

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

*60-летию Военной академии
Воздушно-космической обороны
им. Маршала Советского Союза
Г.К. Жукова посвящается*

МЕТРОЛОГИЯ И РАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Допущено ВУНЦ ВВС ВВА в качестве учебника для обучения курсантов военных учебных центров, обучающихся по укрупненной группе подготовки специалистов 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи»; 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»; 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы», рег. номер 015 от 08.11.2016 г.

Под общей редакцией доктора технических наук
Д.С. Викторова

Красноярск
СФУ
2016

УДК 621.396.96:006.91(07)
ББК 30.10я73
М546

Авторы:

И.В. Лютиков, А.Н. Фомин, В.А. Леусенко,
Д.С. Викторов, А.А. Филонов, Л.И. Лященко, В.А. Копылов

М546 **Метрология и радиоизмерения** : учебник / И.В. Лютиков, А.Н. Фомин, В.А. Леусенко [и др.] ; под общ. ред. Д.С. Викторова. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 508 с.
ISBN 978-5-7638-3477-2

В учебнике изложены основы теории погрешностей, методы измерения радиотехнических величин, принципы построения и правила применения наиболее распространенных радиоизмерительных средств измерений.

Учебник предназначен для студентов вузов, обучающихся по укрупненной группе подготовки специалистов 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи»; 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»; 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы», а также может быть полезен инженерно-техническому составу, интересующемуся методами и средствами измерений.

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 621.396.96:006.91(07)
ББК 30.10я73

ISBN 978-5-7638-3477-2

© Сибирский федеральный
университет, 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный специалист в своей повседневной деятельности неразрывно связан с проведением большого числа измерений на основе самых разнообразных средств измерений, отличающихся по виду измеряемых величин, принципу действия, точности, сложности, условиям работы и т. д.

С помощью средств измерений при эксплуатации технических устройств может решаться широкий круг измерительных задач: контроль функционирования, работоспособности и исправности устройств (систем); поиск отказов и неисправностей; диагностирование и прогнозирование технического состояния устройств (систем); измерение параметров и характеристик устройств при инженерном анализе и др.

Особенностью развития измерительной техники на современном этапе является улучшение технико-экономических характеристик средств измерений. Существенно возросла точность измерительных приборов, повысилось их быстродействие, расширился диапазон измерения, увеличилось количество измеряемых величин. Указанные тенденции нашли отражение в предлагаемом учебнике. В нем изложены основы теории погрешностей, методы измерения радиотехнических величин, принципы построения и правила применения наиболее распространенных радиоизмерительных средств измерений.

Учебник предназначен для студентов вузов, обучающихся по укрупненной группе подготовки специалистов 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи»; 11.05.01 «Радиоэлектронные системы и комплексы»; 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы», а также может быть полезен инженерно-техническому составу, интересующемуся методами и средствами измерений.

Данный учебник представляет собой труд преподавательского коллектива кафедры «Основы построения радиоэлектронных средств и систем» Военной академии Воздушно-космической обороны имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова и Военно-инженерного института Сибирского федерального университета (СФУ). Глава 1 подготовлена ведущим инженером лаборатории радиолокации и метрологии ВА ВКО (Военной академии Воздушно-космической обороны им. Маршала Советского Союза Г.К. Жукова, г. Тверь) Л.И. Лященко; глава 2 написана профессором кафедры АСУ и связи ВА ВКО, доктором технических наук доцентом А.А. Филоновым; главы 3 и 4 разработаны начальником учебного военного центра СФУ, кандидатом технических наук В.А. Копыловым; главы 5 и 6 подготовлены доцентом учебного военного центра, кандидатом технических наук В.А. Леусенко; главы 7 и 8 написаны профессором учебного военного центра, кандидатом технических наук, доцентом И.В. Лютиковым; главы 9 и 10 подготовлены профессором учебного военного центра, кандидатом технических наук, доцентом А.Н. Фоминым, а главы 11–15 – профессором кафедры основ построения радиоэлектронных средств и систем ВА ВКО, доктором технических наук Д.С. Викторовым. Общее редактирование проведено Д.С. Викторовым.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Глава 1. ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. История развития метрологии

Термин «метрология» образован из двух греческих слов: «метрон» – мера и «логос» – учение. В дословном переводе «метрология» – это учение о мерах или, как принято определять в настоящее время это понятие, – наука об измерениях.

Потребность в измерениях возникла в незапамятные времена.

Из глубины веков дошли до нас следующие единицы веса:

- единица веса драгоценных камней – карат, что в переводе с языков древнего юго-востока означает «семя боба», «горошина»;
- единица аптекарского веса – гран, что в переводе с латинского, французского, английского, испанского означает «зерно».

Уже в древности проводились измерения времени, расстояния между поселениями, веса (массы) физических тел, площади земельных участков и т. д. Как правило, при этом использовались антропологические единицы измерений, т. е. единицы измерений, связанные с человеком и размерами его тела. Например, в России использовались следующие меры:

- перст – ширина указательного пальца (в метрической системе мер около 2 см);
- вершок – ширина сложенных вместе двух пальцев, указательного и среднего (около 4,4 см);
- пядь малая – расстояние между концами вытянутых большого и указательного пальцев руки (около 19 см);
- пядь великая – от кончика мизинца до кончика большого пальца, растянутых по одной линии (от 22 до 23 см);
- косая сажень – расстояние от носка левой ноги до конца пальцев правой руки, вытянутой по диагонали (от 216 до 248 см).

Древнее происхождение имеют и «естественные» меры. Первыми из них, получившими повсеместное распространение, стали меры времени. На основе астрономических наблюдений древние вавилоняне установили

год, месяц, час. Впоследствии $1/86\,400$ часть среднего периода обращения Земли вокруг своей оси получила название секунды.

Наряду с этим уже на заре цивилизации люди пришли к пониманию ценности так называемых вещественных мер и единиц измерений. Так, в Вавилоне в XI в. до н.э. время измерялось в минах. Мина равнялась промежутку времени (равному, примерно, двум астрономическим часам), за который из принятых в Вавилоне водяных часов вытекала «мина» воды, масса которой составляла около 500 г. В дальнейшем мина сократилась и превратилась в привычную для нас минуту. Со временем водяные часы уступили место песочным, а затем более сложным маятниковым механизмам.

Гюйгенс, посвятивший созданию и усовершенствованию маятниковых часов почти 40 лет и считавший это главным делом своей жизни, в 1664 г. писал: «... я нашел легкий и удобный способ регулировки часов. К этому, однако, присоединяется то, что я считаю еще более ценным, а именно: благодаря своему открытию я смог дать абсолютно устойчивое определение для постоянной, верной для всех времен меры длины». Речь идет об использовании свойства изохронности колебаний математического маятника, подмеченного Галилеем еще в 1583 г. При малых отклонениях маятника период его колебаний равен g :

$$T = 2\pi L,$$

где L – длина маятника;

g – ускорение свободного падения.

Это позволяет выразить меру длины через естественную меру времени. В 1824 г. в Англии был принят закон, установивший единицу длины ярд через длину секундного маятника.

Ни в древнем мире, ни в средние века не существовало метрологической службы, но имеются сведения о применении образцовых мер и хранении их в церквях и монастырях, а также о ежегодных поверках средств измерений. Так, «золотой пояс» великого князя Святослава Ярославича (1070-е гг.) служил образцовой мерой длины, а в «Уставе новгородского князя Всеволода о церковных судах, людях и мерилах торговых» (примерно XIII в.) записано, что меры надлежит «на всякий год взвешивать».

Важнейшим метрологическим документом является Двинская грамота Ивана Грозного (1550 г.). В ней регламентированы правила хранения и передачи размера новой меры объема сыпучих тел – осьмины. Ее медные экземпляры рассылались по городам на хранение выборным людям – старостам, целовальникам. С этих мер надлежало сделать клейменные деревянные копии для городских померщиков, а с тех, в свою очередь, – деревянные копии для использования в обиходе. Образцовые меры, с которых снимались первые копии, хранились централизованно в приказах Москов-

ского государства. Таким образом, можно говорить о начале создания при Иване Грозном государственной системы обеспечения единства измерений и государственной метрологической службы.

Развитие торговли и расширение внешних экономических связей требовало не только уточнения мер, но и установления их соотношения с «заморскими», а также унификации мер и более четкой организации контрольно-поверочной деятельности. Еще в договоре Великого Новгорода с немецкими городами и Готландом (1269 г.), наряду с взаимными обязательствами, приведены соотношения между мерами договаривающихся сторон. Статьи Соборного уложения 1649 г., Таможенного устава 1653 г., Новоторгового устава 1667 г. и других документов установили соответствие различных «весов» фунту и размер сажени.

Московские указы, касавшиеся введения единых мер в стране, отсылались на места вместе с образцами казенных мер. За злоумышленную порчу контрольных мер грозило наказание – вплоть до смертной казни. Работу по надзору за мерами и их поверку проводили два столичных учреждения: Померная изба и Большая таможня. Они же разрешали конфликты, возникавшие при торговых операциях. В провинции надзор был поручен персоналу воеводских и земских изб, а также старостам, целовальникам и другим «верным людям».

Метрологической реформой Петра I к обращению в России были допущены английские меры, получившие особенно широкое распространение на флоте и в кораблестроении – *футы*, *дюймы*. Для облегчения вычислений были изданы таблицы мер и соотношений между русскими и иностранными мерами. Начинают выделяться некоторые метрологические центры.

Коммерц-коллегия занялась вопросами единства мер и метрологического обслуживания в области торговли.

Адмиралтейств-коллегия заботилась о правильном применении угломерных приборов, компасов и соответствующих мер.

Берг-коллегия опекала измерительное хозяйство горных заводов, рудников и монетных дворов.

Основанная в 1725 г. Петербургская академия наук занялась воспроизведением угловых единиц, единиц времени и температуры. Она имела в своем распоряжении образцовые меры и копии эталонов *туза* и *фунта*. Назревала необходимость создания в стране единого руководящего метрологического центра.

