8. Подписание сторонами акта об оказании услуг.

Ниже приведены принципы проведения экспертизы, позволяющей выявить особенности влияния наноматериалов на организм человека, которые изложены в приказе Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 2007 года «Об утверждении и внедрении методических рекомендаций „Оценка безопасности наноматериалов“» [18].

Принципы проведения исследований влияния наноматериалов на организм человека: «Целью комплекса физических, химических, биологических, микробиологических, токсикологических и иных исследований наноматериалов является получение научными методами оценок и доказательств безопасности наноматериалов.

Исследования наноматериалов проводятся по утвержденному плану с ведением протокола и составлением отчета, в который заносятся результаты исследований.

Исследования наноматериалов на животных проводятся в соответствии с международными правилами. Контроль за соблюдением правовых и этических норм использования животных при проведении исследований наноматериалов осуществляется Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Сбор, обработка и хранение информации, полученной в ходе исследования наноматериалов, должны обеспечивать точное и обоснованное представление о безопасности наноматериалов для здоровья человека и объективность данных, полученных в ходе исследования.

Хранение и использование исследуемых наноматериалов осуществляется в соответствии с утвержденным протоколом исследования.

Организация, проводящая исследования наноматериалов, должна быть укомплектована персоналом, имеющим необходимое образование, подготовку, квалификацию, опыт работы, и аккредитована на проведение исследований в установленном порядке.

Руководитель организации согласовывает протокол, назначает руководителя исследования и ответственных лиц из числа сотрудников, не участвующих в исследовании, для осуществления независимого контроля качества проведения исследования, обеспечивает своевременное повышение квалификации и подготовку персонала.

Персонал, принимающий участие в проведении исследования, знакомится с протоколом, информацией об исследуемом наноматериале, а также с функциями и обязанностями лиц, участвующих в исследовании.

Руководитель исследования организует, осуществляет и контролирует: проведение исследования; выполнение протокола исследования и поправок к нему, стандартные операционные процедуры; обеспечение доступа персонала к материалам исследования; соблюдение правил проведения качественных исследований; конфиденциальность полученных результатов; ответственных исполнителей.

Ответственные исполнители обеспечивают подготовку и проведение ключевых этапов исследования, включая обучение персонала; контроль соблюдения стандартных методов и процедур, сбор и документирование полученных данных; ведение учета непредвиденных обстоятельств и принятие мер по их устранению; представление результатов исследования в виде отчета» [18].

Рекомендуемая литература

1. Митрофанова, С. А. Метрологическое обеспечение испытаний : учебник / С. А. Митрофанова, И. В. Муравьева. – Москва : МИСИС, 2023. – 183 с. – ISBN 978-5-907560-75-8. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/360374> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Марусина, М. Я. Метрологическое обеспечение измерений, испытаний и контроля : учебное пособие / М. Я. Марусина. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2020. – 80 с. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/190787> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Спиридонова, А. А. Организация испытаний и контроля продукции : учебное пособие / А. А. Спиридонова, Е. Г. Хомутова. – Москва : РТУ МИРЭА, 2021. – 81 с. – ISBN 978-5-7339-1399-5. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/182482> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Муравьева, И. В. Контроль состава веществ и материалов химическими и физико-химическими методами : учебное пособие для практических занятий / И. В. Муравьева. – Москва : Издательский Дом МИСиС, 2021. – 70 с. – ISBN 978-5-907227-46-0. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/116934.html> (дата обращения: 04.06.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практическое занятие 1 Размерность и единицы физических величин

Цель – закрепить материал, связанный с системой физических величин. Повторить перевод основных и производных единиц в кратные, дольные единицы.

Задание

1. Выполнить практическую работу по вариантам из табл. 1.1.
2. Результаты оформить в виде табл. 1.2.
3. Под таблицей *письменно* ответить на контрольные вопросы, выданные преподавателем.

Таблица 1.1

Задания по вариантам

№ вари- анта	Записать размерность ФВ	Перевести заданные величины в требуемые единицы	
		Задано	Перевести в
1	Фарад	$18100 \cdot 10^{-4}$ МГц	кГц
2	Генри	$0,0143 \cdot 10^{-1}$ мкФ	нФ
3	Ом	$3020,12 \cdot 10^{-2}$ мГн	мкГн
4	Сименс	$0,00910 \cdot 10^5$ Ом	кОм
5	Паскаль	$120,1 \cdot 10^{-7}$ с	мкс
6	Джоуль	$4530 \cdot 10^{-3}$ ГГц	кГц
7	Вебер	$0,051 \cdot 10^{-2}$ МОм	ТОм
8	Тесла	$2500 \cdot 10^{-4}$ с	нс

Таблица 1.2

Задания по вариантам

№ варианта		
Размерность	Задано	Перевести в единицы

Критерии оценки

Занятие рассчитано на 2 академических часа. Работа считается сданной, если студент выполнил задания полностью или допустил ошибки в переводе, которые самостоятельно исправил, дал полные, исчерпывающие ответы на вопросы преподавателя или отвечал на вопросы с незначительными ошибками.

Практическое занятие 2

Графическая обработка результатов

экспериментальных данных

Цель – усвоить графический метод обработки экспериментальных данных прямых и косвенных измерений.

Задание

В работе предлагается изучить один из способов обработки экспериментальных данных, если неизвестная величина входит в функциональные зависимости вида: $y = kx$ или $y = a + bx$. Для этого необходимо иметь миллиметровую бумагу, линейку и карандаш.

Работа состоит из двух частей. В первой части исследуется функциональная зависимость $y = kx$, во второй – $y = a + bx$.

I. Определение параметра k в функциональной зависимости $y = kx$

1. Экспериментально определены величины x и y . По результатам измерений построена табл. 2.1.

Таблица 2.1

Экспериментальные данные

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Измеренный параметр								
x	2	3	4	5	6	7	8	9
y	0,39	0,62	0,78	1,10	1,18	1,41	1,63	1,75

2. По значениям, внесенным в таблицу, на миллиметровой бумаге строится график зависимости $y(x)$, учитывая, что необходимо провести наилучшую прямую.

3. Для нахождения погрешности в определении k воспользуемся формулой

$$\sigma_{\text{случ}} = \frac{\Delta k}{\sqrt{n}}. \quad (2.1)$$

Для нахождения Δk необходимо продолжить работу с графиком.

4. Весь диапазон по оси абсцисс надо разбить на 3 части. Левую часть (ближнюю к началу координат) при дальнейшей работе с графиком во внимание не принимать.

5. Провести через начало координат две прямые так, чтобы выше одной из них лежало $2/3$ точек, а выше другой – $1/3$ точек.

6. Различие между этими прямыми определяет Δk :

$$\Delta k = k_1 - k_2. \quad (2.2)$$

7. Систематическая погрешность определяется по классу точности приборов:

$$\sigma_{\text{сист}} = \frac{\gamma \cdot A_{\text{пред}}}{100}, \quad (2.3)$$

где γ – класс точности прибора; $A_{\text{пред}}$ – предельное значение измеряемой величины.

8. Полная погрешность определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{случ}}^2 + \sigma_{\text{сист}}^2}. \quad (2.4)$$

9. Из графика определяется среднее значение k .

10. Записывается окончательный результат в виде:

$$k = \langle k \rangle \pm \sigma_k. \quad (2.5)$$

II. Определение параметров a и b в функциональной зависимости $y = a + bx$

1. Сначала повторяются действия, описанные в пп. 1–2 первой части работы, используя экспериментальные данные из табл. 2.2.

