

ЛЕКЦИЯ №1

«Введение в учебную дисциплину»

Разработка, изготовление и эксплуатация радиоэлектронных и электронно-вычислительных средств неизбежно связаны с выполнением большого числа измерений. При этом получаемая информация используется как для собственно измерения, так и для выработки соответствующих управляющих сигналов, логических заключений и суждений в таких процедурах, как управление, контроль, диагностирование, идентификация и т.п. Очевидно, что выбор методов и средств измерения в каждом конкретном случае должен обеспечивать получение требуемых показателей качества конечного результата. Таким образом, перед специалистом встает задача правильного выбора метода и средства измерений, должной организации измерительного эксперимента, обработки и представления результатов измерений в соответствии с принципами метрологии и действующими в этой области нормативными документами.

Отсюда следует необходимость соответствующей метрологической подготовки специалистов в области конструирования и технологии радиоэлектронных и электронно-вычислительных средств, чтобы они могли решать многообразные измерительные задачи и обеспечивать соблюдение требований системы стандартов Государственной системы измерений в повседневной практической деятельности. Полученные знания позволят специалисту квалифицированно решать вопросы метрологической подготовки производства, метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации.

В процессе познавательной деятельности человека возникает множество задач, для решения которых необходимо располагать количественной информацией о том или ином свойстве объектов материального мира (явления, процесса, вещества, изделия). Основным способом получения такой информации являются измерения, при правильной организации информации и выполнении которых получают результат измерения с большей или меньшей точностью отражающий интересующие свойства объекта познания. Информация о свойствах и качествах объектов, полученная посредством измерений, называется ***измерительной информацией***.

Вы как студенты уже с первого курса работаете в лабораториях, выполняя лабораторные задания. При этом в основе большинства лабораторных работ лежат измерения. Результаты любых измерений, как бы тщательно и на каком бы высоком уровне они не выполнялись, неизбежно содержат некоторые погрешности. Абсолютно точных измерений не может быть принципиально. Именно поэтому даже самая успешная работа студента в лаборатории, наряду с изучением методов и средств измерений и приобретением навыков измерений, предполагает также их знакомство с современными методами математической обработки результатов измерений, анализа и оценивания погрешностей.

Результат любого измерения заслуживает внимания лишь при условии, что он сопровождается оценкой погрешности измерения, либо дополняется

сведениями, позволяющими потребителю измерительной информации оценить точность измерения самостоятельно. С другой стороны, важно не только уметь выполнять измерение и оценить погрешность результата, но и так спланировать и осуществить процедуру измерения, чтобы обеспечить требуемую точность или свести погрешности к минимуму.

Говоря о точности измерений, следует заметить, что уровень точности, к которому надо стремиться, должен определяться критериями технической и экономической целесообразности. Известно, что увеличение точности измерения вдвое – удорожает само измерение в несколько раз. В то же время снижение точности измерения в производстве ниже определенной нормы приводит к браку продукции. При назначении точности измерений важно также учитывать их значимость. В одних случаях недостаточная точность получаемой измерительной информации имеет небольшое или локальное значение, в других играет исключительно важную роль: от точности измерения может зависеть научное открытие или жизнь и здоровье людей.

С развитием науки, техники и разработкой новых технологий измерения охватывают все новые и новые физические величины, существенно расширяются диапазоны измерений как в сторону измерения сверхмалых значений, так и в сторону очень больших значений физических величин. Непрерывно повышаются требования к точности измерений; с высокой точностью необходимо измерять параметры и характеристики процессов в частотном диапазоне от инфранизких до сверхвысоких частот; при этом геометрические размеры объектов измерения многократно отличаются друг от друга (изделия микроэлектроники и изделия крупного машиностроения).

В этих условиях, чтобы успешно справиться с многочисленными и разнообразными проблемами измерений, необходимо освоить некоторые принципы и решения, нужен единый научный и законодательный фундамент, обеспечивающий на практике высокое качество измерений, независимо от того, где и с какой целью они производятся. Таким фундаментом является метрология.

Метрология - наука об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Метрология (греч.), «метрон» - мера и «логос» - учение. Если еще в начале XX века под словом метрология понималась наука, главной задачей которой было описание всякого рода мер, применяемых в разных странах, областях, городах, то теперь это понятие приобрело более широкий научный и практический смысл, расширилось содержание метрологической деятельности. Сформировались и развиваются две взаимосвязанные ветви метрологии: научная и законодательная метрология. Научная метрология, являясь базой измерительной техники, занимается изучением проблем измерения в целом и образующих измерение элементов: средств измерений, физических величин и их единиц, методов и методик измерений, результатов и погрешностей измерений.

