

**Е.Н. Смирнов, М.Л. Хасанова,
В.А. Белевитин, Е.П. Меркулов**

**МЕТРОЛОГИЯ И КОНТРОЛЬ
ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Челябинск
2018

УДК 006
ББК 65.5

С 93

Смирнов, Е.Н. Метрология и контроль технологий в производстве конструкционных материалов [Текст]: учеб.-методич. пособие / Е.Н. Смирнов, М.Л. Хасанова, В.А. Белевитин, Е.П. Меркулов. – Челябинск: Изд-во "Библиотека А Миллера", 2018. – 131 с.

ISBN 978-5-93162-089-3

Учебно-методическое пособие раскрывает основы и роль метрологии для развития науки и техники, основные ее термины, используемые системы физических величин, способы, средства и методы измерений, их классификацию и принципы оценки погрешностей, проблемы и задачи в области метрологии в перспективе. Приведены методы оценки качества продукции при реализации технологий в производстве конструкционных материалов, сопровождающихся анализами качества металлопродукции, состава металла, газов в стали и сплавах, сортопрокатной продукции.

Пособие рекомендуется для студентов и профессорско-педагогического состава вузов, для всех, кто занимается решением вопросов метрологического сопровождения и контроля технологий в производстве конструкционных материалов.

Рецензенты: Г.А. Орлов, д-р техн. наук, профессор
К.Н. Семендяев, канд. пед. наук, доцент

ISBN 978-5-93162-089-3

© Е.Н. Смирнов, М.Л. Хасанова,
В.А. Белевитин, Е.П. Меркулов 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Условные обозначения, основные понятия и термины.....	5
1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ.....	11
1.1. Роль метрологии для развития науки и техники.....	11
1.2. Метрология и методы измерения.....	14
1.2.1. Основные термины и их определение.....	14
1.2.2. Системы физических величин.....	17
1.2.3. Международная система единиц СИ.....	21
1.2.4. Практическая реализация единиц системы СИ. ...	27
1.2.5. Способы и методы измерения.....	49
1.2.6. Классификация средств измерений.....	50
1.2.7. Элементарные средства измерения.....	52
1.2.8. Комплексные средства измерений.....	55
1.2.9. Измерительные системы и измерительно- вычислительные комплексы.....	59
1.3. Погрешности измерений.....	61
1.3.1. Классификация погрешностей.....	61
1.3.2. Принципы оценивания погрешностей.....	68
1.4. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ).....	74
1.4.1. Цель и задачи ГСИ.....	74
1.4.2. Организационные основы обеспечения единства измерений.....	76
1.4.3. Органы по метрологии.....	79
1.4.4. Международные и региональные организации по метрологии.....	80
1.4.5. Метрологическая деятельность в области обеспечения единства измерений.....	82

1.4.6. Формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений.....	85
1.4.7. Проблемы и задачи в области метрологии в перспективе	88
2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ.....	89
2.1. Оценка качества продукции путем подтверждения соответствия.....	89
2.2. Цели и принципы подтверждения соответствия....	93
2.3. Сертификация как процедура подтверждения соответствия.....	94
2.4. Участники сертификации.....	97
2.5. Правила обязательной сертификации.....	100
2.6. Схемы обязательной сертификации.....	101
3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ ПРОДУКТОВ ПРОИЗВОДСТВА.....	104
3.1. Контроль качества металлопродукции.....	104
3.2. Методы анализа состав металла.....	108
3.3. Методы анализа газов в стали и сплавах.....	114
3.4. Методы контроля качества сортопрокатной продукции	120
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	127

Условные обозначения, основные понятия и термины

- ААИРФ – Ассоциация автомобильных инженеров РФ
- АТ – Автомобильная техника
- АТС – Автотранспортные средства
- ГАП – Грузовые автомобильные перевозки
- ГМКН – Государственный метрологический контроль
и надзор
- ГМН – Государственный метрологический надзор
- ГМС – Государственная метрологическая служба
- ГСИ – Государственная система обеспечения
единства измерений
- ГСС РФ – Государственная (национальная) система
стандартизации РФ
- ДВС – Двигатель внутреннего сгорания
- ДСАТ – Добровольная система сертификации на
автомобильном транспорте
- ЖЦП – Жизненный цикл продукции
- КШМ – Кривошипно-шатунный механизм
- МВИ – Методика выполнения измерений
- МС – Метрологическая служба
- НАМИ – Научный автотворный институт
- НД – Нормативные документы
- НИИАТ – Научно-исследовательский институт
автомобильного транспорта
- НМЦ – Научно-методический центр системы ДСАТ
- ОЕИ – Система обеспечения единства измерений
- ОС – Орган по сертификации
- ПР – Правила по сертификации
- РГ – Рабочие группы
- РОС – Руководящий орган системы ДСАТ
- СК – система качества

- СОЕИ – Система обеспечения единства измерений
- СП – Санитарные правила
- СС – Совет системы ДСАТ
- СТР – Специальные технические регламенты
- ТО – Техническое обслуживание
- ТР – Технический регистр
- ТС – Транспортные средства
- ЦОС – Центральные органы системы ДСАТ

Ниже приведены термины и определения, относящиеся к области технико-технологического регулирования производства конструкционных материалов.

Аккредитация – официальное признание органом по аккредитации компетентности физического или юридического лица выполнять работы в определенной области оценки соответствия;

Безопасность продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации (далее – безопасность) – состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений;

Ветеринарно-санитарные и фитосанитарные меры – обязательные для исполнения требования и процедуры, устанавливаемые в целях защиты от рисков, возникающих в связи с проникновением, закреплением или распространением вредных организмов, заболеваний, переносчиков болезней или болезнетворных организмов, в т.ч. в случае переноса или распространения их животными и (или)

растениями, с продукцией, груза-ми, материалами, транспортными средствами, с наличием добавок, загрязняющих веществ, токсинов, вредителей, сорных растений, болезнетворных организмов, в том числе с пищевыми продуктами или кормами, а так-же обязательные для исполнения требования и процедуры, устанавливаемые в целях предотвращения иного связанного с распространением вредных организмов ущерба;

Декларирование соответствия – форма подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов;

Декларация о соответствии – документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов;

Заявитель – физическое или юридическое лицо, осуществляющее обязательное подтверждение соответствия;

Знак обращения на рынке – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов;

Знак соответствия – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту;

Идентификация продукции – установление тождественности характеристик продукции ее существенным признакам;

Испытательная лаборатория (испытательный центр) – лаборатория (центр), которая проводит испытания (отдельные виды испытаний) определенной продукции (далее – испытательная лаборатория).

Контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов – проверка выполнения юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем требований технических регламентов к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации и принятие мер по результатам проверки;

Международный стандарт – стандарт, принятый международной организацией;

Национальный стандарт – стандарт, утвержденный национальным органом Российской Федерации по стандартизации;

Орган по сертификации – юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, аккредитованные в установленном порядке для выполнения работ по сертификации;

Оценка соответствия – прямое или косвенное определение соблюдения требований, предъявляемых к объекту;

Подтверждение соответствия – документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров;

Продукция – результат деятельности, предоставленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях;

Процесс организации услуги – деятельность исполнителя, необходимая для оказания услуги (ИСО 9004-2);

Риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда;

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров;

Сертификация соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров;

Система сертификации – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участников и правил функционирования системы сертификации в целом;

Способ (форма, схема) сертификации – определенная совокупность действий, официально принимаемая (устанавливаемая) в качестве доказательства соответствия продукции заданным требованиям (далее – схема сертификации);

Стандарт – документ, в котором в целях добровольного многократного использования устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг. Стандарт еще может содержать требования к терминологии, символике, упаковке, маркировке или этикеткам;

Стандартизация – деятельность по установлению правил и характеристик в целях их добровольного много-

кратного использования, направленная на достижение упорядоченности в сферах производства и обращения продукции и повышение конкурентоспособности продукции, работ или услуг;

Технический регламент – документ, который принят международным договором РФ, ратифицированным в порядке, установленном законодательством РФ, или федеральным законом, или указом Президента РФ и, или постановлением правительства РФ, и устанавливает обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации);

Услуга – результат взаимодействия исполнителя и потребителя и собственной деятельности исполнителя по удовлетворению потребностей потребителя).

Форма подтверждения соответствия – определенный порядок документального удостоверения соответствия продукции или иных объектов, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов или условиям договоров.

1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

1.1. Роль метрологии для развития науки и техники

Современный человек в течение всей своей жизни постоянно имеет дело с измерениями. Каждый день мы смотрим на часы, определяя и сверяя время с сигналами точного времени, измеряем температуру в квартире и за окном дома, следим за показаниями весов в магазине, метеобюро нам сообщает о температуре, влажности, давлении атмосферного воздуха и даже величину радиационного фона. Производственная деятельность человека также сопровождается многочисленными и многообразными измерениями, без которых невозможно контролировать ход технологического процесса.

Познание окружающего мира, а также повседневный количественный контроль за всеми сторонами человеческой деятельности осуществляется с использованием метода непосредственного измерения тех или иных величин. На важность измерения указывали многие ученые. Так, Д.И. Менделеев писал: "Наука начинается с тех пор, как начинают измерять; точная наука немислима без меры". Многие научные исследования сопровождаются измерениями, которые позволяют установить количественные соотношения между различными явлениями окружающего мира и установить закономерности изучаемых явлений.

Прогресс в области измерений всегда способствует новым открытиям, а достижения науки приводят к совершенствованию методов и средств измерений. Разработка новых технологий, получение новых материалов отражаются в характеристиках средств измерений.

В настоящее время в промышленности все большее распространение получают современные средства для измерения различных технологических параметров. Среди них можно выделить следующие основные группы:

- цифровые измерительные приборы и аналого-цифровые преобразователи;
- измерительные преобразователи электрических и неэлектрических величин в электрические сигналы;
- измерительные информационные системы и измерительно-вычислительные комплексы;
- измерительно-вычислительные средства на основе использования микропроцессоров в микро-ЭВМ.

В области метрологического обеспечения перед учеными стоят следующие задачи:

- совершенствование и опережающее развитие эталонной базы, повышение точности воспроизведения единиц величин, переход на эталоны, основанные на фундаментальных законах природы;
- усовершенствование системы передачи единиц величин к средствам измерений, автоматизация поверочных операций; расширение сферы метрологического обеспечения на недостаточно охваченные области измерений;
- развитие общей теории измерений, теории погрешности измерений и др.

По мере развития техники измерения становятся все более сложными, однако, суть измерения, заключающаяся в сопоставлении количественного выражения какой-то физической величины с другой такой же физической величиной, принятой за единицу, остается без изменений.

В настоящее время метрология, как наука, решает следующие задачи:

– расширение номенклатуры физических величин, которые необходимо измерять. Для современного уровня науки и техники требуется измерить более 2000 физических величин, а разработаны методы и средства для измерения около 700 физических величин;

– расширение диапазона измерения для конкретной физической величины. Например, требуется измерить давление от 10-10 Па до 0,4-1010 Па, для температуры от 0,001 °С до нескольких миллиардов градусов и т.д.

– требования точности измерений. Уровень точности, к которому надо стремиться, должен определяться критерием целесообразности. Известно [1-3], что увеличение точности в два раза удорожает измерения в несколько раз. Однако, снижение точности измерений ниже нормы приводит к браку продукции. От точности результата измерений может зависеть научное открытие (точное измерение параметров орбиты планеты Нептун позволило открыть самую дальнюю планету солнечной системы Плутон) или жизнь людей (например, при измерении концентрации метана в шахтах);

– быстрота (скорость) получения измерительной информации. Измерительные устройства с большим быстродействием позволяют контролировать быстропротекающие процессы, например, процессы сжигания топлива в теплоэнергетических агрегатах, газогидродинамические явления при движении газовых, жидких и паровых сред, как в рабочем пространстве, так и в различных каналах агрегатов;

– разработка бесконтактных методов измерений. Использование таких методов позволяет устанавливать измерительные устройства на достаточном расстоянии от объ-

екта и устранить агрессивное (химическое, тепловое, механическое и др.) воздействие объекта на измерительное устройство. С другой стороны, измерительное устройство не воздействует на объект и не изменяет его параметры;

- разработка интеллектуальных датчиков и измерительных роботов. Такие устройства базируются на основе микропроцессорной техники и позволяют в автоматическом режиме вводить корректирующие поправки, учитывающие влияние различных факторов на точность измерения, изменять диапазоны измерения и другие функции;

- требования высокой квалификации операторов. Возрастающее количество новых средств и методов измерения физических величин, усложнение конструкции этих средств и увеличение их функциональных возможностей требует высококвалифицированных специалистов в области точных измерений.

1.2. Метрология и методы измерения

1.2.1. Основные термины и их определение

Метрология в ее современном понимании — это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, способах достижения требуемой точности.

Основные термины и определения в области метрологии приведены ниже.

Измерения — отображение физических величин с помощью обозначений как результат эксперимента и вычислений с применением специальных технических средств.

Единица измерения — физическая величина определенного размера, принятая для количественного отображения однородных с ней величин.

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражаются в узаконенных единицах, а погрешности известны и с заданной вероятностью не выходят за установленные пределы.

Главным нормативным актом по обеспечению единства измерений является Федеральный закон от 26.06.2008 №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (далее – Закон об обеспечении единства измерений). Он направлен на защиту прав и законных интересов граждан, экономики, обороноспособности страны от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

Методика выполнения измерений – совокупность процедур и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с необходимой точностью.

Средство измерительной техники – техническое средство, которое применяется во время измерений и имеет нормированные метрологические характеристики.

Тип средства измерительной техники – совокупность средств измерительной техники одинакового назначения, которые имеют одни и те же принципы действия, конструкцию и изготовленные по одной и той же технической документацией.

Эталон – средство измерительной техники, обеспечивающей воспроизведение и/или хранения единицы измерения одного или нескольких значений, а также передачу размера этой единицы другим средствам измерительной техники.

Государственный эталон – официально утвержденный эталон, который обеспечивает воспроизведение единицы и передачу ее размера другим эталонам с наивысшей в стране точностью.

Рабочий эталон — эталон, предназначенный для поверки или калибровки средств измерительной техники.

Исходный эталон — эталон, который имеет наивысшие метрологические свойства среди эталонов, которые есть на предприятии или в организации.

Поверка средств измерительной техники — установление пригодности средств измерительной техники, на которые распространяется государственный метрологический надзор, к применению на основании результатов контроля их метрологических характеристик.

Калибровка средств измерительной техники — определение в определенных условиях или контроль метрологических характеристик средств измерительной техники, на которые не распространяется государственный метрологический надзор.

Метрологическая аттестация средств измерительной техники — исследование средств измерительной техники для определения их метрологических характеристик и установления пригодности этих средств к применению.

Аттестация методики выполнения измерений — процедура установления соответствия методики метрологическим требованиям, предъявляемым к ней.

Измерительная лаборатория — организация или отдельное подразделение организации, предприятия, которая осуществляет измерение физических величин, определение химического состава, физико-химических, физико-механических и других свойств и показателей веществ, материалов и продукции.

Квалиметрия — раздел метрологии, связанный с проблемами измерения качества продукции, а также методами

измерения в экономике, психологии, социологии и многих других гуманитарных наук.

1.2.2. Системы физических величин

В науке, технике и повседневной жизни человек имеет дело с разнообразными свойствами окружающих нас физических объектов. Эти свойства отражают процессы взаимодействия объектов между собой. Их описание производится с помощью физических величин. Для того, чтобы можно было установить для каждого объекта различия в количественном содержании свойства, отображаемого физической величиной, в метрологии введены понятия ее размера и значения.

Размер физической величины — это количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию "Физическая величина". Например, каждое тело обладает определенной массой, вследствие чего тела можно различать по их массе, то есть по размеру физической величины, что интересует нас.

Значение физической величины — это оценка ее размера в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Его получают в результате ее измерения или вычисления в соответствии с основным уравнением измерения $Q=q[Q]$, связывающим между собой значение физической величины Q , числовое значение q и выбранную для измерения единицу $[Q]$. В зависимости от размера единицы будет изменяться числовое значение физической величины, тогда как размер ее будет одним и тем же.

Единица физической величины — это физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и которая при-

меняется для количественного выражения однородных физических величин. Размер единиц физической величины устанавливается путем их законодательно закрепленного определения метрологическими органами государства.

Важной характеристикой физической величины является ее размерность. Размерность обозначается символом *dim*, происходящим от слова *dimension*, которое переводится как размер или размерность. Размерность основных физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. Например $dim l = L$; $dim m = M$; $dim t = T$; $dim i = I$.

При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами:

– размерности левой и правой частей уравнений не могут не совпадать, так как сравниваться между собой могут только одинаковые свойства. Объединяя левые и правые части уравнений, можно прийти к выводу, что алгебраически суммироваться могут только величины, имеющие одинаковую размерность;

– алгебра размерности мультипликативная, т.е. состоит из одного единственного действия – умножения;

– размерность умножения нескольких величин равна умножению их размерности. Так, если выявленная зависимость между величинами Q, A, B, C имеет вид $Q = ABC$, то $dim Q = dim (ABC) = dim A \cdot dim B \cdot dim C$;

– размерность собственного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей, т. е. если $Q=A/B$, то

$$dim Q = \frac{dim A}{B} = \frac{dim A}{dim B} ;$$

– размерность любой величины, возведенной до некоторой степени n , равна ее размерности в той же степени. Так, если $Q=A^n$, то:

$$\dim Q = \dim A^n = \dim \prod_1^n A = \prod_1^n \dim A = \dim^n A ;$$

– каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулем. Если все показатели размерности равны нулю, то такая величина называется безразмерной. Она может быть относительной, определяемой отношением одноименных величин (например, относительная диэлектрическая проницаемость), и логарифмической, определяемой как логарифм относительной величины (например, логарифм отношения мощностей или напряжений).

Таким образом, размерность является качественной характеристикой измеряемой величины. Она отражает ее связь с основными величинами и зависит от выбора последних.

Понятие размерности широко используется:

- для перевода единиц из одной системы в другую;
- для проверки правильности сложных расчетных формул, полученных в результате теоретического вывода;
- при выяснении зависимости между величинами;
- в теории физического подобия.

Совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимаются за независимые, а другие являются их функциями, называется системой физических величин.

Обоснованно, но в общем произвольным образом выбираемых несколько физических величин, называют основными. Остальные величины, называемые производными,

выражаются через основные на базе известных уравнений связи между ними. Примерами производных величин могут служить: плотность вещества, определяемая как масса вещества, находящегося в единице объема; ускорение, как изменение скорости за единицу времени и др.

В названии системы физических величин применяют символы величин, принятых за основные. Например, система величин механики, в которой в качестве основных используются длина (L), масса (M) и время (T), называется системой LMT.

Действующая в настоящее время международная система СИ должна обозначаться символами LMTIQNJ, соответствующими символам основных величин: длине (L), массе (M), времени (T), силе электрического тока (I), температуре (Θ), количеству вещества (N) и силе света (J).

Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, называется системой единиц физических величин.

Единица основной физической величины является основной единицей этой системы. Как основные единицы приняты метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль и кандела.

Производная единица — это единица производной физической величины системы единиц, образованная в соответствии с уравнениями, связывающими ее с основными единицами или же с основными и уже определенными производными. Установленные таким образом производные единицы могут быть использованы для введения новых производных величин. Поэтому в определяющие

уравнения вместе с основными единицами могут входить и производные, единицы которых определены ранее.

Единицы физических величин делятся на системные и внесистемные.

Системная единица — единица физической величины, входящая в одну из принятых систем. Все основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными.

Внесистемная единица — это единица физической величины, не входящая ни в одну из принятых систем единиц.

Различают кратные и дольные единицы физической величины.

Кратная единица — это единица физической величины, в целое число раз превышающая системную или внесистемную единицу. Например, единица длины километр равна 100 м, т. е. кратная метру.

Дольная единица — единица физической величины, значение которой в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы. Например, единица длины миллиметр равна 10^{-3} м, т. е. является дольной.

1.2.3. Международная система единиц СИ

Международная система единиц (СИ) была установлена в международных масштабах в 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам. Она основывается на семи базисных единицах, приведенных в таблице 1.1. Производные единицы системы СИ представлены в таблице 1.2.

Некоторые из производных единиц СИ получили самостоятельные названия с соответствующими сокращениями.

ми. Все названия, образованные из фамилии ученых, в сокращениях пишутся с большой буквы.

Таблица 1.1

Обозначения основных и дополнительных единиц системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение	
				Русское	Международное
<i>Основные единицы</i>					
Длина	L	L	метр	м	m
Масса	M	m	килограмм	кг	kg
Время	T	t, T	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	i	ампер	A	A
Температура	и	T, и	кельвин	K	K
Сила света	0 J	I	кандела	кд	1 cd
Количество вещества	N	N, V	моль	моль	mol
<i>Дополнительные единицы</i>					
Плоский угол		2 ц	радиан	рад	rad
Телесный угол		Щ	стерадиан	ср	sr

Роль системы СИ определяется целым рядом ее свойств, которые делают эту систему особенно удобной для применения в теории и на практике:

- единицы СИ универсальны и применимы во всех областях физики и техники, так как не имеют никакого отношения к свойствам конкретного материала;

- эти единицы могут быть реализованы с достаточной степенью точности в соответствии со своими определениями или эквивалентными им соотношениями;
- система СИ абсолютна: сила или энергия любой природы может быть выражена в действующих в этой системе механических единицах.