2. По графику и по таблице результатов эксперимента для уравнения $y = a + bx$ находятся параметры $\langle a \rangle$ и $\langle b \rangle$:

– параметр $\langle a \rangle$ находится продолжением графика до пересечения оси ординат;

– параметр $\langle b \rangle$ находится из формулы (2.6) при подстановке из таблицы максимальных значений x и y :

$$y = a + bx. \quad (2.6)$$

Таблица 2.2

Экспериментальные данные

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Измеренный параметр								
x	2	3	4	5	6	7	8	9
y	0,55	0,70	1,00	1,10	1,40	1,65	1,75	1,80

3. Определение погрешности параметра a :

- на графике пунктирной линией проводятся две параллельные прямые по обе стороны графика. При этом должно выполняться следующее условие: по одну сторону от пунктирной линии должно лежать в два раза больше точек, чем по другую сторону этой линии;
- по расстоянию между линиями определяется Δa ;
- по формуле (2.2) определяется случайная погрешность параметра a ;
- по классу точности и по формуле (2.3) определяется систематическая погрешность;
- по формуле (2.4) определяется полная погрешность параметра a . При этом надо учесть все виды погрешностей и их величины.

4. Определение погрешности параметра b :

- на графике пунктирной линией разделить рабочий участок оси абсцисс на три равные части. Средний участок при дальнейших рассмотрениях не учитывается;
- прямую пунктирную линию при построении поворачивают так, что на левом участке выше нее оказалось вдвое больше точек, чем под ней, а на правом участке наоборот. Затем пунктирная прямая поворачивается так, чтобы на левом участке 2/3 точек лежали ниже прямой, а на правом – выше нее;
- Δb определяется по разнице угловых коэффициентов этих прямых;
- по формуле (2.1) определяется случайная погрешность параметра b ;

- по классу точности и по формуле (2.3) определяется систематическая погрешность;
- по формуле (2.4) определяется полная погрешность параметра b . При этом надо учесть все виды погрешностей и их величины.

5. Записывается окончательный результат в виде:

$$a = \langle a \rangle \pm \sigma_a;$$

$$b = \langle b \rangle \pm \sigma_b.$$

6. Делается вывод по результатам работы.

Указания к самостоятельной работе

В результате самостоятельной подготовки к выполнению работы студент должен проработать теоретический материал данного пособия, усвоить графический метод обработки экспериментальных данных и следующие понятия:

- | | |
|--------------------------|---------------------------------|
| 1. Измерение. | 10. Предмет метрологии. |
| 2. Физическая величина. | 11. Объект метрологии. |
| 3. Средство измерения. | 12. Задача метрологии. |
| 4. Прямые измерения. | 13. Виды метрологии |
| 5. Косвенные измерения. | и их содержание. |
| 6. Совместные измерения. | 14. Метрологическая служба. |
| 7. Совокупные измерения. | 15. Проверка средств измерений. |
| 8. Класс точности. | 16. Погрешность. |
| 9. Метрология. | 17. Точность. |

Критерии оценки

Занятие рассчитано на 4 академических часа. Работа считается сданной, если студент выполнил задания полностью или допустил ошибки, которые после указаний на них самостоятельно исправил, дал полные, исчерпывающие ответы на вопросы преподавателя (из перечня понятий, предложенных для самостоятельной подготовки) или ответил на вопросы с незначительными ошибками.

Практическое занятие 3

Обработка экспериментальных данных методом наименьших квадратов

Цель – освоить обработку экспериментальных данных методом наименьших квадратов.

Задание

В работе предлагается изучить один из способов обработки экспериментальных данных, если неизвестная величина входит в функциональные зависимости вида: $y = kx$ или $y = a + bx$.

Работа состоит из двух частей. В первой части исследуется функциональная зависимость $y = kx$, во второй – $y = a + bx$.

I. Определение параметра k в функциональной зависимости $y = kx$

1. Экспериментально определены величины x и y . По результатам измерений построена табл. 3.1.

2. Найдем наилучшее значение параметра k аналитическим методом.

Для этого обозначим через индекс i – номер опыта (x_i, y_i).

• В качестве наилучшего значения в методе наименьших квадратов принимается такое значение величины, при котором величина (3.1) имеет минимальное значение:

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - kx_i}{\sigma_i} \right)^2, \quad (3.1)$$

где σ_i – среднеквадратичная погрешность i -го измерения, то есть ищется такое значение параметра k , при котором $\frac{d\varphi}{dk} = 0$, тогда

$$\frac{d\varphi}{dk} = \sum \frac{(y_i - kx_i)x_i}{\sigma_i^2} = 0. \quad (3.2)$$

• Пусть σ_i равны друг другу, тогда уравнение (3.2) примет вид:

$$\sum_{i=1}^n y_i x_i = k \sum_{i=1}^n x_i^2. \quad (3.3)$$

• Поделим обе части уравнения (3.3) на n и получим:

$$\langle y_i x_i \rangle = k \langle x_i^2 \rangle. \quad (3.4)$$

Из уравнения (3.4) следует:

$$\langle k \rangle = \frac{\langle y_i x_i \rangle}{\langle x_i^2 \rangle}. \quad (3.5)$$

Найденный по формуле (3.5) параметр k и будет иметь наилучшее значение, и можно его обозначить $\langle k \rangle$.

Таблица 3.1

Экспериментальные данные

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Измеренный параметр								
x	2	3	4	5	6	7	8	9
y	0,39	0,62	0,78	1,10	1,18	1,41	1,63	1,75

3. Для определения погрешности, с которой найден параметр $\langle k \rangle$, производят оценку разброса экспериментальных данных согласно формуле (3.6):

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\langle y_i^2 \rangle}{\langle x_i^2 \rangle} - \langle k \rangle^2}$$

или

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle}{\langle x^2 \rangle} - \langle k \rangle^2}. \quad (3.6)$$

4. Записывается окончательный результат в виде:

$$k = \langle k \rangle \pm \sigma_k. \quad (3.7)$$

II. Определение параметров a и b в функциональной зависимости $y = a + bx$

1. Сначала повторяются действия, описанные в п. 1 первой части работы.

2. По табл. 3.2 результатов эксперимента для уравнения $y = a + bx$ находятся параметры $\langle a \rangle$ и $\langle b \rangle$. Для этого опишем рассуждения, положенные в основу вывода соответствующих формул.

Таблица 3.2

Экспериментальные данные

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8
Измеренный параметр								
x	2	3	4	5	6	7	8	9
y	0,55	0,70	1,00	1,10	1,40	1,65	1,75	1,80

Пусть при значениях x_i одной физической величины получены значения y_i для другой величины ($i = 1, 2, 3, \dots, n$). Наилучшая прямая определяется по правилу наименьших квадратов, то есть параметрам $\langle a \rangle$ и $\langle b \rangle$ приписываются такие значения, при которых величина

$$\varphi = \sum [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (3.8)$$

имеет минимум.

При этом получаются следующие формулы для нахождения наилучших значений $\langle a \rangle$ и $\langle b \rangle$ по измеренным значениям x_i, y_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$):

$$\begin{aligned} \langle b \rangle &= \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{D(x)}, \\ \langle a \rangle &= \langle y \rangle - \langle b \rangle \langle x \rangle, \end{aligned} \quad (3.9)$$

где

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

$$\langle xy \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i,$$

$$\langle y \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (3.10)$$

$$\langle x^2 \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2,$$

$$D(x) = \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2.$$

При расчетах следует помнить, что в числителе первой формулы обычно вычисляются близкие по величине члены, что вызывает необходимость удерживать при вычислениях много значащих цифр.

3. Определение погрешности параметров a и b :

$$\sigma_b = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{D(y)}{D(x)} - \langle b \rangle^2}, \quad (3.11)$$

$$\sigma_a = \sigma_b \sqrt{D(x)}.$$

Входящие в формулы (3.11) дисперсии $D(x)$ и $D(y)$ определяются по формуле (3.10).