Ежедневно в стране выполняются миллионы измерений. Очевидно, что измерения, производимые с помощью разнообразных по принципу действия,

методикам применения и точности средств измерения, могут быть полезны лишь тогда, когда их результатам можно доверять, когда результаты измерения, полученные разными экспериментаторами в разное время и в разных местах, можно при необходимости сопоставить, сравнить между собой. Другими словами — необходимо обеспечить единство измерений в масштабе от небольшого предприятия до государства в целом. Для этого метрология наделена законодательными функциями. Законодательная метрология разрабатывает и внедряет нормы и правила выполнения измерений, устанавливает требования, направленные на достижение единства измерений, порядок разработки и испытаний средств измерений, устанавливает термины и определения в области метрологии, единицы физических величин и правил их применения. Все эти нормы, правила и требования устанавливаются государственными стандартами Государственной системы обеспечения единства измерений (стандарты ГСИ) и другими обязательными к применению нормативно-техническими документами.

В сферу деятельности современной метрологии входит и определение наиболее точных значений важнейших физических констант (скорости света, ускорения силы тяжести и др.), необходимых для многих отраслей науки и техники. Метрология обеспечивает потребителей стандартными образцами веществ и материалов, состав и физико-химические характеристики которых определены с необходимой точностью. Методы метрологии широко используются в смежных отраслях знаний, таких как оценивание и контроль качества продукции, сертификация промышленной продукции, аттестация программ и алгоритмов обработки данных и др.

Метрология делится на три самостоятельных и взаимно дополняющих раздела, основным из которых является «Теоретическая метрология», в нем излагаются общие вопросы теории измерений. «Прикладная метрология» - это изучение вопросов практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований. «Законодательная метрология» рассматривает комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, требований и норм, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерения (СИ).

Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью. *Средства метрологии* – это совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное использование.

Основное понятие метрологии – *измерение*. Согласно ГОСТ 16263-70, измерение — это нахождение значения физической величины (**ФВ**) опытным путем с помощью специальных технических средств. Значимость измерений выражается в трех аспектах: философском, научном и техническом.

Философский аспект состоит в том, что измерения являются важнейшим универсальным методом познания физических явлений и процессов.

Научный аспект измерений состоит в том, что с их помощью в науке осуществляет связь теории и практики. Без измерений невозможна проверка научных гипотез и соответственно развитие науки.

Структура теоретической метрологии

Основные представления метрологии.

Основные понятия и термины. Этот подраздел занимается обобщением и уточнением понятий, сложившихся в отдельных областях измерений с учетом специфики метрологии. Главной задачей является создание единой системы основных понятий метрологии, которая должна служить базой для её развития. Значение системы понятий определяется значимостью самой теории измерений и тем, что указанная система стимулирует взаимопроникновение методов и результатов, наработанных в отдельных областях измерений.

Постулаты метрологии. В этом подразделе развивается аксиоматическое построение теоретических основ метрологии, выделяются такие постулаты, на основании которых можно построить содержательную и полную теорию и вывести важные практические следствия.

Учения о физических величинах. Основной задачей подраздела является построение единой системы ФВ, т.е. выбор основных величин системы и управлений связи для определения производных величин. Система ФВ служит основой для построения системы единиц ФВ, рациональный выбор которой важен для успешного развития теории и практики метрологического обеспечения.

Методология измерений. В подразделе разрабатывается научная организация измерительных процессов. Вопросы метрологической методологии являются весьма существенными, поскольку она объединяет области измерений, различные по физической природе измеряемых величин и методов измерений. Это создает определенные трудности при систематизации и объединении понятий, методов и опыта, накопленного в различных областях измерений. К числу основных направлений работ по методологии относятся:

1. переосмысление основ измерительной техники и метрология в условиях существенного обновления арсенала методов и средств измерений и широкого внедрения микропроцессорной техники;
2. структурный анализ измерительных процессов с системных позиций;
3. разработка принципиально новых подходов к организации процедуры измерений.

Теория единства измерений.

Теория единиц физических величин. Основная цель подраздела — совершенствование единиц ФВ в рамках существующей системы величин, заключающееся в уточнении и переопределении единиц. Другой задачей является развитие и совершенствование системы единиц ФВ, т.е. изменение состава и определений основных единиц. Работы в этом направлении

проводятся постоянно на основе использования новых физических явлений и процессов.