Таблица 1.2

Производные единицы системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Размерность	Рекомендуемое обозначение	Наименование	Обозначение	
				Русское	Международное
Частота	T^{-1}	f, н	герц	Гц	Hz
Сила, вес	$LM T^{-2}$	P, G, P	ньютон	Н	N
Давление	$L^{-1}M T^{-2}$	P	паскаль	Па	Pa
Энергия, работа, количество теплоты	$L^2M T^{-2}$	E, W, Q, A	джоуль	Дж	J
Мощность, поток энергии	$L^2M T^{-3}$	P, N	ватт	Вт	W
Количество электричества	TI	Q, N	кулон	Кл	C
Электрическое напряжение	$L^2M T^{-3}I^{-1}$	U, V	вольт	В	V
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^{-4}I^2$	C	фарад	Ф	F
Электрическое сопротивление	$L^2M T^{-3}I^{-1}$	R, r	ом	Ом	Щ
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	G	сименс	См	S

Окончание таблицы 1.2

Поток магнитной индукции, магнитный поток	$L^2MT^2I^{-1}$	Φ	вебер	Вб	We
Плотность магнитного потока, магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	B	тесла	Тл	T
Индуктивность	$L^2MT^2I^{-1}$	L	генри	Гн	H
Световой поток	j	Φv	люмен	лм	lm
Освещенность	$L^{-2} j$	Ev	люкс	лк	lx
Активность радионуклеида	T^{-1}	A	беккерель	Бк	Bq
Полевая поглощенная доза	L^2T^2	D	грей	Гр	Gy
Эквивалентная доза излучения	L^2T^{-2}	H	зиверт	Зв	Sv

Одновременно с принятием международной системы единиц XI Генеральная конференция по мерам и весам приняла двенадцать десятичных кратных и дольных приставок, к которым в дальнейшем были добавлены новые. Приставки СИ дают возможность образовывать десятичные кратные и дольные единицы от единиц СИ и от других единиц. В таблице 1.3 приведены наименования и обозначения приставок СИ.

В настоящее время в специальных областях науки и техники получили распространение внесистемные единицы измерения. Это связано с удобствами применения тех или иных физических величин (сверх больших или очень малых), а также с историей возникновения и применения не-

которых мер измерения. В таблицах 1.4, 1.5 и 1.6 приводятся применяемые в настоящее время внесистемные единицы измерения наравне с единицами СИ.

Таблица 1.3

Наименования и обозначения приставок для образования десятичных кратных и дольных единиц и их множители

Наименование	Приставка		Множитель	Примеры
	Обозначение			
	международное	русское		
экса	E	Э	10^{18}	эксабеккерель-ЭБк
пета	P	П	10^{15}	петаджоуль-ПДж
тера	T	Т	10^{12}	терагерц-ТГц
гига	G	Г	10^9	гигаватт-ГВт
мега	M	М	10^6	мегаом-МОм
кило	k	к	10^3	километр-км
гекто	h	г	10^2	гектолитр-гл
дека	da	да	10^1	декалитр-дал
деци	d	д	10^{-1}	дециметр-дм
санти	c	с	10^{-2}	сантиметр-см
мили	m	м	10^{-3}	милливольт-мВ
микро	μ	мк	10^{-6}	микроампер-мкА
нано	n	н	10^{-9}	наносекунда-нс
пико	p	п	10^{-12}	пикофарад-пФ
фемто	f	ф	10^{-15}	фемтокулон-фКл
атто	a	а	10^{-18}	аттограмм-аг

Таблица 1.4

Единицы, применяемые в сочетании с единицами СИ

Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ
	международное	русское	
Тонна	t	Т	10^3 кг
Минута	min	мин	60 с
Час	h	ч	3600 с
Сутки	d	сут	8640 0с
Градус	... ⁰	... ⁰	$(\pi/180)$ рад
Минута	...'	...'	$(\pi/110800)$ рад
Секунда	...''	...''	$(\pi/648000)$ рад
Литр	l	л	10^{-3} м ³
Градус Цельсия	°C	°C	По размеру $1^\circ\text{C} = 1^\circ\text{K}$

Таблица 1.5

Единицы, применяемые в специальных областях науки и техники

Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ	Область применения
	международное	русское		
Астрономическая единица	ua	а.е.	$1,49598 \cdot 10^{11}$ м	астрономия
Световой год	ly	св. год	$9,4505 \cdot 10^{15}$ м	
Парсек	pc	пк	$3,0857 \cdot 10^{16}$ м	
Диоптрия	-	дитр	1м^{-1}	оптика
Гектар	ha	га	10^4 м ²	сельское и лесное хозяйство
Электрон-вольт	ev	эВ	$1,60219 \cdot 10^{-19}$ Дж	физика

Таблица 1.6

Единицы, временно допускаемые к применению

Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ	Область применения
	международное	русское		
Морская миля	n. mile	миля	1852 м	В морской навигации
Карат	cara	кар	$2 \cdot 10^{-4}$ кг	При взвешивании драгоценных камней
Узел	kn	уз	0,514 м/с	В морской навигации
Оборот в секунду	r/s	об/с	1 с^{-1}	Измерение частоты вращения
Оборот в минуту	r/min	об/мин	$1/60 \text{ с}^{-1}$	
бар	bar	бар	10^5 Па	Измерение давления

1.2.4. Практическая реализация единиц системы СИ

Еще в XVII столетии ставился вопрос о создании единых единиц измерения. И лишь после Французской революции Национальное собрание Франции приняло решение о необходимости ликвидации многообразия мер и поручило (в 1790 г.) Французской Академии наук разработать применимую во всем мире систему мер и весов. Для установления единицы длины обсуждалось использование трех естественных основ:

— длина маятника с периодом колебания, равным одной секунде. Период колебания математического маятника зависит только от его длины. Однако, для использования

этого метода следовало прежде всего восстановить воспроизводимую единицу времени, что для той эпохи невозможно было получить требуемой точности. Кроме того, ускорение силы тяжести «g» (эти величины входят в формулу периода колебания маятника) зависит от положения маятника на поверхности Земли;

— длина одной четвертой части экватора Земли. Это предложение было отвергнуто ввиду трудной доступности земного экватора для измерения. К тому же правильность формы экватора не была установлена так строго, как это требовалось;

— длина одной четвертой части меридиональной окружности Земли. Длину меридиана можно измерить с достаточной точностью разработанным в то время методом триангуляции. При этом было решено за единицу длины принимать одну сорок миллионную часть длины меридиана (по-видимому, чтобы приблизить новую единицу земли по величине к существующей во Франции мере длины – Туазам).

Таким образом, удалось прийти к неизменному стандарту меры длины и был сначала изготовлен концевой платиновый эталон, который затем был заменен штриховым масштабом (штриховым эталоном) из платино-иридиевого сплава (90% Pt, 10% Ir).

Новый эталон в поперечном разрезе обладает асимметричным х-образным профилем (рис. 1.1). При этом средняя линия проходит по поверхности желоба. В желобе вырезаны две группы штрихов, по три штриха в каждой, и расстояние между средними штрихами равно 1м.

Новая единица измерения длины была названа метром, а вся система измерения на основе метра получила назва-

ние «метрическая система». Впервые эта система была принята во Франции в 1799г. Однако в отношении нового эталона было установлено, что его длина может изменяться в силу явлений перекристаллизации материала. Это обусловило поиски другого выражения эталона. Кроме того, значительно возросли требования к точности измерений.

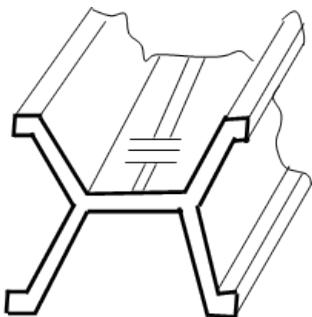


Рис. 1.1 – Внешний вид эталона метра

1м было предложено использовать световые (электромагнитные) волны учеными Майкельсоном и Морли. Ученые указали, что с помощью интерферометра возможно сопоставление метра с длиной волны светового излучения, т.е. определение того, сколько длин волн монохроматического света укладывается на 1 м.

В настоящее время, когда удалось измерить скорость света с большой точностью (299792,458 км/с), на XV Генеральной конференции по мерам и весам в 1975 г. было принято решение в качестве эталона метра взять расстояние, проходимое светом в вакууме за $1/299792458$ долю секунды.

Реализация единицы массы. Масса – это единственная основная единица, связанная с существованием искусст-

венно созданного материального прототипа, который может быть выбран свободно и который не требует произведения опытов для обеспечения неизменности прототипа. Первоначально прототип массы должен был совпадать по своей массе с 1 дм³ воды при ее наибольшей плотности при температуре 3,98 °С и давлении 101325 Па (760 мм рт. ст.). Однако при очень точном определении массы одного дм³ воды она оказалась равной 0,999972 кг/дм³. Поэтому за эталон единицы массы в 1 кг был взят цилиндр из сплава платины (90% Pt) и иридия (10% Ir) диаметром 39 мм и такой же высоты. Выбор именно этого сплава обеспечивает стойкость, однородность и высокую полируемость поверхности (для облегчения чистки). Однако ввиду большой плотности (21,5 г/см³) он обладает тем недостатком, что отделение от него уже малых частей приводит к большому изменению массы. Вторичные же стандарты изготавливаются из стали или латуни.

Первый прототип (эталон) единицы массы в 1 кг из сплава платины и иридия хранится в международном бюро мер и весов в Севре под Парижем. В ходе установления прототипа массы было изготовлено несколько десятков его экземпляров для хранения и использования в других странах. Периодически производится сравнение всех прототипов с первым образцом, при этом должно обеспечиваться постоянство определения 1 кг с относительной точностью 10⁻⁸ на протяжении многих тысяч лет.

Реализация температурной шкалы. Идея количественного представления «теплого» и «холодного» состояния тела относится к XVII веку, т.е. почти через столетие после введения метра в качестве единого эталона длины. Развитие методов измерения температуры стало возможным

лишь тогда, когда были установлены такие свойства тел, которые зависят от температуры (длина, объем и др.) и которые можно измерить объективно.

В первых приборах (термометрах) использовались жидкости, которые при нагревании или охлаждении изменяли свой объем. Было установлено, что определенные процессы в одних и тех же условиях всегда протекают при одинаковых температурах, например, таяние льда или кипение воды при постоянном давлении. Такие состояния вещества, в которых разные фазы при постоянной температуре находятся в равновесии друг с другом, принимаются в качестве опорных (реперных) точек. Их удобно использовать в качестве калибровочных точек для температурной шкалы.

Температурная шкала жидкого термометра задается следующим образом: отмечается высота столба жидкости между двумя опорными точками и полученный промежуток делится на несколько равных частей. Первые попытки создания термометров известны еще с древности, когда использовалось термическое расширение воздуха для скорее качественного определения степени нагретости атмосферного воздуха. В дальнейшем методы и способы измерения температуры совершенствовались и, наконец, в 1714 г. немецкий физик Фаренгейт, предложил использовать ртуть, сделав наилучшие из известных тогда термометров. В своем термометре он не хотел усложнять шкалу отрицательными делениями. Вместо этого он решил, что нулевой будет самая низкая температура, какую ему удалось получить в своей лаборатории. Смешивая тающий лед и соль, Фаренгейт получил очень низкую для того времени температуру, которая составила по шкале Цельсия $-17,8$ °C

(если бы использовался термометр Цельсия, который появился только почти через 30 лет). Затем он, по предложению Ньютона, пометил цифрой двенадцать температуру человеческого тела. Однако оказалось, что его термометр в 8 раз чувствительнее, поэтому Фаренгейт принял температуру человеческого тела за 96 градусов. При такой шкале точка замерзания воды составила 32 градуса, а точка кипения – 212 градусов. Разница между двумя этими точками составила 180 градусов, а это число оказалось удобным, так как его можно разделить на самые разные целые числа без остатка. По этой шкале получилось, что температура человеческого тела равна 98,6 градуса. Термометр Фаренгейта получил широкое распространение в странах Западной Европы, в США и в других странах и используется до настоящего времени. Для перевода шкалы Фаренгейта в шкалу Цельсия и обратно можно использовать следующие формулы:

$${}^{\circ}F = \frac{9}{5}{}^{\circ}C + 32 \quad \text{и} \quad {}^{\circ}C = \frac{5}{9}({}^{\circ}F - 32) \quad (1.1)$$

Шкала Фаренгейта необыкновенно удобна в метеорологии, так как температура воздуха в Западной Европе колеблется самое большее от 0 до 100 градусов по Фаренгейту (${}^{\circ}F$). Те же температуры укладываются по шкале Цельсия в интервале от -180 до $+380$ ${}^{\circ}C$.

В 1742 году шведский физик Андерс Цельсий, работая с ртутными термометрами, применил другую шкалу: точку замерзания воды за 0 градусов, а точку кипения воды за 100 градусов. Ученые находят, что она особенно удобна потому, что жидкое состояние воды укладывается в интервале 0 – 100 градусов. Шкала из десяти делений давала бы

слишком приблизительные данные, а шкала из тысячи делений была бы излишне точной.

В 1787 году французский химик Шарль открыл, что при нагревании газ равномерно расширяется, а при охлаждении также равномерно сжимается. С изменением температуры на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ газ увеличивает или уменьшает свой объем ровно на $1/273$ часть того объема, который он занимает при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если взять объем газа, равный 273 см^3 при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, и охладить до « -273 » $^{\circ}\text{C}$, то теоретически его объем должен сократиться до нуля. Однако, все газы, не достигая этой температуры, превращаются в жидкость, а к ним закон Шарля неприменим.

Через некоторое время английский ученый Кельвин предложил строить температурную шкалу, исходя из кинетической энергии молекул. При 0°C средняя кинетическая энергия молекул любого вещества имеет некоторую определенную величину. С понижением температуры на каждый $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ молекулы теряют $1/273$ часть своей кинетической энергии. Это означает, что при $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а точнее при $-273,16^{\circ}\text{C}$) молекулы имеют нулевую кинетическую энергию. Любое вещество больше охладить нельзя, т.к. невозможна отрицательная кинетическая энергия. Следовательно, температуру « $-273,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ » можно считать «абсолютным нулем». В современных криогенных лабораториях уже получена температура близкая к абсолютному нулю, равная $0,00001\text{ K}$ ($-273,15999\text{ }^{\circ}\text{C}$). XIII Генеральная конференция по мерам и весам в 1967 г. определила «единицу температуры» как $1/273,16$ часть тройной точки воды (точка на диаграмме состояния, в которой жидкое, твердое и газообразное состояние вещества одновременно находятся в равновесии друг с другом).

Шкала Кельвина является более удобной, чем шкала Цельсия при описании и изучении термодинамических процессов и при проведении тепловых расчетов. Абсолютная температура идентична термодинамической температуре, которая выводится из второго начала термодинамики, и при этом достигается цель, состоящая в получении определения температуры, не зависящая от вещества. Согласно термодинамическому определению температуры, для измерения температур нужно использовать цикл Карно, при этом измерение температур сводится к измерению количества теплоты. Однако таким путем нельзя получить удовлетворительной точности. Более точным является определение термодинамической температуры с помощью газовых термометров.

Газовый термометр представляет собой сосуд, в котором заключен газ (преимущественно азот, аргон или гелий, термические свойства которых хорошо известны), имеющий постоянную массу (или постоянное количество молей). В соответствии с уравнением состояния при заданной температуре газ под определенным давлением занимает определенный объем. Изменение температуры приводит к изменению давления или объема, по которым и определяется температура. Однако, вместо определения температуры абсолютным образом из уравнения состояния ($T_2 = T_1 \cdot (P_2/P_1)$ или $T_2 = T_1 \cdot (V_2/V_1)$) ее измеряют относительно некоторой точки отсчета, например, температуры тройной точки воды (T_1 в уравнении состояния).

В газовых термометрах для измерения термодинамической температуры используются три метода: газовый термометр постоянного объема, газовый термометр постоян-

ного давления, газовый термометр постоянной температуры (рис. 1.2, а, б, в).

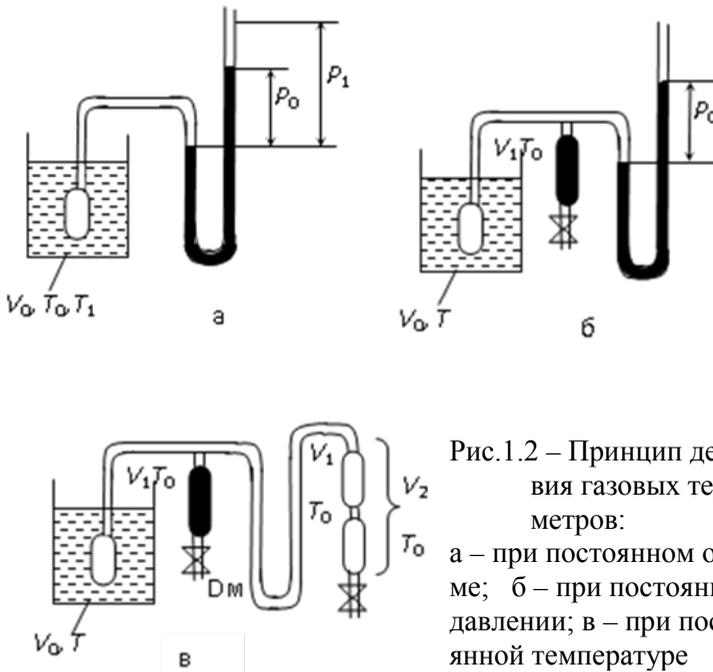


Рис.1.2 – Принцип действия газовых термометров:

а – при постоянном объеме; б – при постоянном давлении; в – при постоянной температуре

В газовом термометре постоянного объема (рис 1.2, а) при $V_0 = \text{const}$ выполняется соотношение $T_2 = T_1 \cdot (P_2/P_1)$. Давление, под которым газ находится в состояниях с температурами T_1 и T_0 , измеряется ртутным манометром, причем ртутный столб одновременно используется для поддержания постоянного объема.

В газовом термометре постоянного давления (рис. 1.2, б) газ при начальной температуре T_0 под давлением P_0 имеет объем V_0 . Если резервуар термометра довести до измеряемой температуры $T_1 > T_0$, то для обеспечения постоянного давления расширение газа производится в дополнитель-

ный проградуированный объем V_1 путем вытеснения части ртути в нем. Измеряемая температура вычисляется из выражения:

$$T = T_0 \frac{V_0}{V_0 - V}. \quad 1.2$$

Недостаток обоих предыдущих методов состоит в том, что при нагревании резервуара термометра до температуры T_0 происходит выделение (десорбция) газа из стенок сосуда и стеклянных каналов, что приводит к искажению результатов измерения. При высоких температурах это обстоятельство становится весьма существенным источником ошибок. В противоположность этому в газовых термометрах постоянной температуры (рис. 1.2, в) сначала устанавливается равновесие (измеряемый объем при температуре T_1 , измерительный прибор при температуре T_0), а затем измеряется температура. При этом газ расширяется в проградуированный объем V (дифференциальный манометр ДМ поддерживает давление). Измеряемая температура вычисляется из выражения:

$$T = T_0 \frac{V_0}{V} \left(\frac{V_2}{V_1} - 1 \right). \quad 1.3$$

При известных величинах V_0 , V_1 и V_2 температура определяется из значения объема V , в который расширяется газ. Температура отсчета T_0 задается с помощью предварительного испытания, когда резервуар термометра имеет температуру тройной точки воды.

Наряду с измерением термодинамической температуры при помощи газовых термометров существуют и другие методы, которые применяются особенно в области пониженных (низких) и повышенных (высоких) температур.

В акустическом термометре измеряется скорость звука в идеальных газах, которая зависит от термодинамической температуры. В магнитных термометрах, созданных для измерения температур близких к абсолютному нулю ($T < 1 \text{ }^\circ\text{K}$), используется зависимость магнитной проницаемости парамагнитного вещества от температуры. При измерении температуры выше $1500 \text{ }^\circ\text{K}$ газовые термометры применять нельзя. В этой области используется излучение абсолютно черного тела, которое измеряется спектральным пирометром в узком диапазоне длин волн излучения, проходящего через фильтр и оптическую систему. Практическое измерение термодинамической температуры с помощью вышерассмотренных методов представляет большие трудности. Поэтому были предложены более удобные методы измерения температуры, результаты которых приближались бы к значениям термодинамической температуры, т.е. термодинамическая температурная шкала заменялась «практической» температурной шкалой. С этой целью выбирается некоторое количество хорошо воспроизводимых опорных точек, термодинамические температуры которых тщательно измерены и зафиксированы при помощи газовых термометров. С помощью опорных точек градуируются приборы для измерения температуры, показания которых между опорными точками описываются хорошо известными функциями термодинамической температуры.