4. Записывается окончательный результат в виде:

$$a = \langle a \rangle \pm \sigma_a;$$

$$b = \langle b \rangle \pm \sigma_b.$$

5. По результатам работы делается вывод.

Указания к самостоятельной работе

В результате самостоятельной подготовки к выполнению работы студент должен проработать теоретический материал данного пособия, усвоить метод наименьших квадратов и следующие понятия:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Измерения. | 10. Средство измерения. |
| 2. Метрология. | 11. Точность. |
| 3. Предмет метрологии. | 12. Погрешность измерения. |
| 4. Задача метрологии. | 13. Правильность. |
| 5. Объект метрологии. | 14. Сходимость. |
| 6. Перечислите разделы метрологии. | 15. Воспроизводимость. |
| 7. Перечислите направления метрологии. | 16. Эталон единицы величины. |
| 8. Мера. | 17. Единство измерений. |
| 9. Физическая величина. | 18. Результаты измерений. |
| | 19. Метрологическая служба. |

Критерии оценки

Занятие рассчитано на 4 академических часа. Работа считается сданной, если студент выполнил задания полностью или допустил ошибки, которые после указаний на них самостоятельно исправил,

дал полные, исчерпывающие ответы на вопросы преподавателя (из перечня понятий, предложенных для самостоятельной подготовки) или если ответил на вопросы с незначительными ошибками.

Практическое занятие 4

Анализ результатов измерений и построение графиков экспериментальных данных при помощи программы MathCad

Цель работы:

- освоить метод вычисления неизвестных величин по формулам с использованием программы MathCad;
- рассчитать жесткость пружины и массу узла, использованного для крепления грузов к пружине, воспользовавшись методом наименьших квадратов;
- научиться обрабатывать экспериментальные данные с использованием программы MathCad.

Задание

Для выполнения данной работы необходима программа MathCad (15.0). Работа состоит из двух частей. В первой части предполагается знакомство с интерфейсом программы и выполнение простых вычислений по формулам. Во второй части необходимо рассчитать физические величины по экспериментальным данным и обработать экспериментальные данные при помощи программы.

Теоретический материал

MathCad является универсальной программой, пригодной для использования сложных вычислительных задач в научной деятельности, таких как:

- решение дифференциальных уравнений;
- вычисление результатов математических операций, в которых участвуют числовые константы, переменные и размерные физические величины;
- решение уравнений и систем уравнений;
- операции с векторами и матрицами;
- построение двумерных и трехмерных графиков и др.

Программа сочетает в себе возможности проведения расчетов и подготовки форматированных научных и технических документов.

Для оформления научно-технических документов в программе MathCad применяются два вида объектов – формулы и текстовые блоки. Введенные в документ MathCad формулы автоматически приводят к стандартной научно-технической форме записи. Графики, которые автоматически строятся на основе результатов расчетов. Комментарии, описания и иллюстрации размещаются в текстовых блоках, которые игнорируются при проведении расчетов.

Для выполнения данной работы сначала необходимо ознакомиться с интерфейсом программы и ее простейшими возможностями.

Документ программы (рабочий лист) содержит объекты, формулы и текстовые блоки. Ввод информации осуществляется в месте расположения курсора. Программа MathCad использует три вида курсора. Если ни один из объектов не выбран, используется крестообразный курсор, определяющий место создания следующего объекта. При вводе формул используется уголковый курсор, указывающий текущий элемент выражения. При вводе данных в текстовый блок применяется текстовый курсор в виде вертикальной черты.

При введении формул и выполнении расчетов надо учитывать, что программа обрабатывает формулы последовательно, слева направо и сверху вниз. При этом текстовые блоки во внимание не берутся.

Что касается правильного ввода формул. Элементы формул можно вводить с клавиатуры или с помощью специальных панелей управления: «Матрица», «График», «Калькулятор», «Греческий алфавит», «Вычисление» и др. Руководить порядком операций необходимо скобками, которые можно вводить вручную или при помощи специальных панелей управления. Уголковый курсор позволяет автоматизировать такие действия. Чтобы выделить элементы формулы, которые в рамках операции должны рассматриваться как единое целое, используют клавишу «пробел». При каждом ее нажатии уголковый курсор «расширяется», охватывая элементы формулы, примыкающие к данному. После ввода знака операции элементы в пределах уголкового курсора автоматически заключаются в скобки.

Форматирование формул и текста производят с помощью панели «Форматирование».

И часть. Вычисления по формулам с использованием программы MathCad

Первая часть работы знакомит с интерфейсом и методикой вычислений в программе MathCad. Эта методика позволяет использовать программу для написания алгоритма автоматического расчета по известным формулам с другими данными.

Для выполнения первой части работы воспользуемся условием математической задачи и алгоритмом ее решения, изложенными в учебнике «Информатика» под редакцией С.В. Симоновича [19, с. 520–532].

Задача. Найти ребро куба, равновеликого шару, площадь поверхности которого равна площади боковой поверхности прямого кругового конуса, у которого высота вдвое меньше, чем длина образующей [19].

1. Сначала решим задачу в общем виде. Вспомним, что объем конуса находится по формуле

$$V = \frac{1}{3}\pi r^2 h, \quad (4.1)$$

где r – радиус основания конуса; h – высота конуса.

Тогда радиус основания конуса можно вычислить по формуле

$$r = \sqrt[3]{\frac{V \cdot \sqrt{3}}{\pi}}. \quad (4.2)$$

В конусе соотношение между радиусом основания, высотой и длиной образующей определяется:

$$r^2 + h^2 = l^2. \quad (4.3)$$

Длина образующей рассчитывается по формуле

$$l = \frac{r \cdot 2}{\sqrt{3}}. \quad (4.4)$$

Площадь боковой поверхности конуса – по формуле

$$S = \pi \cdot r \cdot l. \quad (4.5)$$

Радиус шара – по формуле

$$R = \sqrt{\frac{S}{4\pi}}. \quad (4.6)$$

Объем шара – по формуле

$$W = \frac{4}{3}\pi R^3. \quad (4.7)$$

При введении формул надо учитывать, что использовать переменную во второй раз нельзя, так как формулой (4.7) определяется совершенно другой объем. Тогда ребро куба можно найти по формуле

$$a = \sqrt[3]{W}. \quad (4.8)$$

2. Теперь можно запустить программу MathCad.

3. Для выполнения вычислений надо задать исходные данные.

Для этого примем объем конуса равным 1. Для удобства расчета будем обозначать каждую из вычисляемых величин отдельной переменной. Объем конуса обозначим как V и присвоим ему значение 1. Оператор присваивания вводится символом « $:$ » или кнопкой $:=$.

Таким образом, надо ввести $V := 1$.

4. Введем формулу (4.2). Вводить следует слева направо. Порядок ввода формулы следующий.

- Сначала вводим знак корня произвольной степени: кнопка на панели инструментов.

- Щелкните на черном квадратике, стоящем на месте показателя степени, и введите цифру 3.

- Щелкните по квадратику, замещающему подкоренное выражение, и нажмите клавиши V и $*$.

- Введите знак квадратного корня: кнопка на панели инструментов или нажмите клавишу \backslash и цифру 3.

- Прежде чем вводить знаменатель, дважды нажмите клавишу «пробел». Обратите внимание на синий уголок, который указывает на текущее выражение [19].

- Нажмите клавишу $/$. Чтобы ввести число π , можно воспользоваться соответствующей кнопкой на панели инструментов.

На экране появится надпись: $r = \sqrt[3]{\frac{V \cdot \sqrt{3}}{\pi}}$.

5. Используя приведенный порядок ввода формул, введите формулы (4.4) и (4.5) для вычисления длины образующей и площади боковой поверхности конуса. Указание знака умножения между переменными обязательно, так как иначе MathCad считет, что указана одна переменная с именем из нескольких букв [19].