В 1736 г. по решению Сената была образована Комиссия весов и мер под председательством главного директора Монетного двора графа М. Г. Головкина. В состав комиссии входил Л. Эйлер. В качестве исходных мер длины комиссия изготовила *медный аршин* и *деревянную сажень*,

за меру жидких тел приняла *ведро* московского Каменномостского питейного двора. Важнейшим шагом, подытожившим работу комиссии, было создание русского *эталонного фунта*. Работы начались в 1736 г. и завершились в 1747 г. изготовлением бронзовой золоченой гири, узаконенной в качестве первичного образца (государственного эталона) русских мер веса. Этот фунт почти 100 лет оставался единственным эталоном в стране. Сведения о старинных русских мерах приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Старинные русские меры длины, массы и объёма

Единица длины	Единица массы	Единица объёма
1 точка = 0,254 мм	1 доля = 44,434940 мг	1 чарка = 1/100 ведра = = 0,122994 дм ³
1 линия = 2,54 мм	1 золотник = 4,265542 г	1 бутылка водочная = = 1/20 ведра = 0,61497 дм ³
1 сотка = 2,1336 см	1 лот = 12,797262 г	1 бутылка винная = = 1/16 ведра = 0,768712 дм ³
1 дюйм = 2,54 см	1 фунт = 0,40951741 кг	1 штоф = 1/10 ведра = = 1,22994 дм ³
1 вершок = 4,445 см	1 пуд = 16,380496 кг	1 ведро = 12,2994 дм ³
1 фут = 30,48 см		1 четверть = 0,262387 м ³ (для сыпучих материалов)
1 аршин = 0,7112 м		
1 сажень = 2,1336 м		
1 верста = 1 066,8 м		

В комиссии рассматривались (но из-за отсутствия денежных средств и специалистов не были осуществлены) проекты создания системы мер, основанной на физических постоянных (определение сажени через длину меридиана Земли, фунта – через вес определенного количества чистой воды), введение десятичной системы образования кратных и дольных единиц и др. Эти прогрессивные идеи получали в Европе в ту пору все большее распространение.

Идея построения системы измерений на десятичной основе принадлежит французскому астроному Г. Мутону, жившему в XVII в. во Франции, где феодалы имели право пользоваться своими собственными мерами, содержать таможни и собирать пошлину. Вопрос о рациональной системе мер стоял особо остро. Учредительное собрание Франции 8 мая 1790 г. приняло декрет о реформе системы мер и поручило Парижской академии наук разработать соответствующие предложения.

Комиссия академии, руководимая Лагранжем, рекомендовала десятичное подразделение кратных и дольных единиц, а другая комиссия, в состав которой входил Лаплас, предложила принять в качестве единицы длины одну сорокамиллионную часть земного меридиана. На основе этой единственной единицы – метра – строилась вся система, получившая название метрической. За единицу площади принимался квадратный метр, за единицу объема – кубический метр, за единицу массы – килограмм – масса кубического дециметра чистой воды при температуре 4 °С. Метрическая система с самого начала была задумана как международная. Её единицы не совпадали ни с какими национальными единицами, а наименования единиц и десятичных приставок были произведены от слов «мёртвых» языков (латинского и древнегреческого).

По мере совершенствования физики и математики появилась проблема измерения нового класса физических величин. Так, при развитии теории электричества встал вопрос, как быть с единицами электромагнитных величин? С одной стороны, новый класс явлений подсказывал необходимость введения новых единиц и величин. С другой – исходно была установлена связь между электромагнитными явлениями и эффектами механическими – законы Кулона и Био – Савара – Лапласа. Точки зрения наиболее авторитетных ученых по этому поводу также разделились. Некоторые считали, что «рассмотрение (электромагнитных явлений) будет более плодотворным, если ввести четвертую, не зависящую от механических единиц» (А. Зоммерфельд). Другие, напротив, считали различные проявления свойств материи единым целым и были противниками введения независимых электрических величин и единиц. В результате в практике появились системы единиц физических величин, имеющие различное число основных, т. е. произвольно выбранных, физических величин. Подробно эти вопросы будут изложены в разделе, посвященном единицам физических величин.

С исторической точки зрения интересно обратить внимание на сложившуюся практику образования дольных (более мелких) и кратных (более крупных) единиц физических величин. В настоящее время мы пользуемся в основном десятичной системой счета и действующая международная система единиц физических величин предписывает образовывать дольные и кратные единицы, домножая размер основной единицы на множитель, кратный десяти. Тем не менее история знает использование самых разнообразных множителей кратности. Например, сажень как мера длины равнялась трем аршинам, 1 фут равнялся 12 дюймам, 1 аршин – 16 вершкам, 1 пуд – 40 фунтам, 1 золотник – 96 долям, 1 верста – 500 саженьям и т. д.

Такая исторически сложившаяся практика образования дольных и кратных величин оказалась крайне неудобной. Поэтому при принятии

международной системы единиц СИ на эту проблему обращалось особое внимание. По большому счету десятичная система оказалась неудобной только при исчислении времени, так как единицы одноименной величины разного размера оказались кратными 12 (соотношение года и месяца) и 365,25 (соотношение года и суток). Эта кратность обусловлена скоростью вращения Земли и фазами Луны и является наиболее естественной. Дальнейшая замена кратности в соотношении час/секунда час/минута и с 60 на кратное 10 уже особого смысла не имела. Из других часто употребляемых физических величин и единиц отступление от десятичной системы сохранилось в градусной мере угла, когда окружность делится на 360 градусов, а градус – на минуты и секунды.

Совершая исторический экскурс в метрологию, не следует забывать, что все сказанное в полной мере относится только к странам-участницам Метрической конвенции. Во многих странах до настоящего времени сохраняется своя особая, иногда экзотическая система физических величин и единиц. Среди этих стран, как это ни странно, находятся Соединенные Штаты Америки – современная супердержава. Внутри этой страны до настоящего времени используются величины и единицы старой Англии. Даже температуру там принято измерять в градусах Фаренгейта.

Таким образом, ознакомление с системами единиц, отличными от системы СИ, знакомство с различными системами счета единиц при измерениях носит не только познавательный характер. При расширении международных контактов может оказаться, что знание альтернативных систем величин и единиц сослужит пользователю добрую службу.

1.2. Роль отечественных учёных в развитии метрологии

В развитии отечественной метрологии за последние 200 лет можно выделить несколько этапов.

Первый этап стихийной метрологической деятельности. Охватывает почти весь XIX в. Этот период характерен централизацией метрологической деятельности и началом широкого участия русских ученых в работе международных метрологических организаций. Так, указом «О системе Российских мер и весов» (1835 г.) были утверждены эталоны длины и массы – платиновая сажень, равная семи английским футам, и платиновый фунт, практически совпадавший по весу с бронзовым золоченым фунтом 1747 г.

В 1842 г. на территории Петропавловской крепости в специально построенном «несгораемом» здании открывается первое централизованное метрологическое и поверочное учреждение России – Депо образцовых мер

и весов, куда и помещаются на хранение созданные эталоны, их копии, а также образцы различных иностранных мер. В настоящее время эти образцы хранятся в музее Д.И. Менделеева в г. Санкт-Петербурге.

В Депо не только хранились эталоны и их копии, но и изготавливались образцовые меры для местных органов, а также проводилась поверка и сличение образцовых мер с иностранными. Эта деятельность регламентировалась документом «Положение о мерах и весах» (1842 г.), заложившим основы государственного подхода к обеспечению единства измерений.

Как и многие другие науки, метрология в своем развитии не избежала описательного периода. Он завершился в нашей стране капитальным трудом Ф.И. Петрушевского «Общая метрология», вышедшим в 1849 г. и удостоенным Императорской Академией наук¹ Демидовской премии.

Подписание метрической конвенции 20 мая 1875 г.

Для русских ученых того времени характерно глубокое понимание роли и места метрологии в науке и жизни. В 1869 г. петербургские академики Б.С. Якоби, Г.И. Вильд и О.В. Струве направили в Парижскую академию наук доклад, в котором предлагалось с целью обеспечения единства измерений в международном масштабе изготовить новые международные прототипы метра и килограмма и распределить их однотипные копии между заинтересованными государствами. Это предложение было принято.

В результате последующей работы ученых разных стран была подготовлена и 20 мая 1875 г. подписана Метрическая конвенция. Она стала основой международного научного сотрудничества, способствовала унификации мер и расширению метрологической деятельности в национальном и международном масштабах. В соответствии с конвенцией Россия получила платино-иридиевые эталоны единицы массы № 12 и № 26 и эталоны единицы длины № 11 и № 28, которые были доставлены в новое здание Депо образцовых мер и весов (ныне это дом 19 на Московском проспекте в г. Санкт-Петербурге).

Второй (менделеевский) этап развития отечественной метрологии. В 1892 г. управляющим Депо был назначен Д.И. Менделеев (1834–1907 гг.), который так много сделал для отечественной метрологии, что период с 1892 по 1917 гг. называют менделеевским этапом развития метрологии. Для него характерно следующее:

- научное становление метрологии, перевод ее в число точных естественно-научных дисциплин, возвышение до уровня «главного орудия познания» по образному выражению Д.И. Менделеева;

¹ По регламенту она называлась Императорская Академия Наук и Художеств, однако использовались ее различные сокращения: Императорская Академия наук, Академия наук Санкт-Петербурга, Санкт-Петербургская Академия наук и др.

- осознание народно-хозяйственного значения метрологии, начало глубоко продуманного и планомерного включения метрологической деятельности в хозяйственный механизм страны.

В 1893 г. Д.И. Менделеев преобразует Депо образцовых мер и весов в Главную палату мер и весов.

В Англии аналогичная организация (Метрологическое отделение Национальной физической лаборатории) была создана в 1900 г., а в США – в 1901 г. (Национальное бюро стандартов).

Под руководством Д.И. Менделеева была проведена работа по сличению русской системы эталонов (аршин, сажень, фунт) с английскими и метрическими эталонами мер и весов. Была сделана попытка перейти на метрическую систему мер (метр, килограмм), но удалось добиться лишь ее факультативного применения.

Метрическая система мер как обязательная была официально признана лишь после Октябрьской революции 1917 г. Декрет Совнаркома «О введении Международной метрической системы мер и весов» был принят 14 сентября 1918 г. Практически же это удалось сделать лишь через 9 лет – в 1927 г.

Для внедрения Международной метрической системы были созданы Палаты мер и весов во всех союзных республиках СССР и во многих крупных городах страны.

В дальнейшем Палаты мер и весов были преобразованы в Метрологические институты. Головным стал Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии (ВНИИМ) им. Д.И. Менделеева.

Становление и развитие отечественной метрологии непосредственно вытекало из направленной деятельности Главной Палаты – ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, других метрологических институтов. Метрологическая наука развивалась, наполняясь из поколения в поколение трудами ученых, профессионально ориентированных на метрологию.

В 1930–1932 гг., в порядке выполнения международных обязательств, А. К. Колосов ввел новое определение электродвижущей силы основной группы нормальных элементов Вестона при помощи серебряного вольтметра.