Теория исходных средств измерений. В данном подразделе рассматриваются вопросы создания рациональной системы эталонов единиц ФВ, обеспечивающих требуемый уровень единства измерений. Перспективное направление совершенствования эталонов — переход к эталонам, основанным на стабильных естественных физических процессах. Для эталонов основных единиц принципиально важным является достижение максимально возможного уровня для всех метрологических характеристик.

Теория передачи размеров единиц физических величин. Предметом изучения подраздела являются алгоритмы передачи размеров единиц ФВ при централизованном и децентрализованном их воспроизведении. Указанные алгоритмы должны быть основаны как на метрологических, так и технико-экономических показателей.

Теория построения средств измерений.

В разделе обобщается опыт конкретных наук в области построения средств и методов измерений. Важной задачей является разработка новых и совершенствование известных измерительных преобразователей.

Теория точности измерений.

В данном разделе метрологии обобщены методы, развиваемые в конкретных областях измерений. Он состоит из 3 подразделов:

Теория погрешностей. Этот подраздел центральный в метрологии, поскольку результаты измерений объективны настолько, насколько правильно оценены их погрешности. Предметом теории погрешностей является классификация погрешностей измерений, изучение и описание их свойств. Важной частью подраздела является теория суммирования погрешностей.

Теория точности средств измерений. Подраздел включает: теорию погрешностей средств измерений, принципы и методы определения и нормирования метрологических характеристик средств измерений, методы анализа их метрологической надежности.

Теория измерительных процедур. Повышение сложности измерительных задач, постоянный рост требований к точности измерений, усложнение методов и средств измерений обуславливают проведение исследований, направленных на обеспечение рациональной организации и эффективного выполнения измерений. При этом главную роль играет анализ измерений как совокупности взаимосвязанных этапов, т.е. как процедуры. Подраздел включает теорию методов измерений; методы обработки измерительной информации; теорию планирования измерений; анализ предельных возможностей измерений.

Теория методов измерений — подраздел, посвященный разработке новых методов измерений и модификации существующих, что связано с ростом требований к точности измерений, диапазонам, быстродействию, условиям проведения измерений. С помощью современных средств измерений реализуются сложные совокупности классических методов. Поэтому остается актуальной традиционная задача совершенствования существующих методов и исследования их потенциальных возможностей с учетом условий реализации.

Методы обработки измерительной информации, используемые в метрологии, основываются на методах, которые заимствуются из математики, физики и других дисциплин. В связи с этим актуальна задача обоснованности выбора и применения того или иного способа обработки измерительной информации и соответствия требуемых исходных данных теоретического способа тем, которым реально располагает экспериментатор.

Теория планирования измерений — область метрологии, которая весьма развивается. К числу ее основных задач относятся уточнение метрологического содержания задач планирования измерений и обоснование заимствований математических методов из общей теории планирования эксперимента.

Анализ предельных возможностей измерений на данном уровне развития науки и техники позволяет решить такую главную задачу, как исследование предельной точности измерений при помощи конкретных типов или экземпляров средств измерений.

История развития метрологии.

Измерения являются одним из самых древних занятий в познавательной деятельности человека. Их возникновение относится к истокам материальной культуры человечества.

В древнейшие времена люди обходились только счетом однородных объектов — голов скота, числа воинов и т.п. Такой счет не требовал введения понятия физической величины и установления условных единиц измерения. Не было потребности в изготовлении и использовании специальных технических средств для проведения счета. Однако по мере развития общества появилась необходимость в количественной оценке различных величин — расстояний, веса, размеров, объемов и т.д. Эту оценку старались свести к счету, для чего выбирались природные и антропологические единицы. Например, время измерялось в сутках, годах; линейные размеры — в локтях, ступнях; расстояния — в шагах, сутках пути. Позже, в процессе развития промышленности, были созданы специальные устройства — средства измерений, предназначенные для количественной оценки различных величин. Так появились часы, весы, меры длины и другие измерительные устройства.

На определенном этапе своего развития измерения стали причиной возникновения метрологии. Долгое время последняя существовала как описательная наука, констатирующая сложившиеся в обществе соглашения о мерах используемых величин. Развитие науки и техники привело к использованию множества мер одних и тех же величин, применяемых в различных странах. Так, расстояние в России измерялось верстами, а в Англии — милями. Все это существенно затрудняло сотрудничество между государствами в торговле, науке.