Первая международная обязательная практическая температурная шкала была введена в 1927 г. на VII Генеральной конференции по мерам и весам. Однако, после уточнения значения ряда реперных точек и добавления новых в 1968 г. была введена международная практическая тем-

температурная шкала МПТШ-68. Расхождение между температурой, измеренной по этой шкале, и термодинамической температурой находится в пределах существующей в настоящее время точности измерений. Единицами температурной шкалы МПТШ-68 являются Кельвин и градус Цельсия. Температура в градусах Цельсия определяется как $t = T - 273,15$ К. Основные реперные точки определены по состоянию фазовых равновесий некоторых чистых веществ: водорода, неона, кислорода, воды, цинка, серебра и золота (табл. 3.7).

Таблица 1.7

Определяющие реперные точки МПТШ-68

Реперная точка	T, К	T, °С	Погрешность, %
Тройная точка равновесного водорода	13,81	-259,34	0,01
Точка кипения равновесного водорода при давлении 3330,6 Па	17,042	-256,108	0,01
Точка кипения равновесного водорода	20,28	-252,87	0,01
Точка кипения неона	27,102	-246,048	0,01
Тройная точка кислорода	54,361	-218,789	0,01
Точка кипения кислорода	90,188	-182,962	0,01
Тройная точка воды	273,16	0,01	Точно
Точка кипения воды	373,15	100	0,005
Точка затвердевания цинка	692,73	419,58	0,03
Точка затвердевания серебра	1235,08	961,93	0,2
Точка затвердевания золота	1337,58	1064,43	0,2

Эталонным прибором в области температур от 13,81 до 630,74 °С является платиновый термометр сопротивления. Для температур в интервале 630,74 - 1064,43 °С эталонным прибором является платинородий-платиновая термопара. На 17-й сессии Консультативного комитета в 1989 г. была принята международная практическая температурная шкала МТШ-90, которая с 1990 г. заменила МПТШ-68. Она определяет единицу измерения температуры «Кельвин» также как и МПТШ-68 и сохраняет принцип построения шкалы на основе реперных точек. Введение шкалы МТШ-90 позволило решить следующие проблемы:

- расширить действие МТШ-90 в области низких температур от 13,8 до 0,65 К;

- в большей степени МТШ-90 приближается к термодинамической температурной шкале в сравнении с МПТШ-68. Это достигается тем, что при температурах выше 0°С дополнительно введены новые реперные точки: температура плавления галлия и температура затвердевания индия, алюминия и меди;

- новая температурная шкала стала достаточно гладкой, что достигается за счет использования платинового термометра сопротивления в качестве интерполяционного прибора в диапазоне температур от 13,8 до 1235 К.

В настоящее время разработаны и созданы первичные и специальные эталоны, обеспечивающие единство измерений температуры, которое составляет 0,2 мК в тройной точке воды и 1,5 К при температуре 2800 К.

Реализация единицы времени. Основное отличие единицы времени от других единиц состоит в том, что оно не поддается о веществу и хранению. С другой стороны, требуется, чтобы при измерениях можно было проводить

количественное сравнение с прошедшими отрезками времени. Большие отрезки времени используются, прежде всего, в астрономии, а в обыденной жизни необходимы намного меньшие интервалы. При естественнонаучных исследованиях и, особенно в области ядерной физики, необходимо измерять крайне малые интервалы времени.

В теории время представляет собой непрерывно изменяющуюся независимую переменную, фигурирующую в аксиомах Ньютона, т.е. во всех процессах, связанных с движением, время играет роль существенного параметра. Всякий промер времени означает установление равномерно следующих с равными интервалами одно за другим какого либо события (например, колебание маятника, вращение вала с установленными на нем метками и др.).

Задачей установления единицы времени является вывод равномерной шкалы времени, причем она должна поддаваться измерению с помощью земных методов. Все старые определения шкалы времени основывались на видимом движении звезд по небу. Первые временные отметки основывались на смене дня и ночи. Сначала продолжительность дня от восхода до захода Солнца разбивалось на 12 часов, длительность которых, однако, зависела от времени года. Неизвестно откуда происходит деление одного часа на 60 минут, но установлено, что в XV столетии астрономы уже определили секунду как $1/60$ минуты. Астрономическая шкала времени в основном определяется двумя движениями: вращением Земли вокруг ее собственной оси и обращением Земли вокруг Солнца по слегка эллиптической орбите. Собственная ось вращения Земли наклонена примерно на $23,50$ к нормали плоскости орбиты.

Если наблюдатель находится на какой-то точке Земли (например, на нулевом меридиане Гринвича), то интервал между двумя последовательными прохождениями Солнца через этот меридиан определяет продолжительность истинного солнечного дня. Однако, непрерывное сравнение на протяжении года (сравнение с часами) показывает, что продолжительность истинных солнечных суток не постоянна, а все время колеблется. Это объясняется двумя причинами. Во-первых, при движении Земли по орбите в некоторых точках ее (в перигелии) Земля движется быстрее, а в других (в афелии) медленнее из-за эллиптической траектории движения нашей планеты вокруг Солнца. При этом получается разница в длительности суток в июне и декабре, составляющая ≈ 16 с. Во-вторых, продолжительность суток, как правило, определяется по полному обороту небесной сферы вдоль экватора. Отсюда следует различие длительностей суток между весной и летом (осенью и зимой) приблизительно на 20 с. На основе этого выводится продолжительность средних солнечных суток, и эти сутки разбиваются на $24 \times 60 \times 60 = 86400$ с.

Если бы скорость вращения Земли была строго постоянной и находилась в целочисленном отношении к ее скорости обращения по орбите около Солнца, то определение средних солнечных суток приводило бы одновременно к определению единицы времени - секунды. Однако при определении количества дней в году должны учитываться времена года и отсюда получаются следующие определения года.

Тропический год - это промежуток времени от одного весеннего равноденствия до другого, т.е. время между двумя последовательными прохождениями Солнца через точ-

ку весеннего равноденствия. Продолжительность среднего тропического года равна:

$$1 \text{ год троп.} = 365,24220 \text{ средн. солн. сут.}$$

Как видно, она превышает 365 дней примерно на $\frac{1}{4}$ суток. Поэтому каждые 4 года добавляется один день (високосный год).

Сидерический год – это тот промежуток времени, через который Земля при своем движении вокруг Солнца возвращается в прежнее положение относительно неподвижных звезд. Этот промежуток также выражается через положение точек весеннего равноденствия относительно какой-либо неподвижной звезды. Измерения этого промежутка времени показали, что сидерический год по сравнению с тропическим немного длиннее, и именно на 0,014 суток и составляет:

$$1 \text{ год си-дер.} = 365,25636 \text{ средн. солн. сут.}$$

Аномалистический год представляет собой промежуток времени между двумя последовательными прохождениями Земли через перигелий. Отличие от двух предыдущих определений года заключается в том, что ориентация эллипса орбиты Земли в пространстве величина непостоянная. По данным точных измерений длительность аномалистического года составляет:

$$1 \text{ год аном.} = 365,25946 \text{ средн. солн. сут.}$$

Приведенные выше способы использования суточных и годовых циклов движения Земли в солнечной системе не дает возможность достаточно точно (для современных требований) реализовать единицу времени. Поэтому был произведен переход к методу определения времени по шкале, основывающейся на продолжительности года. По этой шкале определяется эфемеридное время. Под эфемеридой

понимают расчет геоцентрических координат небесного тела, основанный на элементах орбиты. Исходя из значений элементов орбиты, которые задаются действием тяготения, и при известных начальных данных можно вычислить положение небесного тела в любой момент времени. Так определяют время, измеряя координаты Солнца с использованием расчета эфемерид. В 1956 г. Международным комитетом мер и весов было принято значение эфемероидной секунды $1 \text{ секунда} = 1 / 31556925,9$ части тропического 1900 года.

Неудобство состоит в том, что эфемероидное время всегда определяется лишь задним числом из астрономических наблюдений. Такая шкала времени поддается проверке с помощью самых разнообразных астрономических объектов, например, при наблюдении движения Луны. Относительная точность измерения эфемероидного времени сейчас принимается равной 10^{-8} с.

Сложное задание и измерение эфемероидного времени создает неудобства в повседневной жизни, так как требуется более быстрый способ определять время. Для этого необходимы часы, определяющие интервалы времени с относительной точностью не менее 10^{-8} с. В 1967 г. Международный комитет по мерам и весам принял за единицу измерения времени в 1 секунду продолжительность $9,192631770 \cdot 10^9$ колебаний излучения атомов цезия при квантовом переходе между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия - 133. Выбор цезия в качестве атомных часов обусловлен высокой стабильностью частоты излучения при переходе электронов с одного уровня на другой по сравнению с другими испытанными химическими элементами (рубидий, водород и др.).

Новейшие разработки в области лазерной техники позволяют получить высокостабильные частоты излучения и создать в дальнейшем атомные часы, по точности не уступающие, а может и превосходящие цезиевые, но значительно более простые и удобные при использовании в повседневной жизни.

Реализация единицы силы света. Видимый свет представляет собой часть электромагнитного спектра в диапазоне длин волн приблизительно от 380 до 780 нм. В XIX в. с возникновением светотехники появилась потребность в количественном сравнении источников света и освещенностей, и было введено понятие силы света. Сила света является одной из основных величин в системе СИ, ее базисная единица называется канделой (кд). Первоначально эталоны единицы света представляли собой свечи (канделы), изготавливаемые из определенных материалов. Затем на смену им пришли лампы с жидким горючим, которые обладали лучшими метрологическими характеристиками. В 1921 г. был создан международный эталон силы света – группа из трех комплектов постоянно возобновляемых электрических ламп накаливания с угольной нитью. В 1937г. был создан эталон силы света в виде полных излучателей (моделей черного тела) с приписанной яркостью 60 кд/м² при температуре затвердевания расплавленной платины. Однако, при таком определении канделы не было однозначной связи между световыми и энергетическими характеристиками. Поэтому в 1979 г. на XVI Генеральной конференции мер и весов было принято новое определение канделы, по которому она воспроизводится путем следующих косвенных измерений:

кандела – это сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/Ср (ватт на стерадиан).

Для реализации канделы используют излучение абсолютно черного тела. Оно состоит из керамической трубки, которая вертикально погружена в тигель, заполненный расплавленной платиной. При нагревании в индукционной печи платина расплавляется, а при охлаждении платина затвердевает при установившейся температуре 2045 К. Объемное излучение от расплавленной платины, ограниченное диафрагмой, проецируется на поверхность, играющую роль фотометра.

Воспроизведение канделы как первичного эталона представляет большие трудности для постоянного практического применения. Поэтому первичный эталон получают в специальных лабораториях и сравнивают с ним вторичные эталоны – лампы накаливания специальной конструкции. От длительного употребления эти лампы меняют свои параметры, поэтому берется несколько ламп и усредненная сила света всех ламп рассматривается в качестве вторичного эталона. Эти лампы включают лишь на короткое время, чтобы иметь возможность прокалибровать другие эталоны. В качестве вторичных эталонов силы света используются вольфрамовые лампы накаливания, излучение которых имеет такое же спектральное распределение, как и излучение абсолютно черного тела при 2045 К. Согласование с первичным эталоном производится путем сравнения обеих освещенностей на экране фотометра.

Реализация единицы количества вещества. Последняя основная единица системы СИ – моль была дополнительно введена спустя 11 лет после введения первых шести единиц на XVI Генеральной конференции по мерам и весам.

Моль – это количество вещества системы, содержащей точно столько структурных единиц, сколько содержится атомов в 12 г изотопа углерода с массовым числом 12. Целесообразность введения этой единицы не является бесспорным, как отмечают многие ученые, т. к. не было дано четкого и однозначного определения основополагающего понятия «количество вещества». Под количеством вещества можно понимать как массу того или иного вещества, так и количество структурных единиц, содержащихся в данном веществе. Моль больше является расчетной единицей и эталона для его воспроизведения не существует. Нет ни одного метода и средства, предназначенного для измерения моля в соответствии с его определением.

Необходимость введения моля, как единицы количества вещества в основные единицы системы СИ, появилась в результате развития атомистической концепции строения материи. Большинство явлений и закономерностей в области химии и атомной физики можно более просто описывать и рассчитывать, если ввести такое понятие как «число частиц», которое совершенно не зависит от массы отдельной частицы. Впервые роль числа частицы, независимой от массы отдельной частицы, появилась в уравнении состояния идеального газа, в котором свойства отдельных частиц не рассматривается. Число частиц, содержащихся в 12 г углерода-12, получило название числа Авогадро (или постоянная Авогадро), которое обладает раз-

мерностью «(количества вещества)⁻¹» и измеряется в единицах «моль⁻¹». При этом макроскопическую массу количества вещества в 1 моль можно выразить как:

$$M = N_A \cdot m_a, \quad (1.4)$$

где $M = 1\text{г/моль}$ (или 1кг/моль); m_a – масса одного атома; N_A – число Авогадро.

Масса атома очень мала, а ее прецизионное определение затруднительно. Но при современном уровне развития измерительной техники сравнительно просто измерять относительные массы. В 1960 г. было решено принять за основу при определении относительных атомных масс $1/12$ массы атома углерода-12. Причин для этого выбора было несколько, а главная состояла в том, что углерод входит в огромное число химических соединений, с помощью которых станвится возможным установить очень точное соотношение между массами остальных химических элементов.

Реализация единицы силы электрического тока. В системе СИ за основную единицу выбрана единица абсолютной магнитной проницаемости Гн/м (генри/метр), называемая магнитной постоянной. Но, основной единицей считается ампер. Это связано с тем, что при выборе основной единицы невозможно представить данную единицу в виде эталона. Поэтому единица магнитной проницаемости реализуется (материализуется) эталоном ампера.

В системе СИ сила тока определяется через взаимодействие двух токов: ампер - сила не изменяющегося во времени электрического тока, который, протекая в вакууме по двум прямолинейным бесконечным и параллельным друг другу проводникам ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, находящимся друг от друга на рас-

стоянии 1м, создает электродинамическую силу, действующую на эти проводники, равную 2×10^{-7} ньютон на каждый метр их длины. Сила эта очень мала, но силы легко поддаются измерению. В основе определения ампера в системе СИ лежит выявленный Ампером факт, что два проводника с током действуют друг на друга с изменяющей свой знак, если направление одного из токов заменить на обратное, силой, трактуемой как результат действия магнитного поля, окружающего каждый проводник с током, на движущиеся носители заряда в другом проводнике.

До последнего времени единицу силы электрического тока - ампер на практике приходилось определять по тем действиям, которые ток оказывает в окружающей среде, например, выделение теплоты при прохождении тока через проводник, осаждение вещества на электродах при прохождении тока через электролит, механические действия тока на магнит или проводник с током. В основу эталона ампера в 1948 г. было положено явление взаимодействия двух катушек, помещенных одна в другую, при прохождении различных токов через них. Одна из катушек (измерительная) подвешивается к чувствительным аналитическим весам. Относительная погрешность измерения единицы силы тока в 1А при этом не превышала 10⁻³%.

В современных эталонах силы тока, созданных на основе квантовых эффектов Джозефсона и Холла, измерение напряжения сводится к измерению частоты, которое можно определить с очень высокой точностью, на два порядка превосходящее предыдущие эталоны.

В систему СИ введены две дополнительные единицы: радиан и стерадиан. Радиан – единица измерения плоского угла – угла между двумя радиусами окружности, длина

дуги которой равна радиусу. По всей длине окружности количество углов, имеющих размер в 1 радиан, составляет 2π радиан. Отсюда соотношение определяется между градусом и радианом:

$$1\text{рад} = 360^\circ / 2\pi = 57,2961^\circ (57^\circ 17' 45'').$$

Соответственно $1^\circ = 2\pi / 360$ рад = 0,017453 радиан.

1.2.5. Способы и методы измерения

Средство измерений – это техническое средство или комплекс средств, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее или хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным в течение известного интервала времени.

Средство измерений является обобщенным понятием, объединяющим самые разнообразные конструктивно законченные устройства, которые воспроизводят одну из двух функций:

- воспроизводят величину заданного размера (например, гиря - заданную массу и др.);
- вырабатывают сигналы (показание), несущие информацию о значении измеряемой величины. Показание измерительного устройства либо непосредственно воспринимаются органами чувств человека, либо используются преобразователи для передачи информации другим измерительным устройствам.

По конструктивному исполнению средства измерения подразделяются на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки, измерительные системы.

Меры физической величины – это средства измерения, предназначенные для воспроизведения и (или) хранения

физической величины одного или нескольких заданных размеров. Различают меры: однозначные (например, гиря 1кг), многозначные (например, масштабная линейка), наборы мер (набор гирь и др.). Сравнение с мерой выполняют с помощью специальных технических средств – компараторов (устройств сравнения).

Измерительные преобразователи – это средства измерения, служащие для преобразования измеряемой величины в другую величину, удобную для обработки, хранения и дальнейших преобразований. По характеру преобразования измеряемой величины различают аналоговые (АП), цифроаналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые преобразователи (АЦП).

1.2.6. Классификация средств измерений

Средства измерения, независимо от области применения, имеют некоторые общие признаки, которые положены в основу различных классификаций, основные из которых приводятся ниже.

По назначению средства измерения делятся на:

– метрологические, предназначенные для метрологических целей - воспроизведение единицы измерения, ее хранение и передачи размера единицы рабочим средством измерения. К этой группе относятся эталоны и образцовые средства измерения;

– рабочие, используемые постоянно в лабораторной и производственной практике для получения информации о числовом значении тех или иных параметров контролируемого объекта.

Большинство используемых на практике средств измерения принадлежит ко второй группе. Метрологическая группа средств немногочисленна и сосредоточена в основ-

ном в специализированных научно-исследовательских центрах, а также в отделах метрологии промышленных предприятий.

По уровню автоматизации все средства измерения делятся на три группы:

- неавтоматические, например, показывающие термометры, барометры, амперметры, вольтметры и др.;
- автоматические, производящие в автоматическом режиме одну или часть измерительных операций, например, автоматические мосты, потенциометры и др.;
- автоматизированные, производящие в автоматическом режиме измерения и все операции, связанные с обработкой их результатов, регистрацией, передачей данных или выработкой управляющих сигналов. К таким средствам измерения относятся измерительные устройства микропроцессорной техники и ЭВМ.

По уровню стандартизации средства измерений подразделяются на:

- стандартизованные, изготовленные в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта;
- нестандартизованные, предназначенные для решения специальной измерительной задачи в отдельных отраслях деятельности человека.

Стандартизованные средства измерений выпускаются серийно промышленными предприятиями и обязательно подвергаются государственным испытаниям и поверкам.

Нестандартизованные средства измерений разрабатываются специализированными научно-исследовательскими организациями и выпускаются единичными экземплярами. Они не проходят государственных испытаний, их

характеристики определяются при метрологической аттестации.

Классификация по роли в процессе измерения и выполняемым функциям, являющейся основной, представлена на рис. 1.3.



Рис. 1.3 – Классификация средств измерений по выполняемым функциям

1.2.7. Элементарные средства измерения

Элементарные средства измерений предназначены для реализации отдельных операций прямого измерения (см. рис. 1.3). К ним относятся меры, устройства сравнения и измерительные преобразователи.

Меры подразделяют на следующие типы:

- однозначные, воспроизводящие физическую величину одного размера;

– многозначные, воспроизводящие физическую величину разных размеров.

Кроме этого, различают наборы мер, магазины мер, установочные, встроенные и ввозимые меры. С наиболее высокой точностью посредством мер воспроизводятся основные физические величины: длина, масса, частота, напряжение и ток.

Устройство сравнения (компаратор) – это средство измерений, при помощи которого можно сравнить друг с другом меры однородных величин или показания измерительных приборов (рис. 1.4). Примерами могут быть: рычажные весы, на одну чашку которых устанавливается образцовая гиря, а на другую – поверяемая; ЭДС термопары сравнивается с напряжением нормального элемента как образцового прибора.

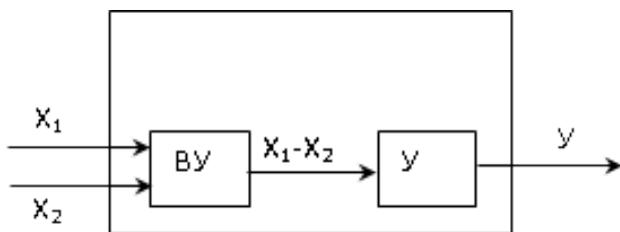


Рис. 1.4 – Структурная схема компаратора

В современной электронной технике в качестве компаратора используются специальные интегральные микросхемы. В электронных компараторах сравнение производится путем последовательного соединения вычислительного устройства (ВУ), на входе которого формируется разность входных сигналов $\Delta X = X_1 - X_2$, и усилителя (У), выполняющего функцию индикатора знака разности. Степень совершенства компаратора определяется минималь-

но возможным порогом чувствительности, а также его быстрое действие.