Аналогичные работы были проведены и в других странах, причем они привели к значительному уменьшению расхождений между значениями международного вольта в разных странах. Эти работы, а также работы по измерению международных ома и ампера в абсолютных единицах, проводившиеся в некоторых национальных метрологических лабораториях, позволили третьей сессии Консультативного Комитета по электричеству (ККЭ) (1933 г.) принять решение о переходе к абсолютным практическим единицам с 1935 г.

В последующем ККЭ будет играть одну из ведущих ролей в связи с совершенствованием электрических и магнитных единиц. В послевоенные годы это работы по новому определению и воспроизведению ампера, фундаментальных физических констант (ФФК) и воспроизведению электрических и магнитных величин. Эти работы были выполнены Б.М. Яновским, Н.В. Студенцовым, Г.К. Яголой. Методика расчета и согласования ФФК – С.В. Горбацевич, К.А. Краснов, В.С. Тунинский, В.Я. Шифрин, В.Н. Хорев.

Серьезные работы в области метрологии температурных измерений относятся к 1920-м гг., когда была создана термометрическая лаборатория. В 1925 г. создана лаборатория высоких температур, а в начале 1930-х гг. – лаборатория низких температур. Активный вклад ВНИИМ в развитие международной шкалы температур начался после Великой Отечественной войны. При подготовке новой шкалы МПТШ-68 во ВНИИМ были получены важные результаты с помощью газового термометра в интервале температур 232–1 064 °С (И.И. Киренков, А.Н. Гордое, К.С. Израилов, У.В. Дейков – Консультативный комитет по термометрии (ККТ), 1962 г.). Эти результаты измерения термодинамических температур были учтены при принятии шкалы МПТШ-68.

Наряду с этими классическими работами во ВНИИМ были предложены и реализованы такие новые методы измерения термодинамических температур, как акустический и шумовой термометры (А.Д. Бродский, П.П. Кремлевский, А.В. Саватеев – ККТ, 1962 г.). Эти методы и в настоящее время являются одними из основных для уточнения термодинамических температур.

В 1950-е гг. во ВНИИМ был создан высокотемпературный платиновый термометр сопротивления (ВТС) и впервые предложено интерполяционное уравнение для построения шкалы выше 630 °С (Г.М. Кондратьев, Б.И. Пилипчук – ККТ, 1954 г.). Высокотемпературный платиновый термометр сопротивления конструкции ВНИИМ и сегодня признан самым стабильным термометром.

ВНИИМ был одним из первых в части исследования новых реперных точек шкалы: плавления галлия и затвердевания индия. Тем самым он внес вклад в создание новой шкалы МТШ-90, в которой эти реперные точки были приняты в качестве основных. ВНИИМ участвовал в международных исследованиях шкал МПТШ-68 и МТШ-90, результаты которых были представлены в докладах рабочих групп (документы ККТ-87/38, ККТ-87/37). В настоящее время институт участвует в международных работах по совершенствованию МТШ-90 и методов ее реализации. В частности, в рамках ККТ проведены исследования по определению номинальных статических характеристик термопар. Результат работы – принятие нового стандарта Международной электрической комиссией (МЭК) № 584-1

1995 г. В рамках деятельности Рабочей группы № 1 ККТ ВНИИМом подготовлен ряд документов, регламентирующих методику реализации шкалы МТШ-90 и методику проведения ключевых сличений. Кроме того, был разработан принципиально новый термометр, позволяющий сличать шкалы, построенные контактным и бесконтактным методами. Исследования с помощью такого термометра ведутся в национальных метрологических институтах Италии и Франции. Результаты исследований представлены в документах ККТ 1994, 2000 гг.

ВНИИМ принимает активное участие в работах Консультативных Комитетов по определению метра, электричества, массы, единиц величин, в Международных организациях МОЗМ¹, ИСО², ИМЕКО³ и др.

ВНИИМ стал родоначальником не только 13 отечественных метрологических институтов, но и базой создания межрегиональной Метрологической Академии. Принцип международной консолидации усилий, направленных на решение научных и практических проблем современной метрологии, ныне находит свое выражение в ее деятельности, в широком участии в ней крупнейших ученых и государственных деятелей разных стран.

История развития отечественной метрологии, таким образом, подтверждает ее высокое место среди мировых научных исследований как базы их постоянного развития.

1.3. Понятие об измерении

Измерение является одной из самых древнейших операций в процессе познания человеком окружающего материального мира. Вся история цивилизации представляет собой непрерывный процесс становления и развития измерений, совершенствования средств методов и измерений, повышения их точности и единообразия мер.

В процессе своего развития человечество прошло путь от измерений на основе органов чувств и частей человеческого тела до научных основ измерений и использования для этих целей сложнейших физических процессов и технических устройств. В настоящее время измерениями охватываются все физические свойства материи практически независимо от диапазона изменения этих свойств.

С развитием человечества измерения приобретали все большее значение в экономике, науке, технике, в производственной деятельности. Многие науки стали называться точными благодаря тому, что они могут

¹ МОЗМ – Международная организация законодательной метрологии.

² ИСО – Международная организация по стандартизации.

³ ИМЕКО – Международная конференция по измерительной технике и приборостроению.

устанавливать с помощью измерений количественные соотношения между явлениями природы. По существу, весь прогресс науки и техники неразрывно связан с возрастанием роли и совершенствованием искусства измерений. Д.И. Менделеев говорил, что «наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры».

Не меньшее значение имеют измерения в технике, производственной деятельности, при учете материальных ценностей, при обеспечении безопасных условий труда и здоровья человека, в сохранении окружающей среды. Современный научно-технический прогресс невозможен без широкого использования средств измерений и проведения многочисленных измерений.

В нашей стране проводится более десятка миллиардов измерений в день, свыше 4 млн человек считают измерение своей профессией. Доля затрат на измерения составляет (10–15) % всех затрат общественного труда, достигая в электронике и точном машиностроении (50–70) %. В стране используется около миллиарда средств измерений. При создании современных электронных систем (ЭВМ, интегральных схем и т. п.) до (60–80) % затрат приходится на измерения параметров материалов, компонентов и готовых изделий.

Все это свидетельствует о том, что невозможно переоценить роль измерений в жизни современного общества.

Хотя человек проводит измерения с незапамятных времен и интуитивно этот термин представляется понятным, точно и правильно определить его не просто. Этот факт подтверждает, например, дискуссия по вопросам понятия и определения измерения, прошедшая не так давно на страницах журнала «Измерительная техника». Рассмотрим различные определения понятия «*измерение*», взятые из литературы и нормативных документов разных лет.

1. Измерением называется познавательный процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения (М.Ф. Маликов, Основы метрологии, 1949 г.).

2. Нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств (ГОСТ 16263–70 по терминам и определениям метрологии, ныне не действующий).

3. Совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины (Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения, 2013 г.).

4. Совокупность операций, имеющих целью определить значение величины (Международный словарь по терминам в метрологии, 1994 г.).

Из приведенных определений понятия «*измерение*» наиболее предпочтительным, включающим в себя в той или иной мере все другие приведенные определения, следует считать определение, приведенное в РМГ 29-2013. В нем учтена *техническая сторона* измерения как совокупность операций по применению технического средства, показана *метрологическая суть* измерения как процесса сравнения с размером единицы (мерой) и представлена *познавательная сторона* измерения как процесса получения значения величины.

Приведенные выше определения измерения могут быть выражены уравнением, которое в метрологии называется *основным уравнением измерений*:

$$Q = q [Q], \quad (1.1)$$

где Q – измеряемая величина;

q – числовое значение величины;

$[Q]$ – единица величины.

Правая часть уравнения (1.1) представляет собой результат измерения. Строго говоря, для получения результата измерения требуется не одна известная величина, а их упорядоченная совокупность, т. е. шкала физической величины.

Таким образом, измерение представляет собой сравнение измеряемой физической величины со шкалой однородной (одноименной) величины с целью выражения измеряемой величины в узаконенных единицах.

Пример. Измерение электрического напряжения с помощью магнитоэлектрического вольтметра аналогично взвешиванию на пружинных весах. Нагрузке пружины соответствует момент электрических сил, стремящихся повернуть рамку с током, упругости пружины отвечает противодействующий момент. Для выражения измеряемого напряжения в узаконенных единицах необходимо установить связь между известными напряжениями и уравновешивающими противодействующими моментами.

1.4. Связь измерений с познанием окружающего объективного мира

Измерение – сложное понятие, для анализа которого необходимо рассмотреть основные структурные элементы, а именно: цель измерения, объект исследования и его модель, априорную информацию, измеряемую величину, средство измерений, результат и погрешность измерения (см. рис. 1.1).