6. Для вычисления радиуса и объема шара введите формулы (4.6) и (4.7), для нахождения ребра куба – (4.8) [19].

7. После этого снова наберите имя переменной *a* и нажмите клавишу = или щелкните кнопку на панели инструментов. После формулы появится знак равенства и результат вычислений.

$$a = 0,7102.$$

8. В результате выполненных пунктов 3–7 у вас на рабочем листе появится алгоритм, которым можно пользоваться для нахождения ребра куба при любых значениях объема конуса. Для этого надо в первом выражении вместо значения 1 присвоить переменной значение 5. Как только вы поменяете значение, у вас сразу изменится ответ в конце алгоритма [19].

9. Сделать вывод по результатам работы.

II часть. Анализ результатов измерений и построение графиков экспериментальных данных при помощи программы MathCad

Теоретический материал

Программа MathCad позволяет обрабатывать экспериментальные данные по известным зависимостям несколькими способами.

- Введение на рабочий лист программы последовательного набора формул для расчета неизвестных параметров и погрешностей измерений (см. первую часть работы). В этом случае программа выполняет простые функции программируемого калькулятора.

- Обработка экспериментальных данных с применением функций, используемых для статистического анализа данных. В данной работе будет применяться второй способ.

Произвольные зависимости между входными и выходными параметрами задаются при помощи **функций**. Функции принимают набор параметров и возвращают значение, скалярное или векторное (матричное). В формулах можно использовать **стандартные встроенные функции**, а также **функции, определенные пользователем**.

Чтобы использовать функцию в выражении, надо определить значения входных параметров в скобках после имени функции. Имена простейших математических функций можно ввести с использованием клавиатуры, информацию о других функциях можно найти в справочной системе. Вставить в выражение **стандартную функцию** (табл. 4.1) можно при помощи команды Insert – Function (Вставка – Функция). В диалоговом окне Insert – Function (Встав-

ка – Функция) слева выбирается категория, к которой относится функция, а справа – конкретная функция. В нижней части через это диалоговое окно выдается информация о выбранной функции. При вводе функции через это диалоговое окно автоматически добавляются скобки и заполнители для значений параметра.

Пользовательские функции должны быть сначала определены. Определение задается при помощи оператора присваивания. В левой части указывается имя пользовательской функции и в скобках формальные параметры – переменные, от которых она зависит. Справа от знака присваивания эти переменные должны использоваться в выражении. При использовании пользовательской функции в последующих формулах ее имя вводят вручную. В диалоговом окне Insert – Function (Вставка – Функция) оно не отображается. Ниже приведены примеры некоторых стандартных функций, которые целесообразно использовать в данной работе.

Таблица 4.1

Основные стандартные встроенные функции

rows	определяет число точек в наборах данных
mean	среднее значение величины
median	медиана значений
stdev	среднеквадратичное отклонение или дисперсия величины
intersept	свободный член
slope	коэффициент наклона прямой
root	поиск корней
find	найти

Для построения графиков можно использовать функции, заданные набором данных, или формулы. Формулы для функций, полученных в результате проделанных расчетов, необходимо определить, прежде чем их можно будет использовать при построении графиков.

Правила построения графиков в программе MathCad

«Чтобы построить двумерный график в координатных осях X-Y, надо дать команду Insert – Graph – X-Y Plot (Вставка – График – Декартовы координаты). В области размещения графика находятся

заполнители для указания отображаемых выражений и диапазона изменения величины. Заполнитель у середины оси координат предназначен для переменной или выражения, отображаемого по этой оси. Обычно используют диапазон или вектор значений. Границные значения по осям выбираются автоматически в соответствии с диапазоном изменения величины, но их можно задать и вручную.

В одной графической области можно построить несколько графиков. Для этого надо у соответствующей оси перечислить несколько выражений через запятую.

Разные кривые изображаются разным цветом, а для форматирования графика надо дважды щелкнуть по области графика. Для управления отображением построенных линий служит вкладка Traces (Линии) в открывшемся диалоговом окне. Текущий формат каждой линии приведен в списке, а под списком расположены элементы управления, позволяющие изменять формат. Поле Legend Label (Описание) задает описание линии, которое отображается только при сбросе флашка Hide Legend (Скрыть описание). Список Symbol (Символ) позволяет выбрать маркеры для отдельности точек, список Line (Тип линии) задает тип линии, список Color (Цвет) – цвет. Список Type (Тип) определяет способ связи отдельных точек, а список Width (Толщина) – толщину линии.

Точно так же можно построить и отформатировать график в полярных координатах. Для его построения надо дать команду Insert – Graph – Polar Plot (Вставка – График – Полярные координаты)» [19, с. 529–530].

Выполнение задания

1. Для определения жесткости пружины был проведен следующий эксперимент. К вертикально прикрепленной пружине последовательно подвешивались грузы массой 1, 2, 3, ..., 20 кг. Линейкой определялось удлинение пружины в каждом случае. Для подвешивания грузов к пружине использовался специальный узел крепления. Результаты измерения были занесены в табл. 4.2. По предложенными экспериментальным данным рассчитать жесткость пружины и массу узла, использованного для крепления грузов к пружине, воспользовавшись методом наименьших квадратов.

Таблица 4.2

Набор экспериментальных данных

Вес, кг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Растяжение, мм	3,4	6,8	9,1	12,2	13,4	17,2	22,1	24,2	27,8	29,5

продолжение таблицы

Вес, кг	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Растяжение, мм	31,7	37,8	39,5	42,8	45,5	46,5	52,1	52,4	56,6	62,4

2. Теоретически растяжение пружины можно определить, используя второй закон Ньютона:

$$ma = F_{\text{тяж}} - F_{\text{упр}}, \quad (4.9)$$

$$kx = (m + m_{\text{kp}})g,$$

где k – жесткость пружины; x – удлинение пружины; m – масса груза; m_{kp} – масса крепления; g – ускорение свободного падения.

Для определения k и m_{kp} методом наименьших квадратов (см. предыдущую работу) представим уравнение (4.9) в линейном виде $x = a + bt$. Для этого введем дополнительные преобразования:

$$x = \frac{mg}{k} + \frac{m_{\text{kp}}g}{k}. \quad (4.10)$$

Обозначим:

$$b = \frac{g}{k} \text{ и } a = \frac{m_{\text{kp}}g}{k}. \quad (4.11)$$

Тогда

$$k = \frac{g}{b} \text{ и } m_{\text{kp}} = \frac{a}{b}. \quad (4.12)$$

3. Определите статистическим методом коэффициенты a и b в уравнении $x = a + bt$. Для этого воспользуйтесь возможностями программы MathCad.

4. Запустите программу MathCad. Введите таблицу данных, предназначенных для статистического анализа, как матрицу с двумя столбцами, первый из которых содержит значения веса грузов, а второй – значения растяжения пружины.

5. Определите число точек в наборах данных с помощью функции **rows**:

$$n := \text{rows}(\text{data}) \quad (4.13)$$

$$n =$$

В скобках указывается имя матрицы.

6. Вычислите среднее растяжение пружины с помощью функции **mean**:

$$Y := \text{data}^{\langle 1 \rangle} \quad (4.14)$$

$$\text{mean}(Y) =$$

7. Вычислите медиану значений растяжения пружины при помощи функции **median**:

$$\text{median}(Y) = \quad (4.15)$$

8. Вычислите среднеквадратичное отклонение и дисперсию величины растяжения пружины при помощи функции **stdev**:

$$\text{stdev}(Y) = \quad (4.16)$$

$$\text{stdev}(Y)^2 =$$

9. Определите коэффициенты линейного уравнения, являющегося наилучшим приближением для данных наборов данных. Параметр *a* при помощи функции **intercept** и *b* при помощи функции **slope**:

$$X := \text{data}^{\langle 0 \rangle}$$

$$a := \text{int_intercept}(X, Y) \quad (4.17)$$

$$a =$$

$$b := \text{slope}(X, Y)$$

$$b =$$

10. Определите жесткость пружины:

$$k = \quad (4.18)$$

11. Определите массу узла крепления:

$$m_{\text{kp}} = \quad (4.19)$$

12. Постройте график, отображающий экспериментальные данные и аппроксимирующую зависимость. Постройте другой график, отображающий величину отклонения экспериментальных данных от аппроксимирующей прямой.