По виду входных и выходных величин измерительные преобразователи делятся на:

- аналоговые, преобразующие одну аналоговую величину в другую аналоговую величину;
- аналого-цифровые (АЦП), предназначенные для преобразования аналогового измерительного сигнала в цифровой код;
- цифро-аналоговые (ЦАП), предназначенные для преобразования цифрового кода в аналоговую величину.

Измерительный преобразователь предназначен для выполнения операции преобразования входного (основного) сигнала измеряемой величины в пропорциональный сигнал для дальнейшего использования в измерительной системе.

Важнейшей характеристикой измерительного преобразователя является функция (уравнение) преобразования. Чаще всего стремятся иметь (конструировать) измерительные преобразователи с линейной функцией преобразования, т.е. $Y = kX$. Кроме того, характеристика должна быть безинерционна, стабильна во времени и проходить через начало координат.

По местоположению в измерительной цепи преобразователи делятся на первичные и промежуточные. Первичный - это такой преобразователь, на который непосредственно воздействует измеряемая физическая величина, т.е. он является первым в измерительной цепи средством измерений. Промежуточные преобразователи располагаются в измерительной цепи после первичного. Конструктивно обособленные первичные измерительные преобразова-

тели называют датчиками или чувствительными элементами, например, термопара, термометр сопротивления и др.

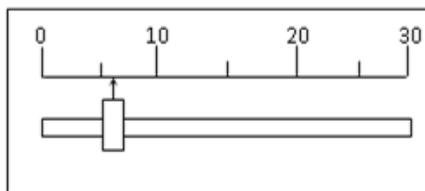
1.2.8. Комплексные средства измерений

Комплексные средства измерений предназначены для осуществления всех элементов процесса измерения. К ним относятся измерительные приборы и установки, измерительные системы и измерительно-вычислительные комплексы.

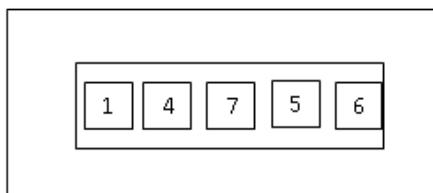
Измерительные приборы и установки. Измерительный прибор – это средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне ее измерения и выработки сигнала измерительной информации, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измеряемая физическая величина воздействует на устройство преобразования, состоящее из первичного измерительного преобразователя и совокупности элементарных средств измерений. Первичный преобразователь такого устройства преобразует измеряемую физическую величину в другую величину, однородную или неоднородную с ней. Сигнал с выхода преобразователя проходит через совокупность измерительных средств измерений. В измерительных приборах простейших такая совокупность может отсутствовать. На выходе устройства преобразования измерительного прибора формируется сигнал, приводящий в работу отсчетное устройство (рис. 1.5), представляющее собой элемент средства измерения, преобразующий измерительный сигнал в форму, доступную восприятию органами чувств человека. По форме представ-

ления показаний отсчетные устройства делятся на аналоговые и цифровые.



1 - аналоговое



2 - цифровое

Рис. 1.5 – Отсчетные устройства измерительных приборов

Составными частями отсчетного устройства являются шкала и указатель. Для цифровых шкал сами числа являются эквивалентами отметок шкалы. Деления шкалы имеют цену. Цена деления шкалы – это разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерения. Отметки наносятся на шкалу при градуировке прибора, т.е. при подаче на его вход сигнала от образцового прибора или эталона.

Каждое средство измерений характеризуется диапазоном показаний и диапазоном измерений. Диапазоном показаний называется область значений шкалы прибора, ограниченная ее начальным и конечным делениями. Диапазоном измерений называется область значений физической величины, в пределах которой нормированы допуска-

емые пределы погрешности средства измерений. Диапазон измерений всегда меньше или равен диапазону показаний.

Измерительные приборы, которые по классификации относятся к комплексным средствам измерений, различаются по форме индикации измеряемой величины на:

- показывающие, в которых предусмотрено только отсчитывание показаний измеряемой величины (например, милливольтметр, тягонапоромер, цифровой термометр и др.);

- регистрирующие, в которых имеется устройство для регистрации показаний на каком-либо носителе информации, например, на бумажной ленте.

Регистрация результатов измерений может производиться в аналоговой или цифровой форме. По форме преобразования поступивших сигналов измерительные приборы подразделяют на аналоговые и цифровые.

Аналоговые приборы – это приборы, выходной сигнал которых является непрерывной функцией измерения измеряемой величины. Цифровые приборы – это приборы, принцип действия которых основан на квантовании (разделение на отдельные интервалы) измеряемой величины. Показания таких приборов представлены в цифровой форме. В процессе квантования бесконечному множеству значений измеряемой величины ставится в соответствие конечное и счетное множество возможных показаний цифрового прибора. Число конечных множественных показаний определяется схемой аналого-цифрового преобразователя, выполняющего в цифровом приборе операцию квантования. Структурная схема цифрового прибора показана на рис. 1.6.

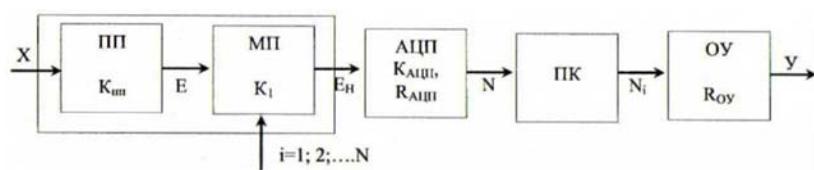


Рис. 1.6 – Структурная схема цифрового измерительного прибора

Измеряемая физическая величина X (например, температура) воздействует на первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент), имеющий коэффициент преобразования $K_{ин}$. Он преобразует величину X в электрический сигнал E , который в дальнейшем поступает на масштабный измерительный преобразователь (МП), необходимый для изменения пределов измерения цифрового прибора. Он может иметь разное число диапазонов измерения i от 1 до N . Масштабный преобразователь (МП) изменяет (уменьшает или увеличивает) входной электрический сигнал в заданное число K_i раз ($i = 1; 2; 3; \dots; N$) так, чтобы сигнал E_n на его выходе был нормирован, т.е. располагался в заданных пределах. Нормированный сигнал $E_n = K_i \cdot K_{ин} \cdot X$ преобразуется аналого-цифровым преобразователем (АЦП) в цифровой код N , имеющий разрядность $R_{АЦП}$.

В настоящее время разработано большое число различных методов преобразования аналоговой измеряемой величины в ее цифровой эквивалент, реализованный в АЦП. К основным из них относятся методы последовательных приближений, двойного интегрирования, преобразование напряжения в частоту. При использовании двоичного цифрового кода в АЦП число возможных выходных кодов комбинаций составляет следующую величину:

$$M = 2^{R_{АЦП}} - 1.$$

Полученный двоичный цифровой код поступает на преобразователь кодов (ПК), который преобразовывает выходной цифровой код АЦП в код, «понимаемый» цифровым отсчетным устройством (ОУ). Чаще всего на практике производят преобразование двоичного кода в двоично-десятичный. Цифровые ОУ выполняются в виде цифровых табло, дисплеев, основанных на различных физических принципах. Они преобразуют код в показания, понятные человеку.

1.2.9. Измерительные системы и измерительно-вычислительные комплексы

Современные технологические процессы и установки отличаются большой сложностью и для управления требуется значение сотен и тысяч различных физических величин. Обработка больших объемов информации стала возможной только при использовании измерительных систем и измерительно-вычислительных комплексов.

Измерительные системы – это совокупность функционально объединенных средств измерений, средств вычислительной техники и вспомогательных устройств, предназначенных для обработки всей поступившей от объекта информации с целью выработки управляющих сигналов и проведения технико-экономического анализа работы данного объекта.

В зависимости от конкретных условий измерительные системы могут быть только измерительные, контролируемые или управляющие.

Важной разновидностью измерительных систем являются информационно-измерительные системы, предна-

значенные для представления измерительной информации в виде, необходимой потребителю. Среди них различают системы:

- с заранее заданным алгоритмом работы, правила функционирования которых не меняются, поэтому они могут быть использованы для объектов, работающих в постоянном режиме;

- программируемые, алгоритм работы которых меняется по заданной программе, соответствующей особенностям работы объекта;

- адаптивные, алгоритм работы которых изменяется, приспособляясь к изменениям условий работы объекта.

Одной из разновидностей информационно-измерительной системы являются измерительно-вычислительные комплексы. Основными признаками таких систем являются: наличие процессора или компьютера, программное управление средствами измерений, наличие нормированных метрологических характеристик, блочно-модульная структура. Данная система состоит из двух подсистем:

- техническая (аппаратная);
- программная (алгоритмическая).

Техническая подсистема содержит средства измерения электрических величин (измерительные устройства), средства вычислительной техники (вычислительные устройства), меры текущего времени, средства ввода-вывода цифровых и аналоговых сигналов.

Программная подсистема содержит системное и общее прикладное программное обеспечение. Системное программное обеспечение представляет собой совокупность программного обеспечения компьютера и дополнитель-

ных программных средств, позволяющих работать в диалоговом режиме внутри подсистемы комплекса.

Измерительно-вычислительные комплексы предназначены для выполнения следующих функций:

- осуществление прямых, косвенных, совместных или совокупных измерений физических величин;
- управление процессом измерений и воздействием на объект измерений;
- представление оператору результатов измерений в требуемом виде.

Основные составляющие части комплекса:

- компьютер с периферийными устройствами, подключенными к нему;
- программное обеспечение, представляющее собой совокупность взаимосвязанных программ, написанных на алгоритмических языках разного уровня;
- интерфейс, организующий связь технических устройств комплекса с компьютером;
- формирователь испытательных сигналов, которыми воздействуют на объект измерения с целью получения измерительных сигналов.

1.3. Погрешности измерений

1.3.1 Классификация погрешностей

Одно из основных понятий в метрологии является погрешность. При измерении любых физических величин всегда имеют место разность между измеренным значением и истинным значением измеряемого параметра. Поскольку истинное значение величины неизвестно, на практике вместо него пользуются значением величины, полученным при помощи более точного средства измерений.

Так, для рабочего средства измерений более точным является образцовое средство измерений – эталон. Государственный эталон сличают с международным эталоном.

В общем виде разность в показаниях поверяемого ($X_{п}$) и образцового (X_0) средств измерений считают погрешностью поверяемого средства измерений, т.е.

$$\Delta X = X_{п} - X_0. \quad (1.5)$$

Погрешность, возникающая при измерениях, обусловлена несовершенством измерительных устройств.

По характеру проявления погрешности делятся на: случайные, систематические, прогрессирующие и грубые. Такое деление погрешности на составляющие введено для удобства обработки результатов измерений, исходя из характера их проявления.

Случайная погрешность – это составляющая часть общей погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений одной и той же физической величины. В появлении таких погрешностей не наблюдается какой-либо закономерности. Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения. Описание случайных погрешностей возможно только на основе теории случайных процессов и математической статистики. Особенность случайных погрешностей – их нельзя исключить из результатов измерений путем введения поправки, однако их можно существенно уменьшить путем увеличения числа наблюдений (измерений). Поэтому для получения как можно близкого результата измерения к действительному значению проводят многократные измерения данного параметра с последующей математической обработкой экспериментальных данных. Причины случайных

погрешностей: погрешности округления при отсчете показаний, вариация показаний, изменение условий измерений случайного характера и другие.

Систематическая погрешность – это составляющая часть общей погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно меняющейся при повторных измерениях одной и той же физической величины. Постоянная и переменная систематической погрешности показаны на рис. 1.7, а, б. Отличительным признаком систематических погрешностей является то, что они могут быть предсказаны, обнаружены и благодаря этому почти полностью устранены введением соответствующей поправки.

Прогрессирующая погрешность – это непрерывно возрастающая или убывающая погрешность. К ним относятся, например, погрешность вследствие износа непрерывно трущихся или периодически контактирующих элементов измерительных приборов в процессе измерений. Подобные погрешности имеют место в процессе прогрева диодов, транзисторов и других элементов в электрической схеме измерительных приборов.

Отличительными особенностями прогрессирующих погрешностей являются:

- возможность ввода поправок только в данный момент времени, а в другие моменты времени погрешности непредсказуемо изменяются;

- возможность описания закономерности изменения погрешности в рамках теории стационарных случайных процессов лишь с известными дополнительными условиями.

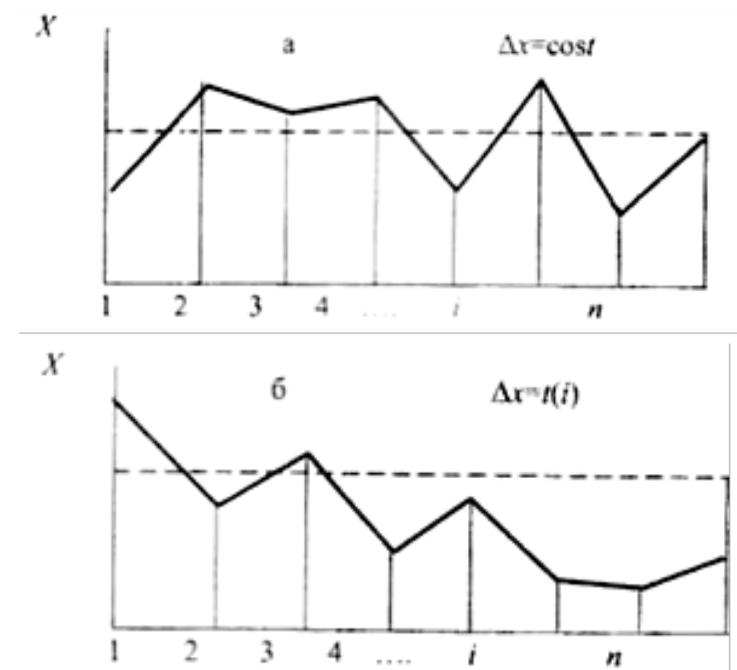


Рис. 1.7 – Постоянная (а) и переменная (б) систематической погрешности

Грубая погрешность – это случайная погрешность результата отдельного наблюдения, входящего в ряд измерений и которая для данных условий измерения резко отличается от остальных результатов этого ряда. Грубые погрешности, как правило, возникают из-за ошибок или неправильных действий оператора (неверного отсчета, ошибок при вычислениях, неверного ввода поправок, неправильного включения прибора и др.). Возможной причиной появления таких погрешностей могут быть также резкие кратковременные изменения условий проведения измерений (скачкообразное изменение электромагнитного поля, резкие изменения состава газовой атмосферы и др.).

Если погрешности обнаруживаются в процессе измерений, то результаты таких измерений отбрасываются. Однако, чаще всего грубые погрешности выявляются только при окончательной обработке результатов измерений с помощью специальных критериев.

По способу выражения различают: абсолютную, относительную и приведенную погрешности.

Абсолютная погрешность – разность между действительным значением измеряемой величины (по показаниям образцового прибора или эталона) и измеренной применяемым измерительным устройством и выражается в единицах измеряемой величины. Абсолютная погрешность не может в полной мере служить показателем точности измерений, так как одно и то же ее значение не может служить одинаковой оценке погрешности. Так, например, абсолютная погрешность $\Delta P = 1 \text{ Па}$ при $P = 1000 \text{ Па}$ соответствует достаточно высокой точности измерения, а такая же погрешность при $P = 100 \text{ Па}$ – низкой. Поэтому и вводится понятие относительной погрешности.

Относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины:

$$\Delta\delta = \frac{\Delta X}{X_{ист}} 100\% . \quad (1.6)$$

Однако, такой способ выражения погрешности не может выполнять функцию нормирующего значения погрешности для данного измерительного устройства, что связано с тем, что относительная погрешность может принимать различные значения, вплоть до бесконечности, если шкала прибора имеет положительные и отрицательные значения параметра с нулевым значением в центре

шкалы (например, тягонапоромер, измеряющий давление больше (+) или меньше (-) барометрического). В связи с этим для указания и нормирования погрешности средства измерения используется еще одна разновидность погрешности – приведенная.

Приведенная погрешность – это относительная погрешность, в которой берется отношение абсолютной погрешности к условно принятому значению измеряемой величины, которая является постоянной во всем диапазоне измеряемой величины и называется нормирующим значением для определения показателя точности данного измерительного устройства. Чаще всего в качестве нормирующего значения принимают верхний предел измерений данного средства измерений. Если диапазон измерения прибора охватывает и нулевое значение измеряемой величины, то нормирующим значением может служить вся длина шкалы, выраженная в единицах измеряемой величины. Ниже приведены примеры определения величин абсолютной, относительной и приведенной погрешности для зафиксированных диапазонов шкалы рабочего прибора.

Пример 1. Температура подогрева воздуха в рекуператоре методической печи, измеренная рабочим прибором составила 320 °С, а образцовым 325 °С. Определить абсолютную, относительную и приведенную погрешности, если шкала рабочего прибора имеет пределы 0-600 °С.

Абсолютная погрешность: $X = 325 - 320 = 5$ °С.

Относительная погрешность:

$$\Delta X = \frac{5}{325} 100\% = 1,5\%.$$

Приведенная погрешность:

$$\Delta X_n = \frac{5}{600} 100\% = 0,8\%.$$

Пример 2. При измерении давления в рабочем пространстве котла-утилизатора тягонапоромером (рабочим прибором) было зафиксировано разрежение «-20Па», а образцовый прибор показал «-20,5Па». Определить абсолютную, относительную и приведенную погрешности, если крайние цифровые отметки на шкале рабочего прибора равны -50Па и +50Па.

Абсолютная погрешность: $x = |20,5| - 20,0| = 0,5\text{Па}$.

Относительная погрешность:

$$\Delta X = \frac{0,5}{|20,5|} 100\% = 2,4\%.$$

Приведенная погрешность:

$$\Delta X_n = \frac{0,5}{|50| + |50|} 100\% = 0,5\%.$$

В зависимости от места возникновения погрешности бывают: инструментальные, методические и субъективные.

Инструментальная погрешность обусловлена погрешностью применяемого средства измерения. Эту погрешность иногда называют аппаратурной.

Методическая погрешность измерения обусловлена:

- отличием принятой модели объекта (печи, котла, дымовой трубы и др.) измерения от фактической, свойства которой определяются путем измерения;

- влиянием способов применения средства измерения, например, от способа установки термомпары при измерении температуры поверхности экранной трубы парового котла;

- влиянием алгоритма (формул), по которому производится вычисление результатов измерений.

Отличительной особенностью методических погрешностей является то, что они не могут быть указаны в нормативно-технической документации на используемое средство измерения, а должны определяться оператором в каждом конкретном случае.

Субъективная (личная) погрешность измерения обусловлена погрешностью отсчета оператором показаний по шкалам и диаграммам показывающих и регистрирующих приборов. Такие погрешности вызваны состоянием оператора, его положением по отношению к прибору во время работы, несовершенством органов и др.

1.3.2. Принципы оценивания погрешностей

Оценивание погрешностей производится с целью получения объективных данных о точности результата измерения, которая характеризуется погрешностью.

В основу выбора оценок погрешностей положен ряд принципов:

- оцениваются отдельные характеристики и параметры выбранной модели погрешности. Это связано с тем, что модели погрешностей сложны и описываются многими параметрами, определение которых затруднительно, а иногда и невозможно;

- оценки погрешности определяют приближенно с точностью, необходимой для конкретных задач измерений;

- погрешность лучше преувеличивать, чем преуменьшать, так как в первом случае снижается качество измерений, а во втором - возможно полное обесценивание результатов всего измерения;

– точность измерений должна соответствовать цели измерения. Излишняя точность ведет к большому расходу средств и времени. Недостаточная точность в зависимости от цели измерения может привести к аварийной ситуации, к выпуску некачественной продукции, принятию ошибочного решения и др.

В общем случае результаты измерений и их погрешности должны рассматриваться как случайные функции или случайные процессы. Поэтому математическое описание результатов и погрешностей измерения должно строиться на основе теории случайных процессов.

Оценивание погрешностей может проводиться до и после измерения. Оценка погрешности до измерения производится с целью проверки возможности обеспечить требуемую точность измерений, проводимых в заданных условиях выбранным методом с помощью конкретных средств измерений. Оно проводится в случаях:

- нормирования метрологических характеристик используемых средств измерений;
- разработки методик выполнения измерений;
- выбора средств измерений для решения конкретной измерительной задачи;
- подготовки измерений, проводимых с помощью конкретного средства измерения.

Оценка погрешности после измерения проводится в тех случаях, когда эта оценка до измерения неудовлетворительна или получена на основе типовых метрологических характеристик, а требуется учесть индивидуальные свойства используемого средства измерения.