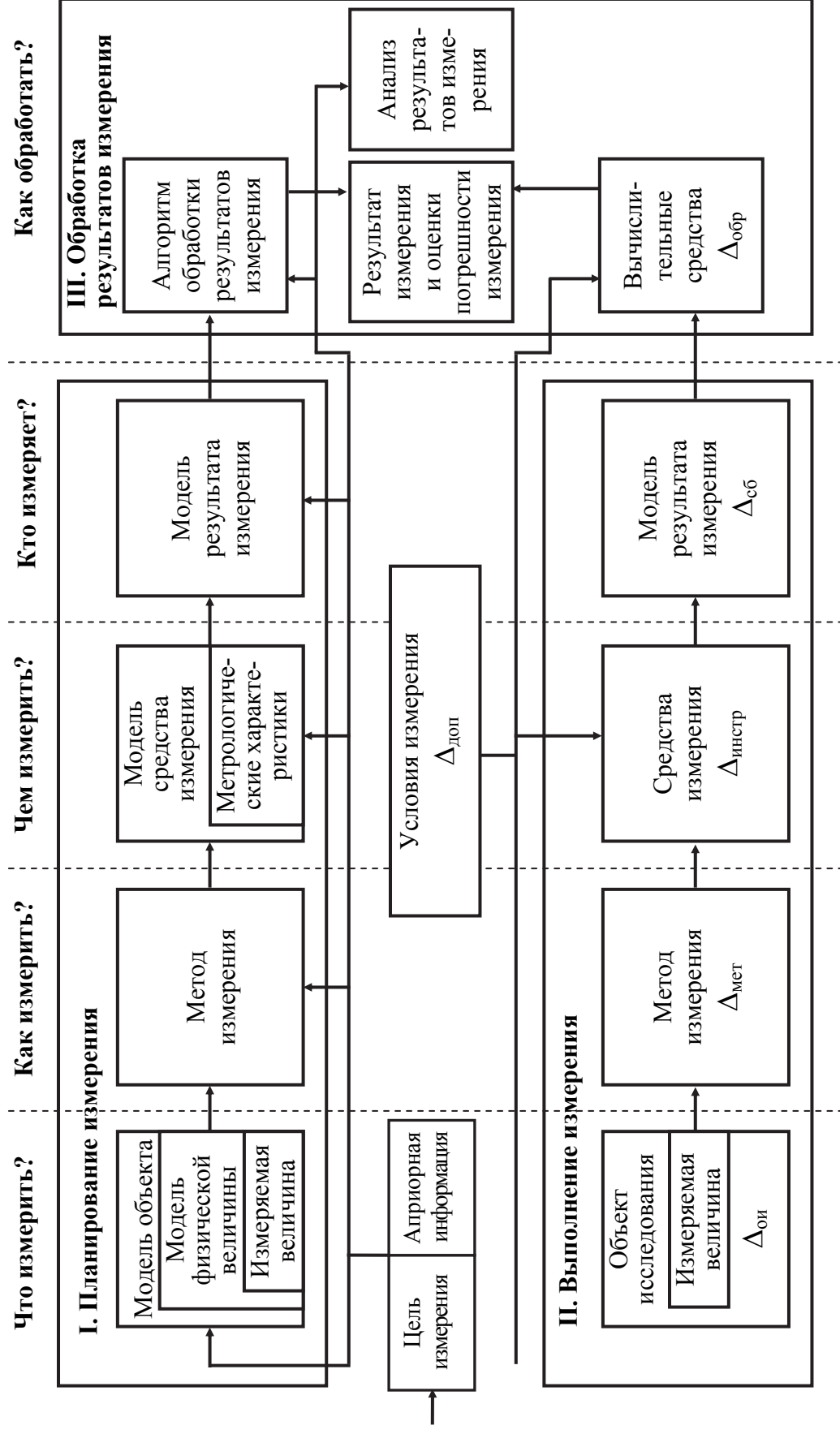


Рис. 1.1.1. Структурные элементы и составляющие погрешности измерения

Цель измерения определяется совокупностью требований к измерению, которые обусловлены содержанием того этапа исследовательской или конструкторской деятельности, в рамках и интересах которого проводят измерение. Уместно еще раз подчеркнуть, что измерение никогда не является самоцелью. Поэтому цель измерения является «внешней» по отношению к измерению и формируется на указанном выше этапе деятельности.

Цель измерения конкретизирует объект исследования (измерения), выделяет на нем представляющую интерес физическую величину и определяет требуемую точность измерений.

Объект исследования (измерения) – реальный физический объект, элемент природной или технологической среды. Он обладает многими особенностями (свойствами), находится в многосторонних и сложных связях с другими объектами.

Человек не в состоянии представить себе (воспринять) объект целиком, во всем многообразии его свойств и во всех взаимосвязях. Поэтому взаимодействие человека с объектом – исследование или преобразование – возможно лишь на основе модели объекта.

Модель объекта – теоретико-физическая и математическая конструкция, которая отражает свойства объекта, существенные для данной задачи, в частности измерительной. Модель строится в соответствии с целью измерения до его выполнения на основе априорной информации об объекте и условиях измерения.

В приведенном определении моделью объекта служит электрический ток в идеальном проводнике с гармонически изменяющейся силой. В ходе исследований модель может изменяться и уточняться. Иногда формирование сложной модели проводится в несколько этапов: сначала выбирается общая структура модели, а затем уточняются ее основные параметры.

Априорная информация – один из факторов, обуславливающих эффективность измерения: при ее отсутствии измерение невозможно, при наличии в максимальном объеме (известном значении измеряемой величины) – ненужно. Априорная информация определяет достижимую точность измерений и их эффективность. Использование априорной информации при обработке данных является затруднительным, поскольку она с трудом поддается формальному описанию.

Физическая величина в соответствии с определением может рассматриваться в двух аспектах: общем и конкретном. Непосредственным элементом измерения является конкретная физическая величина, т. е. качественно определенная особенность конкретного объекта. Цель построения измерительной модели объекта состоит в выявлении (представлении) именно конкретной физической величины. Любая физическая величина

есть результат абстрагирования от реальности, однако по уровню абстрагирования физические величины резко различаются. Так, время и длина отражают непосредственно формы существования материи, а масса и температура связаны с фундаментальными свойствами всех материальных объектов. Наряду с этим система физических величин содержит, например, силу тока, характеризующую определенный тип происходящих в объектах процессов, а также твердость, представляющую собой «внешнее» описание особенности объектов, обусловленной целым рядом их фундаментальных физических свойств. Соответственно модели конкретных величин также отличаются друг от друга уровнем абстрагирования: одни из них являются «первичными», описывающими фундаментальные свойства, а другие – «вторичными», построенными на базе первых.

Измеряемая величина представляет собой постоянный параметр модели объекта, отражающий ту его особенность, количественную оценку которой необходимо получить в результате измерения. Измеряемая величина может совпадать с выделенной физической величиной. В данном случае измеряемая и исходная физические величины тождественны. Если же свойства объекта зависят от времени или пространственных координат, то измеряемая величина представляет собой параметр (функционал) исходной физической величины. Например, если напряжение изменяется, то на его модели как функции времени выделяют постоянный параметр, который представляет собой измеряемую величину. Таким параметром может быть мгновенное или эффективное напряжение.

Средство измерений определяется как техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства. Средство измерений входит в структуру измерения двояко. Во-первых, оно является реальным техническим устройством, которое приводят во взаимодействие с объектом. Это взаимодействие обуславливает появление входного сигнала средства измерений, отклик на который – выходной сигнал – несет информацию об измеряемой величине и подлежит в общем случае обработке с целью нахождения результата измерения и оценки его погрешности. Во-вторых, средство измерений характеризуется своей моделью, которая необходима для правильного применения средства и для эффективной обработки опытных данных. Модель средства измерений представлена совокупностью его метрологических характеристик, т. е. характеристик тех свойств, которые оказывают влияние на результаты и погрешности измерений.

Метод измерений определяется как «совокупность приемов использования принципов и средств измерений». Отметим, что метод измерений обусловлен целью измерения и, в свою очередь, определяет, как следует организовать взаимодействие средства измерений с объектом и каким об-

разом можно извлечь из исходных и опытных данных требуемую информацию. Таким образом, алгоритм обработки данных является составной частью метода измерений (возможна узкая трактовка метода измерений, включающая в себя лишь взаимодействие средств измерений с объектом исследования).

Условия измерения – важный фактор, определяющий состояние объекта и эффективность использования средства измерений. Различные условия, изменяя состояние объекта, влияют на выделенную физическую величину и через неё – на измеряемую величину и отклонение значения действительной измеряемой величины от той, которая определена при формулировании измерительной задачи. Влияние этих условий на средство измерений проявляется в изменении его метрологических характеристик; та часть указанного изменения, которая остается неконтролируемой, определяет степень недостоверности результата измерения.

«Уравнение измерения» представляет собой формализованное описание измерения и выражает связь между исходными и опытными данными, с одной стороны, и результатом измерения – с другой.

Уравнения измерений могут быть представлены в явном виде лишь для прямых и косвенных измерений; для других категорий измерений они имеют неявный вид. Уравнения, полезные для анализа конкретного измерения, должны служить для уточнения основного уравнения (1.1).

Результат измерения есть значение физической величины (совокупность значений), полученное в итоге измерения. Он выражается в форме именованного числа или ряда чисел. При аналоговой регистрации изменяющейся величины, которую можно рассматривать как совокупность незавершенных измерений, результатом служит кривая записи на механическом или электронном носителе. Если в состав алгоритма обработки данных включена процедура их аппроксимации, то результат может принять форму аналитической зависимости.

Измерение можно рассматривать как систему, состоящую из двух параллельных рядов соответствующих друг другу элементов, которые относятся к реальности и к ее отражению (познанию) – рис. 1.1. Первый ряд содержит цель измерения, модель объекта с выделенным на ней или введенным на ее основе параметром – измеряемой величиной, модель средства измерений с параметрами (метрологическими характеристиками), данные о влияющих физических величинах и помехах, воздействующих на объект и средство измерений, а также модель результатов наблюдений и алгоритм обработки.

Второй ряд включает в себя объект исследования с выделенной его особенностью – физической величиной, метод измерений, средство или средства измерений, условия проведения измерений, взаимодействие сред-

ства измерений с объектом и результаты этого взаимодействия: входное воздействие на средство измерений (входной сигнал) и отклик средства измерений на это воздействие – выходной сигнал средства измерений, дающий результаты наблюдений, а также вычислительные средства.

Элементы обоих рядов соответствуют друг другу по типу «реальность – отражение (модель)». Адекватность моделей соответствующим реальностям обусловлена теоретическими и экспериментальными исследованиями. Об адекватности модели объекта сказано выше. Модель средства измерений обоснована теоретически, а его метрологические характеристики получены экспериментально. При условии адекватности моделей алгоритмы вычислений результата измерения в реальном и модельном рядах тождественны. Таким образом, оба ряда неразрывно связаны между собой. Адекватность в целом реального и модельного рядов устанавливают по результатам измерительного эксперимента при оценке погрешности измерения. Если оценка погрешности оказывается существенно больше рассчитанной до измерения, то это свидетельствует о наличии неучтенных факторов – источников, составляющих погрешности, т. е. в конечном итоге о неадекватности модели измерения. Как следует из сказанного, под моделью измерения следует понимать описание его структурных элементов в их взаимосвязях и взаимодействии.

Таким образом, видим, что именно математическая обработка данных служит связующим звеном между структурными элементами измерения, относящимися к реальному и идеальному (модельному) рядам, а также помогает уяснить, что причиной несовершенства измерения (обобщенным источником погрешности результата) является неустраняемая (принципиальным и техническим соображениям) неполнота или неадекватность модельного описания реальности (рис. 1.1).

Измерение является сложным процессом, для правильного выполнения которого необходимо знать его основные структурные элементы.

1.5. Определение измерения

Измерение – это нахождение значения физической величины с помощью специальных технических средств, называемых средствами измерений. Получаемая при измерении информация называется **измерительной**. Найденное в результате измерения значение величины называется **результатом измерения**. Наконец, в технической литературе и нормативной документации часто встречается термин **алгоритм измерения**, под которым следует понимать точное предписание о порядке выполнения операций, обеспечивающих измерение искомого значения величины.

Экспериментальная операция, выполняемая в процессе измерений, в результате которой получают одно значение (из группы значений) величины, называется **наблюдением**. В зависимости от особенностей объекта исследования для нахождения значения величины могут понадобиться либо однократное измерение, либо многократные наблюдения. При многократных наблюдениях результат измерения получают, обработав результаты наблюдений.