- Запишите формулу функции $r(x)$ для определения координат точек, лежащих на аппроксимирующую прямой (сглаживающая прямая). Коэффициенты соответствующего уравнения были получены выше.

$$r(X) = a + bX.$$

- Нажмите клавишу @, щелкните по кнопке X-Y Plot (Декартовы координаты) на панели инструментов Graph (График) или дайте команду Insert – Graph – X-Y Plot (Вставка – График – Декартовы координаты). В документе появится область для создания графика.

- Вместо заполнителя в нижней части графика укажите в качестве независимой переменной первый столбец матрицы data (data^{<0>} или X).

- Вместо заполнителя слева от графика укажите, что по вертикальной оси должны откладываться значения из второго столбца матрицы data и определенная выше линейная функция $r(X)$. В качестве разделителя используется запятая. Диапазон значений для осей координат выбирается программой MathCad автоматически.

- Чтобы изменить вид автоматически построенного графика, дважды щелкните внутри него. Откроется диалоговое окно Formatting Currently Selected X-Y Plot (Форматирование графика в декартовых координатах). Первая запись в списке на вкладке Traces (Кривые) соответствует первой отображенной кривой. Для изменения записи используются поля под списком.

- Под столбцом Legend Label (Подпись) введите название графика.

- В раскрывающемся списке под столбцом Symbol (Маркер) выберите способ обозначения отдельных точек.

- Под столбцом Type (Вид линии) укажите, что необходимо пометить отдельные точки (points), а не провести непрерывную линию.

- Выберите в списке вторую кривую и настройте ее отображение по своему вкусу.

- Установите флажок Hide Arguments (Скрыть параметры), чтобы отображать названия осей.

- Сбросьте флажок Hide Legend (Скрыть подписи), чтобы включить отображение под графиком заданных подписей кривых.

- В поле Title (Заголовок) на вкладке Labels (Надписи) задайте название графика и включите режим его отображения: флажок Show Title (Показать заголовок).

13. Постройте график, на котором отображалась бы величина отклонения точек от линии приближения:

$$a + bX - Y.$$

Отформатируйте его, используя те же средства, что и в предыдущем случае.

14. Сделайте вывод по результатам работы.

Примечание. Заголовок и подписи, использующие русские буквы, могут отображаться неправильно. Коррекцию обеспечивает выбор шрифта, правильно воспроизводящего кириллицу. Дайте команду Format – Equation (Формат – Выражение), в раскрывающемся списке Style Name (Имя стиля) выберите пункт Variables (Переменные) и нажмите на кнопку Modify (Изменить). Для задания шрифта используйте поле со списком «Шрифт».

Критерии оценки

Занятие рассчитано на 4 академических часа. Работа считается сданной, если студент выполнил задания полностью или допустил ошибки, которые после указаний на них самостоятельно исправил, дал полные, исчерпывающие ответы на вопросы преподавателя (из перечня понятий, предложенных для самостоятельной подготовки) или ответил на вопросы с незначительными ошибками.

Практическое занятие 5

Определение модуля Юнга образца различными методами обработки результатов измерений

Цель работы – закрепить навыки обработки результатов экспериментальных данных, полученные при выполнении предыдущих практических занятий.

Указания к работе. Перед тем как приступить к работе, студент должен проработать указания к предыдущим практическим занятиям и выполнить их. Затем получить свой вариант экспериментальных данных и, используя эти значения, выполнить данную работу.

Задание. Определить модуль Юнга образца графическим и аналитическим (методом наименьших квадратов) методами, а также с использованием программы MathCad.

Работа будет состоять из трех частей:

1 часть – определение модуля упругости (Юнга) (E) графическим методом;

2 часть – определение модуля упругости методом наименьших квадратов;

3 часть – определение модуля упругости методом наименьших квадратов с использованием программы MathCad.

Теоретический материал

Растяжение образца описывается формулой

$$\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}, \quad (5.1)$$

где L – длина образца; ΔL – его удлинение под действием силы; S – площадь образца; E – константа (модуль упругости (Юнга)).

Формула (5.1) при небольших растяжениях (небольших силах) описывает растяжение всех твердых тел, по величине модуля упругости зависит от материала, его обработки и т. д. Эта величина находится экспериментально.

Для определения модуля упругости образца был проведен следующий эксперимент. Используя штангенциркуль и линейку, определялась площадь поперечного сечения образца S и его начальная длина L_0 . Затем к вертикально подвешенному цилиндрическому образцу последовательно подвешивались грузы разной массы. Линейкой определялась длина образца после растяжения L , и по формуле (5.2) было найдено удлинение ΔL .

$$\Delta L = L - L_0. \quad (5.2)$$

По результатам эксперимента заполняется табл. 5.1 зависимости удлинения от приложенной силы. Для этого набора экспериментальных данных производятся вычисления.

Примечание. Вариант экспериментальных данных из табл. 5.1 дает преподаватель. Сначала необходимо произвести обработку экспериментальных данных графически, а затем методом наименьших квадратов, а также с использованием программы MathCad.

1 часть

По значениям, взятым из табл. 5.1 своего варианта, на миллиметровой бумаге строится график зависимости $F(\Delta L)$, учитывая, что необходимо провести наилучшую прямую.

По графику и по таблице результатов эксперимента для уравнения (5.3) находится наилучшее значение $\langle E \rangle$.

$$F = \frac{S}{L_0} \cdot E \Delta L. \quad (5.3)$$

Величина $\langle E \rangle$ находится по наклону наилучшей прямой с учетом коэффициента $\frac{S}{L_0}$ в формуле (5.3).

Для нахождения случайной погрешности в определении E воспользуемся формулой

$$\sigma_{\text{случ}} = \frac{\Delta E}{\sqrt{n}}. \quad (5.4)$$

Для нахождения ΔE необходимо продолжить работу с графиком по методике, описанной в практическом занятии 2.

Таблица 5.1

Варианты заданий

1 вариант		$s = 0,015 \text{ м}^2$				$L_0 = 1,1 \text{ м}$			
$F = m \cdot g, \text{ Н}$	2	3	4	5	6	7	8	9	
$\Delta L, \text{ м}$	0,39	0,62	0,78	1,10	1,18	1,41	1,63	1,75	
2 вариант		$s = 0,002 \text{ м}^2$				$L_0 = 1,3 \text{ м}$			
$F = m \cdot g, \text{ Н}$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	
$\Delta L, \text{ м}$	0,49	0,73	0,88	1,07	1,33	1,46	1,77	1,86	
3 вариант		$s = 0,001 \text{ м}^2$				$L_0 = 0,9 \text{ м}$			
$F = m \cdot g, \text{ Н}$	2	3	4	5	6	7	8	9	
$\Delta L, \text{ м}$	0,39	0,62	0,78	1,10	1,18	1,41	1,63	1,75	
4 вариант		$s = 0,015 \text{ м}^2$				$L_0 = 1,1 \text{ м}$			
$F = m \cdot g, \text{ Н}$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	
$\Delta L, \text{ м}$	0,49	0,73	0,88	1,07	1,33	1,46	1,77	1,86	
5 вариант		$s = 0,002 \text{ м}^2$				$L_0 = 0,9 \text{ м}$			
$F = m \cdot g, \text{ Н}$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	
$\Delta L, \text{ м}$	0,49	0,73	0,88	1,07	1,33	1,46	1,77	1,86	

6 вариант		$s = 0,002 \text{ м}^2$				$L_0 = 1,3 \text{ м}$			
$F = m \cdot g, \text{ Н}$	2	3	4	5	6	7	8	9	
$\Delta L, \text{ м}$	0,39	0,62	0,78	1,10	1,18	1,41	1,63	1,75	
7 вариант	$s = 0,015 \text{ м}^2$				$L_0 = 1,2 \text{ м}$				
$F = m \cdot g, \text{ Н}$	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	
$\Delta L, \text{ м}$	0,49	0,73	0,88	1,07	1,33	1,46	1,77	1,86	

Если измерительные приборы простые, то систематическая погрешность определяется половиной цены деления приборов.