С целью унифицировать единицы ФВ, сделать их независимыми от времени и разного рода случайностей во Франции была разработана метрическая система мер. Эта система строилась на основе естественной единицы — метра, равного одной сорокамиллионной части меридиана, проходящего через Париж. За единицу массы принимался килограмм — масса

кубического дециметра чистой воды при температуре $+4^{\circ}\text{C}$. Учредительное собрание Франции 26 марта 1791 г. утвердило предложения Парижской академии наук. Это явилось серьезной предпосылкой для проведения международной унификации единиц ФВ.

В 1832 г. К. Гаусс предложил методику построения систем единиц ФВ как совокупности основных и производных величин. Он построил систему единиц, названную *абсолютной*, в которой за основу были приняты три произвольные, независимые друг от друга единицы: длины — миллиметр, массы — миллиграмм и времени — секунда.

В 1835 г. в России был издан указ "О системе Российских мер и весов", в котором были утверждены эталоны длины (платиновая сажень) и массы (платиновый фунт). В 1842 г. на территории Петропавловской крепости в Санкт-Петербурге в специально построенном здании открылось первое метрологическое учреждение России — Депо образцовых мер и весов. В нем хранились эталоны и их копии, изготавливались образцовые меры для передачи в другие города, проводились сличения российских мер с иностранными. Деятельность Депо регламентировалась "Положением о мерах и весах", которое положило начало государственному подходу к обеспечению единства измерений в стране. В 1848 г. в России вышла первая книга по метрологии — "Общая метрология", написанная Ф.И. Петрушевским. В этой работе описаны меры и денежные знаки различных стран.

В 1875 г. семнадцать государств, в том числе и Россия, на дипломатической конференции подписали Метрическую конвенцию, к которой в настоящее время примкнула 41 страна мира. Согласно этой конвенции устанавливается международное сотрудничество подписавших ее стран. Для этого было создано Международное бюро мер и весов (МБМВ), находящееся в г. Севре близ Парижа. В нем хранятся международные прототипы ряда мер и эталоны единиц некоторых ФВ. В соответствии с конвенцией для руководства деятельностью МБМВ был учрежден Международный комитет мер и весов (МКМВ), в который вошли ученые из различных стран. Сейчас при МКМВ действуют семь консультативных комитетов: по единицам, определению метра, секунды, термометрии, электричеству, фотометрии и по эталонам для измерения ионизирующих излучений.

Очень много для развития отечественной метрологии сделал Д.И. Менделеев. Период с 1892 по 1917 г. называют менделеевским этапом развития метрологии. В 1893 г. на базе Депо образцовых мер и весов была утверждена Главная палата мер и весов, управляющим которой до последних дней жизни был Д.И. Менделеев. Она стала одним из первых в мире научно-исследовательских учреждений метрологического профиля.

До 1918 г. метрическая система внедрялась в России факультативно, наряду со старой русской и английской (дюймовой) системами. Значительные изменения в метрологической деятельности стали происходить после подписания Советом народных комиссаров РСФСР декрета "О введении международной метрической системы мер и весов". Внедрение метрической системы в России происходило с 1918 по 1927 г. После Великой Отечественной

войны и до сего времени метрологическая работа в нашей стране проводится под руководством Государственного комитета по стандартам (Госстандарт).

В 1960 г. XI Международная конференция по мерам и весам приняла Международную систему единиц ФВ — систему СИ. Сегодня метрическая система узаконена более чем в 124 странах мира.

В настоящее время на базе Главной палаты мер и весов существует высшее научное учреждение страны — Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева (ВНИИМ). В лабораториях института разрабатываются и хранятся государственные эталоны единиц измерений, определяются физические константы и свойства веществ и материалов. Тематика работ института охватывает линейные, угловые, оптические и фотометрические, акустические, электрические и магнитные измерения, измерения массы, плотности, силы, давления, вязкости, твердости, скорости, ускорения и ряда других величин.

В 1955 г. под Москвой был создан второй метрологический центр страны — ныне Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ). Он разрабатывает эталоны и средства точных измерений в ряде важнейших областей науки и техники: радиоэлектронике, службе времени и частоты, акустике, атомной физике, физике низких температур и высоких давлений.

Третьим метрологическим центром России является Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС) — головная организация в области прикладной и законодательной метрологии. На него возложена координация и научно-методическое руководство метрологической службой страны. Кроме перечисленных существует ряд региональных метрологических институтов и центров.

К международным метрологическим организациям относится и Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), образованная в 1956 г. При МОЗМ в Париже работает Международное бюро законодательной метрологии. Его деятельностью руководит Международный комитет законодательной метрологии. Некоторые вопросы метрологии решает Международная организация по стандартизации (ИСО).