Совокупность физических явлений, на которых основано измерение, называют **принципом измерений** (например, термоэлектрический эффект, используемый при измерении температуры; пьезоэффект, используемый при измерении влажности, давления и т. д.).

В зависимости от признаков, положенных в основу классификации, измерения подразделяют на электрические и неэлектрические, аналоговые и цифровые, статические и динамические, однократные и многократные, равноточные и неравноточные, прямые, косвенные, совокупные и совместные.

Признаком деления измерений на **электрические и неэлектрические** является соответственно наличие или отсутствие в измерительной цепи преобразования в электрический сигнал. В большинстве случаев неэлектрические величины измеряют электрическими методами. Широкое внедрение электрических методов в область измерения неэлектрических величин объясняется их достоинствами, главными из которых являются: возможность осуществления дистанционных измерений и передачи результатов измерений на большие расстояния; возможность преобразования разнообразных неэлектрических величин в единую электрическую величину, чем создаются условия унификации измерительной аппаратуры; удобство автоматизации процесса измерения, возможность проведения непрерывных математических операций над результатом измерения, что позволяет автоматически вводить поправку в результаты измерений, интегрировать, дифференцировать результат; удобство в получении больших мощностей на выходе и многопредельность в измерении; возможность использования большой чувствительности и точности, которыми в ряде случаев обладают электроизмерительные приборы.

Для измерения неэлектрической величины электрическим методом необходимо предварительно преобразовать измеряемую неэлектрическую величину в электрическую с помощью измерительного преобразователя неэлектрической величины.

Деление измерений на **аналоговые и цифровые** обусловлено формой измерительной информации (аналоговой и цифровой), содержащейся в выходных сигналах аналоговых и цифровых измерительных приборов, с помощью которых осуществляются измерения. Выходным сигналом аналогового прибора является перемещение указателя вдоль его шкалы, по

которой оператор осуществляет квантование и цифровое кодирование числового значения измеряемой величины, чтобы найти ее значение. Выходной сигнал цифрового прибора представляет собой изображение числового значения измеряемой величины цифровыми знаками.

Деление измерений на статические и динамические определяется соотношением между значениями статической и динамической составляющими погрешности измерения. Измерения считаются **статическими**, если динамическая погрешность пренебрежимо мала по сравнению со статической. Если же её необходимо учитывать, то это будут уже **динамические** измерения. Статическими являются измерения величин с постоянным размером, в том числе интегральных значений (действующего значения, среднего) стационарных процессов. При этом время преобразования должно быть таким, чтобы успели закончиться переходные процессы, возникающие в измерительной цепи при подаче входного сигнала, при условии, что частотные характеристики цепи и сигнала согласованы между собой. При измерении мгновенных значений, а также постоянных величин при времени преобразования, недостаточном для затухания переходных процессов из-за инерционности измерительной цепи, возникают динамические погрешности.

Признаком деления измерений на **однократные (обыкновенные) и многократные (статистические)** служит число результатов наблюдений при измерении данной величины, на основании которых получают результаты измерения.

Многократные измерения величины неизменного размера называются **равноточными**, если они выполняются в одинаковых условиях с помощью тех же самых средств и тем же оператором; в противном случае – измерения **неравноточные**.

По способу получения числовых значений физических величин измерения подразделяются на прямые, косвенные, совместные и совокупные. При этом основным признаком является вид уравнения измерения, связывающего измеряемую и непосредственно наблюдаемые величины.

При **прямом измерении** измеряемая величина Q пропорциональна непосредственно наблюдаемой X :

$$Q = cX, \quad (1.2)$$

где c – заданный коэффициент.

Измерение падения напряжения на участке цепи с помощью вольтметра, измерение массы тела путем взвешивания на пружинных весах относятся к прямым измерениям.

При **косвенном измерении** величина Y является известной функцией от непосредственно наблюдаемых аргументов $A_1, \dots, A_m$:

$$Y = \varphi(A_1, \dots, A_m). \quad (1.3)$$

Измерение мощности, выделяемой током в резисторе, путем измерения действующей силы тока и активного сопротивления резистора, измерение плотности твердого тела путем измерений его массы и объема, а также измерение сопротивления участка цепи путем измерений силы тока и падения напряжения относятся к косвенным измерениям.

При **совместных измерениях** находят функциональную зависимость $Y = f(X)$ между переменными неоднородными величинами X и Y путем измерения ряда величин $X_1, \dots, X_m$ и соответствующих им величин $Y_1, \dots, Y_m$:

$$Y_i = f(X_i). \quad (1.4)$$

Многочисленные примеры совместных измерений дают задачи построения градуировочных характеристик средств измерений, т. е. зависимостей $Y = f(X)$, связывающих величину X на входе с величиной Y на выходе средства измерений. Например, упомянем линейную градуировочную характеристику вольтметра переменного тока и квадратичную характеристику воздушного термопреобразователя.

При **совокупных измерениях** значения набора одноименных величин $Q_1, \dots, Q_k$, как правило, определяют путем измерений сумм или разностей этих величин в различных сочетаниях:

$$Y_i = \sum_{j=1}^k c_{ij} Q_j, \quad (1.5)$$

где коэффициенты c_{ij} принимают значения +1 или 0.

Примерами совокупных измерений являются задачи калибровки наборов мер (например, наборов гирь или магазинов сопротивлений), а также калибровки углов многогранных призм. Эти и многие другие примеры будут рассматриваться далее.

Методом измерений называют способ (совокупность приемов) использования принципов и средств измерений.

Алгоритм измерений представляет собой последовательность операций подготовки и выполнение измерений, т. е. процедуру измерений.

Сочетание метода и алгоритма измерений составляет методику измерений. Методика измерений, требования к выполнению которой регламентированы соответствующими нормативно-техническими документами в виде стандарта или аттестата, называется **методикой выполнения измерений**.

Из определения понятия измерения следует, что неотъемлемым его признаком является сравнение информации о размере измеряемой величины с информацией об определенном размере, воспроизводимой мерой. Классифицируя методы измерений, можно выделить методы одновременного и разновременного сравнения. Сейчас методы разновременного срав-

нения часто называют методами непосредственной оценки, подразумевая под ними методы, основанные на использовании измерительных приборов, шкала которых проградуирована в единицах измеряемой величины. К методам непосредственной оценки относятся прямые измерения, за исключением методов, основанных на непосредственном сравнении размера измеряемой величины с размером величины, воспроизводимой мерой.

Методы, основанные на одновременном сравнении, объединены общим названием – **методы сравнения**. К ним относятся: компенсационный метод, метод противопоставления, метод замещения, метод совпадений, дифференциальный метод, нулевой метод (рис. 1.2).

Компенсационный метод измерений состоит в том, что на вход сравнивающего устройства (компаратора) одновременно воздействуют полярная или векторная измеряемая величина и одноименная ей величина, размер которой воспроизводится мерой, а соотношение между их размерами определяется по выходному сигналу сравнивающего устройства измерителем разности (рис. 1.3). **Пример:** измерение напряжения постоянного тока с помощью компенсатора путем сравнения с электродвижущей силой (ЭДС) нормального элемента.

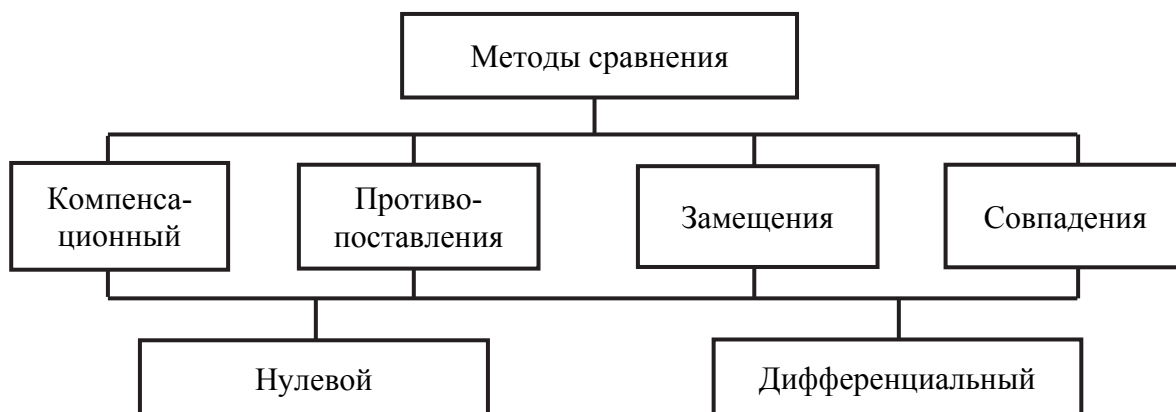


Рис. 1.2. Классификация методов сравнения

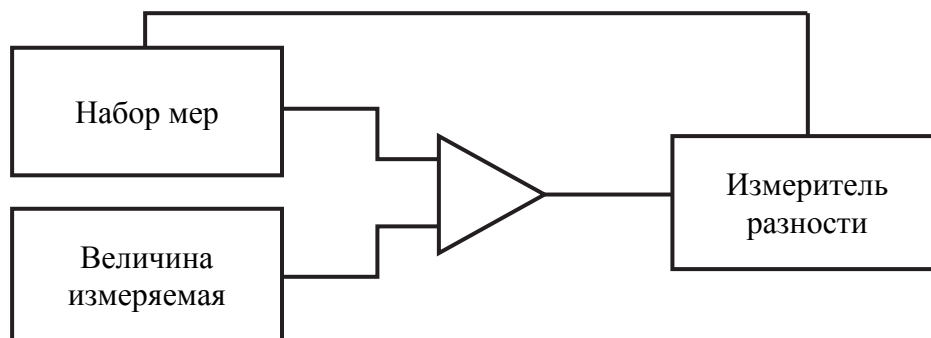


Рис. 1.3. Структура компенсационного метода

Метод противопоставления – метод измерений, при котором измеряемая величина и величина, размер которой воспроизводится мерой, одновременно воздействуют на разные входы двухканального сравнивающего устройства компаратора, по выходному сигналу которого измерителем разности определяется соотношение между размерами этих величин (рис.1.4). **Пример:** взвешивание на равноплечих весах.

Метод замещения – метод измерений, при котором эффект воздействия измеряемой величины на сравнивающее устройство (компаратор), запоминается, а затем восстанавливается воздействием величины, размер которой воспроизводится мерой (рис. 1.5). **Пример:** измерение сопротивления мостовой цепью с использованием замещающего магазина сопротивления.