Систематическая погрешность представляет собой определенную функцию влияющих факторов, состав кото-

рых зависит от физических, конструктивных и технологических особенностей средств измерений, условий их применения и индивидуальных качеств оператора-метролога. При оценке систематических погрешностей необходимо учитывать влияние следующих основных факторов:

- объект измерения перед измерением должен быть хорошо изучен с целью более точного выбора его модели. Чем полнее модель соответствует исследуемому объекту, тем точнее могут быть получены результаты измерения. Например, при измерении температуры движущейся с малой скоростью газовой среды в канале можно не учитывать влияние скорости на точность измерения, однако при больших скоростях необходимо учитывать дополнительный подогрев чувствительного элемента (датчика температуры) за счет выделения тепла трения;

- вклад субъекта измерения необходимо уменьшать путем подбора операторов высокой квалификации;

- правильный выбор метода и средства измерения, который должен производиться на основе более полной информации об объекте измерения. Чем больше информации об объекте перед измерением, тем точнее может быть проведено это измерение.

Основной вклад в систематическую погрешность вносит, как правило, методическая погрешность. Обеспечение и стабилизация нормальных условий измерения является необходимым требованием для минимизации дополнительной погрешности, которая по своей природе является систематической.

Систематические погрешности по характеру изменения по времени делятся на постоянные и переменные.

Постоянные погрешности – это такие погрешности, которые остаются неизменными в течение всей серии измерений, например, возникновение постоянной систематической погрешности при неправильной установке нулевого значения стрелочного измерительного прибора.

Переменные погрешности – это погрешности, изменяющиеся в процессе измерения и могут быть монотонно и периодические изменяющиеся, изменяющиеся по сложному закону. Такие погрешности могут проявиться при постепенном разряде батареи, питающей средство измерения, например, износе подвижных частей прибора, смещении оси стрелки прибора относительно центра шкалы и др.

При проведении измерений стараются в максимальной степени исключить или учесть влияние систематических погрешностей. Для этого можно пользоваться следующими способами:

- устранением источников погрешностей до начала измерений. В большинстве областей измерений известны главные источники систематических погрешностей и разработаны методы, исключаяющие их возникновение или устраняющие их влияние на результат измерения. В связи с этим в практике измерений стараются устранить систематические погрешности до измерения, а не путем обработки экспериментальных данных:

- определением поправки и внесение ее в результат измерения;

- оценкой границ неисключенных систематических погрешностей.

Для устранения постоянных систематических погрешностей применяются следующие методы:

– метод замещения, при котором сравнения осуществляется заменой измеряемой величины известной величиной, вырабатываемой образцовым прибором. Этот метод дает наиболее полное решение задачи. Для его реализации необходимо иметь регулируемую меру однородной с измеряемой. Например, измерение сопротивления термометра сопротивлением посредством моста постоянного тока и мер сопротивления;

– метод противопоставления, при котором измерение выполняется дважды и проводится так, чтобы в обоих случаях причина постоянной погрешности оказывала разные, но известные по закономерности воздействия на результаты наблюдений. Например, при измерении сопротивления термометра сопротивления его вместе с контрольным переменным сопротивлением устанавливают в разные плечи и уравнивают мост, затем их меняют местами и опять уравнивают мост. Действительная величина R проверяемого термометра определяется по формуле:

$$R = \sqrt{R_1 \cdot R_1^1};$$

– метод компенсации погрешности по знаку (метод изменения знака систематической погрешности), предусматривающий измерение с двумя наблюдениями, выполняемыми так, чтобы постоянная систематическая погрешность входила в результат каждого из них с разными знаками. Например, можно исключить систематическую погрешность потенциометра постоянного тока, измеряя термо-ЭДС термопары при прямом и обратном направлении тока (т.е. при смене полярности). Систематическая ошибка при таком методе измерения будет исключена;

– метод рандомизации является наиболее универсальным способом исключения неизвестных постоянных сис-

тематических погрешностей. В этом методе одна и та же величина измеряется различными методами (приборами). При увеличении числа используемых методов (приборов) систематические погрешности взаимно компенсируются.

Для устранения переменных и монотонно измеряющихся систематических погрешностей применяют следующие приемы и методы:

- анализ знаков случайных неисправленных погрешностей. Если знаки («+» или «-») чередуются с какой-либо закономерностью, то наблюдается переменная систематическая погрешность. Если последовательность знаков «+» у случайных погрешностей сменяется на последовательность знаков «-» или наоборот, то присутствует монотонно изменяющаяся систематическая погрешность. Если группы знаков «+» и «-» у случайных погрешностях чередуются, то присутствует периодическая систематическая погрешность;

- графический метод - является наиболее простым способом обнаружения переменной систематической погрешности и заключается в построении графика последовательности неисправленных значений результатов наблюдений. На графике через построенные точки проводят плавную кривую, которая выражает тенденцию результата измерения, если она существует. Если тенденция не прослеживается, то переменную систематическую погрешность считают практически отсутствующей;

- метод симметричных наблюдений. Для устранения симметрической погрешности трижды измеряется выходная величина средствами измерения через равные промежутки времени. При первом и третьем измерении на вход прибора подается сигнал от образцового прибора. В ре-

зультате измерений получается система уравнений (если известна передаточная функция используемого прибора). Решение системы трех уравнений позволяет получить значение входной величины, свободной от переменной систематической погрешности;

– специальные статистические методы: способ последовательных разностей (критерий Аббе), дисперсионный анализ (критерий Фишера) и критерий Вилкоксона.

1.4. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ)

1.4.1. Цель и задачи ГСИ

Обеспечение единства измерений (ОЕИ) в стране осуществляется на государственном уровне, уровне федеральных органов исполнительной власти и уровне юридических лиц.

Государственная система обеспечения единства измерений – это система обеспечения единства измерений в стране, реализуемая, управляемая и контролируемая федеральным органом исполнительной власти по метрологии – агентством Госстандарт и другими федеральными органами исполнительной власти (ФОИВ).

Важнейшими целями в области ОЕИ являются:

– защита прав и законных интересов граждан от отрицательных последствий недостоверных измерений;

– обеспечение потребности государства и общества в объективных и достоверных результатах измерений в целях защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, обеспечения безопасности государства;

– содействие развитию отечественной экономики и научно-технического прогресса.

Схематически действующую систему нормативно-правовых и технических актов можно представить в виде пирамиды (рис. 1.8), вершину которой занимает Конституция РФ с упоминанием ее ст. 71р, указывается на то, что: «В ведении Российской Федерации находятся... стандарты, эталоны, метрическая система и исчисление времени».

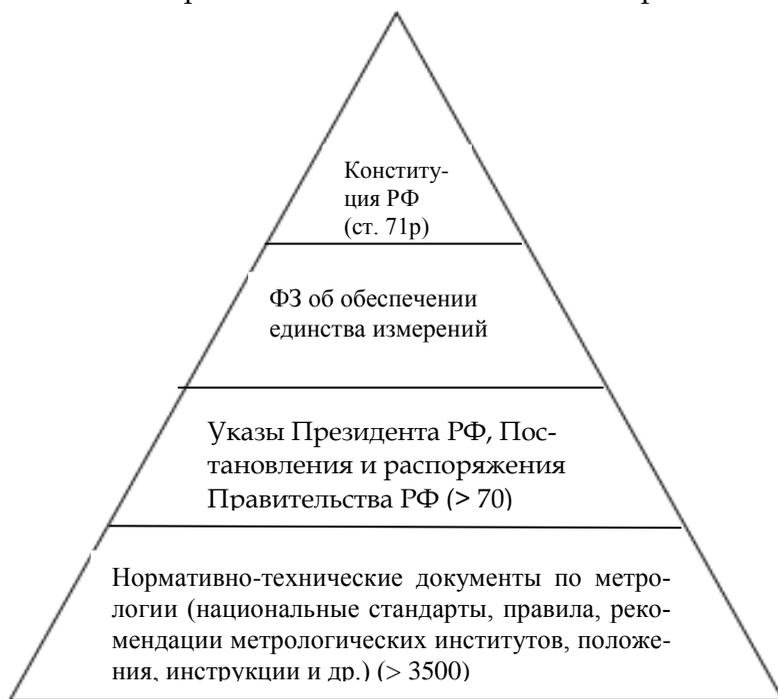


Рис. 1.8 – Структура нормативно-правовой базы в сфере метрологии РФ

Возведение правовых норм по вопросам метрологии в ранг конституционных положений – факт огромного значения. Защита человека от недостоверных результатов измерений как социальная функция метрологии закреплена в конституциях 69 стран! Второй пласт пирамиды пред-

ставлен Федеральным Законом об обеспечении единства измерений, пласт – состоит из подзаконных актов в виде Указов Президента РФ и решений Правительства РФ в форме постановлений и распоряжений. Внизу пирамиды расположен четвертый пласт, представленный нормативно-техническими документами межотраслевого значения, утверждаемыми федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим руководство вопросами метрологии в стране (ранее Госстандарт России, потом Ростехрегулирование, ныне Росстандарт). К ним относятся национальные стандарты (ГОСТ Р) – около 100, межгосударственные стандарты (ГОСТ) – > 400, правила по метрологии (ПР) – около 30, методики института (МИ – около 75).

1.4.2. Организационные основы обеспечения единства измерений

Российская система измерений (РСИ) охватывает органы и службы, обеспечивающие ОЕИ в России, вместе с разработчиками, производителями и пользователями СИ, действующими в соответствии с российским законодательством. На рис. 1.9 представлена модель системы измерений, которая охватывает три элемента – измерительную технику (1), потребителя измерительной техники и информации (2) и метрологию (3).

Существует общая зона пересечения этих трех элементов (4), которая представляет собой Государственную систему обеспечения единства измерений – ГСИ. Во взаимопересечениях элементов между собой (попарно) находятся конкретные виды работ: в 1-3 – государственные испытания СИ; в 2-3 – поверка и калибровка; в 1-2 – ремонт, обслуживание.



Рис. 1.9 – Модель системы измерений

В ходе проведения административной реформы в Российской Федерации сформировалась определенная структура ГСИ, представленная на рис. 1.10.

Она включает следующие субъекты:

- федеральные органы исполнительной власти, осуществляющие установленные Правительством РФ функции в области метрологии, в частности национальный орган по метрологии - Госстандарт;
- региональные центры метрологии, осуществляющие руководство ОЕИ на местах;
- систему государственных справочных служб - ГСС (ГСССД, ГССО, ГСВЧ);
- метрологические службы федеральных органов исполнительной власти.

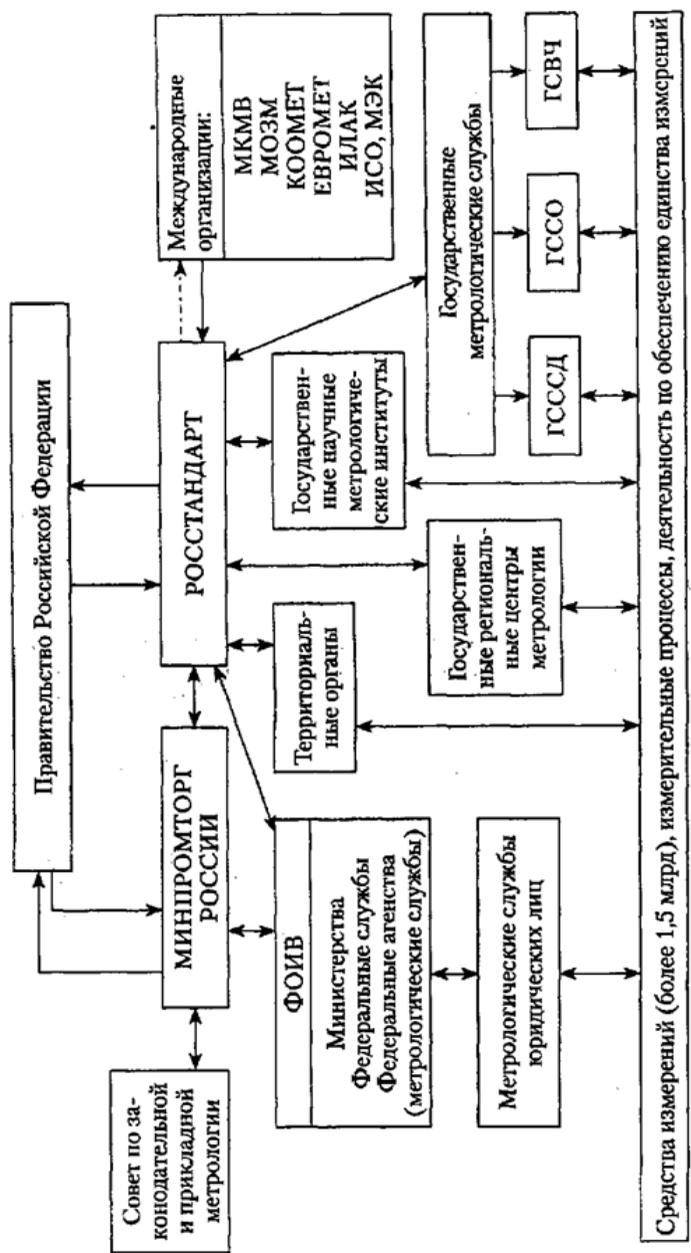


Рис. 1.10 – Структура Российской системы измерений

1.4.3. Органы по метрологии

Во главе метрологической инфраструктуры стоят два федеральных органа исполнительной власти – Министерство промышленности и торговли РФ (Минпромторг России) и Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии – Госстандарт.

В ближайшей перспективе руководство деятельностью по выполнению функций ОЕИ будут осуществлять и другие органы исполнительной власти. Это объясняется тем, что ФЗ о техническом регулировании охватывает настолько много различных сфер жизни страны и общества в целом, что без активного участия в ОЕИ федеральных органов исполнительной власти (ФОИВ) нельзя обойтись.

У вышеупомянутых двух субъектов существующей вертикали власти четко разграничены функции. Минпромторг РФ представляет в Правительство РФ проекты нормативных правовых актов; рассматривает и утверждает нормативные правовые акты; осуществляет связь с другими ФОИВ, ведущими метрологическую деятельность.

Госстандарту подчинены такие государственные федеральные унитарные предприятия (ФГУП), как НИИ, разрабатывающие научно-методические проблемы стандартизации, метрологии и подтверждения соответствия. В ведении Госстандарта 86 федеральных государственных учреждений – центров стандартизации, метрологии и сертификации – ФГУ ЦСМ (общая численность работающих составляет примерно 10,5 тыс. человек).

Специфическими функциями Госстандарта (в сравнении с Минпромторгом России) являются: а) надзорная деятельность через территориальные органы Госстандарта; б) оказание государственных услуг (например, лицен-

зирование деятельности по изготовлению и ремонту СИ); управление государственным имуществом (имуществом ФГУП, фондом государственных эталонов и пр.).

В России, в отличие от большинства стран, в т. ч. стран СНГ (Беларусь и пр.) до настоящего времени не установлен единый национальный орган по метрологии, что противоречит международным требованиям. Поскольку установление такого органа важно для осуществления международного сотрудничества в области метрологии, а такое сотрудничество осуществляют метрологические институты Росстандарта, то было бы логично, по мнению российского метрологического сообщества, возложить именно эти полномочия на Госстандарт, как это сделано в области стандартизации.

1.4.4. Международные и региональные организации по метрологии

Участие России в деятельности международных и региональных организаций, учет и использование их нормативно-правовых актов позволяют максимально гармонизировать национальные системы измерений и, тем самым, создавать, в конечном счете, необходимые предпосылки для взаимного признания результатов измерений и устранения различных барьеров на пути формирования единого метрологического пространства.

Международные метрологические организации действуют с конца XIX в. Как уже отмечалось выше, в 1875 г. 17 государств, в число которых входила Россия, подписали в Париже Метрическую конвенцию, которая, по существу, явилась первым международным стандартом. При этом было создано первое международное метрологическое учреждение – Международное бюро мер и весов (МБМВ),

которое до сих пор активно функционирует, координируя деятельность метрологических организаций более чем 100 стран. МБМВ располагается во Франции, в г. Севр. МБМВ хранит международные прототипы метра и килограмма и некоторые другие эталоны, а также организует периодическое сличение национальных эталонов с международными. Руководство деятельностью МБМВ осуществляется Международным комитетом мер и весов (МКМВ), созданным одновременно с МБМВ.

В среднем один раз в четыре года собирается Генеральная конференция по мерам и весам, принимающая общие, наиболее важные для развития метрологии и измерительной техники решения.

В 1956 г. была учреждена Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ), членами которой являются более 85 стран мира. МОЗМ разрабатывает общие вопросы законодательной метрологии: установление классов точности СИ; обеспечение единообразия определенных типов, образцов и систем измерительных приборов; рекомендации по их испытаниям с целью установления единообразия метрологических характеристик СИ независимо от страны-изготовителя; порядок поверки и калибровки СИ и др.

В настоящее время метрологическими институтами Росстандарта осуществляется ведение трех ТК и 12 ПК МОЗМ и ИСО. Этими ТК и ПК разработаны 16 проектов международных документов при авторстве России.

В 2006 г. ряд институтов (например, ВНИИМС, ВНИИМ им. Д.И. Менделеева) получили от международной организации МБМВ право выдачи сертификатов измерений с логотипом Международного комитета мер и весов. Россия

участвует в Организации сотрудничества государственных метрологических учреждений стран Центральной и Восточной Европы (КОOMET). Организации России ведут или участвуют в реализации 60% тем КОOMET.

Итоги многолетней деятельности международных организаций очень результативны. Благодаря их усилиям в большинстве стран мира принята Международная система единиц физических величин (SI), действует сопоставимая терминология, приняты рекомендации по способам нормирования метрологических характеристик СИ, по сертификации СИ, по испытаниям СИ перед выпуском серийной продукции.

Актуальной задачей международных и региональных организаций по метрологии является создание глобальной метрологической системы. Для этой системы характерны: единство измерений в SI; верность (в рамках допустимой неопределенности) измерений; соблюдение международно признанных и действующих систем качества; соблюдение прозрачных процедур проверки компетентности, подтверждаемых документально.

Необходимость глобальной системы измерений связана со следующими факторами современного мирового развития: либерализация рынков; возникновение новых торговых зон; разделение труда.

1.4.5. Метрологическая деятельность в области обеспечения единства измерений

Метрологическая деятельность включает работы и услуги. К метрологическим работам относятся: научно-исследовательские работы, связанные с теоретической, законодательной и прикладной метрологией; разработка методик измерений, поверки и калибровки; разработка нор-

мативных правовых документов; работы по государственному метрологическому надзору. Первые три упомянутые работы проводятся на дорыночной стадии и направлены на создание научно-методической базы деятельности по обеспечению единства измерений. Работы оплачиваются как за счет средств федерального бюджета, так и за счет заинтересованных лиц. К метрологическим услугам относятся: метрологическая экспертиза; передача единиц величин от государственных эталонов к подчиненным эталонам; поверка СИ; калибровка СИ; испытания СИ и стандартных образцов; аттестация методик измерения; аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей; информационные, консультационные и образовательные услуги в области метрологии. В условиях рынка оказание услуг является преимущественно коммерческой деятельностью и поэтому оплачивается в соответствии со ст. 26 ФЗ об обеспечении единства измерений как по регулируемым ценам в порядке, установленном Правительством РФ, так и в соответствии с условиями заключенных договоров (контрактов).

Объектами метрологической деятельности являются:

- единицы величин (килограмм, вольт, секунда и т.д.);
- эталоны единиц величин;
- стандартные образцы;
- средства измерений;
- технические системы и устройства с измерительными функциями;
- проекты нормативных актов и национальных стандартов, техническая документация как объекты метрологической экспертизы.

К измерениям предъявляются обязательные и рекомендуемые требования.

Обязательные метрологические требования – метрологические требования, установленные нормативными правовыми актами РФ и обязательные для соблюдения на территории РФ.

ФЗ об обеспечении единства измерений установлены два источника формирования обязательных требований к измерениям: законодательство по обеспечению единства измерений; законодательство о техническом регулировании.

ФЗ об обеспечении единства измерений и подзаконные акты устанавливают обязательные требования к измерениям, используемым в целях защиты жизни и здоровья граждан, охраны окружающей среды, животного и растительного мира, обеспечения обороны и безопасности государства, в том числе экономической безопасности. Указанные измерения относятся к сфере государственного регулирования (ГР).

К законодательству о техническом регулировании относится ФЗ о техническом регулировании и технические регламенты на конкретную продукцию. Конкретные метрологические требования устанавливаются в национальных стандартах (сводах правил), в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований принятого технологического регламента.

Схематично процесс формирования обязательных требований к измерениям показан на рис. 1.11.



Рис. 1.11 – Схема формирования обязательных требований к измерениям

Функция определения намерений, попадающих в сферу ГР, и установления обязательных требований к ним, включая показатели точности намерения, низложена па ФОИВ. Для реализации обязательных требований используются такие обязательные к исполнению межведомственные документы, как Правила по метрологии. Перечень измерений является начальной, по не конечной целью работ ФОИВ по конкретизации сферы ГР в соответствующих областях деятельности. В частности, ФОИВ устанавливает обязательные требования, в том числе показатели точности измерения, к измерениям, вошедшим в Перечень.