Полная погрешность определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{\text{случ}}^2 + \sigma_{\text{систем}}^2}. \quad (5.5)$$

Записать окончательный результат по первой части работы в виде:

$$E = \langle E \rangle \pm \sigma_E. \quad (5.6)$$

2 часть

Для того чтобы можно было воспользоваться методом наименьших квадратов, необходимо формулу (5.3) привести к виду $y = kx$ (см. практическое занятие 3). Для этого введем параметр k :

$$k = \frac{S \cdot E}{L_0}. \quad (5.7)$$

Тогда формула (5.3) примет вид:

$$F = k \cdot \Delta L$$

или

$$y_i = k \cdot x_i. \quad (5.8)$$

Из уравнения (5.8) следует:

$$\langle k \rangle = \frac{\langle F_i \Delta L_i \rangle}{\langle \Delta L_i^2 \rangle}$$

или

$$\langle k \rangle = \frac{\langle y_i x_i \rangle}{\langle x_i^2 \rangle}. \quad (5.9)$$

Найденный по формуле (5.9) параметр k и будет иметь наилучшее значение и можно его обозначить $\langle k \rangle$.

Для определения погрешности, с которой найден параметр $\langle k \rangle$, производят оценку разброса экспериментальных данных согласно формуле

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle F^2 \rangle}{\langle \Delta L^2 \rangle} - \langle k \rangle^2}$$

или

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle}{\langle x^2 \rangle} - \langle k \rangle^2}. \quad (5.10)$$

Записывается окончательный результат в виде:

$$E = \langle E \rangle \pm \sigma_E. \quad (5.11)$$

учитывая, что $\langle E \rangle = \frac{\langle k \rangle \cdot L_0}{S}$, а $\sigma_E = \sigma_k$.

3 часть

Запустить программу MathCad и выполнить третью часть работы в данной программе (смотри практическое занятие 4).

Построить график экспериментальных данных и аппроксимирующую зависимость.

Построить другой график, отображающий величину отклонения экспериментальных данных от аппроксимирующей прямой:

$$p = k \cdot x - y.$$

Сделать вывод по результатам работы.

Критерии оценки

Занятие рассчитано на 4 академических часа. Работа считается сданной, если студент выполнил задания полностью или допустил ошибки, которые после указаний на них самостоятельно исправил, дал полные, исчерпывающие ответы на вопросы преподавателя (из перечня понятий, предложенных для самостоятельной подготовки) или ответил на вопросы с незначительными ошибками.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Тема 1. Основы нанометрологии

1. Какое место занимает нанометрология в общей метрологии?
2. Перечислите основные проблемы современной метрологии в нанометровом диапазоне.
3. В чем заключается проблема реализации линейной шкалы в нанометровом диапазоне?
4. Что такая система единиц физических величин?
5. Дайте определение единицы физической величины и приведите примеры.
6. Какими достоинствами обладает используемая в России метрическая система единиц физических величин?
7. Сколько и какие единицы физических величин относятся к основным и дополнительным в системе СИ?
8. Какой способ образования кратных и дольных единиц принят в используемой в России метрической системе единиц? Какие дополнительные единицы включены в систему СИ? Сколько их?
9. Метрологическая характеристика средства измерений – это...
10. Нормируемые метрологические характеристики – это...
11. Действительные метрологические характеристики – это...
12. Диапазон показаний средства измерений – это...
13. Дайте определение поверки средств измерений и в каких случаях она проводится.
14. Когда и кем может осуществляться поверка средств измерений?
15. Что такое поверочная схема и для чего она предназначена?
Перечислите виды поверочных схем.
16. Для чего используются стандартные образцы? Назовите их метрологические характеристики.
17. В чем состоят нормативно-правовые аспекты метрологии?
18. Сформулируйте основные требования к методикам выполнения измерений. В чем заключается калибровка средств измерений?
19. Назовите основные принципы государственных испытаний средств измерений.
20. В чем основные отличия общей метрологии от нанометрологии?

Тема 2. Стандартизация объектов с размерами порядка нанометра

1. Государственная система стандартизации – это...
2. Какие существуют категории стандартов?
3. Для чего разработана система стандартизации и каковы ее основные задачи?
4. Какие существуют виды стандартов и какова эффективность их применения во всех отраслях хозяйства?
5. В чем суть стандартизации методов калибровки и измерений?
6. Для чего нужна стандартизация параметров материалов и объектов нанотехнологии?
7. В чем заключаются главные задачи и функции международной стандартизации?
8. В чем заключаются главные задачи и функции Росстандарта РФ?
9. В чем заключаются главные задачи и функции отраслевых стандартов и стандартов предприятий?
10. Что является объектами стандартизации государственной системы обеспечения измерений?
11. Приведите примеры российских стандартов в области нанотехнологии.
12. Перечислите основные стандарты государственной системы стандартизации. Объясните основные цели государственной системы стандартизации.

Тема 3. Правовые основы и системы стандартизации и сертификации в нанометрологии

1. С какой целью осуществляется сертификация продукции?
2. Какие организации регулируют процессы сертификации?
3. Какие органы образуют государственную систему сертификации в РФ?
4. На соответствие каким документам производится сертификация продукции?
5. Какие виды сертификации вы знаете и в чем их различие?
6. Каковы задачи международной стандартизации?
7. Что представляет собой Международная организация по стандартизации ИСО?
8. Каковы состав и структура руководящих органов ИСО?

9. С какой целью осуществляется сертификация нанопродукции?
10. Какие организации регулируют процессы сертификации?
11. Какие органы образуют государственную систему сертификации в РФ?
12. На соответствие каким документам производится сертификация нанопродукции?
13. Каким образом осуществляется аттестация производств сертифицируемой нанопродукции?
14. Сколько и какие сертификационные схемы существуют в настоящее время в России?
15. В каких случаях какие схемы сертификации применяются?

Тема 4. Экспертиза материалов

1. Что понимается под экспертизой?
2. Виды экспертизы по различным классификационным признакам.
3. Экспертное заключение: что это за документ, кем готовится?
4. Что включает в себя экспертиза материалов, веществ и изделий из них?
5. В каких случаях проводится независимая материаловедческая экспертиза?
6. Что включает материаловедческая экспертиза?
7. Приведите примеры идентификационной экспертизы.
8. Перечислите виды экспертизы по объему исследований и приведите примеры.
9. В каких случаях проводится единоличная экспертиза, а в каких – комплексная или комиссионная?
10. Назовите и приведите примеры видов экспертизы по численности и составу экспертов.

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО КУРСУ

(ответы см. в приложении)

1. Что называется нанометрологией?

- а) наука, отличающаяся измерениями, методами и средствами их обеспечения единстами и способами достижения требуемой точности в диапазоне нанометров
- б) метрология в нанотехнологиях
- в) совокупность процессов, позволяющих создавать материалы, устройства и технические системы, функционирование которых определяется в первую очередьnanoструктурой

2. В чем состоит основная задача нанометрологии?