Метод совпадения – метод измерений, при котором разница между эффектами, вызванными воздействием измеряемой величины и величины, размер которой воспроизводится мерой, определяется по совпадению отметок или периодических сигналов (рис. 1.6). **Пример:** использование нониусных шкал.

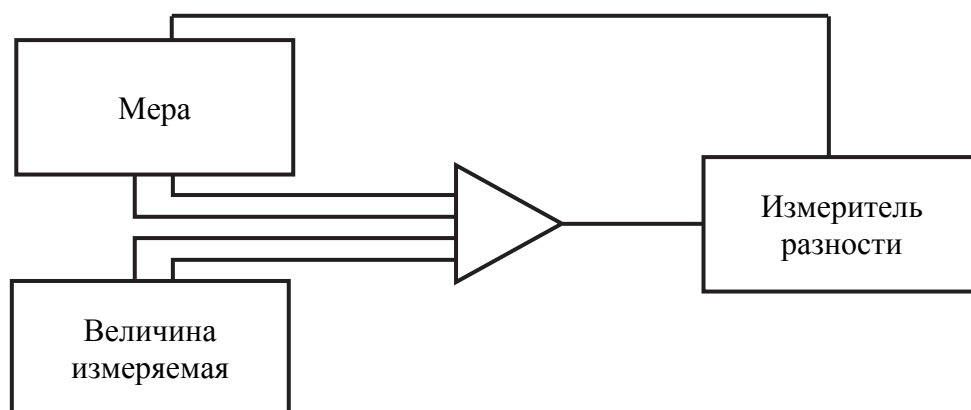


Рис. 1.4. Структура метода противопоставления

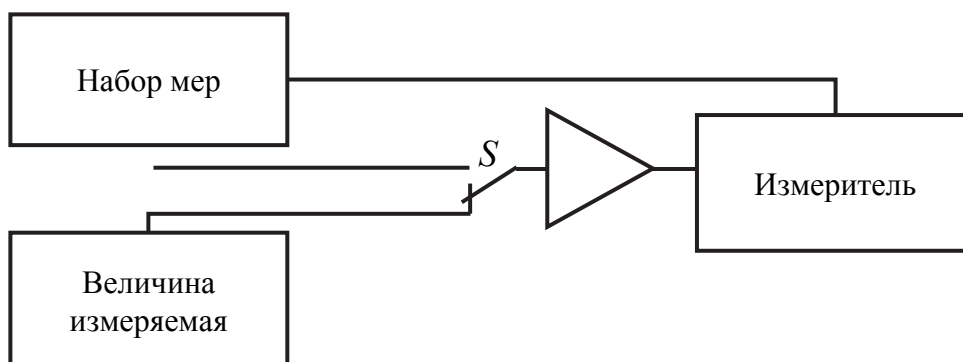


Рис. 1.5. Структура метода замещения

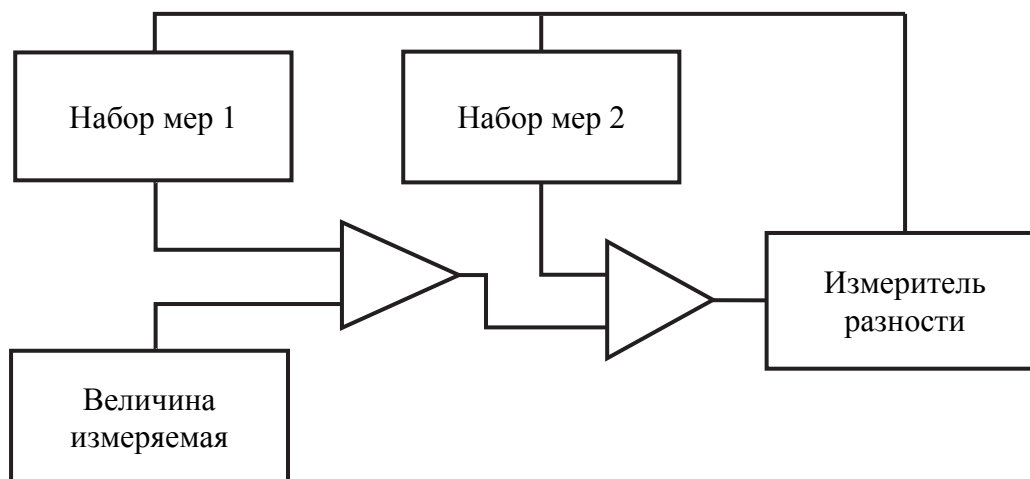


Рис. 1.6. Структура метода совпадения

Дифференциальный метод измерений заключается в том, что результирующий эффект сравнения измеряемой величины и меры, воздействующий на измеритель разности, не доводят до нуля, а измеряют и суммируют со значением меры.

Нулевой метод измерений заключается в том, что результирующий эффект сравнения измеряемой величины и меры, воздействующий на измеритель разности, доводят до нуля.

Из определений дифференциального и нулевого методов следует, что они могут относиться к любому из предыдущих методов сравнения с мерой в зависимости от полноты их реализации. Нулевой метод имеет место при полной компенсации, полном противопоставлении, полном замещении и полном совпадении (в пределах возможности компаратора), а дифференциальный – при неполной реализации этих методов.

Указанные особенности и различия методов измерений находят свое отражение в принципах построения измерительных приборов или используемых методах измерительных преобразований.

1.6. Роль измерений в науке и технике

В современном обществе метрология как наука и область практической деятельности играют большую роль. Это связано с тем, что практически нет ни одной сферы человеческой деятельности, где бы не использовались результаты измерений. В нашей стране ежедневно выполняется свыше 20 млрд различных измерений. Измерения являются неотъемлемой частью большинства трудовых процессов. Затраты на обеспечение и проведение измерений составляют около 20 % от общих затрат на производство продукции.

На основе измерений получают информацию о состоянии производственных, экономических и социальных процессов. Измерительная информация служит основой для принятия решений о качестве продукции при внедрении систем качества, в научных экспериментах и т. д. И только достоверность и соответствующая точность результатов измерений обеспечивает правильность принимаемых решений на всех уровнях управления. Получение недостоверной информации приводит к неверным решениям, снижению качества продукции, возможным авариям.

Для реализации положений большинства Законов РФ (например, «О защите прав потребителя», «О стандартизации», «О сертификации продукции и услуг», «Об энергосбережении» и др.) необходимо использование достоверной и сопоставимой информации.

Эффективное сотрудничество с другими странами, совместные разработки научно-технических программ (например, в области освоения космоса, медицины, охраны окружающей среды и др.), дальнейшее развитие торговых отношений требует растущего взаимного доверия к измерительной информации, являющейся по существу основным объектом обмена при совместном решении научно-технических проблем, основой взаимных расчетов при торговых операциях, заключении контрактов на поставку материалов, изделий, оборудования. Создание единого подхода к измерениям гарантирует взаимопонимание, возможность унификации и стандартизации методов и средств измерений, взаимного признания результатов измерений и испытаний продукции в международной системе товарообмена.

Для количественного определения (измерения) того или иного параметра, характеристики продукции, процесса, явления, т. е. любого объекта измерения, необходимо:

- выбрать параметры, характеристики, которые определяют интересующие нас свойства объекта; установить степень достоверности, с которой следует определять выбранные параметры; установить допуски, нормы точности и т. д.;
- выбрать методы и средства измерений для достижения требуемой точности; обеспечить готовность средств измерений выполнять свои функции привязкой средств измерений к соответствующим эталонам (посредством периодической поверки, калибровки средств измерений);
- обеспечить учёт или создание требуемых условий проведения измерений;
- обеспечить обработку результатов измерений и оценку характеристик погрешностей.

Перечисленные положения представляют собой своеобразную цепь, изъятие из которой какого-нибудь звена неизбежно приводит к получению

недостовой информации и, как следствие, к значительным экономическим потерям и принятию ошибочных решений.

Возможность применения результатов измерений для правильного и эффективного решения любой измерительной задачи определяется следующими тремя условиями:

- результаты измерений выражаются в узаконенных (установленных законодательством России) единицах;
- значения показателей точности результатов измерений известны с необходимой заданной достоверностью;
- значения показателей точности обеспечивают оптимальное в соответствии с выбранными критериями решение задачи, для которой эти результаты предназначены (результаты измерений получены с требуемой точностью).

Если результаты измерений удовлетворяют первым двум условиям, то о них известно все, что необходимо знать для принятия обоснованного решения о возможности их использования. Такие результаты можно сопоставлять, они могут использоваться в различных сочетаниях, различными людьми, организациями. В этом случае говорят, что обеспечено единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности результатов не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Третье из перечисленных выше условий определяет требование к точности применяемых методов и средств измерений. Недостаточная точность измерений приводит к увеличению ошибок контроля, к экономическим потерям. Завышенная точность измерений требует затрат на приобретение более дорогих средств измерений. Поэтому это требование является не только метрологическим, но и экономическим требованием, так как связано с затратами и потерями при проведении измерений (затраты и потери – экономические критерии).

Если при измерениях соблюдаются все три условия (обеспечивается единство и требуемая точность измерений), то говорят о метрологическом обеспечении. Под **метрологическим обеспечением** понимается установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

Научной основой метрологического обеспечения является метрология – наука об измерениях.

Организационной основой является Государственная метрологическая служба (ГМС) России.

Техническими средствами являются: система средств измерений, эталонов, система передачи размеров единиц от эталона рабочим средст-

вам измерений, система стандартных образцов, система стандартных справочных данных.

Правила и нормы по обеспечению единства измерений установлены в Законе РФ «Об обеспечении единства измерений» и в нормативных документах Государственной системы обеспечения единства измерений.

Переход России к рыночной экономике определил новые условия для деятельности отечественных фирм, предприятий и организаций в области метрологического обеспечения. С принятием Закона РФ «Об обеспечении единства измерений» (в апреле 1993 г.) начался новый этап развития метрологии, который характеризуется переходом от административного принципа управления метрологической деятельностью к законодательному и в значительной степени гармонизацией российской системы измерений с международной практикой.

В Законе определены сферы деятельности, в которых соблюдение метрологических требований обязательно и на которые распространяется государственный метрологический надзор (статья 13):

- здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
- торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе операции с применением игровых автоматов и устройств;
- государственные учетные операции;
- обеспечение обороны государства;
- геодезические и гидрометеорологические работы;
- банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации;
- обязательная сертификация продукции и услуг;
- измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации;
- регистрация национальных и международных рекордов.

Государственный надзор за обеспечением единства измерений осуществляют государственные инспекторы, права и обязанности которых также определены Законом.