1.4.6. Формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений

ГР ОЕИ осуществляется в семи формах:

- утверждение типа стандартных образцов или типа средств измерений;
- поверка средств измерений;
- деятельность по ремонту средств измерений;
- государственный метрологический надзор;
- аттестация методик (методов) измерений;
- аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей на выполнение работ и (или) оказание услуг в области ОЕИ;
- метрологическая экспертиза.

За исключением государственного метрологического надзора, перечисленные виды деятельности относятся к метрологическим услугам.

Рассмотрим подробно формы государственного регулирования в ОЕИ.

Аттестация методик измерений – исследование и подтверждение соответствия методик измерений установленным метрологическим требованиям к измерениям.

Измерения, относящиеся к сфере ГР ОЕИ, должны выполняться по аттестованным методикам за исключением методик, предназначенных для выполнения прямых измерений. Поскольку методики прямых измерений достаточно просты, то подтверждение их соответствия обязательным требованиям достаточно осуществить в процессе утверждения типа СИ. Погрешность результатов таких измерений определяется преимущественно погрешностью самого применяемого СИ. Методики измерений вносятся в эксплуатационную документацию на СИ.

Таким образом, аттестация касается более сложных измерительных процедур, которые в области прикладной метрологии составляют значительную долю.

Аккредитация в области ОЕИ осуществляется в целях официального признания компетентности юридического лица (или индивидуального предпринимателя) выполнять работы или оказывать услуги в соответствии с ФЗ об обеспечении единства измерений. Аккредитация осуществляется в добровольном порядке.

В мировом сообществе аккредитация рассматривается как важнейший механизм, призванный обеспечить прослеживаемость результатов измерений к эталонам и, тем самым, доверие к результатам измерений при решении широкого круга задач, особенно в рамках международного научно-технического и экономического сотрудничества.

Метрологическая экспертиза – анализ и оценка правильности установления и соблюдения метрологических требований применительно к объекту, подвергаемому экспертизе. Проекты нормативных актов РФ, содержащие требования к измерениям, стандартным образцам и СИ, подлежат обязательной экспертизе. В порядке и случаях, предусмотренных законодательством РФ, объектом обязательной экспертизы могут быть стандарты и техническая документация. В других случаях метрологическая экспертиза проводится в добровольном порядке.

Согласно принятому ФЗ об обеспечении единства измерений обязательная метрологическая экспертиза позволит обеспечить требуемую достоверность измерений с помощью ИИС.

Условием предоставления права обязательной экспертизы является аккредитация юридических лиц и индивидуальных предпринимателей. Предоставление этого права указанным лицам ограничено перечнем объектов, под-

лежащих экспертизе, – стандарты, продукция, конструкторская, технологическая документация и пр.

Государственное регулирование в области ОЕИ осуществляется в двух основных направлениях:

- оказание государственных метрологических услуг;
- осуществление государственного метрологического надзора.

1.4.7. Проблемы и задачи в области метрологии в перспективе

Основной задачей двух руководящих органов в сфере метрологии – Минпромторга России и Росстандарта – является решение проблем, связанных со вступлением России в ВТО. Речь может идти, например, о признании результатов измерений на международном уровне; готовности нормативной базы прикладной метрологии для обеспечения выхода отечественных товаров и услуг на мировой рынок; способности российских производителей СИ к борьбе за рынок и др.

Предстоит разработка прогноза развития национальной системы измерений. Эта работа начнется с формирования концепции развития национальной системы измерений, подобной Концепции развития национальной системы стандартизации, одобренной Правительством РФ в 2006 г. Поскольку страна перешла на среднесрочное планирование, то на базе концепции и перспективных прогнозов будет разработана среднесрочная программа развития национальной системы измерений.

В связи с освоением новых, так называемых критических технологий (включая нанотехнологии) резко возрастают требования к точности измерений и, как следствие, к качеству эталонной базы. Предстоит решить ком-

плекс задач метрологического обеспечения разработки и освоения критических технологий.

Возрастет роль метрологии в разработке технических регламентов, поскольку доказательная база внедрения и соблюдения ТР состоит преимущественно из документов, регламентирующих методики выполнения измерений, прослеживаемых к современным эталонам.

Очень важным направлением деятельности Росстандарта является участие в выполнении федеральных целевых программ. Речь прежде всего идет о метрологическом «сопровождении» двух программ: «Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС)»; «Создание и развитие нанотехнологий».

2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

2.1. Оценка качества продукции путем подтверждения соответствия

Подтверждение соответствия имеет смысл применять, когда требуется официально удостоверить и довести факт соответствия выпускаемой на рынок продукции установленным требованиям. Подтверждение соответствия – финальная часть оценки объекта, которой предшествуют различные доказательства (испытания, проверка производства и т.п.).

Форма подтверждения соответствия – определенный порядок документального удостоверения соответствия.

По признаку обязательности процедуры различают обязательное и добровольное подтверждение соответствия. В свою очередь, обязательное подтверждение соответствия

по признаку стороны, удостоверяющей его, подразделяется на декларирование соответствия (первая сторона) и обязательную сертификацию (третья сторона) (рис. 2.1).



Рис. 2.1 – Формы подтверждения соответствия

Сертификация – форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров

Сертификат соответствия – документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил и условиям договоров. Другой вариант определения: документ, выданный органом по сертификации и удостоверяющий соответствие объекта установленным требованиям.

Декларирование соответствия – форма подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов.

Декларация о соответствии – документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов.

В общем случае декларация – это объявление, заявление, торжественное провозглашение.

Заявитель – физическое/юридическое лицо, которое для подтверждения соответствия принимает декларацию о соответствии или обращается за получением сертификата соответствия, получает сертификат соответствия.

Знак соответствия – обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту.

Знаки соответствия представлены на рис. 2.2.

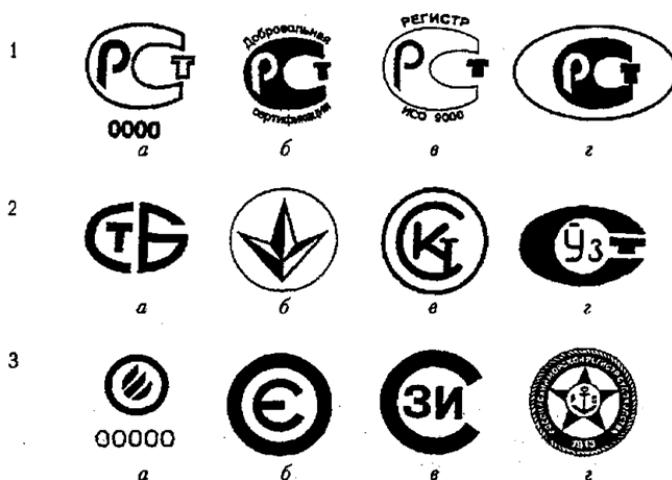


Рис. 2.2 – Знаки соответствия:

1 – знаки соответствия в системе ГОСТ Р (*а* – знак при обязательной сертификации; *б* – «Системы добровольной сертификации» Госстандарта РФ); *в* – системы менеджмента качества; *г* – требованиям национальных стандартов РФ); 2 – знаки соответствия при обязательной сертификации национальных систем сертификации отдельных стран СНГ (*а* – Беларуси; *б* – Украины; *в* – Казахстана; *г* - Узбекистана); 3 – знаки соответствия систем обязательной сертификации отдельных федеральных органов исполнительной власти России (*а* – в области пожарной безопас-

ности ГУ Государственной противопожарной службы МЧС России; *б* – по экологическим требованиям Минприроды России; *в* – по требованиям безопасности информации средств защиты информации Гостехкомиссии России; *г* – службы Морфлота Минтранса России при сертификации морских гражданских судов)

В процессе использования знака соответствия различают владельца знака соответствия, под которым понимают лицо или организацию, имеющих законное право на знак, и его эмитента – органа, который дает право использовать этот знак. В России таковым является орган по сертификации.

Основанием для маркирования продукции знаком соответствия является сертификат соответствия или собственн оформленная декларация.

Знаком соответствия маркируется каждая единица продукции (непосредственно изделия, тара, сопроводительная документация), поступающая к потребителю вместе с товаром; сертификат (декларация) соответствия, как правило, распространяется на группу продукции (партию или серийный выпуск). В тех случаях, когда наличие знака соответствия является обязательным атрибутом продукции перед ее реализацией, он может рассматриваться как знак допуска на рынок.

Схема подтверждения соответствия – совокупность действий, результаты которых рассматриваются в качестве доказательств соответствия продукции и иных объектов установленным требованиям.

Система сертификации – совокупность правил выполнения работ по сертификации, ее участков и правил функционирования системы сертификации в целом.

Основными участниками системы являются органы по сертификации и испытательные лаборатории.

2.2. Цели и принципы подтверждения соответствия

Цели подтверждения соответствия. Подтверждение направлено на достижение следующих целей:

- удостоверение соответствия продукции и процессов жизненного цикла продукции (ЖЦП), работ и услуг (или иных объектов) техническим регламентам, стандартам, сводам правил, условиям договоров;
- повышение конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;
- содействие приобретателям в компетентном выборе продукции, работ, услуг;
- создание условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории РФ, а также осуществления международной торговли.

При подтверждении соответствия необходимо руководствоваться следующими принципами:

- доступность информации о порядке осуществления подтверждения соответствия заинтересованным лицам;
- установление в соответствующем техническом регламенте (ТР) перечня форм и схем обязательного соответствия по отношению к объектам, определенным видам продукции;
- ориентация на уменьшение срока проведения процедуры обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя.

Эта норма понимается как принцип минимизации затрат и средств. Обязательное подтверждение соответствия не должно быть тяжелым бременем для заявителя.

Предполагаемое несоответствие должны доказывать инспектирующие организации. В практике технического регулирования ЕС (откуда заимствован этот принцип) он оз-

начает следующее: пока не доказано противное, изготовитель заявляет в декларации соответствия, что его продукция отвечает требованиям гармонизированного стандарта, а значит, и существенным требованиям директивы ЕС.

2.3. Сертификация как процедура подтверждения соответствия

Подтверждение соответствия может осуществляться в обязательной и добровольной формах. Ниже рассмотрены подтверждение соответствия в обязательной форме – обязательная сертификация и подтверждение соответствия в добровольной форме – добровольная сертификация.

Обязательная сертификация является формой государственного контроля за безопасностью продукции. Ее осуществление связано с определенными обязанностями, налагаемыми на предприятия, в т. ч. материального характера. Поэтому она может осуществляться лишь в случаях, предусмотренных законодательными актами РФ, т.е. законами и нормативными актами Правительства РФ. Отсюда второе наименование обязательной сертификации – «сертификация в законодательно регулируемой сфере».

При обязательной сертификации подтверждаются только те обязательные требования, которые установлены законом, вводящим обязательную сертификацию, а действие сертификата соответствия и знака соответствия распространяется на всей территории РФ.

Добровольная сертификация проводится в соответствии с ФЗ о техническом регулировании по инициативе заявителей (изготовителей, продавцов, исполнителей) в целях подтверждения соответствия продукции (услуг) на-

циональным стандартам, стандартам организаций, системам добровольной сертификации, условиям договоров. Добровольная сертификация проводится на условиях договора между заявителем и органом по сертификации. Создать систему добровольной сертификации (СДС) может не только юридическое лицо, но и индивидуальный предприниматель или оба указанных субъекта. Данное положение отражает предпринимательский характер этой формы сертификации.

Добровольная сертификация продукции, подлежащей обязательной сертификации, не может заменить обязательную сертификацию такой продукции. Тем не менее по продукции, прошедшей обязательную сертификацию, могут проверяться в рамках добровольной сертификации требования, дополняющие обязательные.

Согласно ФЗ о техническом регулировании в системе добровольной сертификации может предусматриваться применение знака соответствия. Отсюда следует, что знак соответствия не является обязательным атрибутом системы добровольной сертификации.

В РФ в настоящее время преобладает обязательная сертификация, за рубежом – добровольная. В условиях развитой рыночной экономики проведение добровольной сертификации становится условием преодоления торговых барьеров, так как, повышая конкурентоспособность, она фактически обеспечивает производителю место на рынке.

Наиболее эффективна система, предназначенная для подтверждения соответствия отечественной и импортируемой продукции всем требованиям национальных стандартов, а также международных, региональных и национальных стандартов других стран, указанным заявителем.

В отличие от обязательной сертификации, подтверждающей лишь требования безопасности, у добровольной сертификации более широкий круг задач по подтверждению, в частности:

- соответствия всем требованиям стандартов;
- соответствия отдельных показателей качества (дополняющих безопасность) требованиям стандартов;
- подлинности продукции;
- соответствия системы менеджмента качества организации требованиям ИСО 9000;
- соответствия системы управления окружающей средой требованиям ИСО 14000;
- соответствия компетентности персонала, претендующего на работу в качестве эксперта, установленным требованиям;
- соответствия процессов жизненного цикла продукции (производство, ремонт, перевозки и пр.) установленным требованиям;
- соответствия лабораторного оборудования и средств контроля метрологическим требованиям и по проверке адекватности цены качеству товара.

Наметившаяся тенденция сокращения номенклатуры продукции, подлежащей обязательной сертификации, способствует расширению добровольной сертификации.

Добровольная сертификация является рыночным инструментом борьбы с фальсифицированной продукцией, особенно если органом, зарегистрировавшим систему, выступает ассоциация (гильдия) производителей. В этой ситуации маркирование продукции знаком соответствия данной системы означает, что продукция выпущена «ле-

гальным» производителем, гарантирующим качество и безопасность для потребителя.

Согласно ФЗ о техническом регулировании система добровольной сертификации может быть зарегистрирована федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию. Отсюда следует, что ФЗ о техническом регулировании допускает возможность создания системы без регистрации.

2.4. Участники сертификации

Участниками сертификации являются изготовители продукции (первая сторона), заказчики – продавцы (первая либо вторая сторона), а также организации, представляющие третью сторону, – органы по сертификации, испытательные лаборатории (центры), федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию – Минпромторг РФ и подведомственный ему Госстандарт.

Основные участники – заявители, органы по сертификации (далее – ОС) и испытательные лаборатории (ИЛ). Именно они участвуют в процедуре сертификации каждого конкретного объекта на всех этапах.

Органы по сертификации выполняют следующие функции:

- привлекают на договорной основе для проведения испытаний испытательные лаборатории (центры) в порядке, установленном Правительством РФ;
- осуществляют контроль за объектами сертификации, если такой контроль предусмотрен соответствующей схемой обязательной сертификации и договором;
- ведут реестр выданных ими сертификатов соответствия;

- информируют соответствующие органы государственного контроля (надзора) о продукции, поступившей на сертификацию, но не прошедшей ее;

- выдают сертификаты соответствия, приостанавливают или прекращают действие выданных ими сертификатов и информируют об этом федеральный орган исполнительной власти, организующий формирование и ведение Единого реестра сертификатов соответствия;

- обеспечивают предоставление заявителям информации о порядке проведения обязательной сертификации;

- устанавливают стоимость работ по сертификации, выполняемых в соответствии с договором заявителем;

- в порядке, установленном соответствующим ТР, принимают решение о продлении срока действия сертификата соответствия, в том числе по результатам проведенного контроля за сертифицированными объектами.

ОС несет ответственность за обоснованность и правильность выдачи сертификата соответствия, за соблюдение правил сертификации.

ОС запрещено предоставлять лабораториям сведения о заявителе. Это правило подразумевает анонимность испытываемой продукции и направлено на обеспечение объективности испытаний. Таким образом, если выбор ОС принадлежит заявителю, то выбор испытательной лаборатории - ОС.

Аккредитованные испытательные лаборатории (ИЛ) осуществляют испытания конкретной продукции или конкретные виды испытаний и выдают протоколы испытаний для целей сертификации. ИЛ несет ответственность за соответствие проведенных ею сертификационных ис-

пытаний требованиям НД, а также за достоверность и объективность результатов.

Если ОС аккредитован как ИЛ, то его именуют сертификационным центром.

Эксперт ОС (лицо, аттестованное на право проведения одного или нескольких видов работ в области сертификации) – главный участник работ по сертификации. От его знаний, опыта, личных качеств, т.е. компетентности, зависят объективность и достоверность решения о возможности выдачи сертификата.

Эксперт по сертификации – физическое лицо, обладающее знанием и опытом проведения работ по сертификации в определенной области, компетентность которого подтверждена соответствующим документом. Эксперт осуществляет свою деятельность как третья сторона. Поэтому ему следует отказываться от выполнения работ по конкретным заявкам, если он связан с заявителем настолько, что это в принципе может повлиять на объективность оценки объекта сертификации.

Федеральные органы исполнительной власти, на которые возложены функции организации и проведения работ по обязательному подтверждению соответствия в пределах своей компетенции: создают системы сертификации однородной продукции и устанавливают правила процедуры проведения сертификации в этих системах; осуществляют выбор способа подтверждения соответствия продукции (формы сертификации) требованиям нормативных документов; рассматривают апелляции по вопросам сертификации и др.

Документ «Правила функционирования системы добровольной сертификации» (СДС) включают: а) наимено-

вание СДС; б) наименование юридических лиц и/или фамилии, имена, отчества индивидуальных предпринимателей, создавших СДС; в) перечень объектов, подлежащих сертификации в данной системе, и требований, на соответствие которым они сертифицируются; г) организационную структуру СДС и функции ее участников; д) правила проведения работ.

2.5. Правила обязательной сертификации

В качестве ОС или ИЛ допускаются организации независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, если они не являются изготовителями (продавцами, исполнителями) и потребителями (покупателями) сертифицируемой ими продукции, при условии их аккредитации в установленном порядке.

Аккредитацию ОС и ИЛ организуют и осуществляют Ростехрегулирование, федеральные органы исполнительной власти в пределах своей компетенции на основе результатов их аттестации, как правило, комиссиями. Результаты аккредитации оформляют аттестатом аккредитации. Если в системе аккредитации несколько ОС одной и той же продукции (услуги), то заявитель вправе провести сертификацию в любом из них.

Сертификация отечественной и импортируемой продукции проводится по одним и тем же правилам.

Сертификаты и аттестаты аккредитации в системах обязательной сертификации вступают в силу с даты их регистрации в едином Государственный реестре, в котором содержатся сведения о ЦОС, ОС, ИЛ, утвержденных системах сертификации однородной продукции (группы услуг), знаках соответствия, аттестованных экспертах, документах, содержащих правила и рекомендации по сер-

тификации. Все документы (заявки, протоколы, акты, аттестаты, сертификаты и т.п.) оформляются на русском языке, т.е. официальным языком является русский.

При возникновении спорных вопросов в деятельности участников сертификации заинтересованная сторона может подавать апелляцию в федеральный орган исполнительной власти по техническому регулированию. Указанные органы рассматривают вопросы, связанные с деятельностью участников работ по сертификации, применению знаков соответствия, выдачи и отмены сертификатов и аттестатов аккредитации.

Сертификация проводится по схемам, установленным системами сертификации однородной продукции или группы услуг.

2.6. Схемы обязательной сертификации

Схемы сертификации – определенная совокупность действий, официально принимаемая в качестве доказательства соответствия продукции заданным требованиям (табл. 5.1).

Таблица 2.1

Схемы сертификации продукции

Номер схемы	Испытания в аккредитованных испытательных лабораториях и другие способы доказательства соответствия	Проверка производства (системы качества)	Инспекционный контроль сертифицированной продукции (системы качества, производства)
1	2	3	4
1	Испытания типа	-	-
1а	Испытания типа	Анализ состояния производства	-

Продолжение таблицы 2.1.

2	Испытания типа		Испытания образцов, взятых у продавца
2а	Испытания типа	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у продавца. Анализ состояния производства
3	Испытания типа		Испытания образцов, взятых у изготовителя
3а	Испытания типа	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у изготовителя. Анализ состояния производства
4	Испытания типа		Испытания образцов, взятых у продавца. Испытания образцов, взятых у изготовителя
4а	Испытания типа	Анализ состояния производства	- # - Анализ состояния производства
5	Испытания типа	Сертификация производства или сертификация системы качества	Контроль сертифицированной системы качества (производства). Испытания образцов, взятых у продавца и (или) у изготовителя
6	Рассмотрение заявки-декларации (с прилагаемыми документами)	Сертификация системы качества	Контроль сертифицированной системы качества
7	Испытание партии	-	-
8	Испытание каждого образца	-	-
9	Рассмотрение заявки-декларации (с прилагаемыми документами)	-	-

Окончание таблицы 2.1.

1	2	3	4
9а	Рассмотрение заявки-декларации (с прилагаемыми документами)	Анализ состояния производства	-
10	Рассмотрение заявки-декларации (с прилагаемыми документами)	-	Испытания образцов, взятых у изготовителя и у продавца
10а	Рассмотрение заявки-декларации (с прилагаемыми документами)	Анализ состояния производства	Испытания образцов, взятых у изготовителя и у продавца

Схемы подтверждения соответствия близки по смыслу модулям оценки соответствия, применяемым в ЕС для подтверждения соответствия продукции требованиям директив.