- а) обеспечение единства измерений в нанотехнологиях или реализация наношкал в нанометровом и прилегающем к нему диапазонах
- б) обеспечение единства измерений геометрических параметров нанообъектов
- в) измерения механических, электрических, магнитных, оптических и многих других параметров и свойств объекта нанотехнологии требуют осуществления позиционирования зонда измерительного устройства в требуемое место с эталонной точностью

3. Укажите достоинства Международной системы единиц, СИ

- а) когерентность
- б) универсальность
- в) воспроизводимость
- г) сходимость

4. Укажите соответствие вида стандарта его условному обозначению, на первое место поставив номер стандарта, затем через тире букву соответствующего обозначения

- | | |
|-------------------------------------|--------------|
| 1) национальные стандарты РФ | а) СТО |
| 2) стандарты организаций | б) ISO (ИСО) |
| 3) международные стандарты | в) ГОСТ Р |
| 4) межгосударственные стандарты СНГ | г) ГОСТ |

5. Расположите этапы сертификации продукции в последовательности их выполнения.

- а) заключение договора
- б) согласование выполняемых работ
- в) подача заявки
- г) оценка стоимости

6. Как называется процедура, посредством которой третья сторона дает письменную гарантию, что продукция или услуга соответствует заданным требованиям?

- а) стандартизация
- б) унификация
- в) сертификация
- г) симплификация

7. Выберите примеры неидентификационной экспертизы

- а) установление тождества
- б) реконструкционная
- в) классификационная
- г) установление групповой принадлежности

8. Выберите примеры идентификационной экспертизы

- а) установление тождества
- б) реконструкционная
- в) классификационная
- г) установление групповой принадлежности

9. Единица измерения больше системной в целое число раз называется

- а) производной
- б) дополнительной
- в) дольной
- г) кратной

10. Вставьте слово. Изучением проблем измерений в целом, а также элементов, образующих измерения, занимается _____ метрология.

- а) законодательная
- б) прикладная

- в) практическая
- г) теоретическая

11. Измерения отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение отношения к величине, принимаемой за исходную, называют

- а) косвенными
- б) относительными
- в) совместными
- г) совокупными

12. Разработка и установление Международной системы единиц (СИ)

- а) 1961 год
- б) 1960 год
- в) 1980 год
- г) 1860 год

13. Свойство измерений, отражающее близость друг другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях, различными методами и средствами измерений, называют

- а) сходимость
- б) воспроизводимость
- в) правильность
- г) погрешность

14. По отношению к основным единицам измерения делятся

- а) на статические и динамические
- б) однократные и многократные
- в) совместные и совокупные
- г) абсолютные и относительные

15. Извлечение количественной информации (измерение) о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью является _____ метрологии

- а) предметом
- б) объектом
- в) задачей
- г) целью

16. Часть технического средства, связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение, называется

- а) измерительное устройство
- б) измерительные принадлежности
- в) измерительный прибор
- г) измерительная установка

17. Какая российская корпорация реализует государственную политику по развитию наноиндустрии?

- а) Роснано
- б) Ростехнологии
- в) Холдинг МРСК
- г) Росстандарт

18. Базисный эталон единицы длины в нанометровом диапазоне разработан на основе

- а) зондовой микроскопии
- б) рентгеновской дифрактометрии
- в) лазерной интерферометрии
- г) газовой хроматографии

19. На каком методе не основан базисный эталон единицы длины в нанометровом диапазоне?

- а) зондовой микроскопии
- б) рентгеновской дифрактометрии
- в) лазерной интерферометрии
- г) газовой хроматографии

20. Что является эталоном сравнения в нанометрологии?

- а) линейная мера, носитель размера – длина волны Не-Не лазера
- б) величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице
- в) физическая величина, входящая в систему величин и условно принятая независимой от других величин системы

21. Перечислите виды экспертизы по объему исследований.

- а) основная
- б) дополнительная
- в) комиссионная
- г) комплексная

22. Какие единицы измерения называются производными?

- а) имеющие собственные наименования
- б) единицы измерения больше системных в целое число раз
- в) образующиеся из основных и дополнительных единиц

23. Как называется процедура, посредством которой третья сторона дает письменную гарантию, что услуга соответствует заданным требованиям?

- а) унификация
- б) сертификация
- в) симплификация
- г) стандартизация

24. Средства измерений, которые выпускаются в промышленности, подвергаются

- а) поверке
- б) сертификации
- в) калибровке
- г) унификации

25. Выберите виды экспертизы по численности и составу экспертов.

- а) основная
- б) дополнительная
- в) комиссионная
- г) комплексная

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материал учебно-методического пособия согласован с рабочей программой учебной дисциплины «Нанометрология и экспертиза».

Исходные материалы апробированы на кафедре «Нанотехнологии, материаловедение и механика» в течение восьми лет и продолжают успешно применяться в образовательном процессе как с использованием традиционных технологий, так и с применением дистанционного обучения.

Предлагаемое пособие включает теоретический материал по темам дисциплины, практические задания для проведения практических занятий, контрольные вопросы с рекомендуемой литературой и тестовые задания для самостоятельной подготовки студентов к промежуточной аттестации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тодуа, П. А. Нанотехнологии. Нанометрология и стандартизация // Наноиндустрия. – 2009. – № 2. – С. 32–38.
2. Особенности подготовки кадров для методического обеспечения нанотехнологий / Б. С. Мигачев, Ю. М. Золотаревский, Ф. В. Булыгин, В. Б. Коркин // Компетентность. – 2009. – № 3. – С. 10–18.
3. Завельский, Ф. С. Масса и ее измерение / Ф. С. Завельский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Атомиздат, 1974. – 238 с.
4. Завельский, Ф. С. Время и его измерение : от биллионных долей секунды до миллиардов лет / Ф. С. Завельский. – Изд. 5-е, испр. – Москва : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1987. – 253, [1] с.
5. Яковлева, И. В. Контроль медицинской техники : учеб. пособие / И. В. Яковлева. – Старый Оскол : ТНТ, 2022. – 270, [1] с. – ISBN 978-5-94178-756-2.
6. ГОСТ Р ИСО 5725-6–2002. Точность (правильность и прецизия) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике : государственный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 23 апреля 2002 года № 161-ст : введен впервые : дата введения 2002-11-01 / разработан ВНИИМС [и др.]. – Переизд. – Москва : Стандартинформ, 2009. – VIII, 42 с.
7. РМГ 29–2013. Метрология. Основные термины и определения : рекомендации по межгосударственной стандартизации : издание официальное : приняты Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2013 года № 44) : взамен РМГ 29–99 : дата введения 2015-01-01 / разработаны ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева». – Москва : Стандартинформ, 2014. – IV, 55, [1] с. – (Государственная система обеспечения единства измерений).
8. ГОСТ 8.009–84. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений : межгосударственный стандарт : издание официальное : введен постановлением Государственного коми-

- тета СССР по стандартам от 28 мая 1985 года № 1503 : взамен ГОСТ 8.009–72 : дата введения 1986-01-01. – Москва : Стандартинформ, 2006. – 26 с. – (Государственная система обеспечения единства измерений).
9. Российской Федерации. Законы. Об обеспечении единства измерений : Федеральный закон № 102-ФЗ : (с изменениями на 8 августа 2024 года) : принят Государственной Думой 11 июня 2008 года : одобрен Советом Федерации 18 июня 2008 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт] / АО «Кодекс». – URL: docs.cntd.ru/document/902107146 (дата обращения: 05.11.2024).
10. Российской Федерации. Законы. О техническом регулировании : Федеральный закон № 184-ФЗ : (с изменениями и дополнениями от 25 декабря 2023 года) : принят Государственной Думой 15 декабря 2002 года : одобрен Советом Федерации 18 декабря 2002 года // ГАРАНТ.РУ : информационно-правовой портал. – URL: base.garant.ru/12129354/#friends (дата обращения: 05.11.2024).
11. Российской Федерации. Законы. О стандартизации в Российской Федерации : Федеральный закон № 162-ФЗ : (с изменениями на 30 декабря 2020 года) : принят Государственной Думой 19 июня 2015 года : одобрен Советом Федерации 24 июня 2015 года // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт] / АО «Кодекс». – URL: docs.cntd.ru/document/420284277 (дата обращения: 05.11.2024).
12. Технические комитеты по стандартизации // Росстандарт. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии : [сайт]. – URL: www.gost.ru/portal/gost/home/activity/standardization/techcom (дата обращения: 05.11.2024).
13. Новиков, Ю. А. Прямое измерение ширины линии на атомно-силовом микроскопе / О. А. Новиков, А. В. Раков, П. А. Тодуа // Измерительная техника. – 2008. – № 5. – С. 10–13.
14. Скарлат, Д. М. Стандартизация в наноиндустрии / Д. М. Скарлат, А. В. Годяев, Х. А. Невмятуллина // Успехи в химии и химической технологии. – 2017. – Т. 31, № 5. – С. 101–104.