Следует отметить, что в деятельности по метрологическому обеспечению участвуют не только метрологи, т. е. лица или организации, ответ-

ственные за единство измерений, но и каждый специалист: или как потребитель количественной информации, в достоверности которой он заинтересован, или как участник процесса её получения и обеспечения достоверности измерений.

Современное состояние метрологического обеспечения требует высокой квалификации специалистов. Механическое перенесение зарубежного опыта в отечественные условия в настоящее время невозможно и специалистам необходимо иметь достаточно широкий кругозор, чтобы творчески подходить к выработке и принятию решений на основе измерительной информации. Это касается не только работников производственной сферы. Знания в области метрологии важны и для специалистов по реализации продукции, менеджеров, экономистов, которые должны использовать достоверную измерительную информацию в своей деятельности.

1.7. Понятие метрологического обеспечения

Народное хозяйство любой страны требует разнообразной информации о параметрах и характеристиках объектов исследований и измерений в науке, производстве, здравоохранении, сельском хозяйстве, на транспорте, в области охраны окружающей среды и в других сферах человеческой деятельности. В современной промышленности доля затрат труда на выполнение измерений составляет в среднем 10 % от общих затрат труда на всех этапах создания и эксплуатации продукции, а в отдельных отраслях, в частности, электронной, радиотехнической, химической, достигает 50–60 %. Для этой цели необходимо метрологическое обеспечение.

Метрологическое обеспечение – это установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, направленных на достижение единства, требуемой точности измерений.

Основными целями метрологического обеспечения являются:

- повышение качества продукции, эффективности управления производством и уровня автоматизации производственных процессов;
- обеспечение достоверного учета и повышение эффективности использования материальных ценностей и энергетических ресурсов;
- повышение эффективности мероприятий по профилактике, диагностике и лечению болезней, нормированию и контролю условий труда и быта людей, охране окружающей среды, оценке и рациональному учету использования природных ресурсов; повышение эффективности международного научно-технического, экономического и культурного сотрудничества.

Научной основой метрологического обеспечения является **метрология** – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. К важнейшим направлениям

теоретической метрологии относятся: общая теория измерений, теория погрешностей, теория обработки результатов измерений.

Практические аспекты решения измерительных задач рассматриваются в разделе метрологии, называемом практической метрологией.

Организационными основами метрологического обеспечения являются метрологические службы и органы. Единство измерений обеспечивается Государственной метрологической службой, являющейся составной частью Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации (ФАТРИМа РФ). Метрологическое обеспечение в министерствах и ведомствах организуют ведомственные метрологические службы.

Техническими основами метрологического обеспечения являются:

- средства измерений, применяемые при разработке, производстве и эксплуатации изделий;
- система государственных эталонов единиц физических величин;
- система передачи размеров единиц физических величин от эталонов рабочим средствам измерений;
- система разработки требований по метрологическому обеспечению;
- система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение средств измерений;
- система государственной и ведомственной поверки средств измерений.

Практически ни одна задача не может быть решена успешно, если отсутствует исходная информация о множестве величин, необходимых для её решения. Причем основным критерием пригодности измерительной информации для решений той или иной конкретной задачи является соответствие точности этой информации тем требованиям, которые вытекают из содержания поставленной задачи. Если измерительная информация по своей точности не соответствует этим требованиям, то её использование серьезно затрудняет решение задачи, а еще хуже – может привести к ошибочному решению. Всякая попытка решить какую-либо задачу на основе недостаточно точной измерительной информации объективно обречена на неудачу и способна лишь нанести ущерб делу. Источником измерительной информации требуемой точности являются средства измерений.

1.8. Система обеспечения единства измерений

Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) – государственная система управления деятельностью по обеспечению единства измерений (ОЕИ) в стране, возглавляемая, реализуемая и контролируемая ФАТРИМ России. Проблема повышения точности и достоверности

измерительной информации, т.е. проблема, которую должна решать метрология и результаты решения которой используют все отрасли народного хозяйства, была и остается одной из первостепенных государственных задач. Понятие «измерительная информация» охватывает любые данные о количественных характеристиках свойств веществ, материалов, изделий, продукции, процессов, явлений, полученные в результате выполнения измерений. На информации, полученной путем измерений, во многом основана деятельность всех органов управления народным хозяйством. В основе всей метрологической деятельности по решению любых научно-технических и производственных задач лежит единый метрологический базис. Этим базисом является единство измерений, т. е. такое состояние процессов получения и использования измерительной информации, при котором измерительная информация (результаты измерений) выражена в установленных единицах (шкалах) и (или) формах и оценены значения показателей ее точности (погрешности). Метрологическая деятельность, направленная на обеспечение возможности правильного и единообразного определения показателей точности (погрешности) измерительной информации, определяется как ОЕИ. До официального введения ГСИ метрологическая практика была ограничена основным, а по существу, единственным объектом деятельности – средствами измерений (мерами и измерительными приборами). Разработка ГСИ ознаменовала собой новый важный этап развития метрологической практики. Внедрение ГСИ впервые в законодательном порядке включило в сферу деятельности метрологической службы процессы и результаты измерений, переориентировало её цели и задачи с обеспечения единообразия мер и приборов на ОЕИ. При этом обеспечение единообразия мер и измерительных приборов вошло составной частью в круг задач ОЕИ.

ГСИ была принята Комитетом по стандартам 11.11.1966 г. В ее создании активное участие приняли Л.К. Горелов, М.А. Земельман, Л.А. Коноров, А.П. Руднев. Основной целью ГСИ как системы научной документации (НД), по существу, являлась регламентация метрологических правил подготовки и выполнения измерений, обработки и представления их результатов. Полное и повсеместное выполнение этих правил позволяло правильно оценивать погрешности получаемых и используемых результатов измерений.

Любая система, имеющая прикладное применение, имеет научные корни, т. е. зиждется на той или иной одной или нескольких науках. *Для ГСИ основой является метрология – наука об измерениях, методах, средствах и алгоритмах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.* Нормальное функционирование ГСИ как системы нереализуемо без физики, экономики, математики, политологии, химии

и др. наук, но метрология была, есть и останется превалирующей. Именно метрологии решать проблему повышения точности и достоверности измерительной информации. Необходимость решения проблемы определена её высокой народно-хозяйственной значимостью, которая, в свою очередь, обусловлена следующими основными причинами.

1. Отказом от административных форм управления и введением в метрологическую практику норм и требований, учитывающих переход народного хозяйства на рыночную экономику. К таким нормам и требованиям в первую очередь следует отнести передачу ранее только государственных функций управления деятельностью по ОЕИ метрологическим службам федеральных органов государственной власти и юридических лиц, введение антимонопольной политики в проведении метрологических работ, создание институтов калибровки и сертификации средств измерений, не подпадающих под действие Государственного метрологического контроля и надзора (ГМКН).

2. Масштабами деятельности, связанной с измерениями, – каждую секунду у нас в стране выполняются сотни миллионов измерений, используемых для повышения степени безопасности труда и охраны окружающей среды, технического уровня и качества продукции, учета материальных ресурсов, оптимизации технологических процессов, обеспечения безопасной и безаварийной работы транспорта, устойчивости энергетических систем, для медицинских диагнозов и торговли. Измерения являются самым массовым продуктом человеческой деятельности и спрос на этот продукт, потребности общества в этом продукте возрастают из года в год.

3. Важностью и ответственностью измерений – измерения используются на всех этапах, на всех уровнях управления народным хозяйством, и их точностью обусловлена эффективность, действенность всех форм управления и правильность любых принимаемых на основе этих измерений решений. Таким образом, измерения становятся не только самым массовым, но и особо важным и ответственным продуктом, требования к качеству которого (т. е. к точности) также непрерывно возрастают.

4. Развитием международного научно-технического сотрудничества и международной торговли – эффективное сотрудничество с зарубежными странами, совместная разработка научно-технических программ (например, в области освоения космоса, мирового океана, медицины, охраны окружающей природной среды и др.), дальнейшее развитие торговых отношений, интеграции и кооперирования производства – все это требует растущего взаимного доверия к измерениям, являющимся одним из основных объектов обмена при совместном решении научно-технических проблем, основой взаимных расчетов при торговых операциях, заключении контрактов на поставку материалов и оборудования. Следовательно, и здесь необ-

ходимое качество измерений (их точность), единообразие принципов и способов оценки и контроля этого качества имеют первостепенное значение. Вышеизложенное подтверждает, что ГСИ как система НД уже не удовлетворяет современным условиям осуществления метрологической деятельности и, следовательно, стал необходимым пересмотр ее структуры и правового статуса. В соответствии с Законом РФ «Об обеспечении единства измерений» единство измерений сегодня рассматривается как одно из важнейших условий эффективности исследований и разработок, управления производством и другими объектами, диагностики и лечения болезней, достоверного учета материальных и энергетических ресурсов, контроля качества продукции, условий безопасности труда и охраны окружающей среды, надежности работы связи и транспорта, обороны государства, а ГСИ должна трактоваться как государственная система управления деятельностью по ОЕИ.

Таким образом, ГСИ – государственная система управления деятельностью по обеспечению такого состояния измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью. Основные принципы Концепции совершенствования ГСИ сформулированы учеными ВНИИМС и ВНИИМ В.С. Александровым, Л.И. Астащенко-вым, Х.О. Малиновой, Г.П. Сафаровым, М.Н. Селивановым, Ю.В. Тарбеевым, М.Г. Шароновым. Следует отметить, что ГСИ, по сути, является квинтэссенцией Российской системы измерений, т.е. такой системы, которая представляет собой конгломерат следующих элементов: метрология, измерительная техника и потребители измерительной техники и измерительной информации. Российская система измерений должна охватывать (и охватывает) как органы и службы, обеспечивающие единство измерений в стране, так и разработчиков, производителей и пользователей продукции приборостроения. Государственное управление деятельностью по ОЕИ осуществляет ФАТРИМ России (статья 4 Закона РФ «Об обеспечении единства измерений»). Управление ОЕИ в отраслях народного хозяйства, Вооруженных силах РФ, на предприятиях и в организациях осуществляют руководители структур, определяемые в порядке, установленном законодательством РФ.