Из таблицы 2.1 следует, что в качестве способов доказательства используют: 1) испытание; 2) проверку производства; 3) инспекционный контроль; 4) рассмотрение заявки-декларации (с прилагаемыми документами).

Один или совокупность нескольких способов доказательства определяют содержание схемы определенного номера. В схемах 1-5 производится испытание типа, т.е. одного или нескольких образцов партии, являющихся ее типовыми представителями. Испытание в схеме 7 - это уже контроль качества партии путем испытания средней пробы (выборки), отбираемой от партии с использованием метода статистического контроля. В схеме 8 испытанию подвергается каждая единица продукции. Таким образом, жесткость испытаний, а значит, надежность и стоимость испытаний возрастают по направлению 1-7-8.

Второй способ доказательства – проверка производства – применяется тогда, когда для объективной оценки качества недостаточно испытаний и необходим анализ технологического процесса для оценки стабильности качества продукции. Для оценки производства скоропортящейся продукции этот способ доказательства является главным, так как сроки годности продукции меньше времени, необходимого для организации и проведения испытаний в ИЛ.

В настоящее время в России, как правило, применяются 16 схем сертификации. Схемы 1-8 были в свое время приняты в зарубежной и международной практике и классифицированы ИСО. Схемы 1а, 2а, 3а и 4а – дополнительные и являются модификацией соответственно схем 1, 2, 3 и 4.

3. МЕТОДЫ АНАЛИЗА И КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ И ПРОДУКЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

3.1. Контроль качества металлопродукции

Роль контроля металлургического производства невозможно переоценить, т. к. металлы и сплавы, материалы черной и цветной металлургии, играют важную роль в машиностроении, электротехнике, электронике и многих др. отраслях. Качество этих материалов в значительной степени зависит от характера и содержания примесей, а свойства сплавов определяются специально вводимыми легирующими добавками.

При поступлении материалов на предприятие они подвергаются входному контролю, выполнение работ по которому на металлургических предприятиях обеспечивает персонал отдела технического контроля (ОТК). Результаты входного контроля заносятся в журнал входного контроля.

Материалы и полуфабрикаты не прошедших входной контроль или забракованные, по каким-либо параметрам, в производство не допускаются. Так, для обеспечения контроля качества при производстве стали требуется проведение ряда операций, которые обеспечивают необходимый уровень качества в процессе производства. Наиболее распространенными дефектами являются структурная и химическая неоднородность, а также высокое содержание вредных примесей, дефекты формы поверхности изделий, внутренние дефекты [4-26].

Для контроля качества разработаны средства измерения и специальные методы испытаний, как контактные, так и бесконтактные, а также документы, характеризующие прием и условия поставки. Номенклатура показателей зависит от назначения стали и вида поставок. Для оценки качества необходимо определить механические свойства, химический состав, макро- и микроструктурный анализ, внешний осмотр. Важнейшие методы такого контроля – ультразвуковая и магнитная дефектоскопия [14-17]. Химический состав стали является одной из важных характеристик качества выпускаемой продукции. Анализ его проводят для каждой плавки методом отбора средней пробы при разливке в слитки. Распространенными показателями механического качества металлов являются прочность, ударная вязкость, уровень твердости, сужение и относительное удлинение.

Макроструктурный анализ применяют для исследования структуры стали невооруженным взглядом. Изучают макроструктуру такими методами: макрошлифом, изломом и просмотром протравленной и прошлифованной поверхности.

В процессе микроструктурного анализа структура стали исследуется под микроскопом. Для изучения микроструктуры образец вырезают в поперечном или продольном направлении, затем шлифуют полируют и протравливают специальным реактивом.

В выплавленной стали всегда находится некоторое количество неметаллических включений и газов. Самым распространенным способом удаления газов является вакуумная дегазация, которая заключается в удалении из стали N, O₂, H₂. Также существенно влияет на качество легирование стали, которое заключается в умышленном введении в сплав необходимых компонентов. Такими элементами являются: Co, Al, Mn, Mo, V, Cr, Ni и многие другие.

Важнейшим компонентом стали является Mn. Его присутствие способствует повышению прокаливаемости стали, которая характеризует глубину закаленных зон при обработке. Ni значительно повышает прочность, Cr - твердость, Al - жаропрочность, Mo - износостойкость.

На свойства стали также влияет углерод, входящий в состав стали. С его увеличением повышается прочность стали, но зато снижается ударная вязкость и пластичность.

Полученный в результате производства слиток стали является полуфабрикатом и отправляется на дальнейшую обработку - придание формы, удобной для применения стали в качестве конструкционного материала. Чаще всего слитки обрабатывают методом горячей прокатки, помимоковки [18-26]. При таком методе плоская заготовка (сляб) пропускается между горизонтальными валками, приводимыми во вращение мощными электродвигателями, удлиняется и утончается. Полученный прокат также подвергается контролю качества по многим параметрам, основные

из них – проверка геометрии (лист на волну и прогиб; круг на изгиб, спираль и овальность).

Проверка геометрических размеров осуществляется с применением мерительного инструмента:

- лист по толщине;
- полосу по ширине и толщине;
- квадрат по правильности формы и размера;
- шестигранник по грани;
- трубу по наружному диаметру и толщине стенки.

Проверка состояния поверхности проката:

- на наличие поверхностных рисок (возникают при попадании мелких частиц на валки при прокатке);
- на наличие волосовин (имеют вид тонких трещин, расположенных на поверхности и вытянутых вдоль направления деформации, является результатом деформации неметаллических включений или газовых пузырей);
- на наличие наслоений, возникающих из-за избытка металла в валках;
- на наличие плён (плёны, отслаивающиеся с поверхности, возникающие при раскате слитка, который на своей поверхности имеет за-стывшие капли жидкого металла).

Проверка состояния поверхности литья:

- на наличие усадочных раковин (закрытые или открытые пустоты в теле отливки, имеющих неправильную форму, шероховатую или кристаллическую поверхность, иногда окисленную);
- на наличие газовой пористости (возникает в процессе кристаллизации через выделение газов, которые растворились в металле при его плавлении);

- на наличие неметаллических (внешние или внутренние полости, заполненные формовочной смесью или шлаком) включений;

- на наличие трещин с применением оптического инструмента (могут иметь как холодную, так и горячую природу в зависимости от условий усадки в процессе кристаллизации);

- на наличие ликвации (местное несоответствие химического состава в отдельных зонах, отчего механические характеристики могут быть занижены – этот дефект проявляется чаще всего при механической обработке).

Особое внимание требует к себе дефект-флокены, которые возникают в среднеуглеродистых и среднелегированных марках стали. Они появляются в центральной части круглого проката среднего и большого сечения и имеют вид тонких извилистых трещин в изломе пятна с поверхностью характерного серебристого цвета округлой формы. Они возникают при повышенном содержании водорода, который заполняет все пустоты, вплоть до дефектов кристаллической решетки и, превращаясь из атомарного в молекулярный, развивает огромное давление, что приводит к хрупкому разрушению металла. Флокены чаще всего обнаруживаются при закалке, после снятия припуска резкой или, что хуже, при поломке детали.

3.2. Методы анализа состава металла

Гарантированный уровень и стабильность требуемого качества металлопродукции при поточном массовом производстве обеспечивается анализом и контролем готовой продукции после завершения процесса производства. Для определения состава применяют химические, физико-химические и физические методы анализа. При выборе ме-

тогда анализа исходят из необходимой точности, чувствительности и скорости определения состава.

Химические методы анализа. К химическим методам анализа относятся весовой (гравиметрический) и объемный. В весовом анализе о содержании определяемого элемента в анализируемом элементе судят по массе осадка, полученного после осаждения данного элемента в виде какого-либо труднорастворимого элемента. Весовой анализ является наиболее точным из химических методов. Объемный (титриметрический) анализ основан на точном измерении объема реактива точно известной концентрации, затрачиваемого на реакцию с определенным элементом или его соединением.

Химические анализы железной руды выполняют в соответствии с общими требованиями к методам анализа по ГОСТ 23581.0-80 или ГОСТ 18262.0-88. Значения показателей качества определяют в соответствии со стандартами на методы анализа железных руд:

- массовой доли железа общего - по ГОСТ 23581.18-81 или ГОСТ 18262.2-88;

- массовой доли оксида железа (II) - по ГОСТ 23581.3-79 или ГОСТ 18262.3-88;

- массовой доли железа металлического - по ГОСТ 23581.11-79 или ГОСТ 18262.4-88;

- массовой доли гигроскопической влаги - по ГОСТ 23581.1-79 или ГОСТ 18262.1-88;

- массовой доли мышьяка - по ГОСТ 23581.8-79;

- массовой доли фосфора - по ГОСТ 23581.19-91 или ГОСТ 18262.12-88;

- массовой доли меди - по ГОСТ 23581.6-79;

- массовой доли цинка и свинца - по ГОСТ 23581.7-79;

- гранулометрического состава - по ГОСТ 27562-87.

Физико-химические методы анализа. Такие методы анализа основаны на изучении закономерных связей между составом и физико-химическими свойствами веществ. Наибольшее применение в практике определения состава продуктов металлургического производства нашли следующие физико-химические методы: фотометрические, потенциометрические, кулонометрический, полярографический, амперометрический, термометрический и др.

Фотометрические методы основаны на переведении определяемого компонента в соединение, поглощающее свет, с последующим измерением светопоглощения раствора полученного соединения. В любой фотометрической аппаратуре различаются следующие основные узлы: источник света, монохроматизатор света, кюветы, узел определения интенсивности света. Схема фотоэлектрического колориметра приведена на рис. 1.1. Общий вид фотоэлектроколориметра КФК-3 приведен на рис. 3.2. Компактный быстродействующий спектрофотометр типа СФ-2000 для жидких и твердых прозрачных образцов, управляемый IBM-совместимым компьютером, изображен на рис. 3.3. С его помощью можно производить анализы индивидуальных веществ и многокомпонентных систем, а также другие виды анализа и контроля.

Потенциометрические методы анализа основаны на измерении изменений потенциалов, возникающих при титровании анализируемых растворов. Содержание анализируемого компонента определяют по скачкообразному изменению потенциала электрода, опущенного в анализируемый раствор.

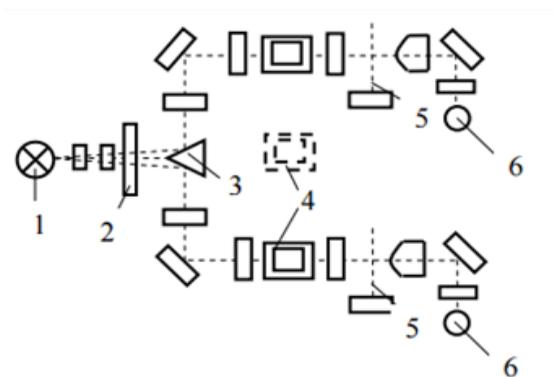


Рис. 3.1 – Оптическая схема фотоэлектрического колориметра: 1 – источник света; 2 – светофильтр; 3 – призма; 4 – кюветы; 5 – измерительная диафрагма; 6 – фотоэлементы



Рис. 3.2 – Фотоколориметр КФК-3

Кулонометрический метод анализа основан на измерении количества электричества, израсходованного в ходе электрохимической реакции, по которому можно определить содержание исходного вещества.

Полярографический метод анализа основан на зависимости между концентрацией элемента в растворе и пре-

дельной силой тока, которая определяется из поляризационных кривых, снимаемых в процессе электролиза.



Рис. 3.3 – Спектрофотомер СФ-2000

Физические методы анализа. Для ускорения анализа продуктов металлургического производства, повышения его чувствительности и точности используют физические методы анализа. Наиболее широкое применение в практике определения химического состава получили спектральные методы анализа. Для определения содержания газов в металлах применяют активационные, теплофизические, термоэлектрические методы.

Спектральные методы анализа (атомные/ эмиссионные) основаны на определении качественного и количественного состава вещества по спектру излучения его атомов.

В применении физических методов выделяются следующие виды спектрального анализа:

– эмиссионный (спектры излучения атомов; в пламени - определение состава радикалов; анализ молекулярного состава);

- абсорбционный (спектры поглощения молекул и их структурных частей);
- комбинационный (спектры комбинационного рассеяния при возбуждении монохроматическим излучением);
- люминесцентный (люминесценция пробы при возбуждении УФ и X-Ray);
- рентгеновский: рентгеновские спектры атомов (переходы внутренних e-); дифракция X-Ray (структура вещества);
- радиоспектроскопический: спектры поглощения молекул в микроволновом участке спектра с $\lambda > 1$ мм и в радиоволновом участке спектра (ЯМР);
- атомно-ионизационный (возбуждение пробы лазером и регистрация заряда ионов);
- особую область исследований представляет ядерная спектроскопия, в которую включают гамма- (относится к спектрометрии электромагнитного излучения), альфа- и бета-спектроскопии.

По способу регистрации спектров выделяют:

- визуальные (наблюдение спектров) - в видимой области, в УФ области флуоресцирующие экраны, в ИК области - ЭОПы (до 1200 нм);
- фотографические (фотоматериалы с последующей обработкой);
- термоэлектрические (термоэлементы, болометры для далекой ИК области);
- фотоэлектрические (методы прямого анализа - фотоэлементы и ФЭУ для УФ, видимой и ближней ИК-областей, фотосопротивления - средняя ИК-область).

В качестве источников возбуждения в спектральном анализе рассматриваются:

- пламя (достоинства – высокая стабильность температуры; высокая точность измерений $\sim 3\%$; недостатки – относительно невысокие температуры (2000...5000 °С); преимущественное использование в атомной абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии);

- дуга (дуговой разряд неустойчивый; перемещение катодных и анодных пятен по поверхности электродов; воспроизводимость результатов невелика);

- искра (области использования: анализ трудновозбудимых элементов, изучение излучения ионов, исследование локального анализа образца, неразрушающий анализ образцов);

- тлеющий разряд (малая температура, ионная ~ 800 К, электронная ~ 1000 К); малое доплеровское уширение; возможность послойного анализа, послойное разрешение до 0,1 мкм, глубина ~ 100 мкм);

- плазмотрон (достоинства – температура ~ 50000 °С при высокой стабильности);

- индуктивно связанная плазма (температура ~ 10000 К, в аналитической зоне ~ 6500 К; малые химические помехи; минимальная реабсорбция – плазма оптически тонкая; низкий спектральный фон).

3.3. Методы анализа газов в сталях и сплавах

Для определения содержания газов в сталях и сплавах применяются: метод восстановительного плавления в вакууме и в потоке газаносителя; химические методы анализа; спектральный анализ; активационные методы анализа; определение содержания кислорода в жидком металле методом ЭДС.

Метод восстановительного плавления основан на расплавлении в вакууме подготовленной пробы металла и пе-

рекачивании выделенной смеси газа в газоанализатор вакуумным насосом. В случае плавления образца в потоке газа-носителя выделенная смесь газов транспортируется в газоанализатор потоком инертного газа.

В настоящее время для анализа азота, кислорода и водорода в черных и цветных металлах, полупроводниках и электронных материалах экстракцией из образца расплавленного в атмосфере инертного газа применяют современные анализаторы, позволяющие определять содержание O_2 соответственно в пределах 0–0,1 % (0 – 100 ppm), N_2 0–0,5% (5000 ppm), H_2 0–0,2 % (0 – 2000 ppm). Такие приборы характеризуются высокой точностью и быстротой измерения (от 4 до 100 с). В качестве примера можно привести принцип работы анализаторов японской фирмы HORIBA. Для определения раздельного содержания O_2 и N_2 в этом методе пробу сжигают в импульсной печи в графитовом тигле, который предварительно отжигают перед анализом. Кислород и азот, находящиеся в металлах в виде различных соединений, переходят в CO или CO_2 , азот – в N_2 . Образовавшаяся смесь газов проходит через фильтр (стекловата) и попадает в каталитическую печь, в которой CO конвертируется в CO_2 , а затем проходит через инфракрасную ячейку, где определяется концентрация кислорода. После этого CO_2 поглощается специальным реактивом, и газ попадает в ячейку теплопроводности, где измеряется концентрация N_2 . В газовой системе находятся несколько клапанов и регуляторов, которые автоматически поддерживают постоянную скорость потока и компенсируют изменения давления в системе.

Прибор для определения содержания H_2 имеет более широкие диапазоны мощности печи и пределы измеряе-

мых концентраций в алюминии и его сплавах, Cu и ее сплавах и других металлов с низкой точкой плавления.

Все приборы этого типа для газового анализа имеют международный сертификат ISO-9001. Характеристики приборов полностью удовлетворяют требованиям стандартов ГОСТа, ISO, ASTM, DIN.

Химические методы анализа O_2 и N_2 имели широкое распространение в металлургии до появления современных приборов благодаря своей простоте, доступности и надежности результатов. Они основаны на выделении растворимых в жидком металле O_2 и N_2 в отдельную фазу в виде стойкого химического соединения. При этом, растворенный в металле O_2 переводят в химически стойкое соединение глинозема Al_2O_3 , а N_2 – в раствор в виде аммонийной соли NH_4Cl . Недостатком этих методов является большая длительность анализа.

Основные области применения эмиссионного спектрального анализа – определение состава металлов и сплавов в металлургии, машиностроении и других отраслях науки и техники. Схема эмиссионного спектрального анализа представлена на рис. 3.4. Излучение источника света складывается из излучения атомов всех элементов, присутствующих в пробе. Для анализа необходимо выделить излучение каждого элемента. Это осуществляют с помощью оптических приборов – спектральных аппаратов, в которых световые лучи с разными длинами волн отделяются в пространстве друг от друга.

Основными частями спектрального прибора (рис. 3.4) являются: входная щель S, освещаемая исследуемым излучением; объектив коллиматора O1, в фокальной плоскости которого расположена входная щель S; диспергирующее

устройство D, работающее в параллельных пучках лучей; фокусирующий объектив O₂, создающий в своей фокальной поверхности P монохроматические изображения входной щели, совокупность которых и образует спектр.

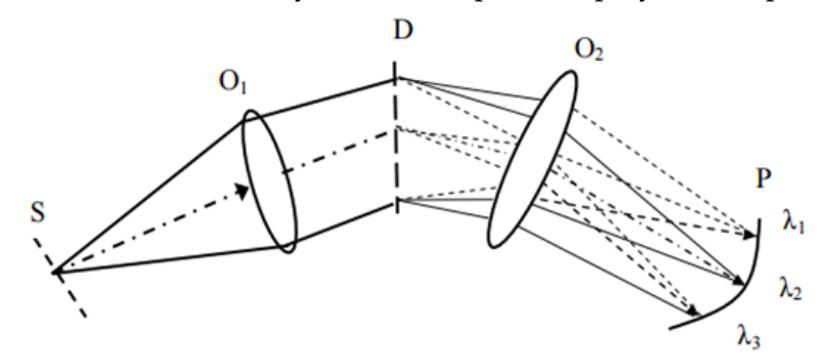


Рис. 3.4 – Принципиальная схема спектрального прибора:
S – входная щель; O₁ – объектив коллиматора;
D – диспергирующее устройство; O₂ – фокусирующий объектив; P – фокальная поверхность

Применяемые в спектральном анализе приборы различают по следующим признакам:

- типу диспергирования, т.е. разложения света в спектр;
- области анализируемого спектра (приборы для инфракрасной, видимой и ультрафиолетовой областей);
- способу регистрации и фотометрии спектра (приборы визуальные – спектроскопы, фотографические – спектрографы, фотоэлектрические – монохроматоры и полихроматоры).

В металлургической практике для одновременного определения содержания всех анализируемых элементов применяют приборы, называемые полихроматоры (рис. 3.5) или квантомеры, выпускаемые различными фирмами, как в России, так и за рубежом. Применение таких прибо-

ров привело к коренному изменению организации аналитического контроля на заводах черной металлургии.

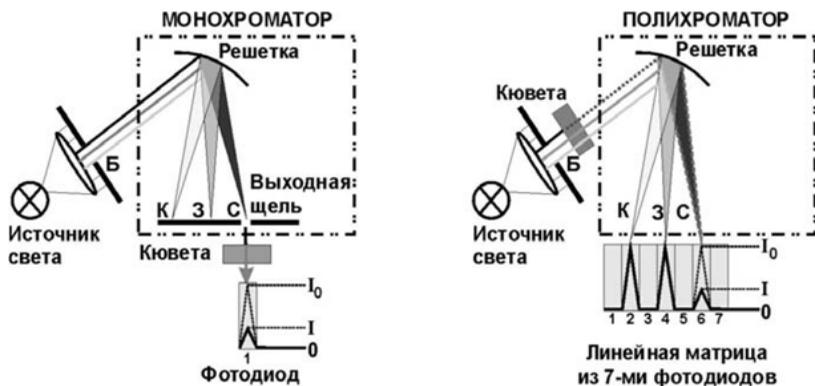


Рис. 3.5 – Принципиальные отличия полихроматора от монохроматора

Квантомеры измеряют интенсивность светового излучения пробы, возбуждаемой внешним источником в волновом диапазоне от 150 нм до 800 нм, позволяет одновременно определять содержание 12 элементов в одном образце в диапазоне от магния до урана. Принцип измерения основан на следующем физическом явлении. При воздействии на атом определенной энергии некоторые электроны меняют свои орбиты. При возвращении этих электронов на свои исходные орбиты известное количество энергии преобразуется в световое излучение определенной длины волны. Это явление на атомном уровне, на которое практически не влияет химическая или кристаллическая форма атома. Таким образом, прибор может определить, например, процентное содержание кремния в

стали, но не его форму. На рисунке 3.6 схематично показан процесс возбуждения.