15. ГОСТ Р 57408–2017. Наноматериалы. Нанопокрытия сверхтвёрдые и износостойкие. Общие технические требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 марта 2017 года № 102-ст : введен впервые : дата введения 2017-09-01 / разработан ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей». – Переизд. – Москва : Стандартинформ, 2020. – III, 6 с. – URL: internet-law.ru/gosts/gost/64304/ (дата обращения: 05.11.2024).
16. ГОСТ Р 58038–2017/ IEC/TS 80004-9:2017. Нанотехнологии. Часть 9. Нанотехнологические электротехнические изделия и системы. Термины и определения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 декабря 2017 года № 2091-ст : введен впервые : дата введения 2018-09-01 / подготовлен ВНИИ НМАШ. – Москва : Стандартинформ, 2018. – IV, 7, [1] с. – URL: protect.gost.ru/v.aspx?control=7&id=219823 (дата обращения: 05.11.2024).
17. Сертификация в России // GOST – RST : [сайт]. – URL: www.gost-rst.ru/poleznaya-informats/sertifikatsiya-v-rossii.html (дата обращения: 17.10.2024).
18. Об утверждении и внедрении методических рекомендаций «Оценка безопасности наноматериалов» : приказ Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 12 октября 2007 года № 280 // Докипедия : [справочно-правовая система]. – URL: dokipedia.ru/document/5167727 (дата обращения: 17.10.2024).
19. Информатика : Базовый курс : учебник для вузов : для бакалавров и специалистов / под ред. С. В. Симоновича. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2011. – 637 с. – (Стандарт третьего поколения). – ISBN 978-5-459-00439-7.

ГЛОССАРИЙ

ГМС – Государственная метрологическая служба Российской Федерации.

ГОСТ Р – российская (национальная) система стандартизации и сертификации, которая была создана в 1998 году Ростехрегулированием (сейчас это Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии).

ДМХ – действительные метрологические характеристики.

ЕАЭС – Евразийский экономический союз. Это международная организация, ставящая своей целью проведение региональной экономической интеграции. Организация учреждена Договором о Евразийском экономическом союзе в 2014 году и обладает международной правосубъектностью.

«Зеленый стандарт» – документ по стандартизации, утвержденный в установленном порядке, устанавливающий требования, нормы и правила к зеленой продукции, технологиям или среде жизнедеятельности.

ИСО – Международная организация по стандартизации.

МХ – метрологическая характеристика средства измерений.

НМХ – нормируемые метрологические характеристики.

Росстандарт – Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии – федеральный орган исполнительной власти Российской Федерации для оказания государственных услуг и управления государственным имуществом в сфере технического регулирования и метрологии. До июня 2010 года Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии называлось Госстандарт РФ, с 2010 года Приказом Правительства РФ агентство называется Росстандарт РФ.

«Российская нанотехнологическая продукция» – российский знак качества продукции в области наноиндустрии. Учрежден в 2014 году. Получить его на безвозмездной основе может любое предприятие, находящееся на территории РФ, при выполнении определенных условий.

Сертификат «Листок жизни» – российский экологический сертификат по международному стандарту ISO 14024, признанный Всемирной ассоциацией экомаркировки (GEN), присуждаемый Экологическим союзом с 2001 года.

СИ – Международная система единиц физических величин.

Сколково – российский инновационный центр, поддерживающий инновации и способствующий коммерциализации инновационных проектов.

СО – стандартный образец.

ТБО – твердые бытовые отходы.

ФВ – физическая величина.

Экологический союз – некоммерческая организация, с 1991 года занимающаяся экологическим просвещением.

Приложение

Ответы на тесты

№ задания	Ответ	№ задания	Ответ
1	а	14	г
2	а	15	а
3	а, б, в	16	а
4	1 – в 2 – а 3 – в 4 – г	17	а
5	в, г, а, б	18	а, б, в
6	в	19	г
7	б, в	20	а
8	а, г	21	а, б
9	г	22	а, в
10	г	23	б
11	б	24	б
12	б	25	в, г
13	б		

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
Тема 1. ОСНОВЫ НАНОМЕТРОЛОГИИ	4
1.1. Общие вопросы метрологии в нанотехнологиях	5
1.2. Направления работ в области нанометрологии	37
Рекомендуемая литература	38
Тема 2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ С РАЗМЕРАМИ	
ПОРЯДКА НАНОМЕТРА	39
2.1. Общие вопросы стандартизации в нанотехнологиях	39
2.2. Стандартизация методов калибровки и измерений	42
2.3. Стандарты в области нанотехнологии	43
Рекомендуемая литература	46
Тема 3. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ И СИСТЕМЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ И СЕРТИФИКАЦИИ В НАНОМЕТРОЛОГИИ	47
3.1. Основные принципы сертификации продукции и ее виды в России	47
3.2. Системы добровольной сертификации нанопродукции. Наносертифика	51
3.3. Документы, регламентирующие проведение сертификации и экспертизы наноматериалов, изделий на основе наноматериалов	55
Рекомендуемая литература	57
Тема 4. ЭКСПЕРТИЗА МАТЕРИАЛОВ	58
4.1. Виды экспертизы материалов	58
4.2. Методики экспертизы материалов	61
Рекомендуемая литература	63

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОВЕДЕНИЮ	
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ	64
Практическое занятие 1. Размерность и единицы	
физических величин	64
Практическое занятие 2. Графическая обработка	
результатов экспериментальных данных	65
Практическое занятие 3. Обработка экспериментальных	
данных методом наименьших квадратов	69
Практическое занятие 4. Анализ результатов измерений	
и построение графиков экспериментальных данных	
при помощи программы MathCad	73
Практическое занятие 5. Определение модуля Юнга	
образца различными методами обработки	
результатов измерений	83
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ	88
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ПО КУРСУ	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	96
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	97
ГЛОССАРИЙ	100
Приложение	102

Учебное издание

Грызунова Наталья Николаевна

НАНОМЕТРОЛОГИЯ И ЭКСПЕРТИЗА МАТЕРИАЛОВ

Учебно-методическое пособие

Редактор Т.М. Воропанова

Технический редактор Н.П. Крюкова

Компьютерная верстка: Л.В. Сызганцева

Дизайн обложки: И.И. Шишкина

При оформлении обложки использованы изображения
от GarryKillian и rawpixel.com на сайте ru.freepik.com

Подписано в печать 13.10.2025. Формат 60×84/16.

Печать оперативная. Усл. п. л. 6,1.

Тираж 100 экз. Заказ № 1-35-24.

Издательство Тольяттинского государственного университета

445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,

тел. 8 (8482) 44-91-47, www.tltsu.ru