Итак, основная цель ГСИ формулируется следующим образом: создание на межотраслевом уровне правовых, нормативных, организационных, технических и экономических условий, необходимых для решения задач по обеспечению возможности всем отраслям, предприятиям, организациям, исследователям, специалистам во всех сферах деятельности правильно оценивать точность выполняемых ими измерений, а также, что не менее важно, оценивать влияние точности измерений на правильность ос-

нованной на результатах измерений информации о свойствах веществ и материалов, о количестве и качестве материальных и энергетических ресурсов, сырья, материалов, полуфабрикатов, продукции, о характеристиках процессов и явлений. Определение круга задач, которые должна решать ГСИ для достижения этой цели, требует в первую очередь определения конгломерата метрологических объектов и процессов (видов) деятельности. Этот конгломерат весьма обширен: от фундаментальных физических и химических констант до квалифицированных кадров-метрологов. Реализация ранее сформулированной цели возможна, если ГСИ вместо системы НД будет рассматриваться как функционально-организационно-техническая система, включающая в себя правовую, организационную и техническую подсистемы. Объединение этих сегодня реально существующих элементов в одну систему и присвоение этому объединению наименования «ГСИ» дает возможность обосновать, увязать рациональные пути и направления развития всех ее составляющих подсистем с единой целью, с единых системных позиции. Соответственно определяются следующие основные задачи ГСИ:

- разработка оптимальных принципов управления деятельностью по ОЕИ;
- организация и проведение фундаментальных научных исследований с целью создания более совершенных и точных методов и средств воспроизведения и передачи размеров единиц величин и шкал измерений;
- установление единиц величин и шкал измерений, допускаемых к применению;
- установление основных понятий метрологии, унификация их терминов и определений; установление экономически рациональной системы государственных эталонов тока (ГЭТ), их создание, утверждение, применение и совершенствование;
- установление систем (по видам измерений) передачи размеров единиц величин и шкал измерений от ГЭТ средствам измерений, применяемым в стране;
- создание и совершенствование вторичных и рабочих эталонов, комплектных поверочных установок и лабораторий;
- установление общих метрологических требований к эталонам, средствам измерений, методикам выполнения измерений (МВИ), методикам поверки (калибровки) средств измерений и всех других требований, соблюдение которых является необходимым условием ОЕИ;
- разработка и экспертиза разделов метрологического обеспечения федеральных и иных государственных программ, в том числе программ создания и развития производства оборонной техники; осуществление ГМК;
- утверждение типа средств измерений, поверка средств измерений, лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготов-

лению, ремонту, продаже и прокату средств измерений; осуществление ГМН за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными МВИ, эталонами, соблюдением метрологических правил и норм, количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций, количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже;

- разработка принципов оптимизации материально-технической и кадровой базы органов ГМС;
- аттестация МВИ;
- калибровка и сертификация средств измерений, не подлежащих ГМКН;
- аккредитация метрологических служб и иных структур юридических или физических лиц по различным видам метрологической деятельности;
- аккредитация поверочных, калибровочных, измерительных, испытательных и аналитических лабораторий, лабораторий неразрушающего и радиационного контроля в составе действующих в РФ систем аккредитации;
- участие в работе международных организаций, деятельность которых связана с ОЕИ, и в подготовке к вступлению России во Всемирную торговую организацию (ВТО);
- установление совместно с компетентными федеральными органами государственной власти порядка определения стоимости (цены) метрологических работ и регулирования тарифов на эти работы;
- организация подготовки и подготовка кадров метрологов; информационное обеспечение по вопросам ОЕИ; совершенствование и развитие ГСИ.

Гарантией успешного решения поставленных задач и соответственно надёжного функционирования ГСИ является четкое взаимодействие составляющих её подсистем (как было упомянуто ранее, правовой, организационной и технической). Правовая подсистема представляет собой комплекс законодательных актов и межотраслевых нормативных и рекомендательных документов, регламентирующих общие правила и нормы в метрологии, государственных поверочных схемах (ГПС), методики поверки (калибровки) и МВИ. Комплекс метрологических документов основан и тесно взаимосвязан с Государственной системой стандартизации, которая определяет порядок планирования, разработки, внедрения документов, структуру их построения и содержания. Документы ГСИ также взаимосвязаны со стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП). В свою очередь, нормы и требования, установленные в метрологических документах, учитываются в этих системах.

Организационная подсистема ГСИ – совокупность подразделений Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (ФАТРИМ) России, осуществляющих функции по обеспечению единства измерений, Главного научного метрологического центра (ГНМЦ) и органов ГМС, Государственной службы времени и частоты (ГСВЧ), Государственной службы стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО), Государственной службы стандартных справочных данных (ГСССД), метрологических служб федеральных органов государственной власти и юридических лиц, Метрологической службы Вооруженных Сил РФ, деятельность которых направлена на обеспечение единства и требуемой точности измерений при исследованиях, разработке, производстве, испытаниях, контроле, эксплуатации и ремонте продукции. Техническую подсистему составляют ГЭТ, установки высшей точности (УВТ), рабочие эталоны всех разрядов, СО и испытательное оборудование, необходимые для осуществления метрологического контроля и надзора. Эти подсистемы реально функционируют уже в течение многих десятилетий. Так, в частности, нормативная база ГСИ к началу 1999 г. насчитывает около 2 500 обязательных и рекомендательных документов, регламентирующих практически все аспекты в области метрологии. Возглавляют этот солидный массив документации Закон РФ «Об обеспечении единства измерений» и Постановление Правительства РФ от 12 февраля 1994 г. № 100. Организационную, научную и практическую деятельность по обеспечению единства измерений осуществляют 11 метрологических научно-исследовательских институтов и центров и 104 центра стандартизации и метрологии (ЦСМ) ФАТРИМ России, более 30 тысяч метрологических служб организаций и предприятий других министерств и ведомств. Техническую основу составляют 114 ГЭТ, 76 УВТ, около 15 млн рабочих эталонов (ранее – образцовых средств измерений) и средств испытаний, более 8 000 типов стандартных образцов.

1.9. Структура и функции государственной метрологической службы и метрологических служб организаций

В настоящее время метрологическая служба России состоит из Государственной метрологической службы, а также из метрологических служб органов Государственного управления и юридических лиц. Единство измерений этих служб заключается в руководстве Госстандартом России всей метрологической деятельностью, в единой основной задаче – обеспечении единства измерений и единых нормативных документов по вопросам метрологического обеспечения, имеющих обязательную силу на территории РФ.

Государственная метрологическая служба включает:

- государственные научные метрологические центры (ГНМЦ);
- органы Государственной метрологической службы на территориях республик в составе Российской Федерации, автономной области, автономных округов, областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

Общее руководство Государственной метрологической службой осуществляет Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, на которое Законом «Об обеспечении единства измерений» возложены следующие функции:

- межрегиональная и межотраслевая координация деятельности по обеспечению единства измерений;
- представление Правительству РФ предложений по единицам величин, допускаемым к применению;
- установление правил создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц величин;
- определение общих метрологических требований к средствам, методам и результатам измерений;
- государственный метрологический контроль и надзор;
- контроль за соблюдением условий международных договоров РФ о признании результатов испытаний и поверки средств измерений;
- руководство деятельностью Государственной метрологической службы и иных государственных служб обеспечения единства измерений;
- участие в деятельности международных организаций по вопросам обеспечения единства измерений;
- утверждение нормативных документов по обеспечению единства измерений;
- утверждение государственных эталонов;
- установление межповерочных интервалов средств измерений;
- отнесение технических устройств к средствам измерений;
- установление порядка разработки и аттестации методик выполнения измерений;
- ведение и координация деятельности Государственных научных метрологических центров, Государственной метрологической службы, Государственной службы времени и частоты, Государственной службы стандартных образцов, Государственной службы стандартных справочных данных;
- аккредитация государственных центров испытаний средств измерений;
- утверждение типа средств измерения;
- ведение Государственного реестра средств измерений;

- аккредитация метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений;
- утверждение перечней средств измерений, подлежащих поверке;
- установление порядка лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;
- организация и координация деятельности государственных инспекторов по обеспечению единства измерений;
- организация деятельности и аккредитация метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ;
- планирование и организация выполнения метрологических работ.

В состав Государственной метрологической службы входит ряд метрологических научно-исследовательских институтов:

- Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВИНИМС, г. Москва);
- НПО «ВНИИ метрологии имени Д.И. Менделеева» (ВНИИМ, г. С.-Петербург);
- НПО «ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений» (ВНИИФТРИ, Московская область);
- Сибирский государственный научно-исследовательский институт метрологии (СНИИМ, г. Новосибирск);
- Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ, г. Екатеринбург);
- Всероссийский научно-исследовательский институт расходометрии (ВНИИР, г. Казань);
- Восточно-сибирский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВС ВНИИФТРИ, г. Иркутск).

Государственные научные метрологические центры несут ответственность за создание, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов, а также за разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений. Научные центры являются хранителями государственных эталонов, проводят исследования в области теории измерений, принципов и методов высокоточных измерений, разработки научно-методических основ совершенствования Российской системы измерений.

Органами Государственной метрологической службы являются центры стандартизации, метрологии и сертификации – ЦСМиС (их более 100). Эти центры расположены по всей территории России. В Москве находится Российский центр испытаний и сертификации (РОСТЕСТ-Москва), в Санкт-Петербурге – Тест-С.-Петербург. Органы государственной службы проводят работы по поверке и калибровке средств измерений, осуществ-

ляют Государственный метрологический контроль и надзор за обеспечением единства измерений.

Обеспечением единства измерений заняты и другие государственные службы: Государственная служба времени и частоты и определения параметров Земли, Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов.

Метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц создаются для выполнения работ по обеспечению единства измерений, повышения уровня метрологического обеспечения. Допускается возложение отдельных функций метрологической службы на иные структурные подразделения. Метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц организуют свою деятельность на основе положений Закона РФ «Об обеспечении единства измерений», других законодательных и нормативных документов, регламентирующих вопросы метрологии. Основные задачи, права и обязанности метрологических служб государственных органов управления и юридических лиц независимо от форм собственности определены в Правилах ПР 50.732-93 ГСИ «Типовое положение о метрологической службе государственных органов управления и юридических лиц».

Метрологическая служба государственного органа управления представляет собой систему, образуемую приказом руководителя государственного органа управления, которая может включать: подразделение (службу) главного метролога в центральном аппарате; головные и базовые организации метрологической службы в отраслях; метрологические службы предприятий.

К основным задачам метрологических служб относятся:

- калибровка средств измерений;
- надзор за состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, применяемых для калибровки средств измерений, соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений;
- выдача обязательных предписаний, направленных на предотвращение, прекращение или устранение нарушений метрологических правил и норм;
- проверка своевременности представления средств измерений на испытания в целях утверждения типа средств измерений, а также на поверку и калибровку;
- анализ состояния измерений, испытания и контроля на предприятии, в организации.