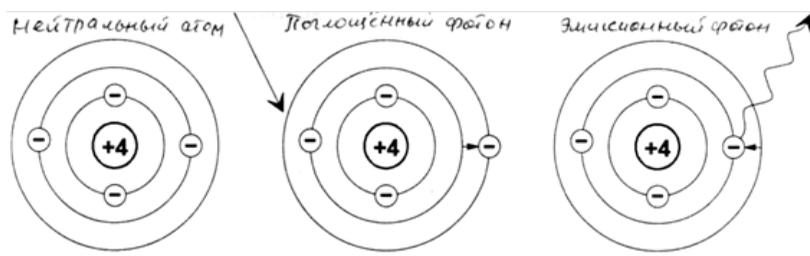


Рис. 3.6 – Физический принцип работы квантомера

Проба, в составе которой несколько различных элементов, создает световое излучение на длинах волн, специфических для каждого из ее элементов. Разделив длины волн с помощью диспергирующей системы, можно определить элементы, составляющие пробу, а по интенсивности излучения на каждой длине волны можно определить концентрацию этих элементов. Измеряя световую интенсивность (с помощью фотоумножителя) и обрабатывая полученную информацию с помощью компьютера, можно определить концентрацию анализируемых элементов.

Активационные методы анализа газов. К таким методам анализа относятся нейтрально-активационный и гамма-активационный методы определения содержания кислорода и азота в анализируемых образцах. В первом методе образцы облучаются нейтронами определенной энергии, превращая атомы кислорода в изотоп азота, имеющий короткий период полураспада 7,4 с.

Нейтронно-активационный метод характеризуется универсальностью, высокой чувствительностью и сравнительно простой и невысокой стоимостью оборудования.

Гамма-активационный метод основан на использовании ядерных реакций при облучении образцов гамма-лучами. Основная область применения гамма-активационного метода анализа – определение малых содержаний (10^{-4} – 10^{-6} %) газов в чистых металлах и других материалах.

Определение содержания кислорода в жидком металле методом ЭДС. Метод основан на определении ЭДС, возникающей в концентрационном гальваническом элементе, одним из электродов которого является исследуемый металлический расплав, активность кислорода в котором необходимо определить, а вторым электродом (стандартным) обычно является материал, активность кислорода в котором известна. Этот метод позволяет непрерывно определять содержание кислорода в жидком металле и контролировать степень раскисленности, влияющую на его активность в жидком металле.

3.4. Методы контроля качества сортопрокатной продукции

Среди качественных показателей прокатной продукции металлургических заводов одно из основных мест занимает точность геометрических размеров поперечных сечений как простых, так и сложных профилей. Понятие точности прокатки включает не только абсолютные значения размеров, но и их колебания по длине и ширине проката, по различным элементам сложных профилей.

В процессе прокатки на точность размеров поперечного сечения профилей влияет много факторов, действующих как одновременно, так и последовательно с определенными интервалами времени. Основными причинами продольной нестабильности поперечных размеров сортового

проката являются изменения сил давления металла на валки и уширения, обусловленные колебаниями следующих технологических факторов: межклетевого натяжения, температуры прокатки, размеров подката, эксцентриситета валков, механических свойств по длине полосы и др.

К числу основных факторов, влияющих на поперечные размеры профилей, относят величину межклетевого натяжения и жесткость клеток.

В соответствии с факторами, влияющими на отклонение размеров, в отечественной и зарубежной практике наметились следующие пути повышения точности прокатки: установка клеток высокой постоянной жесткости, предварительно напряженных как в радиальном, так и в осевом направлении; применение клеток с регулируемой жесткостью в зависимости от параметров прокатки; снижение уровня колебаний факторов, влияющих на точность проката, путем совершенствования оборудования и технологии прокатки; установка одиночных калибровочных клеток за чистовой клетью стана, а также восьми двенадцатиклетевых чистовых блоков; применение новых технологических линий с последовательно расположенными многовалковыми калибрами; применение систем автоматической настройки чистовой клетки.

Систематический неразрушающий контроль на различных стадиях технологического процесса и обобщение результатов этого контроля позволяют определять, на каких стадиях возникают дефекты, а, следовательно, устанавливать и устранять их причины. В этом случае из пассивного, только фиксирующего качество готового металла, контроль превращается в активный метод корректировки и совершенствование технологического процесса.

Активная роль контроля особенно возрастает в условиях автоматизации металлургического производства. Наиболее широкое применение из неразрушающего контроля микродефектов слитков, заготовок изделий получили ультразвуковой и магнитный методы контроля.

Ультразвуковой контроль (УЗК) круглого сортового проката и квадратной заготовки является чрезвычайно актуальной задачей, стоящей перед металлургической индустрией. Специфика объекта контроля – массовость, сложная геометрия формы, высокая ответственность назначения, жесткость требований, предъявляемых современными стандартами – практически полностью исключает возможность проведения УЗ-дефектоскопии вручную.

Металлургическое предприятие, осуществляющее производство сортового проката и претендующее на звание производителя качественной продукции, не может обойтись сегодня без линий автоматического УЗ-контроля. Однако простое наличие дефектоскопического оборудования не гарантирует отсутствие несплошностей и связанные с этим высокие потребительские свойства металлургической продукции.

По параметрам локализации типичные дефекты круглого сортового проката и квадратной заготовки могут быть условно разделены на три группы:

- поверхностные (непосредственно выходящие на поверхность);
- подповерхностные (расположенные непосредственно под поверхность металла);
- внутренние несплошности (удаленные от поверхности заготовки как минимум на 2 - 5 мм).

Относительно дефектов 1-й и 2-й групп – их обнаружение в условиях поточного производства с применением пьезоэлектрических преобразователей представляет собой практически неразрешимую задачу, т.к. любая контактная жидкость, «нагружая» поверхность заготовки, неизбежно оказывает влияние на параметры и характер распределения акустических полей. Это обстоятельство, как правило, приводит к неизбежной «перебраковке».

Обнаружение несплошностей 3-й группы является достаточно сложной, но ставшей уже классической задачей УЗК. В мире существует несколько фирм, предлагающих оборудование для автоматизированного УЗК круглой или квадратной заготовки на предмет обнаружения внутренних дефектов. При этом большинство производителей оборудования УЗК базируются на применении пьезоэлектрических преобразователей, когда ввод и прием ультразвука осуществляется через слой контактной жидкости.

Наиболее распространенные схемы обнаружения поверхностных и подповерхностных несплошностей предполагают использование волн Рэлея и объемных волн, возбуждаемых наклонно к поверхности. Эффективная реализация этих схем в условиях промышленного высокопроизводительного УЗК возможна только с применением бесконтактных методов возбуждения и приема ультразвуковых волн. Применение пьезоэлектрических преобразователей (из-за паразитного влияния контактной жидкости) делает фактически невозможным в промышленных условиях использование так называемых Рэлеевских волн. И это весьма неприятно, поскольку именно этот тип волн наиболее чувствителен к поверхностным несплошностям. Кроме того, рабочая жидкость способна изменять физиче-

ские свойства поверхностных несплошностей, делая их «невидимыми» для ультразвука.

Применение электромагнитно-акустических преобразователей (ЭМАП) позволяет избежать неудобств, связанных с наличием контактной жидкости, и избавиться от ее вредного влияния при выявлении дефектов первой и второй групп (поверхностных и подповерхностных). Поэтому в качестве излучателей и приемников упругих колебаний на приведенных ниже рисунках фигурируют ЭМАП. Ниже представлены схемы обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов с использованием Рэлеевских (рис. 3.9) и объемных волн (рис. 3.10).

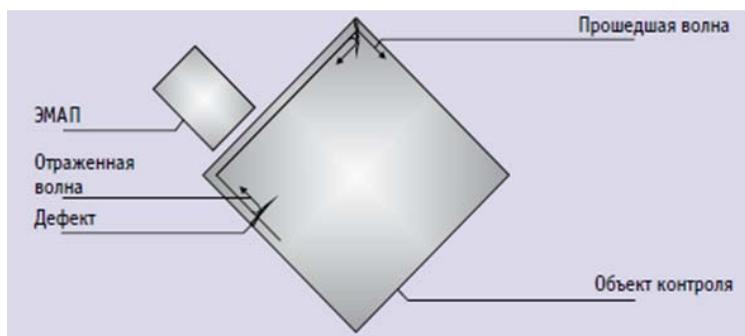


Рис. 3.7 – Схема обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов с использованием Рэлеевских волн

Кроме ЭМАП, возможно применение других устройств, обеспечивающих условие «бесконтактности» возбуждения и (или) приема ультразвука. Примером таких устройств является пара «Лазер-ЗМАП». Лазер, при этом, чрезвычайно эффективен в режиме возбуждения упругих колебаний. ЭМАП обеспечивает, как правило, эффективный бесконтактный прием.

Комбинирование методов неразрушающего контроля позволяет получить качественно новый результат. Примером тому является комбинация ультразвукового и магнитного методов при обнаружении поверхностных и подповерхностных дефектов сортового проката (рис. 3.8).

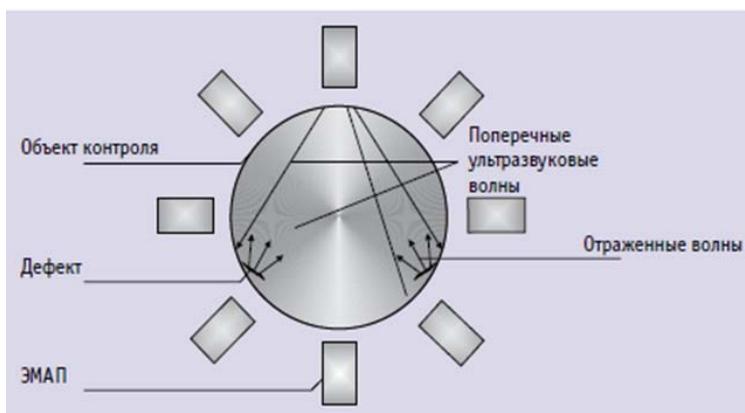


Рис. 3.8 – Схема обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов с использованием объемных волн

В последнее время коллектив компании «Нординокрафт» (Россия) изготовил и внедрил в промышленную эксплуатацию девять установок серии «Волна» для автоматического УЗК сортового проката и квадратных заготовок. Восемь из них действуют на металлургических предприятиях России, Белоруси, Украины. Установки серии «Волна» представляют собой современные, высокотехнологичные, полностью автоматизированные измерительные комплексы, обеспечивающие сплошной ультразвуковой контроль поверхности и внутреннего сечения сортового проката круглого и (или) квадратного сечения.

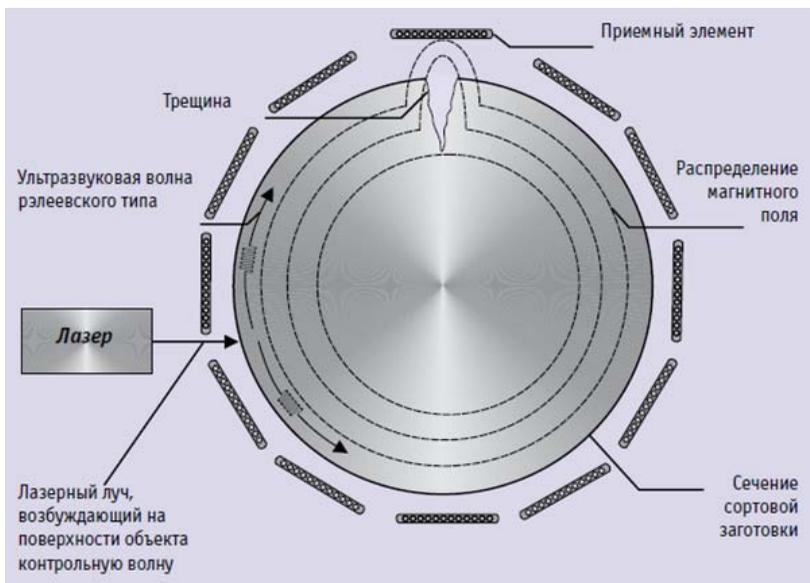


Рис. 3.8 – Принцип обнаружения поверхностных дефектов путем регистрации магнитных полей рассеяния, обусловленных взаимодействием волны Рэлея с дефектом

Контроль осуществляется в соответствии с действующими Российскими и международными стандартами и нормами, такими как: ГОСТ 21120-75, ГОСТ 4543-71, ГОСТ 1050-88, SEP 1920, SEP 1921, EN 10228-3, EN 10084, BS 970 ASTM A350 и др. Все установки УЗК серии «Волна» сертифицированы Госстандартом РФ. Использование контроля качества на различных стадиях технологического процесса позволяет установить, на каких переделах возникают отклонения того или иного параметра от нормируемого, найти причину брака, своевременно осуществить разработку продукции и обеспечить получение продукции с требуемыми свойствами, делающие ее конкурентоспособной на мировом рынке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измерительные умения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.cspu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789>.

2. Белевитин, В.А. Научно-исследовательская работа магистранта: теория и практика организации и проведения: учеб. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. – Изд-во Челяб. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 122 с.

3. Белевитин, В.А. Магистерская диссертация: рекомендации по подготовке и защите [Текст]: учебно-методич. пособие / В.А. Белевитин, Е.А. Гнатышина, И.Г. Черновол. – Изд-во Челяб. Гос. пед.ун-та, 2016. – 159 с.

4. Воронцов, В.К. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ. Технологические задачи обработки давлением / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза. Москва, 1990.

5. Воронцов, В.К. К ПОСТАНОВКЕ И РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТОДАМИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МЕХАНИКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. № 4. С. 75-80.

6. Минаев, А.А. О МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ РАСКАТОВ С НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СЕЧЕНИЮ НА ПЛАСТИЛИНОВЫХ МОДЕЛЯХ / А.А. Минаев, Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1992. № 4. С. 57-59.

7. Воронцов, В.К. К РЕШЕНИЮ ОБЪЕМНОЙ ЗАДАЧИ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕ-

ТАЛЛА МЕТОДОМ КООРДИНАТНОЙ СЕТКИ / В.К. Воронцов, П.И. Полухин, В.А. Белевитин, В.В. Бринза // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1976. № 9. С. 77-80.

8. Воронцов, В.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЕЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ПРОКАТЕ КВАДРАТНОЙ ПОЛОСЫ В ОВАЛЬНОМ КАЛИБРЕ // В.К. Воронцов, Ю.С. Атеф, В.В. Бринза, В.А. Белевитин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1977. № 5. С. 101-105.

9. Смирнов, Е.Н. РАЗВИТИЕ ПОДХОДОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ МЕХАНИЗМОВ "ЗАЛЕЧИВАНИЯ" ДЕФЕКТОВ СПЛОШНОСТИОСЕВОЙ ЗОНЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ /Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.А. Белевитин, Р.А. Шмыгля, О.Е. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2016. Т. 59. № 5. С. 322-327.

10. Smyrnov Y.N., Skliar V.A., Belevitin V.A., Shmyglya R.A., Smyrnov O.Y. DEFECT HEALING IN THE AXIAL ZONE OF CONTINUOUS-CAST BILLET. Steel in Translation. 2016. Т. 46. № 5. С. 325-328.

11. Голубчик, Р.М. О ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ ДИАМЕТРОВ ВАЛКОВ И ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ / Р.М. Голубчик, В.К. Воронцов, В.А. Белевитин Сталь. 1982. № 8. С. 64-66.

12. Belevitin V.A., Obesnyuk V.F., Logunova E.R. THE STUDY OF THREE-DIMENSIONAL FLOW OF METAL UNDER FREE FORGING. Металлы. 2003. № 1. С. 26-32. Версии: ON THE PROBLEM OF THE THREE-DIMENSIONAL FLOW OF METAL UPON OPENFORGING Belevitin V.A., Obesnyuk V.F., Logunova E.R. Russian metallurgy (Metally). 2003. № 1. С. 21-25.

13. Смирнов, Е.Н. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ: ПРОИЗВОДСТВО ГОРЯЧЕКАТАНЫХ БЛЮ-

МОВ И СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК / Е.Н. Смирнов, В.А. Белевитин, В.А. Скляр, В.В. Кисиль. Челябинск, 2016.

14. Бражников, А.И. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОЛИТА Н.И. БРАЖНИКОВА / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Ф.И. Бражников [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2005. № 3. С. 54-56.

15. Бражников, Н.И. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ / Н.И. Бражников, В.А. Белевитин, А.И. Бражников. Москва, 2008.

16. Бражников, А.И. ОБ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ СКОРОСТИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ БЕЗ РАССТЫКОВКИ ТРУБОПРОВОДА ПО МЕТОДУ Н. И. БРАЖНИКОВА / А.И. Бражников, В.А. Белевитин, Ф.И. Бражников, Е.Л. Иванов // Инженерно-физический журнал. 2006. Т. 79. № 2. С. 131-138. Версии: ULTRASONIC CONTROL OF THE FLUID-FLOW VELOCITY WITHOUT N.I. BRAZHNIKOV'S UNDOCKING OF A PIPELINE. Brazhnikov A.I., Belevitin V.A., Brazhnikov F.I., Ivanov E.L. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2006. Т. 79. № 2. С. 345-353.

17. Белевитин, В.А. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА КОВАННЫХ ВАЛОВ / В.А. Белевитин, Н.И. Бражников // Сталь. 2000. № 4. С. 47-48.

18. Карпенко, А.Г. МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. РАСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ АВТОТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ: учеб. пособие / А.Г. Карпенко, В.А. Белевитин. Челябинский гос. пед. ун-т. Челябинск, 2013.

19. Белевитин, В.А. ОПЕРАЦИОННО-ЗАЧЕТНЫЕ РАБОТЫ ПО ОБЩЕСЛЕСАРНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРАКТИКЕ:

сб-к лабораторных работ / В.А. Белевитин, А.В. Суворов, Е.П. Меркулов. Челябинский гос. пед. ун-т. Челябинск, 2015.

20. Belevitin, V. Modeling of the energy potential saving in the production of seamless pipes / Y. Smyrnov, S. Kovalenko, A. Suvorov, V. Skliar // Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 2017. – Vol. 52. – № 4. – P. 718–723.

21. Belevitina I.P. AN ULTRASOUND METHOD FOR CONTROLLING THE QUALITY OF SHAPED FORGINGS / I.P. Belevitina, N.I. Brazhnikov, V.A. Belevitin. // METALLURGIST, Изд-во: Springer New York Consultants Bureau, 1996, – V. 39. – № 10. – P. 198.

22. Belevitin, V.A. Simulation of the macrostructure influence of forging ingots on the potential capabilities of obtaining high-quality forgings / V.A. Belevitin, Y.N. Smyrnov, S.Y. Kovalenko, A.V. Suvorov // Metallurgical and mining industry. 2016. – № 7. – P. 18–23.

23. Смирнов, Е.Н. Совершенствование деформационного режима прокатки сортовых профилей из конструкционных марок стали в условиях непрерывного стана / Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.А. Белевитин, А.Н. Смирнов, Р.Е. Пивоваров // Прокатное производство, 2018, – № 8, – С. 19-25.

24. Белевитин, В.А. Интенсификация сдвиговых деформаций при ковке трехлучевых слитков / В.А. Белевитин, Е.Н. Смирнов, С.Ю. Коваленко, В.А. Скляр, А.В. Суворов // Заготовительное производство, 2018, Т. 16, – № 8, – С. 68-73.

25. Smirnov, E.N. Complete Evaluation of Extruded Aluminum Section and Semiproduct Mechanical Properties Under Conditions of Typical Regional Manufacturer Altek / Smirnov, E.N., Sklyar V.A., Mitrofanov M.V., Smirnov O.E., Belevitin V.A., Smirnov A.N. // Metallurgist, 2018, – V. 61, № 9–10, pp 878–883.

Учебное издание

**Смирнов Евгений Николаевич
Хасанова Марина Леонидовна,
Белевитин Владимир Анатольевич,
Меркулов Евгений Павлович**

**МЕТРОЛОГИЯ И КОНТРОЛЬ
ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Учебно-методическое пособие

ISBN 978-5-93162-089-3

Компьютерный набор В.А. Белевитин

Формат 60x841/16

Бумага типографская

Тираж 100 экз.

Объем 4,6 уч.-изд. л. (5,1 п. л.)

Подписано в печать 19.11.2018

Заказ № 671

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Изд-ва ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»
454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 69